

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانشون

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 APD de dédoublement et/ ou rectification renouvellement de la
ligne minière a dréa-ouedkebrit tronçon du (PK 46+000 au
PK58+000 Souk-Ahras avec conception de la gare de
M'DAOUROUCH

Présenté par :

GUERRAD Louai
KAABECHE Akram

Encadré par :

Mr. AYACHI Derradji
Mr. HAMADI Kamel

Promotion 2025/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ملخص

يهدف هذا المشروع إلى إعداد دراسة مفصلة لإنجاز خط سكك حديدية جديد مخصص لنقل المواد المعدنية، أحادي السكة، يربط بين كل من الدريعة، مداوروش ووادي الكبريت. يمتد المقطع المدروس من النقطة الكيلومترية 46+000 إلى النقطة الكيلومترية 58+000، بطول إجمالي قدره 12 كلم، ويتضمن إنشاء محطة للسكك الحديدية بمنطقة مداوروش ، وكذا توصيات (UIC) تم إعداد هذه الدراسة وفقاً للمعايير الدولية المعتمدة من طرف الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (SNTF) الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية.

كما تم إنجاز النمذجة الهندسية للمسار باستعمال مجموعة من البرامج المتخصصة و هي : Civil 3D ، Geo5.0 ، Google Earth Pro ، ArcGIS.

الكلمات المفتاحية: خط منجمي، سكة حديدية، عارضة خرسانية، تحويلة، مصد، خط جانبي، محطة سكك حديدية

Résumé

Ce projet vise à réaliser une étude détaillée d'une nouvelle ligne ferroviaire monovoie destinée au transport des matériaux miniers, reliant Dréa, M'daourouch et Oued El Kebrit. Le tronçon étudié débute au point kilométrique 46+000 et se termine au point kilométrique 58+000, soit une longueur totale estimée à 12 km. Le projet comprend également la construction d'une gare ferroviaire dans la région de M'daourouch.

Ce projet a été élaboré conformément aux normes internationales de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) ainsi qu'aux recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires algérienne (SNTF).

La modélisation géométrique du tracé ferroviaire a été réalisée à l'aide des logiciels suivants : Civil 3D, InfraWorks, Geo5.0, Google Earth Pro, ArcGIS.

Mots-clés : ligne minière, rail, traverse, voie ferrée, aiguillage, heurtoir, voie de garage.

SUMMARY

This project aims to prepare a detailed study for a new single-track railway line dedicated to the transport of mineral materials, connecting Drea, Medaourouch, and Oued El Kebrit. The studied section starts from kilometer point 46+000 and ends at kilometer point 58+000, with a total estimated length of 12 km. The project also includes the construction of a railway station in the Medaourouch area.

This project was developed in accordance with the international standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the Algerian National Railway Transport Company (SNTF).

The geometric modeling of the railway alignment was carried out using the following software: Civil 3D, InfraWorks, Geo5.0, Google Earth Pro, ArcGIS.

Keywords: mining line, rail, sleeper, railway track, turnout, buffer stop, siding line

Dédicace

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

À la mémoire de ma chère mère, J'aurais tant souhaité qu'elle soit présente le jour de ma réussite. Même si elle n'est plus parmi nous, ses prières et ses sacrifices resteront à jamais gravés dans mon cœur. Je lui dédie ce travail avec toute ma tendresse et ma gratitude. Que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mon cher père pour son soutien, ses encouragements et sa présence constante à mes côtés. Je lui dois une grande partie de ce que suis aujourd'hui. Que Dieu le protège et lui accorde santé, bonheur et longue vie.

À mes frères et ma sœur très chers à mon cœur, Bilall, Nesrine, Dijhed, Taha et Ousseyd.

À mon cher binôme, KAABECHE Akram, qui m'a accompagné tout au long de notre parcours académique, je lui exprime ma profonde gratitude pour sa collaboration, son soutien et les efforts partagés durant ce travail.

J'adresse également ce travail à mes amis Youcef, Sadek, Bilal, Nacer, Haythem, Mahmoud, Abd el djalil, Ismail, Hicham, El yazid, Aymen, Abd el Hadi, Abd waheb, Maamar, Abd el djalil, Abd el hak, Haythem, Khayr eddine, Abd errahmen et Rafik en témoignage de leur amitié, de leur soutien et des moments partagés tout au long de mon parcours.

J'adresse également mes sincères remerciements à l'ensemble de mes camarades ainsi qu'aux enseignants de l'ENSTP pour leur soutien, leurs encouragements et les connaissances qu'ils m'ont transmises tout au long de mon parcours.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et à l'aboutissement de ce travail.

GUERRAD Louai

Dédicace

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

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

A mon frère et mes cœur très chers à mon cœur,nAchraf ,Nour ,Yasmine

A mes cousins : Islam , Djamel , Bassem , Abderrahim

A toute ma famille sans exception.

A mon frère et ami Guerrad Louai

À mes meilleurs amis : Naser, Youcef, Abeljalil, Haythem, El yazid, Yahia, Chaker, Imad, Akram, Abdeljalil, Abderrahmane, Yacine, Mohamed, Nidhal

A mes amis sans exception.

Je tiens à exprimer ma gratitude à BOUGOUTTAYA MAHMOUD, KROUMA OUSSAMA, BENABDESSELAM NASSIM, BELHAMRA AKRAM pour leur précieuse aide dans la réalisation de ce travail.

KAABECHE AKRAM



Remerciement

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

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

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

Ainsi, nous remercions notre encadreur **Mr A. DERRADJI**, pour son aide précieuse et son suivi minutieux, ainsi que tous nos professeurs pour leur dévouement, leurs remarques, leurs conseils, leurs réponses et leurs instructions tout au long de notre parcours d'études à l'école. Également nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à **Mr R. MORSLI** pour son soutien précieux, ses remarques éclairées et son encouragement indéfectible.

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

Enfin, nous exprimons notre gratitude envers les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail



Abréviation

APS : Avant-Projet Sommaire.

APD : Avant-projet détaillé.

UIC : Union Internationale des Chemins de Fer.

RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.

RPA : Règlement Parasismique Algérienne.

SNTF : Société Nationale de Transport ferroviaire.

ANESRIF : Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.

V_v : Vitesse voyageur.

V_m : Vitesse marchandise.

ADV : Appareil De Voie.

LRS : Long Rail Soudée.

FSR : Fil Supérieur du Rail.

PK : Point Kilométrique.

RN : Route Nationale.

CW : Chemin de Wilaya.

CC : Chemin communal.

Lrp : Longueur de raccordement progressive.

BV : Bassin Versant.

IDF : Intensité– Durée – Fréquence.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

ONM : Office National de la Météorologie.

NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux.

Vps : Vtesse pleine section.

Qps : débit pleine section.

GTR : Guide de Terrassement routier.

PDL : Pénétromètre Dynamique lourd.

PU : Puit de reconnaissance.

SP : Sondage pressiométrique.

VBS : Essai bleu de méthylène.

PF : Plate-Forme.

ZI : Zone Inondable.

ZH : Zone Humide.

ZE : Zones d'emprunts.

TN : Terrain Naturel.

ADD : Appareil De Dilatation.

GC : Gabarit Cinématique.

GLO : Gabarit Limite Obstacle.

BV : Bâtiment Voyageurs.

BUD : Bâtiments à usages divers.

BS : Bâtiment de service.

LU : Longueur utile.

GF : Garage Franc.

ERTMS : Européen Rail Traffic Management System.

BAL : Block Automatique Lumineux.

EIE : Etude d'impact sur l'Environnement.

DQE : Devis Quantitatif Estimatif.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

I. GÉNÉRALITÉ

I.1. Introduction.....	2
I.2. Le réseau ferroviaire en Algérie	2
I.2.1. Origines du réseau ferroviaire algérien (1857–1962).....	2
I.2.2. Le réseau ferroviaire après l'indépendance	2
I.2.3. Réorganisation institutionnelle et création de la SNTF	2
I.2.4. Modernisation et projets stratégiques contemporains.....	3
I.3. État actuel et perspectives de développement du réseau ferroviaire en Algérie	3
I.3.1. La rocade Nord	3
I.3.2. La rocade des Hauts-Plateaux.....	3
I.3.3. La ligne minière Est.....	4
I.3.4. La ligne minière Ouest	4
I.3.5. La boucle Sud-Est.....	4
I.3.6. La boucle Sud-Ouest	4
I.3.7. La pénétrante Centre.....	4
I.3.8. La pénétrante Est	4
I.4. Généralités sur la voie ferrée	5
I.4.1. Définition.....	5
I.4.2. Les Objectives	5
I.5. Les composantes de la voie ferrée :	6
I.5.1. Les rails :	6
I.5.2. Les Traverses.....	6
I.5.3. Système de fixation : « NABLA ».....	8
I.5.4. Les Couches ferroviaire.....	8
I.5.5. Les appareils de voie :	9
I.6. Conclusion :	9

II. PRÉSENTATION DU PROJET

II.1. Introduction	10
II.2. La ligne minière Est.....	10
II.3. Présentation générale de la zone d'étude.....	10
II.3.1. Sismicité :	11
II.3.2. Climat :	12

II.3.3. La relief :	12
II.4. Présentation de notre projet :	13
II.4.1. Les objectifs	13
II.4.2. Les paramètres de conceptions du tronçon DREA-OUED KEBRIT	14
II.5. Conclusion	14

III. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

III.1. Introduction	15
III.2. Tracé en plan	15
III.2.1. Critères de limitation des paramètres de tracé en plan.....	15
III.2.2. Les conditions à respecter pour le tracé en plan	15
III.2.3. Les éléments de tracé en plan	16
III.2.4. Les paramètres géométriques du tracé	16
III.2.5. Application au projet.....	21
III.2.6. Description générale de tracé.....	24
III.3. Profil en long :.....	25
III.3.1. Les éléments du profil en long.....	25
III.3.2. Application sur le projet.....	27
III.4. Conclusion.....	27

IV. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

IV.1. Introduction.....	28
IV.2. Étude hydrologique	28
IV.2.1. Caractéristiques climatiques	28
IV.2.2. Caractéristiques des bassins versants.....	33
IV.2.3. Calcul des débits maximaux (Les crues)	36
IV.3. Étude hydraulique	41
IV.3.1. Méthode de Manning-Strickler.....	41
IV.3.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux	41
IV.3.3. Dimensionnement des fossés	46
IV.4. Conclusion	49

V. ÉTUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

V.1. Introduction	50
V.2. Étude géologique.....	50
V.2.1. Aperçue géologique local.....	50
V.2.2. Aperçue sismique.....	52

V.2.3. Contexte géologique de notre tronçon	53
V.3. Étude géotechnique	55
V.3.1. Campagne d'investigation géotechnique	55
V.3.2. Lithologie de la zone d'étude.....	57
V.3.3. Reconnaissance au laboratoire	60
V.3.4. Interprétation des résultats	63
V.3.5. Localisation des zones à risques:	64
V.4. Conclusion.....	66

VI. ASSISE FERROVIAIRE

VI.1. Introduction.....	67
VI.2. Différentes couches d'assises.....	67
VI.2.1. Le ballast.....	67
VI.2.2. Sous couche	68
VI.2.3. Couche anti-contaminante	69
VI.2.4. La plate-forme :	69
VI.3. Classification des sols pour la plate-forme	70
VI.3.1. La classe de portance de la plateforme	70
VI.3.2. Plate-forme proposée	71
VI.4. Couche de forme	71
VI.4.1. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise.....	71
VI.1. Conclusion	72

VII. PROFIL EN TRAVERS

VII.1. Introduction	73
VII.2. Profil en travers.....	73
VII.2.1. Les éléments du profil en travers	73
VII.3. Calcul des cubatures	74
VII.4. Conclusion	74

VIII. TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

VIII.1. Introduction	75
VIII.2. Les terrassements	75
VIII.2.1. Pente de talus	75
VIII.2.2. Calcule la stabilité de talus :	75
VIII.2.3. Systèmes Redans.....	77
VIII.3. Les ouvrages.....	77

VIII.3.1. Les ouvrages d'art de notre projet.....	77
VIII.4. Conclusion.....	78

IX. CONCEPTION DE LA GARE

IX.1. Introduction.....	79
IX.2. Type des gares.....	79
IX.3. Etude du plan de masse d'une gare.....	79
IX.4. Aménagement de la gare.....	79
IX.4.1. Installations d'une gare à voyageur	79
IX.4.2. Marge de glissement à l'aval des signaux	80
IX.4.3. Garage franc	80
IX.4.4. La longueur utile d'une voie de stationnement.....	81
IX.4.5. IX. Heurtoir.....	81
IX.5. Caractéristiques géométriques des gares :.....	82
IX.5.1. Déclivité dans les gares :	82
IX.5.2. Quai :	82
IX.5.3. Les appareils de voie	83
IX.6. Description de La Gare de M'daourouch.....	85
IX.7. Application Au Projet	85
IX.7.1. Longueurs de la marge de glissement.....	85
IX.7.2. La longueur du quai.....	85
IX.7.3. Largeur des quais.....	85
IX.7.4. Hauteur des quais.....	85
IX.7.5. Entraxe des quais	85
IX.7.6. La distance a l'axe de la voie.....	85
IX.7.7. Entraxe entre les voies.....	85
IX.7.8. La longueur utile d'une voie de stationnement.....	86
IX.7.9. Longueur de garage de franc	86
IX.7.10. La passerelle	86
IX.8. Assainissement dans les gares.....	86
IX.8.1. Assainissement transversal	86
IX.8.2. Assainissement longitudinal	86
IX.9. Conclusion	87

X. SIGNALISATION FERROVIAIRE

X.1. Introduction	88
-------------------------	----

X.2. Les risques ferroviaires	88
X.3. Fonctions des signaux	89
X.4. Implantation longitudinale	89
X.5. Les signaux ferroviaires	90
X.6. Principe de cantonnement	91
X.6.1. Types de cantonnement.....	91
X.7. Le système de signalisation moderne ERTMS.....	92
X.8. Application sur notre projet.....	92
X.9. Conclusion.....	93

XI. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.1. Introduction.....	94
XI.2. Cadre Législatif et Réglementaire.....	94
XI.3. Description du Site.....	95
XI.4. Analyse de l'état initial de la zone du projet.....	95
XI.4.1. Situation géographique et administrative de la wilaya de Souk Ahras.....	95
XI.4.2. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude.....	96
XI.5. L'impact du projet.....	97
XI.5.1. Les impacts positifs	97
XI.5.2. Les impacts négatifs et les solutions d'atténuation envisagées	98
XI.6. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet	99
XI.7. Conclusion	99

XII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Figure I-1 : Les réseaux ferroviaire en Algérie	3
Figure I-2 : Les réseaux ferroviaire en Algérie	3
Figure I-3 : : Voie ferrée réalisée en Algérie.....	5
Figure I-4 : Train Voyageur.....	5
Figure I-5 : Dimension du rail UIC60	6
Figure I-6 : Dimension du rail UIC54	6
Figure I-7 : Traverse bi-bloc.....	7
Figure I-8 : Traverse Métallique.....	7
Figure I-9 : Traverse monobloc	7
Figure I-10 : Système d'attache NABLA.....	8
Figure I-11 : Raccourci d'un profil en travers expliquant les couches de voie ferrée	8
Figure I-12 : Appareil du voie	9
Figure II-1 : La ligne minière Est	10
Figure II-2 : Tronçon ferroviaire de la ligne minière EST "DREA-OUED KEBRIT" "Google Earth"	11
Figure II-3 : Fiche technique de wilaya de SOUK AHRAS	11
Figure II-4 : Carte des zones sismiques en Algérie "RPOA 2008"	11
Figure II-5 : Carte pluviométrique de Wilaya de Souk-Ahras « ArcGIS »	12
Figure II-6 : Carte de végétation de Wilaya de Souk-Ahras « ArcGIS »	12
Figure II-7 : Carte des Altitudes de Wilaya de Souk-Ahras « ARCGIS »	13
Figure II-8 : Carte des pentes de Wilaya de Souk-Ahras « ARCGIS ».....	13
Figure III-1 : Les éléments du tracé en plan.....	16
Figure III-2 : Image explicative de calcul de devers	17
Figure III-3 : les éléments de trace en plan. « Avec les doucines et les pleine courbes »	21
Figure IV-1 : Classification du climat en Algérie « Agence National d'Aménagement du territoire ».....	28
Figure IV-2 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)	31
Figure IV-3 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien	32
Figure IV-4 : Réseau hydrographique du Bassin versant de l'oued Mellègue n° 12.....	36
Figure IV-5 : Les sous bassins versants traversés par le tracé de la ligne minière tronçon SOUK AHRAS de PK 46+000 au PK 58+000	36
Figure IV-6 : : schéma d'une buse.	42
Figure IV-7 :schéma d'un dalot.	44
Figure IV-8 : Le faussée trapézoïdal	47
Figure V-1 : Carte géologique de la zone Dréa-M'daourouch	51

Figure V-2 : Carte géologique de la zone M'daourouch-Oued kebrit.....	51
Figure V-3 : Carte de classification des zones sismique en Algérie « zone de M'daourouch ».....	52
Figure V-4 : Carte géologique de la zone d'étude.....	54
Figure V-5 : Sondage carotté SC-03 PK52+200 0.00-5.00m.....	60
Figure VIII-1 : Analyse de Stabilité de Déblai.....	76
Figure VIII-2 : Analyse de Stabilité de Déblai.....	76
Figure VIII-3 : Analyse de Stabilité de Déblai.....	76
Figure VIII-4 : Analyse de Stabilité de Remblai PK 53+875 Cas Dynamique.....	76
Figure VIII-5 : : Analyse de Stabilité de Remblai PK 53+875 Cas Statique.....	76
Figure IX-1 : Schématisation de la marge de glissement.	80
Figure IX-2 : Schémas du garage franc.	81
Figure IX-3 : La longueur utile d'une voie de stationnement.....	81
Figure IX-4 : : Heurtoir	81
Figure IX-5 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie.....	82
Figure X-1 : Système de cantonnement.....	91
Figure XI-1 : Travaux de réalisation de la ligne minière Est « Tronçon Dréa-M'daourouch ».....	99

Tableau II-1 : Les paramètres de conception de tronçon DREA-OUED KEBRIT	14
Tableau III-1 : Les vitesses des trains du projet.....	16
Tableau III-2 : Les Valeurs admissibles de dévers.....	18
Tableau III-3 : Les Valeurs admissibles des Insuffisances et des excès« SNTF et IN0272 ».....	19
Tableau III-4 : Les Valeurs admissibles des variations de l'insuffisance« SNTF et IN0272 »	19
Tableau III-5 : : Les limites des variations des dévers	20
Tableau III-6 : Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes.	21
Tableau III-7 : Paramètres géométriques du tracé « SNTF »	22
Tableau III-8 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé « SNTF »	22
Tableau III-9 : Obstacle à franchir PK Ouvrage Projeté / mesures prévues.....	24
Tableau III-10 : Longueur minimale des déclivités (SNTF)	25
Tableau III-11 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF)	26
Tableau III-12 : Valeurs de Rayon vertical minimal.....	27
Tableau IV-1 : Moyenne annuelles et mensuelles des températures à la station de souk Ahras et de Tébessa (source ONM)	29
Tableau IV-2 : valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies.« Station M'DAOUROUCH	29
Tableau IV-3 : valeurs des pluies journalières selon les fréquences choisies.	30
Tableau IV-4 : Valeur du paramètre de Montana 'a' pour les différentes périodes de retour	30
Tableau IV-5 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour.....	31
Tableau IV-6 : Caractéristiques des bassins versants de notre projet.....	35
Tableau IV-7 : Quelques formules utilisées dans le calcul du débit	37
Tableau IV-8 : Valeur de C1	37
Tableau IV-9 : Valeur de C2.....	38
Tableau IV-10 : Valeur de C3	38
Tableau IV-11 : Les débits maximaux centennaux des oueds.....	39
Tableau IV-12 : Récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule de transition	40
Tableau IV-13 : Les bassins versants des ouvrages à prolonger	40
Tableau IV-14 : Les conditions d'auto-curage de BV14 « buses ».....	42
Tableau IV-15 : Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet.....	43
Tableau IV-16 : Vérifications des conditions d'auto-curage de notre projet	43
Tableau IV-17 : Les conditions d'auto-curage de BV03 « Dalot ».....	45
Tableau IV-18 : Calculs récapitulatifs des ouvrages dalots de notre projet	45
Tableau IV-19 : Vérifications des conditions d'auto-curage de notre projet« Dalots »	45
Tableau IV-20 : Débit de Plateforme	47
Tableau IV-21 : : Débit de berme	48

Tableau IV-22 : Débit de talus	48
Tableau IV-23 : Débit totale de remblais et déblais	48
Tableau IV-24 : Dimensionnement du fossé proposé	48
Tableau V-1 : Caractéristiques des zones sismiques	53
Tableau V-2 : Synthèse de la litho stratigraphie du secteur de M'Daourouch	54
Tableau V-3 : Les essais réalisés par LNHC	56
Tableau V-4 : Les essais réalisés par SETIRAIL	57
Tableau V-5 : Coupes lithologiques des sondages carottés réalisés par LNHC	57
Tableau V-6 : Coupes lithologiques des sondages carottés réalisés par SETIRAIL	59
Tableau V-7 : Type d'essais de laboratoire réalisés	60
Tableau V-8 : Synthèse des résultats géotechniques sur les sondages carottés	61
Tableau V-9 : Synthèse des résultats géotechniques sur les milieux rocheux	62
Tableau V-10 : : Synthèse des résultats géotechniques sur les puits de reconnaissances	62
Tableau V-11 : L'analyse chimique sur les échantillons prélevés intacts et remaniés	63
Tableau V-12 : Liste des Zones d'emprunts	65
Tableau V-13 : liste des carrières	65
Tableau VI-1 : La classe la portance de la plate-forme (Normes UIC 719 R)	70
Tableau VI-2 : Structure de la voie du projet	72
Tableau VII-1 : : Les cubatures de terrassement	74
Tableau VIII-1 : Résultats des stabilités des remblais et des déblais supérieurs à 8m	76
Tableau VIII-2 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet	77
Tableau IX-1 : : Longueurs minimal des appareils de voie	83
Tableau IX-2 : Les branchements	84
Tableau IX-3 : Les longueurs des voies utiles de la gare*	86
Tableau X-1 : Les risques ferroviaires	88
Tableau X-2 : La signalisation utilisées pour notre projet	90
Tableau XI-1 : Quelques références légales et réglementaires	94
Tableau XI-2 : Situation administrative de la wilaya de Souk-Ahras	95
Tableau XI-3 : Ressources physiques biologiques et humaines de la zone d'étude	96
Tableau XI-4 : Les impacts positifs de notre projet	97
Tableau XI-5 : Identification des impacts négatifs du projet et les mesures d'atténuation proposées	98
Tableau XII-1 : Devis quantitatif et estimatif	100

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement d'un pays dépend largement de la qualité de ses infrastructures de transport et de communication, véritables moteurs de la croissance économique. En facilitant la mobilité des personnes et des marchandises, le secteur des transports renforce les échanges, soutient l'intégration territoriale et stimule l'activité économique.

Parmi ces infrastructures, le transport ferroviaire occupe une place stratégique grâce à sa capacité à transporter de grands volumes sur de longues distances, à moindre coût et avec un impact environnemental réduit. Il constitue ainsi un levier important de compétitivité et d'attractivité.

En Algérie, le réseau ferroviaire, hérité de la période coloniale, a été progressivement modernisé et étendu pour répondre aux besoins croissants de mobilité et pour mieux relier les différentes régions du pays, notamment les zones intérieures et frontalières, dans une logique de développement et de désenclavement.

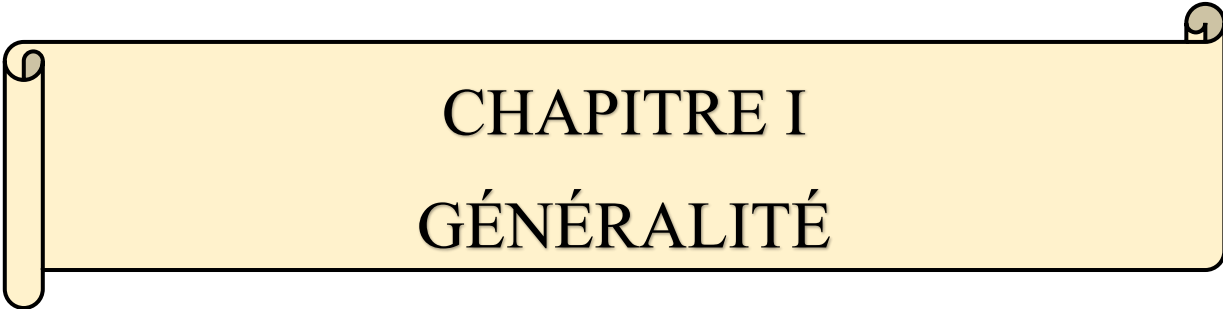
Dans le cadre de ce travail, nous avons réalisé une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur le tronçon DREA – OUED KEBRIT, en vue de la modernisation de la ligne ferroviaire comprise entre le PK 46+000 et le PK 58+500, soit un linéaire de 12,5 km.

Cette étude comprend également la conception de la gare de MDAOUROUCH, afin d'améliorer les conditions d'exploitation et de répondre aux besoins futurs en matière de transport ferroviaire.

Ce projet nous a été confié par l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF).

Ce mémoire présente les différents volets essentiels du projet de modernisation ferroviaire. Il comprend une introduction à la voie ferrée et une étude sur la dégradation du ballast, suivies de la présentation du projet et de ses caractéristiques techniques.

Il traite également de la superstructure et de la géométrie de la voie, des études environnementales (hydraulique, géologique et géotechnique), ainsi que de la conception de la gare et du système de signalisation. Enfin, il aborde l'évaluation des impacts environnementaux et se conclut par le devis estimatif et la planification des travaux.

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has decorative curls at both the left and right ends.

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉ

I. GÉNÉRALITÉ

I.1. Introduction

Le chemin de fer est un mode de transport terrestre essentiel pour le déplacement des voyageurs et des marchandises sur de longues distances. Il se distingue par sa grande capacité de transport, sa sécurité et son efficacité économique. Grâce à son faible impact environnemental par rapport à d'autres modes de transport, il occupe une place importante dans le développement durable. Aujourd'hui, les infrastructures ferroviaires jouent un rôle stratégique dans le développement économique et l'aménagement du territoire.

I.2. Le réseau ferroviaire en Algérie

I.2.1. Origines du réseau ferroviaire algérien (1857–1962)

Le réseau ferroviaire algérien prend naissance sous l'administration coloniale française à partir de 1857, date marquant le lancement officiel des premiers projets ferroviaires. Les lignes initiales ont été établies dans une logique essentiellement économique, visant à faciliter l'exploitation des ressources agricoles et minières et à assurer leur acheminement vers les ports du nord pour l'exportation.

Ainsi, le développement du réseau était principalement concentré dans la région septentrionale du pays et répondait avant tout aux intérêts stratégiques et économiques de la puissance coloniale, plutôt qu'à une logique d'intégration territoriale nationale.

I.2.2. Le réseau ferroviaire après l'indépendance

À l'indépendance en 1962, l'Algérie a hérité d'un réseau ferroviaire conçu principalement pour servir les intérêts coloniaux, avec une structure peu adaptée aux besoins de développement national. Face à cette situation, l'État a engagé un vaste processus de réorganisation et de restructuration du secteur ferroviaire.

L'objectif était de transformer le rail en un outil d'intégration territoriale, de désenclavement des régions intérieures et de soutien à la croissance économique, en l'orientant vers les priorités nationales et les besoins de mobilité des personnes et des marchandises.

I.2.3. Réorganisation institutionnelle et création de la SNTF

Dans le cadre de la restructuration du secteur ferroviaire après l'indépendance, la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens) a été créée en 1963 afin d'assurer la gestion et l'exploitation du réseau national.

En 1976, une nouvelle réforme institutionnelle a conduit à la création de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires), qui a repris les missions de gestion et de développement du rail en Algérie. En 1990, la SNTF a acquis le statut d'entreprise publique à caractère industriel et commercial (EPIC), renforçant ainsi son autonomie de gestion.

Ces transformations institutionnelles ont constitué une étape décisive dans l'organisation, la modernisation et la consolidation du système ferroviaire national.

I.2.4. Modernisation et projets stratégiques contemporains

Au cours des dernières décennies, l'Algérie a engagé une politique ambitieuse de modernisation et d'extension de son réseau ferroviaire. Cette stratégie vise à améliorer la performance du transport ferroviaire, à renforcer la sécurité et à étendre les lignes vers les régions intérieures et le sud du pays, afin de réduire les disparités territoriales.

Parmi les projets structurants figure la ligne Bêchar–Tindouf–Gara Djebilet, destinée au transport du minerai de fer depuis l'un des plus grands gisements du pays. Ce projet stratégique s'inscrit dans une dynamique de valorisation des ressources naturelles, de développement industriel et de désenclavement des zones éloignées.

Ces investissements traduisent la volonté de l'État de faire du chemin de fer un instrument central de développement économique durable, d'intégration territoriale et de diversification de l'économie nationale.

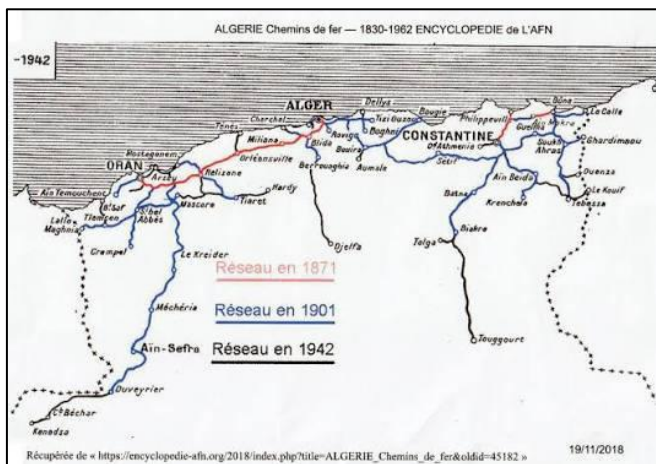


Figure I-2 : Les réseaux ferroviaire en Algérie

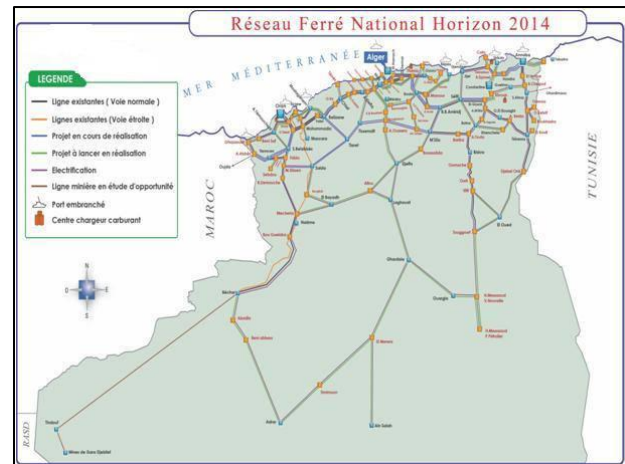


Figure I-1 : Les réseaux ferroviaire en Algérie

I.3. État actuel et perspectives de développement du réseau ferroviaire en Algérie

I.3.1. La rocade Nord

La rocade Nord constitue l'axe ferroviaire principal longeant le littoral algérien sur une distance de 1 250 km, dont 572 km dédiés aux dessertes régionales. Elle relie 22 wilayas, d'Annaba à Tlemcen, et comprend 216 gares et haltes.

En assurant la connexion de 9 ports majeurs, cet axe joue un rôle clé dans le renforcement des échanges logistiques entre le Nord et le Sud du pays. Par ailleurs, 433 km de lignes supplémentaires sont actuellement en cours de réalisation afin d'élargir cette couverture stratégique.

I.3.2. La rocade des Hauts-Plateaux

S'étendant sur 1 162 km entre Tébessa et Sidi Bel Abbès, cette rocade dessert 11 wilayas et compte 56 gares et haltes. Elle représente un axe structurant reliant les régions intérieures du pays.

À ce jour, 944 km sont déjà exploités, tandis que 218 km restent en construction, notamment le tronçon Tissemsilt–Frenda via Tiaret. Le futur raccordement Relizane–Tiaret viendra compléter son intégration au réseau Nord.

I.3.3. La ligne minière Est

D'une longueur de 422 km, cette ligne stratégique assure le transport des minerais entre Djebel El-Onk et le port d'Annaba, en traversant 5 wilayas. Elle comprend 30 gares et haltes.

Actuellement, 297 km sont en cours de doublement et de modernisation, tandis qu'un projet complémentaire de 152 km est en phase préparatoire afin d'accroître les capacités logistiques dans l'Est du pays.

I.3.4. La ligne minière Ouest

Avec une longueur totale de 1 650 km, cette ligne vise à relier le port d'Oran aux gisements de Gara Djebilet à Tindouf. Le tronçon Oran–Béchar (700 km) est déjà opérationnel après modernisation et installation de systèmes performants de signalisation et de télécommunications. La seconde phase, actuellement en développement, concerne 950 km entre Béchar, Tindouf et Gara Djebilet, traversant 5 wilayas et comprenant 12 gares et haltes.

I.3.5. La boucle Sud-Est

D'une longueur prévue de 425 km, cette boucle reliera Laghouat à Touggourt, desservant 5 wilayas du centre et de l'Est saharien.

Ce projet vise à intégrer davantage les localités sahariennes au réseau ferroviaire national. Les études techniques et de faisabilité sont en cours.

I.3.6. La boucle Sud-Ouest

S'étendant sur 1 500 km, cette infrastructure projetée reliera les oasis du Sud-Ouest, de Ghardaïa à Béchar. Une extension supplémentaire de 800 km vers Bordj Badji Mokhtar via Adrar est également prévue.

Ce corridor stratégique ambitionne de structurer la mobilité régionale dans 5 wilayas sahariennes à fort potentiel économique.

I.3.7. La pénétrante Centre

L'axe transsaharien central Alger–Tamanrasset, long de 2 039 km, traverse 10 wilayas et est conçu pour permettre des vitesses pouvant atteindre 220 km/h.

Le tronçon Boughezoul–Laghouat est déjà en service. Au total, 250 km sont opérationnels, 639 km ont été étudiés, et 1 050 km sont actuellement en phase d'étude afin d'achever cet axe structurant.

I.3.8. La pénétrante Est

Cette ligne de 418 km relie les ports de Skikda et Djendjen au complexe pétrolier de Hassi Messaoud.

Le tronçon El Gourzi–Touggourt (264 km) est déjà exploité et doté de systèmes modernes de signalisation. Les 154 km restants sont en cours de réalisation et permettront une circulation à des vitesses atteignant 220 km/h.

I.4. Généralités sur la voie ferrée

I.4.1. Définition

La voie ferrée (ou railway track / permanent way) est un système d'infrastructure permanente destiné à guider le matériel roulant et à transmettre au sol les efforts statiques et dynamiques générés par le passage des trains. Elle est constituée de la superstructure (rails, dispositifs de fixation/attaches, traverses et ballast ou dalle) et de la substructure (couches de forme/assise, sous-ballast éventuel et sol support).

I.4.2. Les Objectives

I.4.2.1. Le maintien de la géométrie (écartement, alignement, nivellement) :

Garder la bonne largeur, la bonne direction et la bonne hauteur de la voie.

C'est essentiel parce que la roue de train est guidée par le rail avec très peu de tolérance : la moindre déformation se traduit rapidement par des efforts, de l'usure et des risques de sécurité.

I.4.2.2. La stabilité et la répartition des charges :

Une mauvaise stabilité ou une mauvaise répartition des charges entraîne :

- ⇒ Tassements rapides, défauts de géométrie,
- ⇒ Fissuration/rupture des traverses, écrasement du ballast,
- ⇒ Augmentation des efforts dynamiques, inconfort,
- ⇒ Plus de maintenance et baisse de la sécurité.

I.4.2.3. Le drainage et la durabilité en exploitation :

Le drainage protège la voie en évacuant l'eau et en évitant le colmatage et les tassements.

La durabilité garantit que la voie reste performante et sûre sur le long terme malgré le trafic et le climat.



Figure I-3 : : Voie ferrée réalisée en Algérie



Figure I-4 : Train Voyageur

I.5. Les composantes de la voie ferrée :

La voie ferrée est composée de :

I.5.1. Les rails :

D'après l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer), les rails sont des éléments en acier laminé à chaud, présentant une section normalisée. Ils ont pour fonctions principales :

- ⇒ D'assurer le guidage des roues des trains.
- ⇒ De supporter les charges et de les transmettre aux traverses puis au ballast.
- ⇒ De garantir la continuité ainsi que la stabilité de la voie ferrée.

L'UIC établit plusieurs profils normalisés, tels que UIC 50, UIC 54 et UIC 60, définis en fonction de leur masse linéique (kg/m), de leurs caractéristiques géométriques (hauteur, largeur du patin, épaisseur de l'âme, largeur du champignon) ainsi que de leurs propriétés mécaniques.

Un rail conforme aux normes UIC comprend trois parties essentielles :

- ⇒ Le champignon, partie supérieure en contact direct avec les roues.
- ⇒ L'âme, élément vertical reliant le champignon au patin.
- ⇒ Le patin, partie inférieure qui repose sur les traverses.

Ces rails sont réalisés en acier à haute résistance, afin de résister à des charges importantes et à un trafic ferroviaire soutenu.

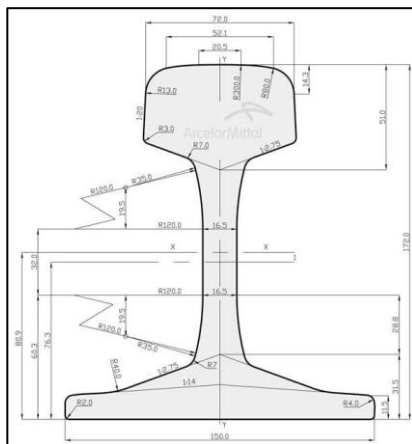


Figure I-5 : Dimension du rail UIC60

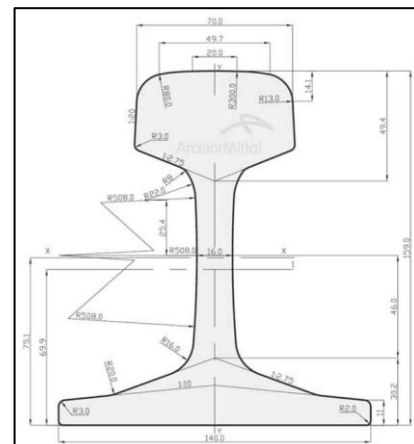


Figure I-6 : Dimension du rail UIC54

I.5.2. Les Traverses

D'après l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer), les traverses sont des éléments placés perpendiculairement aux rails, constituant un support essentiel de la voie ferrée. Elles ont pour fonctions principales :

- ⇒ De porter les rails et permettre leur fixation grâce aux systèmes d'attache,
- ⇒ De maintenir l'écartement de la voie en garantissant la position correcte des deux rails,

- ⇒ D'assurer la répartition et la transmission des charges (verticales, latérales et longitudinales) vers le ballast puis la plateforme,
- ⇒ De participer à la stabilité géométrique de la voie, en préservant l'alignement et le nivellement grâce à un appui uniforme.

L'UIC fixe également des exigences techniques de conception et de fourniture selon le type de traverse, notamment pour :

- ⇒ Les traverses en béton précontraint monobloc, bi-bloc avec entretoise
- ⇒ Les traverses métalliques en acier.

Selon les conditions d'exploitation (trafic, vitesse, entretien, environnement), les traverses peuvent être réalisées en bois, en béton ou en acier.



Figure I-7 : Traverse bi-bloc



Figure I-8 : Traverse Métallique



Figure I-9 : Traverse monobloc

I.5.3. Système de fixation : « NABLA »

Le système de fixation NABLA est un dispositif élastique destiné à assurer la liaison entre le rail et la traverse en béton, conformément aux prescriptions techniques de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer) en termes de résistance mécanique, de comportement élastique et de maintien de la géométrie de la voie.

Il s'agit d'un système de fixation indirect qui repose sur une attache en acier à ressort, de forme courbée caractéristique, exerçant une pression verticale et latérale sur le rail. Cette action garantit son maintien en position, assure la stabilité de la voie et contribue à l'absorption des efforts dynamiques générés par le passage des trains.



Figure I-10 : Système d'attache NABLA

I.5.4. Les Couches ferroviaire

Se compose de trois couches :

I.5.4.1. Couche d'assise : « BALLAST »

Selon la conception retenue dans les référentiels UIC (Union Internationale des Chemins de fer), le ballast est la couche de matériau granulaire constituée de pierres concassées, dures et résistantes, disposée sous et autour des traverses, interposée entre la superstructure de voie et la plate-forme.

I.5.4.2. Sous couche

Selon les prescriptions des référentiels UIC, la sous-couche de ballast (sub-ballast) est la couche granulaire intermédiaire disposée entre le ballast et la couche de forme constituant la plate-forme.

Elle fait partie intégrante de la structure d'assise de la voie et assure la transition mécanique et fonctionnelle entre le ballast et le sol support.

I.5.4.3. Couche de Forme : « Plate-forme »

D'après les référentiels UIC, la couche de forme correspond à la partie supérieure de la plate-forme ferroviaire. Elle est disposée immédiatement au-dessus du sol support naturel et en dessous de la sous-couche de ballast (sub-ballast), assurant ainsi la transition entre le terrain naturel et la structure d'assise de la voie.

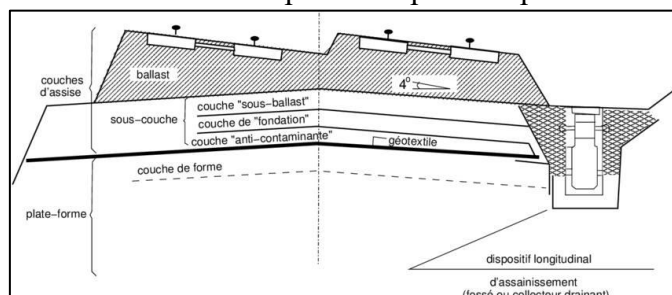


Figure I-11 : Raccourci d'un profil en travers expliquant les couches de voie ferrée

I.5.5. Les appareils de voie :

Selon la terminologie des référentiels UIC, les appareils de voie — désignés par le terme Switches & Crossings (S&C) — sont des ensembles constitués de rails et de composants spécifiques, intégrés à la voie, permettant le changement, la bifurcation ou le croisement d'itinéraires ferroviaires.

Ils assurant le guidage permanent des essieux ainsi que la continuité et la sécurité du roulement lors du passage d'une voie à une autre ou à une intersection.



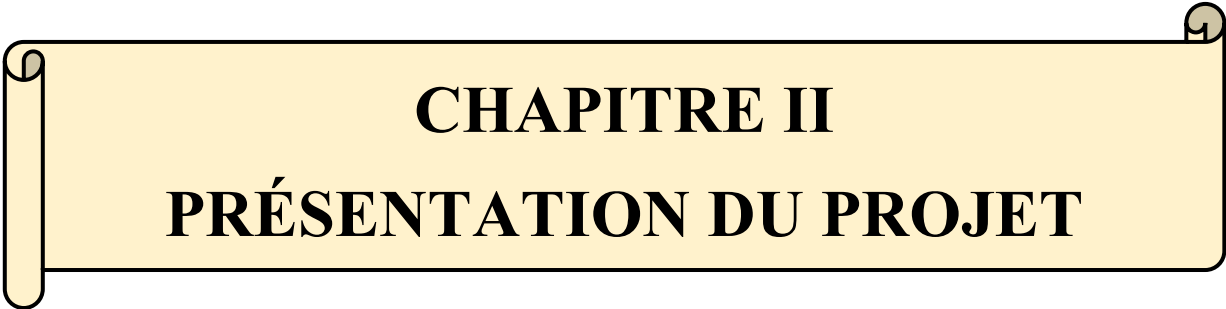
Figure I-12 : Appareil du voie

I.6. Conclusion :

En conclusion, la voie ferrée constitue l'élément fondamental de l'infrastructure ferroviaire. Elle regroupe l'ensemble des composants de la superstructure (rails, traverses, ballast, appareils de voie) et de l'infrastructure (sous-couche, couche de forme, plate-forme) assurant la sécurité, la stabilité et la durabilité de la circulation des trains.

En Algérie, le réseau ferroviaire joue un rôle stratégique dans le transport des voyageurs et des marchandises, notamment pour le transport des ressources minières et des produits énergétiques. Le réseau, majoritairement à écartement standard (1 435 mm), fait l'objet de programmes de modernisation, d'électrification et d'extension afin d'améliorer la capacité, la sécurité et la performance du transport ferroviaire à l'échelle nationale.

Ainsi, le développement du réseau ferroviaire algérien s'inscrit dans une dynamique de renforcement des infrastructures de transport et de soutien au développement économique du pays.

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has decorative scroll-like folds at both the left and right ends.

CHAPITRE II

PRÉSENTATION DU PROJET

II. PRÉSENTATION DU PROJET

II.1. Introduction

La ligne ferroviaire minière de l'Est constitue un axe stratégique pour le transport du phosphate et du fer en Algérie. Des travaux de modernisation, de dédoublement et de rectification sont en cours afin d'améliorer la capacité de la ligne et de fluidifier le trafic ferroviaire. Ce projet contribuera au renforcement du transport des minerais ainsi qu'au développement économique régional et national.

II.2. La ligne minière Est

La ligne ferroviaire minière de l'Est relie le port d'Annaba aux mines de Djebel El-Onk (Tébessa) sur une distance de 422 km, traversant cinq wilayas et desservant plus d'un million d'habitants.

Cette ligne constitue un axe stratégique pour le transport de phosphate et du fer, contribuant au développement économique de la région. Elle est actuellement en phase d'exploitation et modernisation, avec des travaux de dédoublement pour augmenter la capacité et fluidifier le trafic. A terme, la ligne sera prolongée vers la wilaya d'El Oued, permettant de relier le sud-est algérien et d'améliorer l'exportation des ressources minières.

- ⇒ Relie cinq wilaya (Tébessa ; Souk-Ahras ; Guelma ; El-Taraf et Annaba).
- ⇒ Comprend 422 km dont :
 - 175 km achevés.
 - 248 km en cours de travaux.
 - 30 gares et haltes.

Source (ANESRIF)



Figure II-1 : La ligne minière Est

Notre mémoire de fin d'étude propose un projet dédoublement et/ou rectification du tracé pour augmenter la capacité de la ligne ferroviaire minière EST section centre (BOUCHEGOUF-OUED EL KEBRIT).

II.3. Présentation générale de la zone d'étude

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

La wilaya de Souk Ahras couvre une superficie de 4 359 km² et se compose de 10 daïras et 26 communes.

- ⇒ Elle est distante de : environ 600 km d'Alger, 90 km de Constantine, 100 km d'Annaba et 200 km de Tunis.
- ⇒ La commune de Souk Ahras s'étend sur une superficie d'environ 104 km² ; son chef-lieu de commune, Souk Ahras, assure aussi le rôle de chef-lieu de daïra et de wilaya.
- ⇒ La commune, qui n'occupe qu'une faible proportion du territoire de la wilaya, concentre une part importante de la population de ce même territoire, ce qui explique sa forte polarisation.

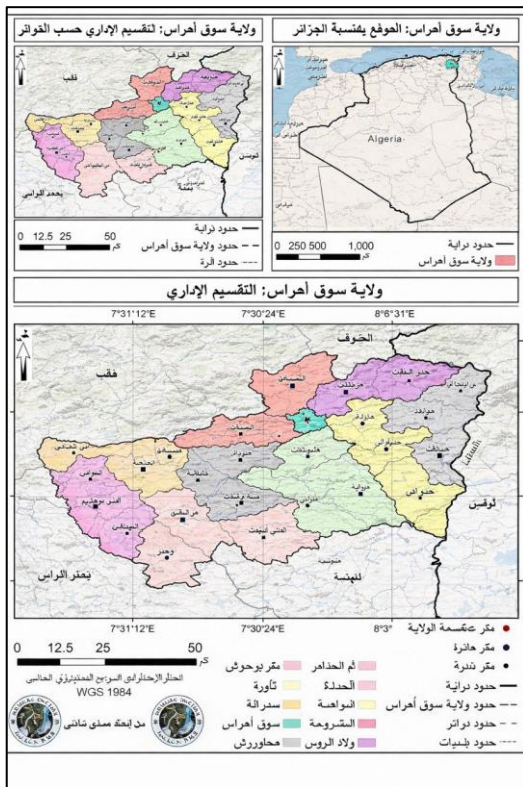


Figure II-3 : Fiche technique de wilaya de SOUK AHRAS

II.3.1. Sismicité :

Selon le Règlement Parasismique Algérien (RPA 2008), le territoire national est divisé en cinq zones sismiques, allant d'une sismicité négligeable à élevée. Le projet étudié est implanté dans la zone I, caractérisée par une sismicité faible, avec un coefficient d'accélération de zone A = 0,15.

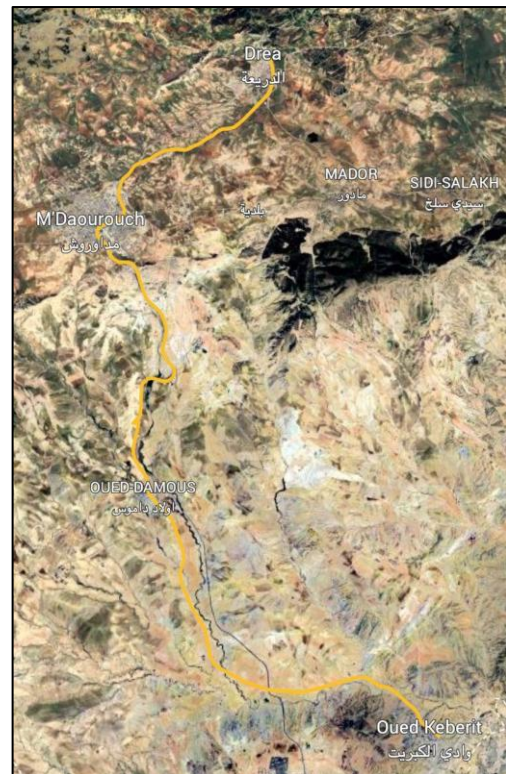


Figure II-2 : Tronçon ferroviaire de la ligne minière EST "DREA-OUED KEBRIT" "Google Earth"

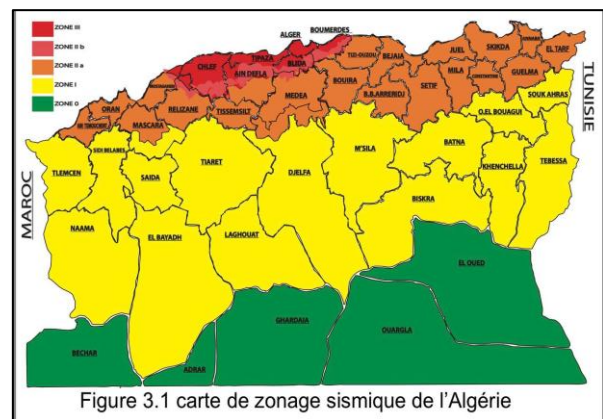


Figure 3.1 carte de zonage sismique de l'Algérie

Figure II-4 : Carte des zones sismiques en Algérie "RPOA 2008"

II.3.2. Climat :

La wilaya de Souk-Ahras, située au nord-est de l'Algérie, se caractérise par un climat méditerranéen marqué par des étés chauds et secs et des hivers frais et relativement humides. La température moyenne annuelle est d'environ 17 à 18 °C, avec des températures pouvant varier entre 2 °C en hiver et plus de 33 °C en été. Les précipitations annuelles sont estimées à environ 600 à 700 mm, concentrées principalement en automne et en hiver, tandis que l'été est généralement sec. Ce climat se distingue également par un ensoleillement important et une variation saisonnière marquée, caractéristiques typiques des régions méditerranéennes de l'est algérien.

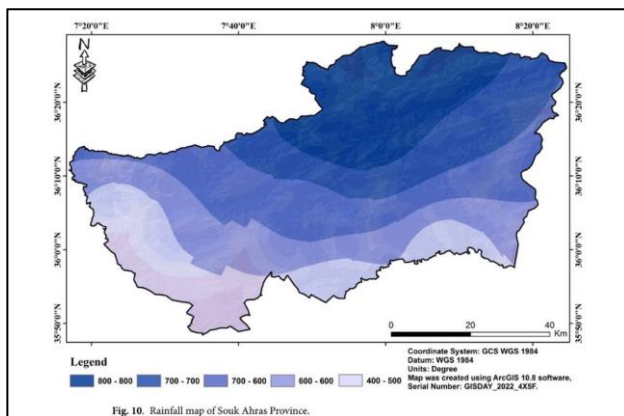


Figure II-5 : Carte pluviométrique de Wilaya de Souk-Ahras « ArcGIS »

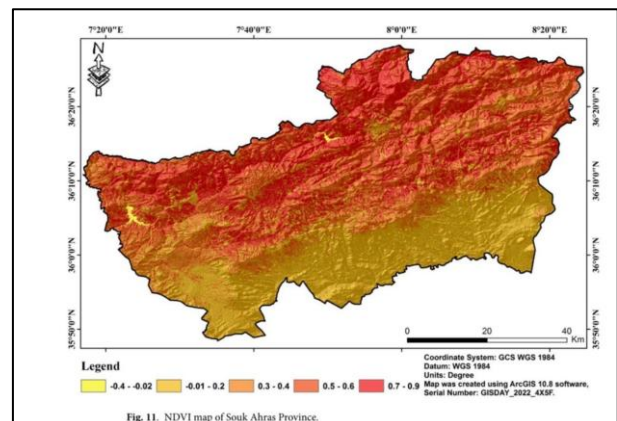


Figure II-6 : Carte de végétation de Wilaya de Souk-Ahras « ArcGIS »

II.3.3. La relief :

Le relief de la wilaya de Souk Ahras se caractérise par un paysage montagneux et accidenté, appartenant à la chaîne de l'Atlas tellien au nord-est de l'Algérie. Cette région présente une topographie variée, dominée par des massifs montagneux et des collines qui structurent l'ensemble du territoire. Parmi les principaux reliefs figurent le Djebel Beni Salah et le Djebel Ouled Moumen, recouverts en grande partie de formations forestières et qui dominent la ville de Souk Ahras, installée dans une cuvette naturelle entourée de reliefs.

L'altitude moyenne de la wilaya est d'environ 700 m, avec des altitudes variantes approximativement entre 48 m et plus de 1400 m, ce qui reflète une grande diversité morphologique et altitudinale. Les zones les plus élevées se situent principalement dans les secteurs nord et nord-est, où les reliefs sont plus abrupts, tandis que les zones plus basses correspondent aux vallées et aux dépressions favorables à l'implantation humaine et aux activités agricoles.

Le territoire est composé d'un ensemble de montagnes, collines, plateaux et vallées, traversés par plusieurs réseaux hydrographiques. Parmi ces cours d'eau, l'oued Medjerda occupe une place importante, car il constitue l'un des principaux oueds du Maghreb et joue un rôle essentiel dans le drainage et l'irrigation de la région. Ainsi, la configuration du relief influence fortement l'occupation du sol, les activités agricoles, la répartition des populations ainsi que les conditions climatiques locales de la wilaya de Souk-Ahras.

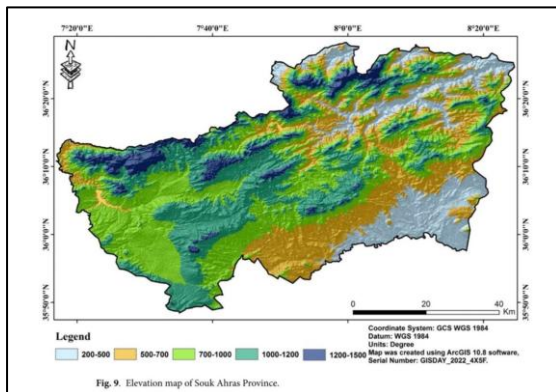


Figure II-7 : Carte des Altitudes de Wilaya de Souk-Ahras « ARCGIS »

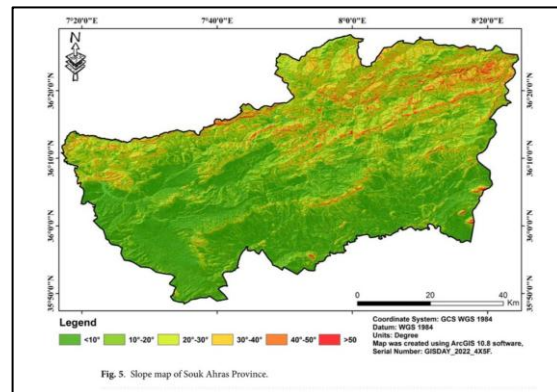


Figure II-8 : Carte des pentes de Wilaya de Souk-Ahras « ARCGIS »

II.4. Présentation de notre projet :

Dans le cadre de ce travail, nous présentons notre projet de fin d'études portant sur une étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) relative à une ligne ferroviaire située dans la wilaya de Souk Ahras. Le projet concerne l'aménagement du tronçon reliant DREA à Oued Kebrit, s'étendant du PK 46+000 au PK 58+500. L'objectif principal de cette étude est d'analyser et de concevoir les éléments techniques nécessaires à l'amélioration et au développement de cette infrastructure ferroviaire. Le projet comprend également l'étude et la conception de la gare de Mdaourouch, qui constitue un point important dans l'exploitation et l'organisation du trafic ferroviaire sur cette ligne.

II.4.1. Les objectifs

Le projet ferroviaire reliant DREA à Oued Kebrit, dans la wilaya de Souk Ahras, vise plusieurs objectifs principaux :

- ⇒ Améliorer la qualité du transport ferroviaire, aussi bien pour les voyageurs que pour les marchandises.
- ⇒ Optimiser l'exploitation de l'infrastructure ferroviaire afin d'assurer une meilleure fluidité et une gestion plus efficace du trafic.
- ⇒ Réduire les contraintes de circulation sur les voies existantes et améliorer les conditions de transport dans la région.
- ⇒ Améliorer l'acheminement ferroviaire en réduisant les temps de parcours et en augmentant l'efficacité du transport.
- ⇒ Renforcer le rôle du transport ferroviaire dans le développement économique et la mobilité au niveau de la wilaya de Souk-Ahras.

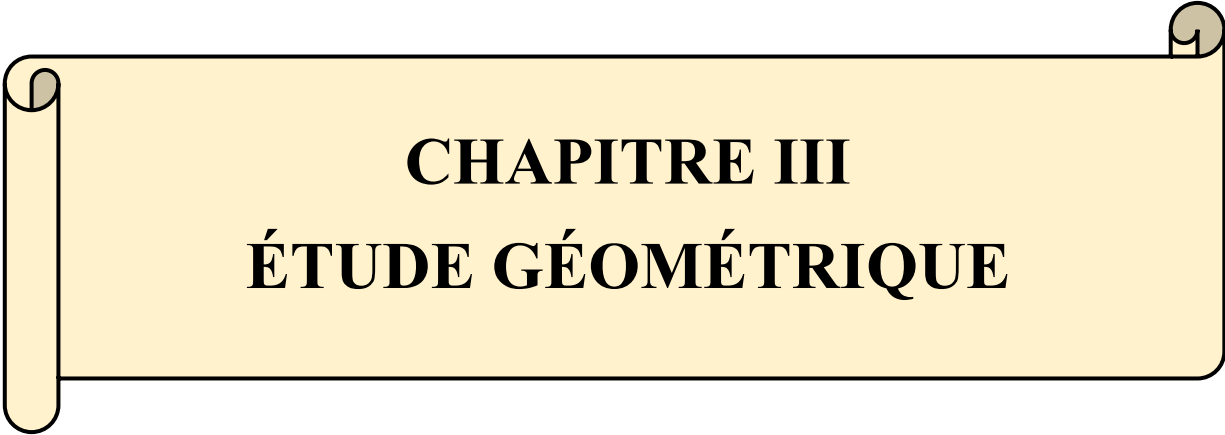
II.4.2. Les paramètres de conceptions du tronçon DREA-OUED KEBRIT

Tableau II-1 : Les paramètres de conception de tronçon DREA-OUED KEBRIT

Paramètres	Caractéristiques
Tronçon : DREA-OUED KEBRIT	Double Voie “Nouvelle ligne”
Longueur de Tronçon	12 Km
Traffic	Mixte
Vitesse de Conception “Voyageurs “	100 Km/h
Vitesse de Conception “Marchandises “	70 Km/h
Charge de l’essieu de Conception en pleine voie	22,5 t
Système d’attache élastique	NABLA
Traverses	Bi-Bloc
Traction	Électrique/Diesel
Rail	UIC 60 E1
Écartement et alignement	1435 mm
L’entre axe	5 m

II.5. Conclusion

En conclusion, le tronçon ferroviaire DREA – Oued Kebrit, situé dans la wilaya de Souk-Ahras, représente une infrastructure importante pour l’amélioration du transport ferroviaire dans la région. Son étude permet de mieux comprendre les caractéristiques techniques et géographiques du tracé afin d’assurer une exploitation efficace et sécurisée de la ligne. Ce projet contribue également à améliorer la mobilité des voyageurs et le transport des marchandises, tout en participant au développement économique et à l’intégration du réseau ferroviaire régional.

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a scroll. The left and right ends are rolled up, with the right roll being slightly higher than the left. The text is centered on the banner.

CHAPITRE III

ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

III. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

III.1. Introduction

L'étude géométrique ferroviaire représente une phase essentielle dans la conception et la mise en place des infrastructures de transport ferroviaire. Elle consiste à déterminer avec exactitude la configuration et l'implantation de la voie ferrée dans l'espace, que ce soit en plan horizontal, en profil en long ou en dévers. L'objectif principal de cette étude est d'assurer la sécurité de la circulation des trains, le confort des voyageurs ainsi que l'efficacité et la longévité du réseau ferroviaire.

La géométrie de la voie doit, en effet, respecter plusieurs contraintes techniques, notamment la vitesse de circulation des trains, la stabilité du matériel roulant, la nature du terrain traversé ainsi que les normes et réglementations en vigueur. L'étude des alignements, des courbes, des pentes et des raccordements permet ainsi d'optimiser le tracé de la voie afin de limiter les risques de déraillement, de réduire l'usure des rails et d'améliorer le confort des passagers.

Par conséquent, l'étude géométrique ferroviaire occupe une place primordiale dans la planification et la réalisation des lignes ferroviaires modernes. Elle contribue à concilier les exigences techniques, économiques et environnementales tout en garantissant un système de transport fiable, performant et sûr.

III.2. Tracé en plan

Le tracé en plan d'une voie ferrée ne se résume pas à une simple ligne sinueuse. Il correspond plutôt à une organisation réfléchie d'alignements droits et de courbes soigneusement étudiées, conçue pour assurer un parcours fluide tout en s'intégrant harmonieusement à son environnement.

III.2.1. Critères de limitation des paramètres de tracé en plan

Afin d'assurer la sécurité et le confort des voyageurs, ainsi que la stabilité de la voie ferrée, certaines valeurs des paramètres géométriques du tracé sont strictement encadrées. Ainsi, pour chaque paramètre, des critères spécifiques sont définis :

Valeurs limites normales : Ce sont les valeurs à ne pas dépasser afin de garantir une circulation sûre des trains aux vitesses maximales et minimales autorisées.

Valeurs limites exceptionnelles : Ces valeurs, plus restrictives que les valeurs limites normales, sont appliquées dans des situations particulières. Par exemple, lors de travaux de modernisation d'une ligne, il peut être nécessaire d'accepter des écarts dépassant les valeurs normales afin d'éviter des modifications structurelles importantes, tout en maintenant un niveau de sécurité satisfaisant.

III.2.2. Les conditions à respecter pour le tracé en plan

Afin d'obtenir un tracé optimal du projet, tant sur le plan économique que technique, il est nécessaire de prendre en compte les règles de conception et de respecter un certain nombre de conditions, parmi lesquelles :

- ⇒ Lors de l'étude visant à améliorer une ligne existante, il convient d'assurer la continuité avec le réseau au début et à la fin du projet, y compris la connexion avec certaines parties de la ligne existante si nécessaire, tout en respectant les limites du couloir défini.
- ⇒ Adopter des rayons de courbure minimaux adaptés à la vitesse d'exploitation et au type de train.
- ⇒ Respecter les longueurs minimales des alignements droits et des courbes circulaires.
- ⇒ Prévoir des raccordements progressifs entre les alignements droits et les courbes afin d'assurer une transition plus douce.
- ⇒ Suivre autant que possible les courbes de niveau et adapter le tracé en plan au relief naturel du terrain afin de limiter les travaux de terrassement.
- ⇒ Optimiser le tracé en évitant, dans la mesure du possible, le franchissement des oueds, des routes, ainsi que des zones agricoles et résidentielles, afin de réduire les coûts de construction et d'améliorer la rentabilité du projet.
- ⇒ Éviter l'implantation dans des zones présentant des contraintes géologiques ou géotechniques (terrains instables, sols compressibles, présence de nappes phréatiques, etc.). Si cela s'avère inévitable, une étude géotechnique approfondie du sol doit être réalisée afin de garantir la sécurité et l'efficacité opérationnelle de la voie.

III.2.3. Les éléments de tracé en plan

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession d'alignements droits, de courbes circulaires et de raccordements progressifs assurant la transition entre ces différents éléments.

- ⇒ L'alignement : $R = \infty$
- ⇒ Raccordement progressive (RP) : $R =$ variable.
- ⇒ Courbe circulaire : $R = \text{constant}$.
- ⇒

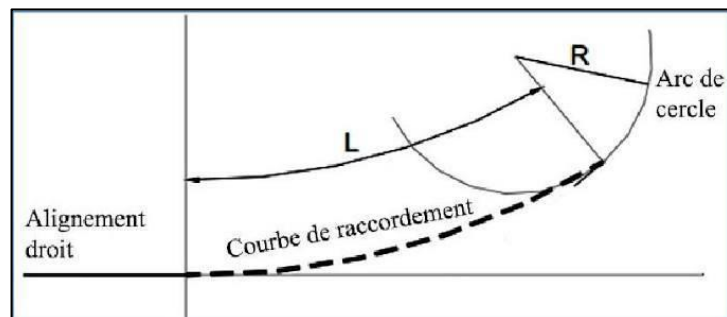


Figure III-1 : Les éléments du tracé en plan

III.2.4. Les paramètres géométriques du tracé

Pour une vitesse de circulation du train fixée à V , les critères de conception de la voie sont définis conformément aux recommandations de la SNTF. Ces directives ont pour objectif d'assurer la stabilité des trains tout en garantissant un niveau optimal de confort pour les passagers.

Tableau III-1 : Les vitesses des trains du projet

Train voyageurs	100 km/h
Train marchandises	70 km/h

III.2.4.1. Le dévers

Le dévers correspond à la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point donné de la voie. Il est obtenu en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur afin de compenser la force centrifuge. Il est exprimé en millimètres (mm). Dans un alignement droit, le dévers est nul.

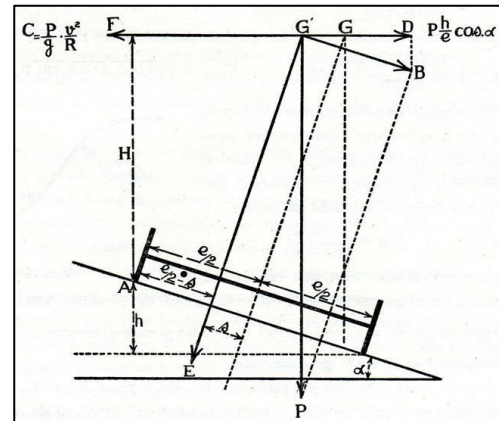


Figure III-2 : Image explicative de calcul de dévers

III.2.4.1.1. Dévers Théorique (dth)

Il s'agit de l'inclinaison latérale de la voie destinée à compenser la force centrifuge exercée lors du passage du train en courbe. Son calcul est effectué en fonction de la vitesse maximale autorisée sur la voie.

Sa formule : $d_{th} = \frac{11.8 \times V^2}{R}$ avec dth : devers théorique en (mm)

V : la vitesse de train (km /h)

R : Rayon de la courbe (m)

III.2.4.1.2. Dévers Pratique (dp)

Dans le cas de trafic mixte où la nature et la vitesse des train sont différent, l'application du dévers théorique est impossible. Pour cela il faut introduire la notion de devers pratique. pour Réduire risque de déraillement.

Sa formule : $d_p = \frac{1000C}{R}$ avec :

dp : devers pratique (mm) [doit être : $0.5 dth \leq dp \leq 0.7 dth$]

R : Rayon de la courbe (m)

C : coefficient de dévers. [Doit être multiple de 15].

La formule de calculs de C avec : $C = 0.006 \times V_{max}^2$

Avec : V_{max} : la vitesse maximale de la ligne.

III.2.4.1.3. Les dévers maximum admissibles

Pour les projets avec une vitesse : $V \leq 220 \text{ Km/h}$ selon la recommandation technique SNTF et la norme SNCF -IN0272- , les valeurs du dévers maximal sont fixées

Tableau III-2 : Les Valeurs admissibles de dévers

Dmax	Valeurs
Valeurs limites normales	160mm
Valeurs limites exceptionnelles	180mm

III.2.4.1.4. Insuffisances de devers (I)

L'écart entre le dévers théorique et le dévers pratique des trains rapides crée une force latérale non compensée qui peut provoquer un déraillement à grande vitesse.

La formule de calcul : $I = d_{th} - d_p$ avec :

I : L'insuffisance de dévers (mm).

I_{max} : la valeur limites de l'insuffisance de devers (mm):

d_{th} : devers théorique (mm) : $d_{th} = \frac{11,8 \times v_{voy}^2}{R}$

d_p : devers pratique en (mm) : $d_p = \frac{1000 \times C}{R}$ et $C = 0.006 \times V_{max}^2$

R : Rayon de la courbe (m)

III.2.4.1.5. Excès de devers

Lorsque le train de marchandises circule à faible vitesse dans une courbe, il perçoit le dévers installé pour les trains rapides comme un excès de dévers, noté « E ». Cela signifie que le dévers de la voie est trop important par rapport à la vitesse du train. Dans ce cas, le train est soumis à une force centripète non compensée, ce qui entraîne une résultante des forces orientée vers l'intérieur de la courbe.

La formule de calcul : $E = d_p - d_{th}$ avec :

E : L'excès de dévers (mm).

E_{max}: la valeur limites de l'excès de devers (mm):

d_p : devers pratique (mm) : $d_p = \frac{1000 \times C}{R}$ et $C = 0.006 \times V_{max}^2$

d_{th} : devers théorique en (mm) : $d_{th} = \frac{11,8 \times v_m^2}{R}$

R : Rayon de la courbe (m)

V_m : vitesse des trains lents (marchandise)

Tableau III-3 : Les Valeurs admissibles des Insuffisances et des excès« SNTF et IN0272 »

	I_{max}	E_{max}
Valeur normal	150mm	110mm
Valeur exceptionnelle	160mm	130mm

III.2.4.1.6. La variation de l'insuffisance de dévers

Ce paramètre représente la variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps, notée $\frac{\Delta I}{\Delta T}$. Il permet d'évaluer la rapidité de modification de l'insuffisance de dévers lorsque le train progresse à une vitesse donnée dans une courbe.

Sa formule est donnée par : $\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I \times V}{3.6 L_{rp}}$ avec :

I : L'insuffisance de dévers (mm).

L_{rp} : Longueur de raccordement progressif en (m)

V_{max} : la vitesse (Km /h)

Tableau III-4 : Les Valeurs admissibles des variations de l'insuffisance« SNTF et IN0272 »

Les Valeurs	$\frac{\Delta I}{\Delta T}$
Valeur normal	75mm
Valeur exceptionnelle	90mm

III.2.4.1.7. Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction de Longueur

La longueur des courbes de transition est déterminée en fonction du dévers adopté et du taux admissible de variation du dévers.

Cette variation est donnée par la formule suivante : $\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{dp}{L_{rp}}$ avec :

dp : devers pratique (mm)

L_{rp} : Longueur de raccordement progressif en (m).

III.2.4.1.8. Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction du temps

La transition est généralement limitée afin d'assurer un passage progressif entre les différentes sections de la voie, évitant ainsi des variations brusques de l'inclinaison latérale et garantissant la stabilité du train.

Cette variation est donnée par la formule suivante : $\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \times V}{3,6 L_{rp}}$ avec :

dp : devers pratique (mm)

L_{rp} : Longueur de raccordement progressif en (m)

V : la vitesse maximale de la ligne (km/ h)

Tableau III-5 : : Les limites des variations des dévers

Valeur normal		Valeur Exceptionnelle	
Par Rapport la Longueur $\Delta d/\Delta L$	Par Rapport au Temps $\Delta d/\Delta t$	Par Rapport la Longueur $\Delta d/\Delta l$	Par Rapport au Temps $\Delta d/\Delta L$
180/VMax	50mm/s	216/VMax	60mm/s

III.2.4.2. Rayon minimal :

Il représente le rayon de la courbe la plus serrée du tracé que le train peut franchir en toute sécurité. Le rayon minimal peut être déterminé à l'aide de la formule suivante.

III.2.4.2.1. Rayon minimal En fonction de I_{max} et dp

Sa formule est donnée par : $R_{min} = \frac{11,8V_{max}^2}{I_{max} + dp}$ avec : I_{max} : la valeur limites de l'insuffisance de devers (mm), dp : devers pratique , V_{max} : vitesse maximal du train.

III.2.4.2.2. Rayon minimal En fonction de I_{max} et E_{max} :

Sa formule est donnée par : $R_{min} = \frac{11,8(V_v^2 - V_m^2)}{I_{max} + E_{max}}$ avec :

V_m : vitesse des trains lents (marchandise)

V_v : vitesse des trains rapide (voyageurs)

I_{max} : la valeur limites de l'insuffisance de devers (mm)

E_{max} : la valeur limites de l'excès de devers (mm)

III.2.4.2.3. Dévers du rayon minimal :

Sa formule est donnée par : $d(R_{min}) = \frac{E_{max}V_v^2 - I_{max}V_m^2}{V_v^2 - V_m^2} \leq dp_{max}$

III.2.4.3. Longueur minimale des éléments de tracé :

Il est nécessaire de respecter les longueurs minimales des alignements dans les différentes Positions.

Tableau III-6 : Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes.

RP	Courbes avec RP et Doucines		Courbes avec RP sans Doucines	Courbes sans RP
Valeur limite normale	V/2	50m	V/3	V/2
Valeur limite exceptionnelle	V/3	34m	V/5	V/2.5

III.2.4.4. Doucine

Il s'agit d'un raccordement circulaire conçu pour limiter l'accélération du mouvement de roulis lors du changement de pente du rail haut. Ce dispositif vise à améliorer le confort et à éviter les chocs lors du passage des trains entre différentes pentes du rail haut, en étant centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

III.2.4.4.1. L'emploi des doucines

Lorsque la vitesse des trains de voyageurs est égale ou supérieure à 60 km/h et qu'il existe une variation importante du dévers, l'installation de doucines devient obligatoire, dès que cette variation dépasse $60/V$.

III.2.5. Application au projet

III.2.5.1. Description du tronçon de PK 46+00 AU PK 58+000

Le tronçon reliant Dréa à M'daourouch « à Oued Kebrit » débute par une ligne droite et se termine également par une ligne droite. Il s'étend sur une longueur totale de 12 000 mètres et comporte 13 courbes horizontales, dont les rayons varient entre 400 mètres et 900 mètres.

III.2.5.2. Les vitesses

Vitesse de conception du tracé pour le Trafic voyageurs : 100 km/h

Vitesse de conception du tracé pour le Trafic marchandise : 70 km/h

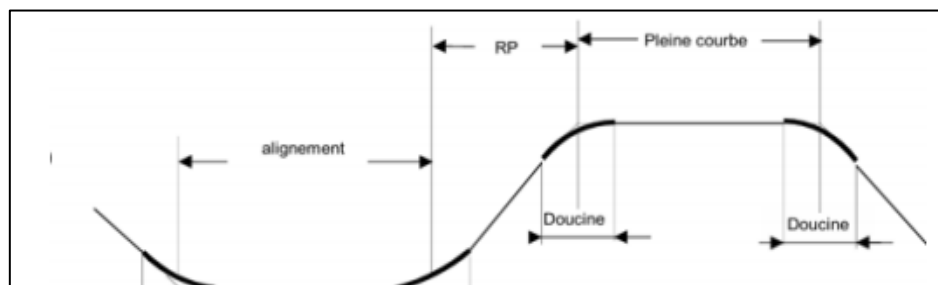


Figure III-3 : les éléments de trace en plan. « Avec les doucines et les pleine courbes »

III.2.5.3. Paramètres géométriques du tracé

Tableau III-7 : Paramètres géométriques du tracé « SNTF »

Valeurs	Normal	Exceptionnelle
Dévers ma	160mm	180mm
Insuffisance de dévers	150mm	160mm
Excès de dévers	110mm	130mm
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	75mm/s	90mm/s
Variation de dévers en fonction du Temps	50mm/s	60mm/s
Variation de dévers en fonction de la Longueur	1.500mm/m	1.800mm/m
Rayon minimale	381m	347m

III.2.5.4. Exemple de calculs pour R = 600 m

Ci-après sont présentés les calculs détaillés des paramètres géométriques de la voie ferrée relatifs à la détermination d'un seul rayon des courbes, en tenant compte des conditions d'exploitation (vitesse de référence, dévers, insuffisance de dévers), accompagnés des vérifications nécessaires afin de garantir la sécurité, le confort des usagers et la stabilité du matériel roulant, conformément aux normes et prescriptions techniques en vigueur.

Tableau III-8 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé « SNTF »

Paramètre	Formule	Résultats
dth voy (mm)	$d_{th} = \frac{11,8 \times v_{max}^2}{R}$	196.66
dth mar (mm)	$d_{th} = \frac{11,8 \times v_m^2}{R}$	96.36
C	$C = 0.006 \times V_{max}^2$	60
C retenu	-	60

Vérification de C	$0.5 \leq \frac{C}{0.0118 \times V_{max}^2} \leq 0.7$	$0.5 \leq 0.51 \leq 0.7$
dp (mm)	$d_p = \frac{1000 \times C}{R}$	100
dp retenu (mm)	-	150
Vérification de dp retenu	dp adopté < 160 mm	150 mm < 160 mm
I (mm)	$I = d_{th} - d_p$	46.66
Vérification de I	I < 150 mm	46.66 mm < 150 mm
E (mm)	dp - dth mar	53.64
Vérification de E	E < 110 mm	53.64 mm < 110 mm
Lrp (m)	$\frac{dp}{1.5}$	100 m
Lrp retenu (m)	-	110 m
dd/dl (mm/ml)	$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{dp}{L_{rp}}$	1.36
Vérification dd/dl	$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 1.5$	$1.36 \leq 1.5$
dd/dt	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \times V}{3.6 L_{rp}}$	37.88
Vérification dd/dt	$\frac{\Delta d}{\Delta t} \leq 50 \text{ mm/s}$	$37.88 \text{ mm/s} \leq 50 \text{ mm/s}$
dI/dt (mm/s)	$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I \times V}{3.6 L_{rp}}$	11.78
Vérification dI/dt	dI/dt < 75 mm/s	11.78 mm/s < 75 mm/s
Lmin(m)	V/2	50

Tableau III-9 : Obstacle à franchir PK Ouvrage Projeté / mesures prévues

Obstacle à franchir	PK	Ouvrage Projeté / mesures prévues
Routes	52+350	Passage supérieure
	52+825	
	53+950	
	54+075	
Pistes	46+100	À supprimer
	47+030	
	48+890	
	50+510	
	55+340	
	56+700	
Croisement conduite Gaz	47+330	La possibilité de déplacer ou de protéger
Végétations « Arbres »	54+800	À supprimer

NB : Le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel Civil 3D 2024 et les éléments du tracé en plan sont annexés au présent document.

III.2.6. Description générale de tracé

III.2.6.1. Les dédoublements et les rectifications

Zone 1 : De PK 46+000 au PK 47+277 : **Dédoublement à gauche**

Zone 2 : De PK 47+277 au PK 50+443 : **Rectification**

Zone 3 : De PK 50+443+000 au PK 50+780 : **Dédoublement à gauche**

Zone 4 : De PK 50+780 au PK 56+741 : **Evitement de M'DAOUROUCH**

Zone 5 : De PK 56+741L au PK 58+000 : **Dédoublement à droite**

III.3. Profil en long :

Le profil en long constitue un élément clé dans la conception et la planification des infrastructures linéaires, telles que les voies ferrées et les canaux. Il s'agit d'une représentation graphique qui illustre les variations d'altitude le long de l'axe du projet, permettant ainsi de mieux comprendre les caractéristiques topographiques du terrain.

Dans le domaine ferroviaire, le profil en long occupe une place essentielle. Il oriente les ingénieurs dans la définition de la géométrie du tracé, tout en facilitant la prise en compte des contraintes hydrauliques et géotechniques, ainsi que l'identification et l'anticipation des risques naturels.

III.3.1. Les éléments du profil en long

III.3.1.1. Les alignements droits

Les alignements droits dans le profil en long d'une voie ferrée correspondent à des tronçons où la pente est constante, faible ou nulle sur une certaine distance. Ces sections permettent de maintenir une vitesse de circulation régulière, tout en assurant une bonne stabilité du train, notamment sur des terrains plats ou légèrement inclinés. Elles contribuent ainsi au confort des passagers et à la sécurité de l'exploitation.

Selon le référentiel de la SNTF (Géométrie de la voie, chapitre 6), la déclivité admissible dépend de la longueur du tronçon considéré :

- ⇒ Pour une déclivité de longueur inférieure à 3 000 m : la pente maximale est de 16 ‰, pouvant atteindre exceptionnellement 18 ‰.
- ⇒ Pour une longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m : la déclivité diminue progressivement, passant de 16 ‰ à 13 ‰ (et exceptionnellement de 18 ‰ à 15 ‰).
- ⇒ Pour une longueur supérieure à 15 000 m : la déclivité maximale est limitée à 13 ‰, avec un maximum exceptionnel de 15 ‰.

Le positionnement des alignements droits par rapport au terrain naturel repose sur plusieurs critères essentiels afin d'optimiser le profil en long :

- ⇒ Respecter les pentes maximales prescrites par la réglementation.
- ⇒ Éviter les points bas en zone de déblai afin de faciliter l'évacuation des eaux pluviales.
- ⇒ Se conformer aux exigences géométriques en vigueur
- ⇒ . Assurer un équilibre entre les volumes de déblais et de remblais.
- ⇒ En zones inondables, prévoir un remblai dont la hauteur dépasse le niveau des plus hautes eaux (NPHE) d'au moins 0,5 m.

Cette approche garantit une conception rationnelle, durable et adaptée aux contraintes techniques et environnementales du projet ferroviaire.

Tableau III-10 : Longueur minimale des déclivités (SNTF)

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

III.3.1.2. Les raccordements

Les cercles dans le profil en long d'une voie ferrée correspondent à des courbes verticales, généralement de forme circulaire, définies par un rayon donné. Leur rôle est d'assurer une transition progressive entre deux pentes différentes, afin de limiter les variations brusques de déclivité.

En effet, lorsqu'un train passe d'une pente à une autre, il subit une accélération verticale. Si cette transition est trop abrupte, elle génère des effets dynamiques inconfortables, comparables à la sensation ressentie lorsqu'un véhicule franchit rapidement une bosse ou une dépression. L'introduction de courbes verticales permet donc d'adoucir ces changements, améliorant à la fois le confort des passagers et la sécurité de circulation.

L'accélération verticale est exprimée par la relation suivante : $A_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times R_v}$

Où :

A_v est l'accélération verticale (m/s^2),

- V est la vitesse du train (km/h),
- R_v est le rayon de la courbe verticale (m)

Pour garantir le confort des voyageurs à des vitesses inférieures à 220 km/h, l'accélération verticale doit rester inférieure à $0,22 m/s^2$, avec une tolérance exceptionnelle pouvant atteindre $0,31 m/s^2$. En inversant la formule, on obtient l'expression du rayon minimal de la courbe verticale : $R_v = \frac{V^2}{3.6^2 \times A_v}$

Cette relation permet de déterminer le rayon minimal à adopter en fonction de la vitesse de circulation et du niveau de confort souhaité. Ainsi, plus la vitesse est élevée, plus le rayon de la courbe verticale doit être grand afin de limiter l'accélération verticale et assurer une transition douce entre les pentes.

Tableau III-11 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF)

Paramètre	Valeur limite Normale	Valeur limite Exceptionnelle
Valeurs de Rayon vertical minimal	$0.35V^2$	$0.25V^2$

III.3.1.3. Coordination entre le profil en long et le tracé en plan

Afin d'assurer une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan d'une voie ferrée, il est essentiel de respecter un ensemble de règles visant à garantir la sécurité, le confort et la performance de l'exploitation. Ces exigences peuvent être formulées comme suit

- ⇒ Éviter de positionner une courbe verticale immédiatement après une courbe en plan, afin de ne pas cumuler les effets dynamiques (latéraux et verticaux) qui pourraient nuire à la stabilité du train.

- ⇒ Ne pas implanter les appareils de voie (aiguillages, croisements, etc.) sur des sections en courbe ou en pente, mais privilégier des zones rectilignes et horizontales pour assurer leur bon fonctionnement et faciliter leur maintenance.
- ⇒ Prévoir une section sensiblement plane, d'une longueur comprise entre 900 m et 1 500 m, destinée à l'implantation des gares, afin de garantir des conditions optimales pour l'arrêt, le stationnement et la sécurité des voyageurs.
- ⇒ Éviter la superposition ou la correspondance directe entre les rayons des courbes verticales (profil en long) et ceux des courbes horizontales (tracé en plan). Pour cela, il est recommandé de placer les points de changement de pente sur des sections à géométrie constante, telles que des alignements droits ou des courbes horizontales régulières.
- ⇒ Ces dispositions permettent d'assurer une cohérence globale du tracé, tout en limitant les contraintes mécaniques sur l'infrastructure et le matériel roulant. l'infrastructure et le matériel roulant.

III.3.2. Application sur le projet

Tableau III-12 : Valeurs de Rayon vertical minimal

		Dmax				Rmin	Lmin
		L<3000m	3000m<L<15000m	L>15000m	Gares		
Formule	Normal	-	-	-	-	$0.35V^2$	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	$0.25V^2$	V/2.5
Application	Normal	16‰	6 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	3500m	50m
	Except ionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	2500m	40m

III.4. Conclusion

L'étude géométrique constitue un élément essentiel dans la conception des voies ferrées, car elle joue un rôle déterminant dans la sécurité et le confort des usagers. Ce chapitre met en évidence l'importance d'optimiser à la fois le tracé en plan et le profil en long afin d'assurer la faisabilité technique du projet, la stabilité de l'infrastructure ainsi que son efficacité en exploitation. Une analyse rigoureuse permet non seulement d'identifier les solutions techniques les plus adaptées, mais aussi de maîtriser les coûts de construction et d'entretien tout en limitant les impacts sur l'environnement.

Par ailleurs, l'intégration des normes et des réglementations dès les premières étapes de l'étude géométrique est indispensable. Elle garantit le respect des exigences légales et contribue à renforcer la sécurité et le confort des usagers. Ainsi, une étude géométrique approfondie et conforme aux normes en vigueur représente un fondement incontournable pour la réalisation de voies ferrées fiables, performantes et durable.

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has decorative curved ends on the left and right sides, with the right end showing a small grey roll. The text is centered within the banner.

CHAPITRE IV

ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET

HYDRAULIQUE

IV. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

IV.1. Introduction

Dans le cadre des projets ferroviaires, l'hydrologie et l'hydraulique constituent des disciplines essentielles pour la compréhension et la gestion des ressources en eau.

À travers l'analyse des régimes de précipitations, des débits des cours d'eau ainsi que des risques d'inondation, ces domaines permettent d'identifier les contraintes et les potentialités liées aux différentes phases du projet, allant de la planification à la réalisation des infrastructures ferroviaires. En s'appuyant à la fois sur des approches théoriques et des outils pratiques, ils offrent un cadre indispensable pour anticiper et maîtriser les effets des phénomènes hydrologiques, contribuant ainsi à la sécurité, à la résilience et à la durabilité des ouvrages.

Dans cette section, nous présenterons une étude hydrologique et hydraulique détaillée relative au projet de dédoublement, de modernisation et/ou de rectification du tracé de la ligne minière Est, visant à en améliorer la capacité. L'analyse portera spécifiquement sur le tronçon de contournement reliant DREA à Oued Kebrit, s'étendant du PK 46+000 au PK 58+000.

IV.2. Étude hydrologique

Une étude hydrologique vise à analyser de manière détaillée le fonctionnement des phénomènes hydrologiques au sein d'une zone donnée. Elle repose sur la collecte et l'exploitation de données relatives aux précipitations, à l'évapotranspiration, à l'infiltration, au ruissellement ainsi qu'aux débits des cours d'eau.

Son objectif principal est de caractériser la disponibilité et la répartition des ressources en eau dans la région, afin de permettre l'estimation des débits de crue, l'évaluation des risques d'inondation et le dimensionnement adéquat des ouvrages hydrauliques.

IV.2.1. Caractéristiques climatiques

IV.2.1.1. Climat

Souk-Ahras possède un climat méditerranéen à été chaud (classification Köppen Csa), caractérisé par des étés chauds et des hivers doux. La proximité de la mer Méditerranée contribue à atténuer les températures, ce qui évite généralement les fortes chaleurs extrêmes observées dans les zones désertiques voisines. Comme dans les autres villes de l'Atlas, les hivers y sont humides tandis que les étés sont secs. La ville reçoit en moyenne environ 840,74 mm de précipitations par an, dont la majorité tombe entre octobre et avril.

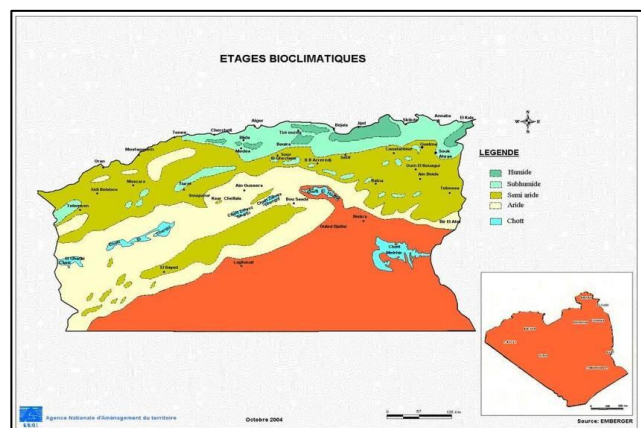


Figure IV-1 : Classification du climat en Algérie «
Agence National d'Aménagement du

IV.2.1.2. Température

La région de Dréa-M'daourouch se caractérise par un régime thermique de type continental, influencé par son altitude relativement élevée. Les températures présentent une forte variabilité saisonnière, avec des hivers froids où les moyennes descendent autour de 6 à 8 °C en janvier, accompagnés parfois de gelées. En revanche, les étés sont chauds et secs, avec des températures moyennes atteignant 30 °C en juillet et août. Les saisons intermédiaires (printemps et automne) sont marquées par des conditions plus modérées, avec des températures comprises entre 15 et 25 °C. Cette amplitude thermique annuelle importante traduit le caractère continental du climat de la région.

Tableau IV-1 : Moyenne annuelles et mensuelles des températures à la station de souk Ahras et de Tébessa (source ONM)

STATION	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Moy.ann
Souk-Ahras	22.3	18.1	12.6	8.9	7.3	8.1	10.5	12.7	17.5	21.8	25.6	26.3	16.01
Tébessa	22.6	16.5	11.3	7.3	6	7.4	10.3	14	18.2	23.4	26.7	26.2	15.8

IV.2.1.3. Les précipitations

Le régime pluviométrique de la région est de type méditerranéen à tendance semi-aride, caractérisé par une répartition irrégulière des précipitations au cours de l'année. Les pluies sont principalement concentrées durant la saison froide, notamment entre novembre et mars, avec des cumuls mensuels pouvant atteindre 40 à 50 mm. En revanche, la période estivale est marquée par une sécheresse prononcée, où les précipitations deviennent très faibles, voire quasi nulles en juillet et août. Le total annuel des précipitations est estimé entre 300 et 600 mm. Cette alternance entre une saison humide hivernale et une saison sèche estivale définit le climat de type semi-aride à influence méditerranéenne de la région

IV.2.1.3.1. Les précipitations annuelles

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

Tableau IV-2 : valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies. « Station M'DAOUROUCH »

Fréquence	0.99	0.98	0.95	0.9
Précipitations « mm »	707.3	668.7	610.8	559.3

IV.2.1.3.2. Les précipitations journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles. Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes, en Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent

une loi de Gumbel. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies max journalières enregistrées au niveau des stations choisies, pour différentes fréquences.

Tableau IV-3 : valeurs des pluies journalières selon les fréquences choisies.

Fréquence	0.9	0.95	0.98	0.99
Précipitations « mm »	54.7	63.3	74.4	82.7

IV.2.1.3.3. Les pluies de courte durée

La détermination de la relation Intensité–Durée–Fréquence (IDF) des précipitations repose sur l'analyse des enregistrements pluviographiques. À partir du dépouillement des pluies à intensité constante, les hauteurs de précipitations sont calculées pour différents pas de temps, notamment 15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures.

Pour chaque durée considérée, la valeur maximale de précipitation est retenue pour chaque épisode pluvieux. Cette méthode permet d'établir, pour chaque pas de temps, une série de données couvrant l'ensemble de la période étudiée. Sur la base de ces séries, la relation Intensité–Durée–Fréquence (IDF) est ensuite déterminée sous une forme mathématique appropriée.

La formule : $I(t, T) = a(T)^{-b}$ avec :

I : Intensité de pluie [mm/h].

– **T :** Période de retour [ans].

– **t :** Temps [h].

– **a et b :** Paramètres de Montana.

Avec : $b = 0.62$ selon la station de Souk ahras.

Tableau IV-4 : Valeur du paramètre de Montana 'a' pour les différentes périodes de retour

T(ans)	2	5	10	20	50	100
a(T)	13.7	18.9	22.4	25.7	30	33.2

Tableau IV-5 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

I (t. T)	2	5	10	20	50	100
15min	32.36	44.64	52.91	60.7	70.86	78.42
30min	21.06	29.05	34.43	39.5	46.1	51.03
1h	13.7	18.9	22.4	25.7	30	33.2
2h	8.91	12.3	14.58	16.73	19.52	21.6
3h	6.93	9.56	11.34	13.01	15.18	16.8
6h	4.51	6.22	7.38	8.46	9.88	10.93
12h	2.94	4.05	4.80	5.51	6.43	7.11
24h	1.91	2.63	3.12	3.58	4.18	4.63

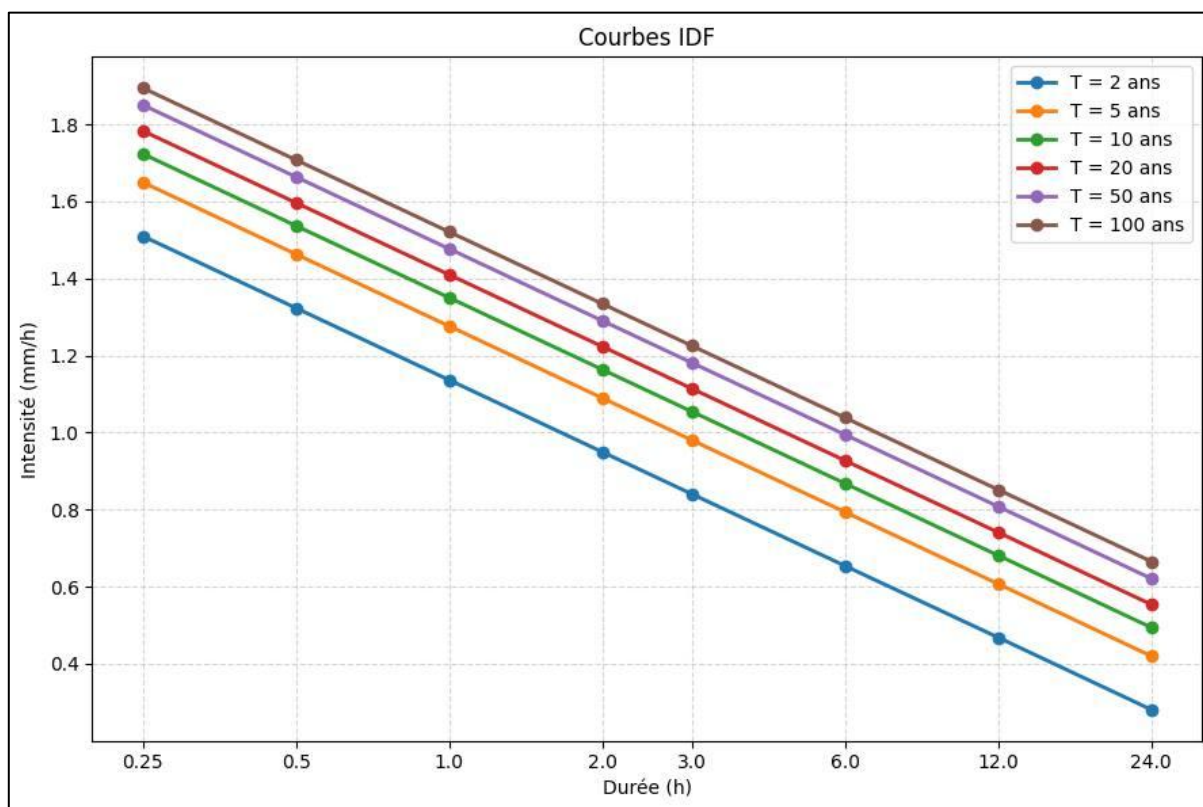


Figure IV-2 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)

IV.2.1.3.4. Humidité

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

Les quatre grands types de bioclimats méditerranéens :

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

La carte au 1/ 1000 000 de Côte. M. (1998), réalisée suivant ce principe est corroborée

À la connaissance des milieux naturels et particulièrement, des groupements végétaux, est Illustrative : brutalité des contrastes et disposition en bandes zonales longitudinales rappellent . Celles du relief et des précipitations.

D'après cette carte la zone d'étude est caractérisée par un climat subhumide à semi-aride (entre Souk-Ahras et oued Kébrit).

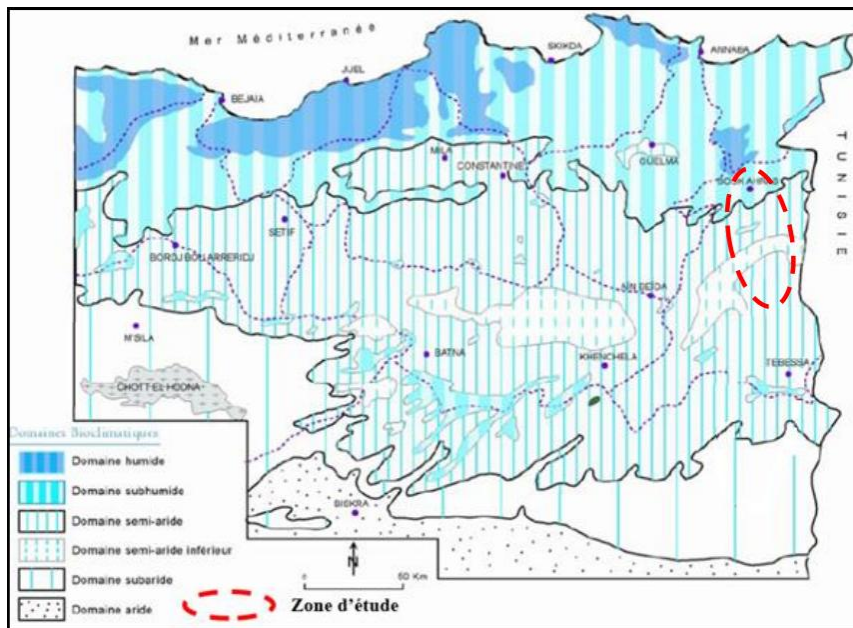


Figure IV-3 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien

IV.2.2. Caractéristiques des bassins versants

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Le PK (point kilométrique) sert à repérer le passage d'un tronçon de la voie ferrée sur les cours d'eau. La délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.

La délimitation des bassins versants s'est effectuée sur la base des cartes d'état-major, à l'échelle de 1/50 000, en suivant les lignes de partage des eaux, selon l'orientation des courbes de niveau. Ainsi le réseau hydrographique a été établi en digitalisant le talweg ou le cours d'eau principal. Après digitalisation des bassins versants sur les cartes topographiques, sous le logiciel Autocad, les paramètres suivants ont été déterminés :

- Surface du bassin versant (Km^2) ;
- Périmètre du bassin versant (Km) ;
- Longueur du plus long cours d'eau (Km) ;
- Altitude maximale (m) ;
- Altitude minimale (m) ;
- La pente (m/m) ;
- Longueur du rectangle équivalent (km)
- L'indice de compacité de Gravelius (K_c), pour la forme du bassin versant : **$K_c=0.28$**

$$\times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P : Périmètre du bassin versant (Km) ;

A : Surface du bassin versant (Km^2).

Le temps de concentration (T_c) en heure.

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

 **Superficie inférieure à 5 km^2 :**

Le temps de concentration est calculé par la formule de VENTURA : **$T_c = 0.127 \times \sqrt[2]{\frac{S}{I}}$**

T_c : temps de concentration (heure) ;

S : superficie du bassin versant (Km^2) ;

I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

 **Superficie comprise entre 5 et 25 Km^2**

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

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

Tc : temps de concentration (heure) ;

S : superficie du bassin versant (Km²) ;

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

I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

Superficie supérieure à 25 Km²

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

$$Tc = \frac{4\sqrt{S+1.5L}}{0.8 \times \sqrt{H_{max}-H_{min}}}$$

Tc : temps de concentration (heure) ;

S : superficie du bassin versant (Km²) ;

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

Hmoy : altitude moyenne (m) ;

Hmin : Altitude minimale (m).

Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des oueds traversant la ligne minière, Section Centre, tronçon Souk Ahras – Oued Kébrit sont mentionnées dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau IV-6 : Caractéristiques des bassins versants de notre projet

n° BV	PK	S « Km ² »	P « Km »	L « Km »	Hmax « m »	Hmin « m »	Hmoy « m »	Kc	Pente « m/m »	Tc « h »
01	46+220	0.05	0.98	0.29	820	812	816	1.1	0.013	0.12
02	46+724	1.61	6.58	3.1	928	816	872	1.1	0.036	0.85
03	47+121	0.37	3.04	1.14	844	817	831	1.1	0.023	0.51
04	47+370	0.096	1.26	0.36	828	818	823	1.1	0.028	0.24
05	47+652	0.41	2.52	1.69	862	821	842	1.1	0.024	0.52
06	47+823	0.074	1.29	0.39	856	834	845	1.3	0.056	0.15
07	48+125	0.1	1.24	0.61	845	823	834	1.1	0.036	0.21
08	48+212	0.88	4.07	0.46	845	827	836	1.1	0.039	0.6
09	48+365	1.37	4.60	2.62	909	835	872	1.1	0.028	0.89
10	48+837	1.44	5.41	1.4	858	832	845	1.3	0.018	1.14
11	49+345	21.13	24.63	8.04	1086	835	961	1.5	0.031	3.32
12	49+912P	0.43	2.45	1.32	898	846	872	1.2	0.039	0.23
13	50+176	0.033	2.67	0.176	876	848	865	1.5	0.159	0.3
14	50+462P	0.19	1.92	0.70	881	852	861	1.2	0.041	0.28
15	50+690	0.05	0.88	0.16	868	856	862	1.1	0.075	0.1
16	50+762	0.065	1.0	0.24	884	854	869	1.1	0.125	0.090
17	53+073	0.35	2.57	0.54	878	865	872	1.2	0.024	0.48
18	53+235	0.13	1.51	0.3	872	857	865	1.2	0.05	0.2
19	53+440	0.081	1.21	0.37	855	851	853	1.2	0.01	0.36
20	53+875	0.037	0.65	0.24	852	850	851	1	0.008	0.27
21	54+012	0.19	2.19	0.52	877	860	869	1.4	0.032	0.31
22	56+735	0.043	0.773	0.384	860	813	837	1	0.122	0.075
23	56+945	0.042	0.967	0.340	844	807	826	1.3	0.108	0.079

24	57+120	0.143	2.09	0.842	850	806	828	1.5	0.052	0.210
25	57+280	0.36	2.88	1.1	878	805	842	1.3	0.066	0.296
26	57+602	0.08	1.18	0.448	824	797	810.5	1.1	0.060	0.146
27	57+705	0.083	1.32	0.410	836	797	817	1.2	0.095	0.118
28	57+888	0.127	1.36	0.517	825	794	810	1	0.060	0.184

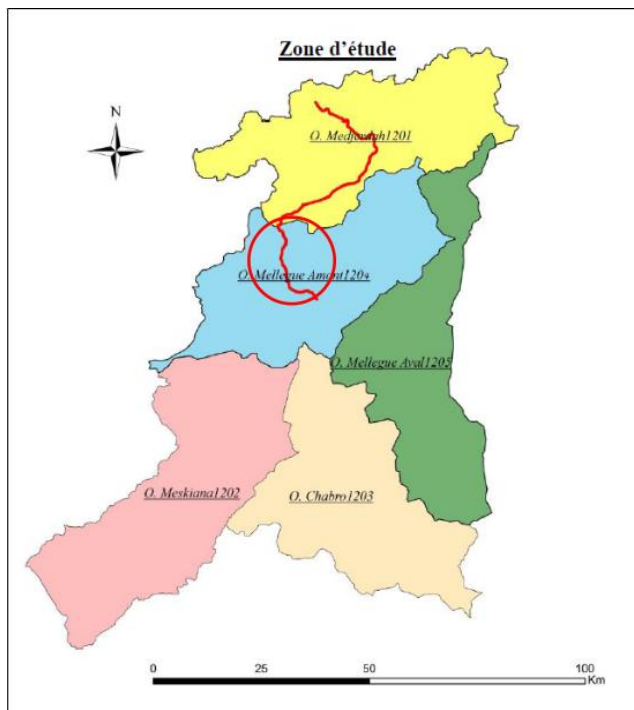


Figure IV-5 : Les sous bassins versants traversés par le tracé de la ligne minière tronçon SOUK AHRAS de PK 46+000 au PK 58+000

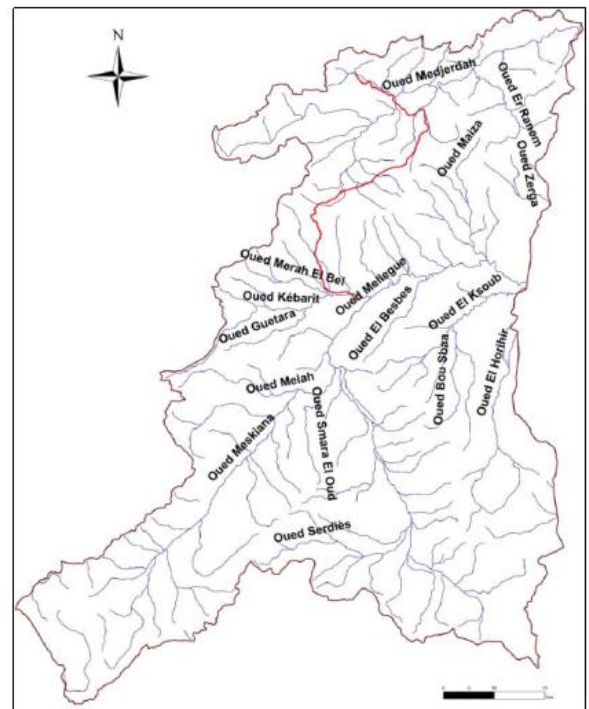


Figure IV-4 : Réseau hydrographique du Bassin versant de l'oued Mellègue n° 12.

IV.2.3. Calcul des débits maximaux (Les crues)

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau est essentielle en raison des dégâts importants que peuvent provoquer les crues.

Lors de la conception d'ouvrages hydrauliques ou d'aménagements, il est nécessaire d'estimer la crue maximale probable afin d'assurer leur sécurité et leur dimensionnement adéquat. Cette crue se caractérise principalement par :

- le débit maximal,
- la durée de la crue,
- le volume total écoulé.

Pour estimer les débits de pointe des bassins versants, notamment au niveau des ouvrages de franchissement, on utilise des formules empiriques basées sur les caractéristiques physiques des bassins versants, telles que :

Tableau IV-7 : Quelques formules utilisées dans le calcul du débit

Surface du bassin versant (km ²)	Inférieure à 10 km ²	De 10 km ² à 50 km ²	De 50 km ² à 2000 km ²
Formule	Rationnelle	Transition	Crupedix

IV.2.3.1. Formule Rationnelle

Sa formule est de forme : $Q_{max} = \frac{Cr \times I \times A}{3.6}$

avec

Q_{max} [m³ /s] : Débit de crue de fréquence.

- Cr : Coefficient de ruissellement.

- I [mm/h] : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de Concentration.

- A [km²] : Surface du bassin versant.

Pour la détermination du coefficient du ruissellement Cr , nous avons opté pour la méthode de KENESSEY : $Cr = C1 + C2 + C3$

$C1$: dépend de la pente du cours d'eau principal (I), il varie :

Tableau IV-8 : Valeur de $C1$

La pente (I)	$C1$
$I < 3.5 \%$	0.01 - 0.05
$3.5 \% < I < 11 \%$	0.06 - 0.1
$11 \% < I < 35\%$	0.12 - 0.2
$I > 35 \%$	0.22 - 0.3

Les valeurs des pentes ont été consignées dans le tableau des caractéristiques morphométriques des bassins versants concernés par les écoulements superficiels traversant le tracé du projet.

Dans le cadre du tronçon Souk-Ahras, du PK 46+000 au PK 58+000, une carte des pentes a également été élaborée pour le sous-bassin versant englobant la zone d'étude. Cette carte permet de visualiser la répartition spatiale des pentes au sein du secteur analysé

C2 : dépend de la perméabilité du terrain, il varie

Tableau IV-9 : Valeur de C2

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

N.B : Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région de Souk Ahras

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

Tableau IV-10 : Valeur de C3

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

IV.2.3.2. Formule de Transition

Sa formule est de forme : $Q_{max} = \alpha \times QR(T) + \beta QC(T)$ avec :

$Q(T)$ [m³/s] : Débit de projet de temps de retour T.

- $QR(T)$ [m³/s] : Débit fourni par la formule rationnelle de temps de retour T.

- $QC(T)$ [m³/s] : Débit fourni par la formule Crupedix de temps de retour T.

- α et β : Coefficients de pondération.

Tel que α varie linéairement de 1 à 0 lorsque la superficie (S) croît de 10 à 50 km².

$$\alpha = \frac{50-S}{40} \quad \text{et} \quad \beta = 1 - \alpha$$

Cette formule peut être justifiée dans la mesure où le débit décennal fourni par la formule rationnelle peut être parfois plus de 2 fois supérieur à celui fourni par la formule Crupedix.

IV.2.3.3. Formule de Crupedix

Sa formule est de forme : $Q_{10} = A^{0.8} \times \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2 \times R$ avec :

Q_{10} [m³/s] : Débit de crue instantané de fréquence décennale.

- A [Km²] : Superficie du bassin versant.

- P_{10} [mm] : pluie journalière de période de retour décennale.

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

Le tableau ci-dessous sert de récapitulatif technique pour évaluer les risques d'inondations extrêmes sur le tracé ferroviaire. Il fait le lien entre la configuration naturelle du terrain et la puissance des eaux en cas de fortes pluies.

Tableau IV-11 : Les débits maximaux centennaux des oueds

n° BV	PK	S « Km ² »	Cr	L « Km »	Tc « h »	I « mm/h »	Pente « m/m »	Q ₁₀₀ « m ³ /s »
07	48+125	0.1	0.45	0.61	0.21	87.36	0.036	1.09
08	48+212	0.88	0.45	0.46	0.6	45.57	0.039	5.01
09	48+365	1.37	0.4	2.62	0.89	35.68	0.028	5.58
10	48+837	1.44	0.4	1.4	1.14	30.6	0.018	4.89
11	49+345	21.13	0.59	8.04	3.32	15.77	0.031	45.8
15	50+690	0.05	0.45	0.16	0.1	138.4	0.075	0.865
16	50+762	0.065	0.55	0.24	0.090	147.74	0.125	1.46
17	53+073	0.35	0.4	0.54	0.48	138.4	0.024	5.38
18	53+235	0.13	0.45	0.3	0.2	90.05	0.05	1.46
19	53+440	0.081	0.4	0.37	0.36	62.55	0.01	0.56
20	53+875	0.037	0.4	0.24	0.27	74.76	0.008	0.3
21	54+012	0.19	0.4	0.52	0.31	68.62	0.032	1.44

Tableau IV-12 : Récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule de transition

n° BV	S « Km² »	Tc « h »	Cr	I100 « mm/h »	Q _{100R} « m³/s »	R	Ptc « mm »	Q ₁₀ « m³/s »	Q _{100C} « m³/s »	α	β	Q ₁₀₀ « m³/s »
09	21.13	3.32	0.4	15.77	54.61	1	54.7	5.36	23.13	0.72	0.28	45.8

Tableau IV-13 : Les bassins versants des ouvrages à prolonger

N°BV	PK	Situation
01	46+220	À prolonger
02	46+724	À prolonger
03	47+121	À prolonger
04	47+370	À prolonger
05	47+652	À prolonger
06	47+823	À prolonger
12	49+912	À prolonger
13	50+176	À prolonger
14	50+462	À prolonger
22	56+735	À prolonger
23	56+945	À prolonger
24	57+120	À prolonger
25	57+280	À prolonger
26	57+602	À prolonger
27	57+705	À prolonger
28	57+888	À prolonger

IV.3. Étude hydraulique

Dans les régions exposées à des phénomènes hydrologiques extrêmes, tels que les crues ou les précipitations intenses, les études hydrauliques jouent un rôle fondamental dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, qu'ils soient transversaux ou longitudinaux, le long des voies ferrées.

Elles permettent de concevoir des structures adaptées, capables de maîtriser efficacement les variations des écoulements, afin de garantir la durabilité des infrastructures ferroviaires ainsi que la sécurité des usagers et du personnel.

IV.3.1. Méthode de Manning-Strickler

L'approche adoptée vise à vérifier que les ouvrages de drainage sont correctement dimensionnés afin d'assurer une évacuation efficace des précipitations exceptionnelles, évitant ainsi tout risque d'engorgement en conditions météorologiques extrêmes.

Par ailleurs, le dimensionnement doit garantir des vitesses d'écoulement compatibles avec la sécurité des ouvrages, généralement inférieures à 4 m/s dans les canaux en béton, afin de préserver l'intégrité des infrastructures.

Cette évaluation s'appuie généralement sur l'application de la méthode de Manning-Strickler, utilisée pour estimer la capacité maximale d'écoulement (débit de saturation) des ouvrages hydrauliques, qu'ils soient transversaux ou longitudinaux.

Sa formule est de forme : $Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$ avec :

- Q_s [m³/s] : Débit de saturation de l'ouvrage.
- K_s : Coefficient de rugosité pour le béton $K_s=70$.
- S_m [m²] : Section mouillée de l'ouvrage hydraulique.
- R_h [m] : Rayon hydraulique. $R_h = \frac{S_m}{P_m}$; I [m/m] : Pente longitudinale de l'ouvrage.

IV.3.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux

Les dimensions sélectionnées pour les ouvrages sont celles qui satisfont aux deux critères suivants : $Q_{100} < Q_{ps}$ avec :

Q_{100} : débit d'apport (de projet Q_{max}).

Q_{ps} : le débit de saturation de l'ouvrage

IV.3.2.1. Les conditions d'auto-curage

L'auto-curage correspond à la capacité intrinsèque d'un réseau d'assainissement à assurer le transport des particules solides qu'il véhicule. Un bon auto-curage implique donc que la force d'entraînement de l'écoulement soit suffisante pour éviter la décantation et l'accumulation des matières solides au sein du réseau.

Les conditions à respecter sont les suivantes :

$$\Rightarrow V > 0.6 \text{ m/s pour : } Q = 0.1 Q_{ps}.$$

$$\Rightarrow V > 0.3 \text{ m/s pour : } Q = 0.01 \text{ Qps.}$$

$$\Rightarrow V_{ps} < 4 \text{ m/s.}$$

IV.3.2.2. Les buses :

$$\text{On a : } Q_{ps} = K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

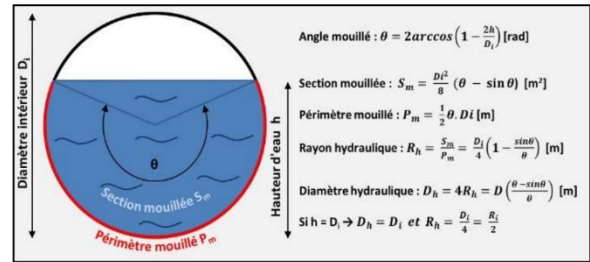


Figure IV-6 : : schéma d'une buse.

$$\text{D'où : } \frac{S_m}{P_m} = \frac{D}{4} \text{ et } S_m = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Dans le dimensionnement des buses, la méthode de Manning–Strickler sert principalement à vérifier ou déterminer le diamètre nécessaire pour évacuer un débit donné, en régime d'écoulement à surface libre.

N.B : Il est bien important de noter que le taux de remplissage des buses doit être <80%.

IV.3.2.2.1. Exemple de calcul : Dans le bassin versant N°07

Pour $K_s = 70$ et $I = 0.01$ et $Q_{100} = 1.09 \text{ m}^3/\text{s}$, On a : $Q_{ps} = Q_{100}$ ce qui implique : $D = 2.38 \left(\frac{Q_{100}}{K_s \times \sqrt{I} \times \pi} \right)^{\frac{3}{8}}$ Avec : $R_h = \frac{D}{4}$ et $S_m = \frac{\pi D^2}{4}$

Alors : $D = 0.770\text{m}$ donc : $D = 1500\text{mm}$

$$\Rightarrow \text{Débit à section pleine : } Q_{ps} = K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 6.43\text{m}^3/\text{s}$$

$$\Rightarrow \text{Vitesse à plein section : } V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 3.63\text{m/s.}$$

$$\Rightarrow \text{Rapport des débits : } R_q = \frac{Q_{\max}}{Q_{ps}} = 0.169 \text{ Après la projection sur l'abaque : } R_q = 0.169$$

donc : $R_v = 0.742$ et $R_h = 0.278$

$$\text{La vitesse d'écoulement : } V = R_v \times V_{ps} = 2.69\text{m/s}$$

$$\text{Hauteur de remplissage : } H = R_h \times D = 0.417\text{m}$$

Tableau IV-14 : Les conditions d'auto-curage de BV14 « buses »

Les conditions	Les vérifications	Rq	Rv	V « m³/s »
1	$1 < V < 4$	0.169	0.742	2.69
2	$Q = 0.1 Q_{ps} ; V > 0.6 \text{ m/s}$	0.1	0.64	2.32
3	$Q = 0.01 Q_{ps} ; V > 0.3 \text{ m/s}$	0.01	0.327	1.19

Les conditions d'auto-curage du BV N°14 sont vérifiées.

Tableau IV-15 : Calculs récapitulatifs des ouvrages busés de notre projet

N°BV	PK	Q_{100} « m³/s »	Pente « m/m »	Ks	D « mm »	D _{adopté} « mm »	Qps « m³/s »	Rq	Rv	Vps	V	Rh	H « m »
07	48+125	1.09	0.01	70	770	1500	6.43	0.169	0.742	3.63	2.69	0.278	0.417
15	50+690	0.865	0.01	70	706	1500	6.43	0.134	0.696	3.63	2.52	0.247	0.371
16	50+762	1.46	0.01	70	806	1500	6.43	0.227	0.807	3.63	2.92	0.324	0.486
18	53+235	1.46	0.01	70	806	1500	6.43	0.227	0.807	3.63	2.92	0.324	0.486
19	53+440	0.56	0.01	70	600	1500	6.43	0.087	0.617	3.63	2.24	0.201	0.302
20	53+875	0.3	0.01	70	475	1500	6.43	0.046	0.507	3.63	1.84	0.146	0.219
21	54+012	1.44	0.01	70	855	1500	6.43	0.223	0.804	3.63	2.92	0.321	0.482

Tableau IV-16 : Vérifications des conditions d'auto-curage de notre projet

n°BV	PK	D _{adopté} « mm »	Vps « m/s »	V « m/s »	H « m »	Les conditions			Vérification De H H<0.8D
						1/V<4m/s	2/Q ₁₀₀ <0.1QpsV>0.6m/s	3/Q ₁₀₀ <0.01QpsV>0.3m/s	
07	48+125	1500	3.63	2.69	0.417	2.96<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.417<1.2
15	50+690	1500	3.63	2.52	0.371	2.52<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.371<1.2
16	50+762	1500	3.63	2.92	0.486	2.92<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.486<1.2
18	53+235	1500	3.63	2.92	0.486	2.92<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.486<1.2
19	53+440	1500	3.63	2.24	0.302	2.24<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.302<1.2
20	53+875	1500	3.63	1.84	0.219	1.84<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.219<1.2
21	54+012	1500	3.63	2.92	0.482	2.92<4 m/s	2.32>0.6m/s	1.19>0.3m/s	0.482<1.2

IV.3.2.3. Les dalots :

Ce sont des ouvrages en béton armé, de section rectangulaire ou carrée, constitués d'un radier, de deux parois latérales et d'une dalle de couverture. Ils permettent d'évacuer des débits plus importants que les buses et sont caractérisés par leur largeur (B) et leur hauteur (H).

Le dimensionnement consiste à déterminer la section et la hauteur d'eau utile du dalot, en considérant un taux de remplissage égal à 0,75 H. Cette approche s'appuie sur l'équation de Manning-Strickler et vise à assurer un équilibre entre le débit entrant et la capacité d'écoulement de l'ouvrage afin d'éviter sa saturation.

Prédimensionnement :

$$QS = Q_{\max}$$

$$Sm = b \times h \text{ et } Pm = b + 2 \times h$$

$$Rh = \frac{b \times h}{b + 2 \times h}$$

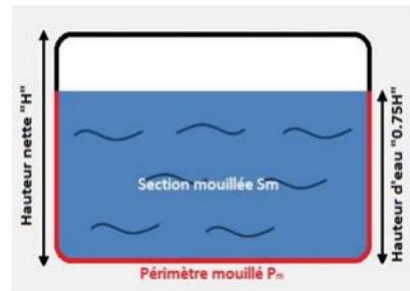


Figure IV-7 :schéma d'un dalot.

L'évaluation est effectuée par itérations, pour un taux de remplissage $H = 0.75 h$:

$$Sm = b \times 0.75h \quad Pm = b + 1.5h$$

$$Rh = \frac{b \times 0.75h}{b + 1.5h}$$

$$Q_{\max} = Ks \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 70 \times 0.75 \times H \times B \times \left(\frac{0.75BH}{B+1.5H} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

$$H_{i+1} = \left(\frac{Q_{\max}}{Ks \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{(B+1.5H)^{\frac{2}{5}}}{0.75B} \text{ avec : } H_0 = \left(\frac{Q_{\max}}{Ks \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}}$$

Le critère d'arrêt $H_{i+1} - H_i < 10^{-3}$

IV.3.2.3.1. Exemple de calcul :

Dans le bassin versant N°10 :

Pour $Ks = 70$ et $I = 0.031$ et $Q_{\max} = 45.8 \text{ m}^3/\text{s}$; on prend $B = 2 \text{ m}$

$$\text{On a } H_0 = \left(\frac{Q_{\max}}{Ks \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}} = 2.19 \text{ m}$$

et $H_{i+1} = \left(\frac{Q_{\max}}{Ks \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{(B+1.5H)^{\frac{2}{5}}}{0.75B} = 2.854 \text{ m}$ Donc : $H_{i+1} - H_i = 0.664 \text{ m}$; on nécessite une deuxième itération. On obtient : H

Donc : on prend $H = 3.5 \text{ m}$

$$\text{Débit à section pleine : } Q_{ps} = Ks \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 52.17 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Rapport des débits : } Rq = \frac{Q_{\max}}{Q_{ps}} = 0.877$$

Après la projection sur l'abaque :

$R_q = 0.877$ donc : $R_v = 1.126$ et $R_h = 0.727$

Vitesse à plein section : $V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 9.93 \text{ m/s}$

La vitesse d'écoulement : $V = R_v \times V_{ps} = 11.18 \text{ m/s}$

IV.3.2.3.2. Condition de régime fluvial:

Sa formule est de forme : $H_c = \sqrt[3]{\frac{Q}{gB^2}} < 0.75H$ avec :

$Q = K_s \times S_m \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = 52.17 \text{ m}^3/\text{s}$

$g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$

B : Largeur de Dalot = 2m

$H_c = 1.1 \text{ m} < 0.75 \times 3.5 = 2.62$ Vérifié

Tableau IV-17 : Les conditions d'auto-curage de BV03 « Dalot »

Les conditions	Les vérifications	R_q	R_v	$V \ll \text{m}^3/\text{s} \gg$
1	$V > 1 \text{ m/s}$	0.779	1.126	11.18
2	$Q = 0.1 Q_{ps} ; V > 0.6 \text{ m/s}$	0.1	0.64	6.35
3	$Q = 0.01 Q_{ps} ; V > 0.3 \text{ m/s}$	0.01	0.327	3.25

Tableau IV-18 : Calculs récapitulatifs des ouvrages dalots de notre projet

N°BV	PK	Q_{100} « m³/s »	Pente « m/m »	K_s	Dalot			Q_{ps} « m³/s »	V_{ps} « m/s »	R_q	R_v	V « m/s »
					n	B « m »	H « m »					
08	48+212	5.01	0.01	70	1	2	1	5.97	3.98	0.839	1.121	4.46
09	48+365	5.58	0.01	70	1	2	1	5.97	3.98	0.934	1.136	4.52
10	48+837	4.89	0.01	70	1	2	1	5.97	3.98	0.819	1.116	4.44
11	49+345	45.8	0.031	70	4	2	1.5	72.56	8.06	0.631	1.056	8.51
17	53+073	5.38	0.01	70	1	2	1	5.97	3.98	0.901	1.130	4.50

Tableau IV-19 : Vérifications des conditions d'auto-curage de notre projet« Dalots »

n°BV	PK	Qps « m³/s »	Vps « m/s »	V « m/s »	Hc	Les conditions			Vérification De Hc Hc<0.75H
						1/V>1m/s	2/Q ₁₀₀ <0.1 Qps V>0.6m/s	3/Q ₁₀₀ <0.01Q psV>0.3m/s	
08	48+212	5.01	3.98	4.46	0.503	4.46>1m/s	2.54	1.3	0.503<0.75
09	48+365	5.58	3.98	4.52	0.521	4.52>1m/s	2.54	1.3	0.521<0.75
11	49+345	4.89	3.98	4.44	0.50	4.44>1m/s	2.54	1.3	0.50<0.75
10	48+920	72.56	8.06	8.51	1.1	8.26>1m/s	5.15	2.63	1.1<1.125
17	53+073	5.38	3.98	4.50	0.515	4.50>1m/s	2.54	1.3	0.515<0.75

IV.3.3. Dimensionnement des fossés

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

$$Q_s = K_s \times S_m \times R h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

Où :

- La surface mouillée : $S_m = (b+z h) \cdot h$
- Le périmètre mouillé : $P_m = b+2h(1+z^2)^{0.5}$
- Le rayon hydraulique : $Rh = \frac{S_m}{P_m}$
- 1 pente longitudinale de fossé.
- z la pente des bermes.

Les hypothèses suivantes ont été posées pour la conception

Les fossés en béton (préfabriqués ou coulés sur place) ont un coefficient de rugosité Strickler $K_s = 70$. La pente longitudinale des fossés en zone de déblai est la même que celle du profil en long de la voie.

Les fossés sont construits selon une forme trapézoïdale avec un talus présentant une pente de 3/2 (H/V). Le débit à évacuer est la somme des trois débits provenant de la plate-forme, des bermes et des talus : $Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t$. Les débits sont calculés dans le scénario

le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai s'étendant sur une grande longueur et avec une hauteur importante. Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$Q = 0.278 \times C \times I \times A$ avec :

Q = Débit de crue de fréquence déterminée en m^3/s

C = coefficient de ruissellement ;

I = Intensité de pluie (mm/h) : A = Surface du bassin versant en km^2 considérer : (la plateforme ; les bermes ; les talus).

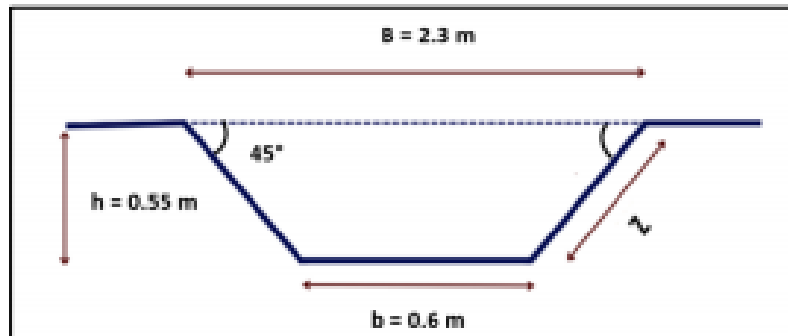


Figure IV-8 : Le faussée trapézoïdal

IV.3.3.1. Application sur notre projet :

IV.3.3.1.1. Cas de remblai :

Dans le cas le plus défavorable :

Longueur = 1290 m

Htalus = 14.2 m

Berme = 0.5 m

Largeur de la plateforme = 6.8 m

I = Intensité de pluie (mm/h) (100 ans ; $a=33.2$, $b=-0.62$)

IV.3.3.1.2. Cas de déblai :

Dans le cas le plus défavorable :

Longueur = 1180 m

Htalus = 11.8 m

Berme = 0.5 m

Largeur de la plateforme = 6.8 m

I = Intensité de pluie (mm/h) (100 ans ; $a=33.2$, $b=-0.62$)

Tableau IV-20 : Débit de Plateforme

Plateforme						
Cas	Cr	Pente « m/m »	A « Km ² »	Tc « h »	I « mm/h »	Qpf « m ³ /s »
Remblai	0.7	0.04	0.00877	0.059	191.95	0.327
Déblai	0.7	0.04	0.00802	0.056	198.27	0.309

Tableau IV-21 : : Débit de berme

Berme						
Cas	Cr	Pente « m/m »	A « Km ² »	Tc « h »	I « mm/h »	Qpf « m ³ /s »
Remblai	0.5	0.04	0.000645	0.016	431.1	0.0386
Déblai	0.5	0.04	0.00059	0.015	448.7	0.0367

Tableau IV-22 : Débit de talus

Talus						
Cas	Cr	Pente « m/m »	A « Km ² »	Tc « h »	I « mm/h »	Qpf « m ³ /s »
Remblai	0.5	0.67	0.013	0.018	400.8	0.723
Déblai	0.5	0.67	0.0095	0.015	448.7	0.592

Débit totale : $Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t$

Tableau IV-23 : Débit totale de remblais et déblais

Débit de remblai « m ³ /s »	1.088
Débit de déblai « m ³ /s »	0.937

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante : $Q_a < Q_s$ avec : Q_a : le débit maximal entre remblai et déblai = 1.088 m³/s

IV.3.3.2. Dimensionnement du fossé proposé :

Tableau IV-24 : Dimensionnement du fossé proposé

B « m »	H « m »	Z « m »	Ks	Sm « m ² »	Pm « m »	Rh	I « m/m »	Qs « m ³ /s »
0.5	0.5	0.9	70	0.475	1.845	0.257	0.01	1.34

On a : $1.088 \text{ m}^3/\text{s} < 1.34 \text{ m}^3/\text{s}$

Donc : les types des fossés adoptés pour notre projet sont (nous prenons un fossé de : $h=0.5\text{m}$, $b=0.5\text{m}$, pente= $3H/2V$).

IV.4. Conclusion

L'étude hydrologique et hydraulique réalisée a permis de déterminer les caractéristiques du bassin versant ainsi que les débits de projet associés aux différentes périodes de retour. L'analyse hydrologique a mis en évidence les conditions de formation des écoulements et l'importance des paramètres climatiques et morphologiques dans la génération des crues.

Sur le plan hydraulique, le dimensionnement des ouvrages, notamment les fossés et les sections d'écoulement, a été effectué de manière à garantir une évacuation efficace des eaux pluviales. Les vérifications réalisées montrent que les sections retenues permettent d'assurer un écoulement en régime stable, sans débordement, tout en limitant les vitesses pour éviter les phénomènes d'érosion.

En conclusion, les solutions proposées répondent aux exigences de sécurité hydraulique et de durabilité, tout en s'adaptant aux contraintes du site. Elles contribuent ainsi à une gestion optimale des eaux pluviales et à la réduction des risques d'inondation.

CHAPITRE V

ÉTUDE GEOLOGIQUE ET
GEOTECHNIQUE

V. ÉTUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

V.1. Introduction

L'étude géologique et géotechnique joue un rôle fondamental dans la préparation et la mise en œuvre des projets d'ingénierie et de construction. Elle consiste à examiner les propriétés des sols et des roches afin de proposer des solutions fiables et sécurisées.

La géologie permet d'anticiper les risques naturels, tels que les séismes, tandis que la géotechnique s'intéresse à la stabilité des fondations ainsi qu'aux ouvrages souterrains. En associant ces deux domaines, il devient possible de concevoir des solutions adaptées, assurant la durabilité et la solidité des infrastructures réalisées.

V.2. Étude géologique

L'étude géologique des structures souterraines s'attache à examiner en détail les formations locales afin de mieux comprendre les caractéristiques du sous-sol. Elle analyse notamment la nature des roches, leur organisation ainsi que leur évolution au fil du temps, dans le but d'identifier et d'anticiper les risques géologiques pouvant affecter les phases de conception, de construction et d'exploitation d'un réseau ferroviaire.

Par ailleurs, cette étude vise également à limiter les impacts environnementaux en proposant des mesures d'atténuation adaptées. Elle permet en outre de distinguer les zones contenant des matériaux réutilisables de celles présentant une qualité moindre, contribuant ainsi à une gestion plus efficace et durable des ressources tout au long du projet.

V.2.1. Aperçue géologique local

La région de M'Daourouch-Dréa fait partie des hautes plaines du Nord-est Algérien et constitue le synclinale de Montesquieu au Sud-ouest de la wilaya de Souk-Ahras. Cette région s'étend sur une superficie de 96 km², avec une population dépassant 40000 habitants (statistique 2008). Du point de vue géologique, la région d'étude s'étend du Trias au Quaternaire. Ils sont présentés par les formations sédimentaires suivantes : marnes, argiles, graviers, limons et calcaires. L'interprétation des données géologiques nous ont permis d'identifier deux types d'aquifères : Le premier aquifère est détritique, constitué par des formations plus récentes de galets, graviers et sables, d'âge Mio-Plio-Quaternaire. Le deuxième aquifère est karstique, localisé dans les calcaires fissurés d'âge Crétacé supérieur. L'étude hydro-chimique indique que le chimisme des eaux souterraines est contrôlé par la dissolution des minéraux des formations évaporitiques et carbonatées, par conséquent la qualité des eaux souterraines est liée à la lithologie des formations qui constituent la région de M'Daourouch-Dréa.

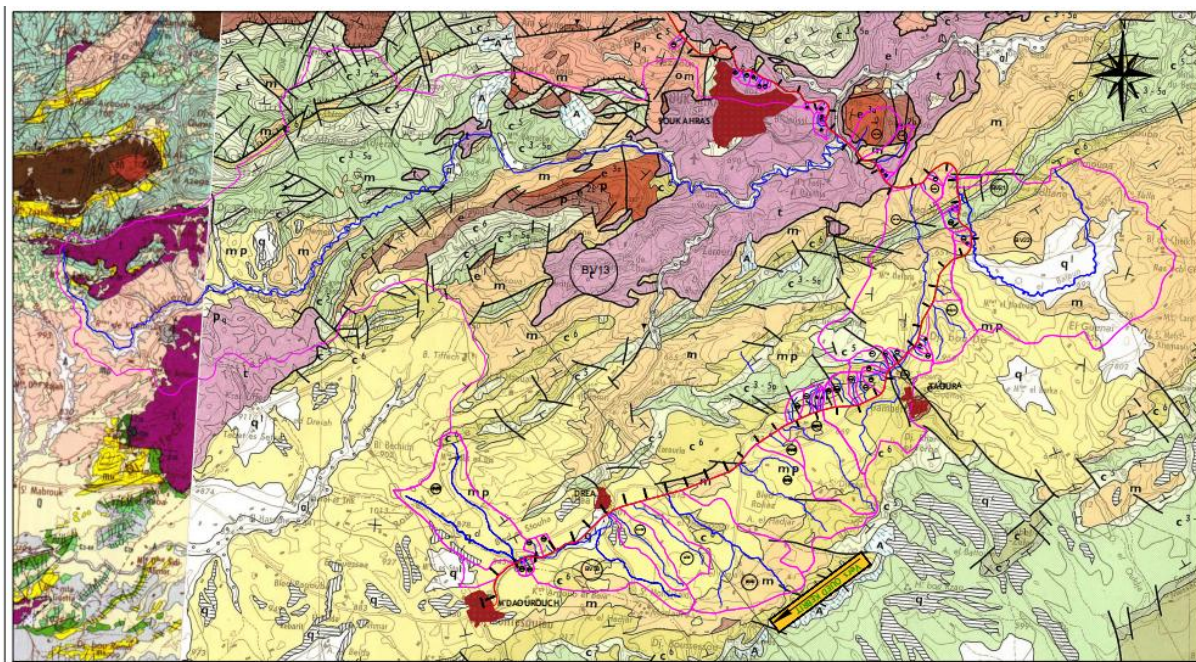


Figure V-1 : Carte géologique de la zone Dréa-M'daourouch

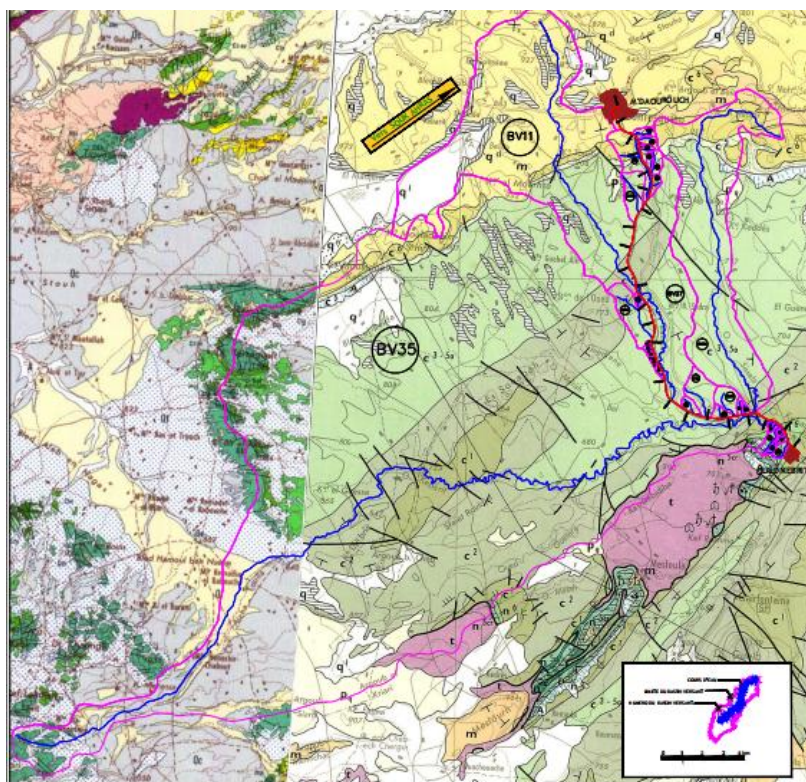


Figure V-2 : Carte géologique de la zone M'daourouch-Oued kebrit

V.2.2. Aperçue sismique

La région de M'daourouch s'inscrit dans le contexte tectonique du nord-est de l'Algérie, influencé par la convergence entre la plaque africaine et la plaque eurasiennne, à l'origine d'une activité sismique notable. Cette activité est plus marquée dans les zones telliennes proches, où la tectonique alpine reste active, contrairement aux régions sahariennes plus stables. Bien que M'daourouch ne fasse pas partie des zones les plus exposées du pays, les séismes historiques survenus dans le nord algérien, comme ceux de Chlef (1980) et de Boumerdès (2003), témoignent du caractère sismiquement actif de l'ensemble de cette marge.

V.2.2.1. Niveau de sismicité

Selon les règles parasismiques algériennes (RPA) :

- La wilaya de Souk Ahras (et régions voisines comme Guelma/Constantine) appartient généralement à : Zone III (sismicité moyenne)

Interprétation:

- Zone III = aléa sismique moyen
- Accélérations du sol modérées
- Risque réel mais inférieur aux zones côtières.

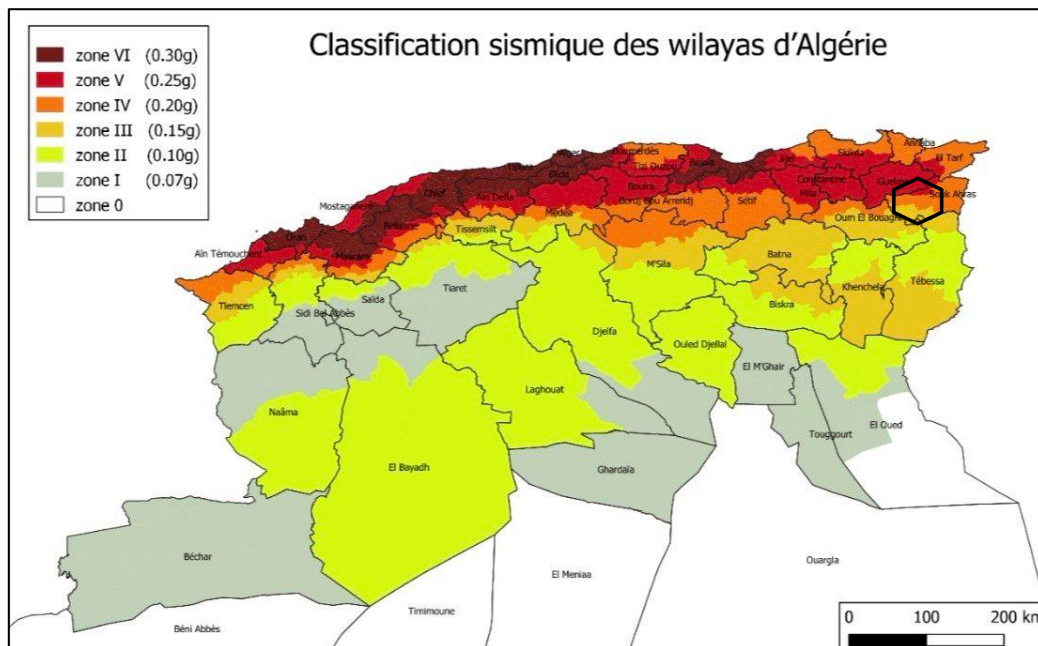


Figure V-3 : Carte de classification des zones sismique en Algérie « zone de M'daourouch »

Tableau V-1 : Caractéristiques des zones sismiques

Zone de sismicité	Niveau de sismicité	A	Mw
0	Très faible		
I	Faible	0.07	4.5
II	Faible à moyenne	0.1	5
III	Moyenne	0.15	5.5
IV	Moyenne à élevée	0.2	6
V	Elevée	0.25	7
VI	Elevée	0.30	8.5

V.2.3. Contexte géologique de notre tronçon

Dans notre tronçon d'étude, qui traverse les villes de Dréa, M'daourouch et continue à Oued Kebrit, les études géologiques réalisées dans la région par différents auteurs (Villa, 1981) nous ont permis d'identifier la lithologie de l'aquifère du Maastrichtien, en complément des diagraphies de plusieurs forages mécaniques effectués dans la plaine de M'Daourouch–Dréa, afin de répondre aux besoins de la région en eau potable et en irrigation. Les données issues de ces forages ont été utilisées pour établir une corrélation litho stratigraphique permettant de mettre en évidence la géométrie et l'extension des calcaires aquifères sous la couverture détritique plus récente.

Le secteur de Souk Ahras se situe dans une zone de transition entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. La région de M'Daourouch appartient aux monts méridionaux de Souk Ahras. Elle est localisée entre deux grands oueds : l'Oued Medjerda au nord et l'Oued Mellegue au sud, et fait partie des hautes plaines du Nord-Est algérien, situées au sud-ouest de la wilaya de Souk Ahras. L'orographie est constituée par un système montagneux relevant de l'Atlas saharien.

L'observation de la carte géologique extraite de la feuille géologique de M'Daourouch n°100 à l'échelle 1/50 000 (Fig. n°2) montre que la série des formations affleurantes dans la région de M'Daourouch est plus ou moins continue, allant du Trias, formation la plus ancienne, jusqu'au Quaternaire, correspondant aux terrains les plus récents de l'échelle stratigraphique.

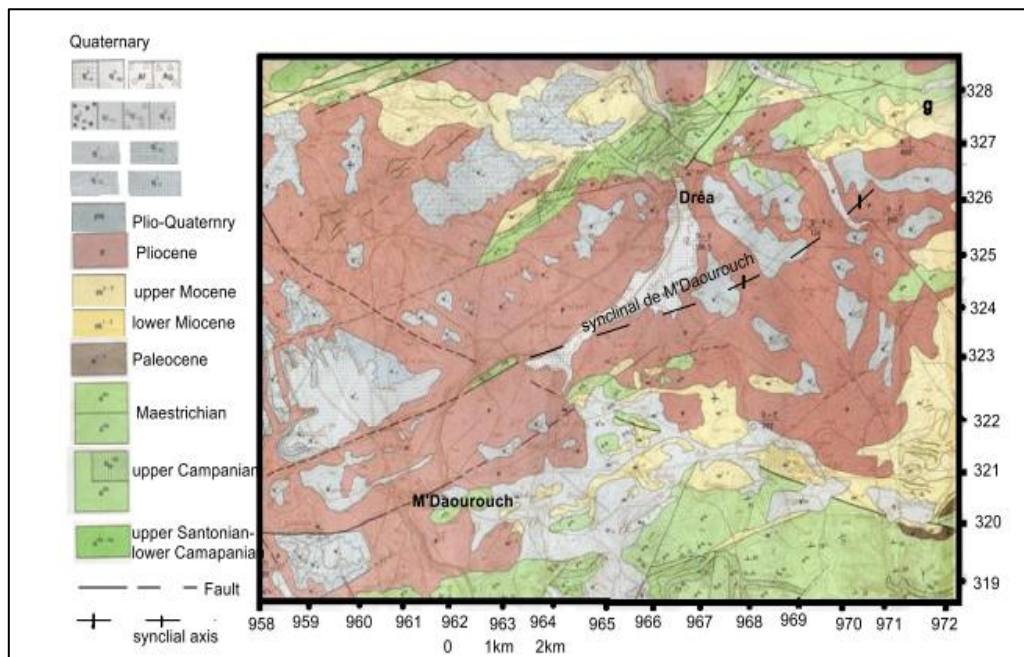


Figure V-4 : Carte géologique de la zone d'étude

Tableau V-2 : Synthèse de la litho stratigraphie du secteur de M'Daourouch

Âge	Lithologie dominante
Quartenaire	Alluvions, terrasses
Moi-Pliocène continentale	Argiles rouges, sable et conglomérats
Miocène supérieur	Argile et argile sableuse
Miocène inférieur	Argile sableuse, argile et calcaires lacustres
Oligocène	Argile rouges et argile sableuse
Éocène moyen	Marne et calcaire
Éocène inférieur	Marne et calcaire
Crétacé supérieur	Calcaire et marne
Crétacé moyen et inférieur	Marne et calcaire marneux
Trias	Marne, gypse, calcaire et dolomie

V.3. Étude géotechnique

L'étude géotechnique a pour but d'examiner de manière approfondie les caractéristiques mécaniques et géologiques du sol afin d'orienter efficacement la conception et la réalisation des ouvrages. Elle repose sur un ensemble d'investigations comprenant la reconnaissance du terrain, l'identification des différentes couches de sol ainsi que l'évaluation de leurs propriétés physiques et mécaniques.

Ces analyses sont complétées par des essais réalisés en laboratoire (comme la détermination de la granulométrie, des limites d'Atterberg ou de la résistance mécanique) et des essais in situ (pénétration, pressiomètre, etc.) permettant d'obtenir des données fiables sur le comportement du sol en conditions réelles.

L'ensemble de ces résultats permet d'établir des recommandations techniques adaptées, notamment en ce qui concerne le type de fondations, les méthodes de construction et les éventuels traitements du sol. L'objectif final est de garantir la stabilité, la sécurité et la durabilité des ouvrages tout en tenant compte des contraintes du site.

V.3.1. Campagne d'investigation géotechnique

La campagne de reconnaissance géotechnique menée dans la zone d'étude objet a comporté l'exécution des sondages et essais in-situ suivants :

⇒ Réalisé par LNHC : de PK 46+000 au PK 58+000

- ✚ 8 sondages caroté
- ✚ 9 puits de reconnaissance
- ✚ 13 pénétromètre dynamique lourds
- ✚ 2 sondages pressiométriques
- ✚ 2 sondages piézométriques
- ✚ Réalisé par SETIRAIL : de PK 46+000 au PK 58+000
- ✚ 2 sondages caroté
- ✚ 2 sondages pressiométriques

Tableau V-3 : Les essais réalisés par LNHC

Essai		PK	X « m »	Y « m »
Sondage caroté	SC02	51+275	394738.82	3994422.15
	SC03	52+200	395202.63	3993646.69
	SC04	52+475	395364.98	3993447.50
	SC09	53+000	395696.34	3993040.90
	SC10	53+700	396106.67	3992474.86
	SC11	54+225	395821.91	3992084.00
	SC12	54+800	395313.39	3991808.06
	SC05	55+275	394987.06	3991566.92
Puits de reconnaissance	PUIT0001	51+275	394735.97	3994442.81
	PUIT0002	52+925	395648.80	3993101.73
	PUIT0003	53+725	396107.90	3992474.00
	PUIT0004	54+225	395825.42	3992098.48
	PUIT0005	54+800	395249.65	3991787.10
	PUIT0006	55+500	394969.57	3991293.43
	PUIT001	55+575	394925.55	3991323.75
	PUIT002	56+450	395138.07	3990478.66
	PUIT003	57+350	395575.89	3989741.67
Pénétromètre Dynamique Lourds	PDL002	46+020	399121.66	3996835.26
	PDL003	46+925	398467.38	3996219.73
	PDL004	47+625	397829.14	1775755.61
	PDL005	47+925	397578.80	1775526.24
	PDL006	48+175	397367.36	1775710.45
	PDL007	48+775	396898.00	1775467.11

	PDL008	49+725	395908.66	1775110.71
	PDL009	49+975	395669.65	1775211.10
	PDL010	50+985	394945.18	1774747.21
	PDL011	56+800	395293.06	1770161.06
	PDL012	57+012	395407.71	1770002.41
	PDL013	57+575	395636.63	3989502.52
	PDL014	57+975	395658.50	1757117.67
Sondages pressiométriques	SP 01	49+145	/	/
	SP02	52+200	395192.78	3993649.15

Tableau V-4 : Les essais réalisés par SETIRAIL

Essai		PK	X « m »	Y « m »
Sondage caroté	F-59-B-OK	48+933	396465	3995401
	F-60-B-OK	55+186	394196	3993040
Sondages pressiométriques	SP-42-B-OK	48+933	414127	4010040
	SP-43-B-OK	52+792	396862	3997590

V.3.2. Lithologie de la zone d'étude

Conformément aux résultats de la campagne géotechnique réalisée dans la zone d'étude, les principales formations géologiques traversées par le tracé sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-5 : Coupes lithologiques des sondages carottés réalisés par LNHC

Sondage	Profondeur	Lithologie
SC02	00.00 – 00.40m	Argile rougeâtre sableuse avec des inclusions blanchâtres.
	00.40– 01.20 m	Argile sombre limoneuse avec des inclusions blanchâtres.

	01.20 – 04.00 m	Blocs et galets
	04.00 – 11.00m	Argile verdâtre à grisâtre plastique
SC03	00.00 – 00.30m	Terre végétale.
	00.30– 06.00 m	Argile limoneuse brunâtre.
	06.00 – 09.00 m	Argile limoneuse brune à rougeâtre.
	09.00 – 15.00m	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroustement calcaire.
SC04	00.00 – 00.40m	Terre végétale.
	00.40– 04.00 m	Argile limoneuse brunâtre.
	04.00 – 12.50 m	Argile limoneuse brune à rougeâtre.
	12.50 – 20.00m	Marne beige jaunâtre compacté.
SC09	00.00 – 00.15m	Terre végétale.
	00.15– 01.60 m	Argile limoneuse jaunâtre.
	01.60 – 06.00 m	Argile brune peu plastique.
	06..00 – 10.00m	Argile limoneuse peu plastique à marron.
SC10	00.00 – 00.10m	Terre végétale.
	00.10– 01.50 m	Argile sableuse rougeâtre avec des inclusions blanchâtres friable.
	01.50 – 10.00m	Calcaire beige à rougeâtre.
SC11	00.00 – 15.0m	Blocs de calcaire à matrice sableux argilo.

SC12	00.00 – 00.10m	Terre végétale.
	00.10– 01.50 m	Tuf avec encroustement calcaire.
	01.50 – 13.00 m	Argile sableuse peu graveleuse rougeâtre avec un passage bloc et galets 7.00-7.70.
	13.00 – 15.00m	Argile tufacée peu graveleuse à jaunâtre.
SC05	00.00 – 01.20m	Terre végétale.
	01.20– 04.00 m	Tuf avec encroustement calcaire.
	04.00 – 05.20 m	Argile marneuse brune à rougeâtre avec des inclusions grisâtres.
	05.20 – 12.00m	Blocs et galets à matrice sable argileux.

Tableau V-6 : Coupes lithologiques des sondages carottés réalisés par SETIRAIL

Sondage	Profondeur	Lithologie
F-59-B-OK	00.00 – 05.00m	Sable avec blocs de grès
	05.00– 17.50 m	Argile sablo graveleuse
	17.50 – 20.00m	Sable argileux graveleux
F-60-B-OK	00.00 – 06.50m	Blocs de marne compacte
	06.50– 15.00 m	Marne compacte

V.3.3. Reconnaissance 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 :

Tableau V-7 : Type d'essais de laboratoire réalisés

Type D'essai	Norme
Densités sol et roche	NF P94-053/ NF P94-064
Teneur en eau naturelle	NF P94-050
Analyse granulométrique moyenne	NF P94-041
Analyse sédimentométrique	NF P94-057
Limite d'Atterberg	NF P94-051
Essai (VBS) valeur de bleu méthylène	NF P94-068
Proctor normal et modifié	NF P94-093
Portance CBR (3 énergies)	NF P94-078
Essai de cisaillement rectiligne UU	Mode opératoire MS-L3- LCPC
Essai de cisaillement rectiligne CD	NF P94-071-1
Essai œdométrique	NF P94-090-1
Essai de compression uni axial (sol et roche)	NF P94-077 / NF P94-420
Matières organiques	NF P 94-055, P 94-058 et XP P 94-047
Teneur en sulfates	NF ISO 11048
Teneur en carbonate	NF P94-048
Teneur en chlorures	NF EN 196-2



Figure V-5 : Sondage carotté SC-03 PK52+200 0.00-5.00m

Tableau V-8 : Synthèse des résultats géotechniques sur les sondages carottés

PK	N° Sondage	Profondeur	Caractéristiques physiques				Analyse granulométrique			Limites d'Atterberg			Cisaillement UU à la boîte		Cisaillement CD à la boîte		Essai œdométrique			Classification GTR et UIC	
			W (%)	γd (t/m3)	γh (t/m3)	Sr (%)	<2mm (%)	<80μ (%)	<2μ (%)	WL (%)	WP (%)	Ip (%)	C (bar)	φ	C' (bar)	φ'	Pc (bar)	Cc (%)	Cg (%)	GTR	UIC
48+933	F-59-B-OK	00.00 – 05.00m	11.2	1.84	2.05	65.4	45	10.94	9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	D3	QS3
		05.00– 17.50 m	20.98	1.64	1.96	83.45	100	94.45	69.4 5	45.79	24.04	21.75	/	/	0.4	25.75	3.31	15.48	3.65	A2	QS1
		17.50 – 20.00m	20.98	1.64	1.96	83.45	100	85.45	65	37.32	18.42	18.9	/	/	0.19	31.44	1.07	14.45	2.33	A2	QS1
51+275	SC-02	2.70–3.00m	19.6	1.63	1.95	80.22	96.88	85.15	/	66	40	26	0.3	23.15	/	/	1.38	11.36	2.33	A3	QS1
		6.65– 7.00m	20.01	1.66	1.99	86.51	/	/	/	/	/	/	/	/	0.33	28	1.09	11.36	2.99	A3	QS1
52+200	SC-03	2.70–3.00m	22.42	1.59	1.94	86.51	100	95.4	/	66	42	24	0.46	21.7	/	/	1.54	3.98	2.66	A2	QS1
		6.65– 7.00m	22.4	1.62	1.98	90.93	/	/	/	/	/	/	/	/	0.43	21	1.07	3.41	2.99	A2	QS1
52+475	SC-04	04.75– 05.00 m	21.78	1.65	2.02	93.07	100	94.38		22	15	7	0.4	21.65	/	/	0.90	7.38	1.33	A1	QS1
		17.25 – 17.50 m	24.3	1.64	2.04	99.16	/	/	/	/	/	/	/	/	0.59	17	0.94	7.95	1.66	A1	QS1
53+000	SC-09	02.40– 02.60 m	24.23	1.57	1.95	90.29	99.58	96.94	/	68	41	27	/	/	0.42	23	1.10	9.65	1.66	A3	QS1
		04.30– 04.70 m	24.18	1.57	1.95	90.74	/	/	/	/	/	/	/	/	0.37	22	0.43	3.98	1.99	A3	QS1
		08.60–08.90m	12.81	2	2.26	99.63	/	/	/	/	/	/	/	/	0.34	29	1.23	10.22	1.66	A3	QS1
54+800	SC-12	05.70– 06.00 m	11.06	1.99	2.22	98.39	96.98	91.23	/	42	28	14	/	/	0.21	30	1.21	12.49	2.99	A2	QS1
		07.70 – 08.00 m	8.86	2.02	2.20	69.02	/	/	/	/	/	/	/	/	0.11	30	1.29	13.06	2.99	A2	QS1
55+186	F-60-B-OK	00.00 – 06.50m	11.2	1.84	2.05	65.4	8.2	3.87	/	33.56	17.01	16.55	/	/	/	/	/	/	/	D3	QS3
		06.50– 15.00 m	20.98	1.64	1.96	83.45	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	D3	QS3
55+275	SC-05	02.70– 02.90 m	17.25	1.70	2.01	82.01	100	96.7	/	/	/	/	0.27	25.9	/	/	1.26	15.90	1.66	A1	QS1
		04.10 – 04.60 m	14.18	1.83	2.09	80.80	/	/	/	26	15	11	/	/	0.18	30	/	/	/	A1	QS1

Tableau V-9 : Synthèse des résultats géotechniques sur les milieux rocheux

PK	N° Sondage	Profondeur	γ_h (t/m ³)	Charge à la rupture	R.C.S « Mpa »	R.T « Mpa »	Cisaillement		Classification	
							C (bar)	ϕ	GTR	UIC
53+700	SC-10	02.70- 03.00m	2.21	42	9.51	0.951	48.62	1.8	R2	QS2
		04.40- 04.60m	2.21	24	5.43	0.543	48.62	1.02	R2	QS2
54+225	SC-11	02.20- 02.40m	2.09	48	10.87	1.087	48.62	2.05	R2	QS2
		11.40- 11.70m	1.92	79	17.89	1.789	48.62	3.38	R2	QS2
		12.80- 13.00m	2.36	90	20.38	/	48.62	3.85	R3	QS2

Tableau V-10 : : Synthèse des résultats géotechniques sur les puits de reconnaissances

PK	N° Sondage	Profondeur	Analyse Granulométrique	Limites d'Atterberg			W (%)	Proctor		VBS	Classification	
			<80u (%)	WL (%)	WP (%)	IP (%)		gd (t/m ³)	Wopm		UIC	GTR
51+275	PUIT0001	0.40- 04.00m	58.13	29.56	20	09.56	13.91	1.69	20.4	0.65	QS1	A1ts
52+925	PUIT0002	0.40- 04.00m	81.64	41.78	26.67	15.11	12.42	1.73	17.8	0.32	QS1	A1ts
53+725	PUIT0003	0.40- 01.50m	92.58	45.33	26.30	19.03	16.55	1.78	16.2	0.89	QS1	A1ts
54+225	PUIT0004	0.40- 04.00m	93.57	56.61	33.08	23.53	19.26	1.69	20.3	1.2	QS1	A1ts
54+800	PUIT0005	0.20- 04.00m	72.93	52.17	38.56	13.62	15.07	1.64	20.25	0.52	QS1	A1ts
55+500	PUIT0006	0.30- 04.00m	66.66	49.45	32.16	17.29	14.76	1.7	19.2	0.74	QS1	A1ts
55+575	PUIT001	0.40- 04.00m	66.76	53.89	32.23	21.66	13.48	1.77	20.45	0.73	QS1	A1ts
56+450	PUIT002	0.40- 04.00m	66.67	53.80	34.77	19.03	10.67	1.70	19.25	0.55	QS1	A1ts
57+350	PUIT003	0.40- 04.00m	64.98	53.05	36.47	16.58	14.98	1.69	20.35	1.72	QS1	A1ts

Tableau V-11 : L'analyse chimique sur les échantillons prélevés intacts et remaniés

Sondage	Pk	Profond (m)	Sulfates % So4 - -	Carbonates % CaCo3	Chlorures % Cl -	Agressivité
SC01	45+050	2.00	121.50	28.17	0.14	Nulle de classe $\leq XA1$
SC02	51+275	2.00	121.25	32.93	0.14	Nulle de classe $\leq XA1$
SC03	52+200	2.00	124.50	27.38	0.18	Nulle de classe $\leq XA1$
SC04	52+475	2.00	122.25	28.96	0.14	Nulle de classe $\leq XA1$
SC-09	53+000	2.00	121.30	28.81	0.14	Nulle de classe $\leq XA1$
SC10	53+700	2.00	120.23	74.15	0.18	Nulle de classe $\leq XA1$
SC11	54+225	2.00	121.01	62.86	0.18	Nulle de classe $\leq XA1$
SC-12	54+800	2.00	121.14	4.36	0.18	Nulle de classe $\leq XA1$
SC05	55+275	2.00	122.42	26.58	0.18	Nulle de classe $\leq XA1$

V.3.4. Interprétation des résultats

D'après la classification GTR, les sols rencontrés dans la zone d'étude appartiennent majoritairement aux classes A1, A2 et A3, correspondant à des sols fins de nature argilo-limoneuse à limono-argileuse. L'analyse granulométrique met en évidence une forte proportion de particules fines, confirmant le caractère cohésif des matériaux.

Les caractéristiques physiques et les limites d'Atterberg (WL, WP, IP) indiquent une plasticité moyenne à élever, ce qui permet de classer ces sols comme des argiles plastiques sensibles aux variations hydriques. Cette nature les rend vulnérables aux phénomènes de retrait-gonflement et à une perte de portance en cas de saturation.

Du point de vue des caractéristiques mécaniques, les essais de cisaillement montrent des valeurs de cohésion et d'angle de frottement internes modérées, traduisant une résistance mécanique moyenne. Les essais œdométriques révèlent une compressibilité faible à modérée, localement significative, indiquant un risque de tassements sous chargement, surtout dans les horizons superficiels.

Les résultats des essais Proctor mettent en évidence des densités sèches maximales comprises globalement entre 1,6 et 1,8 t/m³, avec des teneurs en eau optimales de l'ordre de 17 à 20 %. Ces valeurs traduisent une aptitude au compactage acceptable, mais fortement dépendante des conditions d'humidité, nécessitant un contrôle rigoureux lors des travaux.

L'analyse chimique des sols indique des teneurs modérées en sulfates et en chlorures, avec une classification d'agressivité généralement faible (classe XA1). Cela signifie que les sols présentent une faible agressivité vis-à-vis des ouvrages en béton, sans risque chimique majeur.

Par ailleurs, la présence de matériaux rocheux classés R2 à R3 en profondeur traduit une amélioration des caractéristiques mécaniques avec la profondeur, offrant de meilleures conditions de fondation.

Enfin, la variabilité des classes géotechniques (QS1, QS2) le long du tracé met en évidence une hétérogénéité des sols, liée à la diversité des matériaux et aux conditions hydriques locales.

V.3.5. Localisation des zones à risques:

V.3.5.1. Zone inondable

Les zones les plus sensibles ont été identifiées notamment celles exposées à un risque accru de dommages lors des saisons de crue, et qui correspondent sensiblement au tronçon situé entre PK49+225 et PK49+325.

Cette zone présente un risque d'accumulation des eaux pouvant engendrer une saturation des sols, ainsi qu'une diminution de la portance, ce qui peut affecter la stabilité des remblais et des infrastructures.

V.3.5.2. Agressivité du sol :

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons de sol indiquent une faible teneur en éléments agressifs, notamment en sulfates et en chlorures, et confirment le caractère non organique des matériaux étudiés.

Au regard de ces résultats, le sol peut être classé comme faiblement agressif, correspondant à une classe d'exposition XA1 vis-à-vis du béton.

Par conséquent, aucun risque chimique significatif n'est à prévoir pour les ouvrages. Néanmoins, il est recommandé d'adopter des dispositions appropriées lors de la conception, notamment par le choix d'un béton adapté et le respect des prescriptions de durabilité.

V.3.5.3. Gites d'emprunts et carrières :

V.3.5.3.1. Gites d'emprunts :

Dans le tronçon ferroviaire compris entre le PK 46+000 et le PK 58+000, situé dans la région de M'Daourouch, une zone d'emprunt a été identifiée à proximité du tracé. Il s'agit du gîte référencé ZE04 (PU 45-BOK), localisé aux environs du PK 47+500.

Ce gîte présente des caractéristiques géotechniques globalement favorables, permettant son utilisation dans la réalisation des remblais conformément aux exigences du GTR. Sa position par rapport au tracé assure des conditions d'exploitation acceptables et contribue à limiter les distances de transport.

Ainsi, cette ressource locale constitue un apport important pour le projet, en garantissant la disponibilité de matériaux adaptés tout en optimisant les aspects techniques et économiques du chantier.

Tableau V-12 : Liste des Zones d'emprunts

Zone d'emprunts	PK	Distance du tracé (Km)	Nature des matériaux	<80u (%)	Classe UIC	Classe GTR	Utilisation
ZE04 (PU 45-BOK)	47+500	2,00	Grès fragmentable	13.13	QS2	R43	- Couche de fondation (usage optimal) - Couche de forme - Sous-ballast uniquement sous conditions strictes - À éviter en zones humides ou inondables

V.3.5.3.2. Carrières

Dans la zone de M'Daourouch, plusieurs carrières ont été identifiées à proximité du tracé afin d'assurer l'approvisionnement en matériaux nécessaires aux travaux ferroviaires.

Ces carrières, exploitées par des entreprises privées, produisent principalement des matériaux calcaires ainsi que du sable, adaptés à la réalisation des différentes couches de la plateforme ferroviaire et aux travaux en béton.

Leur proximité par rapport au tracé constitue un atout majeur, permettant de réduire les distances de transport, de faciliter l'organisation du chantier et d'optimiser les coûts.

Tableau V-13 : liste des carrières

Nom de la carrière	Localisation	Statue Juridique	Substance	Utilisation possible
Bendahmane extraction et vente agrégats EURL	M'daourouch	EURL privée	Calcaire	- Couche de fondation - Agrégats pour béton - Couche de sous-ballast - Couche de forme - Matériaux zone inondable

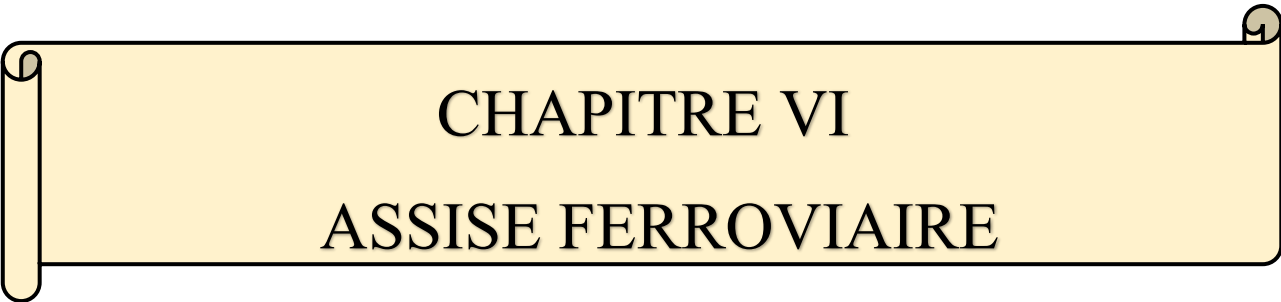
SARL Mohamed Boudiaf	M'daourouch	SARL privée	Calcaire	- Couche de fondation - Agrégats pour béton - Couche de sous-ballast - Couche de forme - Matériaux zone inondable
-----------------------------	--------------------	--------------------	-----------------	---

V.4. Conclusion

En résumé, l'étude géologique et géotechnique du tronçon ferroviaire de la ligne minière Est dans la zone de M'Daourouch a permis d'identifier la nature des terrains traversés et d'évaluer leur aptitude à supporter les infrastructures ferroviaires. Les investigations réalisées ont montré que les formations rencontrées présentent globalement de bonnes caractéristiques mécaniques, favorables à la mise en œuvre de la plateforme ferroviaire.

Les résultats des études géotechniques ont classé le sol dominant en type QS1, ce qui indique un terrain de bonne qualité géotechnique, présentant une portance satisfaisante et une stabilité adaptée aux travaux de terrassement et à la construction de la plateforme ferroviaire. Ce type de sol nécessite généralement des traitements limités, avec des interventions principalement orientées vers le compactage, le drainage et le contrôle des conditions hydriques afin d'assurer la durabilité de l'infrastructure.

Ainsi, la présence d'un sol de type QS1 constitue un avantage important pour le projet, en réduisant les risques liés aux tassements différentiels, aux instabilités et aux coûts supplémentaires de renforcement du sol support.

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has decorative curls at both the left and right ends.

CHAPITRE VI

ASSISE FERROVIAIRE

VI. ASSISE FERROVIAIRE

VI.1. Introduction

Dans une optique de pérennité du projet à long terme, l'étude du sol support constitue une étape fondamentale afin de garantir la stabilité de la structure. La compréhension du comportement du corps d'assise ferroviaire s'avère indispensable, compte tenu des sollicitations importantes liées aux charges des trains ainsi qu'aux hétérogénéités du terrain d'implantation.

Ce chapitre est consacré à l'analyse des principes de base et des paramètres essentiels intervenant dans le dimensionnement du corps d'assise ferroviaire. L'accent sera mis sur les facteurs déterminants influençant sa conception.

Dans un premier temps, nous présenterons les fonctions et les matériaux constitutifs du corps d'assise. Ensuite, les différentes approches de dimensionnement seront abordées afin d'assurer la stabilité et la performance de la structure. Enfin, une attention particulière sera portée aux normes et recommandations internationales, garantes de la durabilité et de la fiabilité des infrastructures ferroviaires.

VI.2. Différentes couches d'assises

La couche d'assise ferroviaire joue un rôle fondamental dans la répartition homogène des charges transmises par les trains, garantissant ainsi la stabilité de la voie. Elle contribue également à limiter les déformations, à assurer un drainage efficace et à maintenir le nivellement, ce qui participe directement à la sécurité et à la durabilité de l'infrastructure.

L'épaisseur ainsi que la nature des différentes couches d'assise sont déterminées en fonction de plusieurs paramètres, notamment :

- ⇒ Les caractéristiques de la plate-forme, en particulier la nature du sol et le contexte hydrogéologique ;
- ⇒ Les propriétés géotechniques des sols (composition, portance, sensibilité à l'eau et au gel)
- ⇒ Les conditions climatiques, notamment les régimes de précipitations ;
- ⇒ L'intensité du trafic ferroviaire ;
- ⇒ Les caractéristiques de la voie, telles que l'espacement et le type des traverses.

VI.2.1. Le ballast

Le ballast ferroviaire est composé de pierres concassées ou de graviers de différentes granulométries. Ces matériaux, de forme anguleuse et à arêtes vives, présentent un angle de frottement interne élevé et une cohésion quasi nulle ($C = 0$).

Ils sont choisis principalement pour leur aptitude à reprendre et à transmettre efficacement les charges des trains, tout en assurant la stabilité de la voie et le maintien de la géométrie de la structure ferroviaire.

Le ballast ferroviaire doit respecter les normes techniques de la SNTF et la norme NF P53-695 pour garantir sa qualité et sa conformité aux exigences des voies ferrées ; Ce qui implique que :

La taille des granulats doit être dans la plage spécifiée (25/50 mm) et respecter les limites établies dans la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast.

- ⇒ La résistance à la fragmentation Los Angeles doit être $\leq 19 \%$.
- ⇒ La résistance à l'usure Micro Deval soit de : $\leq 6 \%$.
- ⇒ La résistance à la compression (RC) doit être de : $\geq 1200 \text{ kg/cm}^2$
- ⇒ La forme angulaire et la rugosité des granulats assurent une adhérence solide entre eux
- ⇒ Garantissant ainsi la cohésion de la masse globale ballast travers).

VI.2.1.1. Rôles du ballast

Le ballast remplit plusieurs fonctions essentielles au sein de la voie ferrée :

- Il assure un drainage efficace des eaux, tout en supportant et en stabilisant les traverses de manière optimale.
- Il permet une répartition homogène des charges transmises par les trains, protégeant ainsi les couches inférieures de la voie contre les contraintes excessives.
- Grâce aux frottements entre ses éléments granulaires, il contribue à l'amortissement des vibrations, améliorant ainsi le confort de circulation et la sécurité des trains.
- Il joue également un rôle de barrière naturelle contre la végétation, limitant le développement des plantes sous la voie et les désordres associés.

Ainsi, le ballast constitue un élément fondamental pour garantir la stabilité, la durabilité et la sécurité de l'infrastructure ferroviaire.

VI.2.2. Sous couche

Il s'agit d'une couche intermédiaire située entre le ballast et la plateforme de la voie ferrée. Elle peut être constituée d'une seule couche ou de plusieurs couches superposées selon la qualité du sol support.

Son rôle principal est d'assurer le soutien du ballast et de garantir une meilleure répartition des charges vers la plateforme. Elle est généralement composée d'une couche de grave bien graduée (0/31,5 mm), jouant le rôle de fondation, notamment dans le cas de sols de mauvaise portance.

Dans certaines situations, une couche anti-contaminante en géotextile est également ajoutée afin d'assurer la séparation des matériaux et d'éviter la remontée des fines du sol vers le ballast.

VI.2.2.1. Rôles de sous-couche :

La sous-couche joue un rôle fondamental dans la stabilité et la durabilité de la voie ferrée. Ses principales fonctions sont les suivantes :

- ⇒ Elle protège l'intégrité de la plateforme ferroviaire en limitant les effets des mouvements du sol et de l'infiltration de l'eau.
- ⇒ Elle favorise un bon drainage des eaux pluviales, réduisant ainsi les risques d'humidité susceptibles d'affecter la stabilité de la voie.
- ⇒ Elle améliore la capacité portante de l'infrastructure en assurant une meilleure répartition des charges transmises par les trains vers la plateforme.
- ⇒ Elle contribue à la protection de la plateforme contre l'érosion ainsi que contre les déformations liées aux phénomènes de tassement ou de gonflement du sol.
- ⇒ Elle agit comme une couche de séparation empêchant la remontée des matériaux fins de la plateforme vers le ballast, ce qui limite sa contamination et prolonge la durée de vie de la voie.

VI.2.3. Couche anti-contaminante

La couche est de sable propre et si nécessaire nous pouvons ajouter un géotextile surtout pour les plateformes de qualité médiocre de type **PF1**

VI.2.4. La plate-forme :

La plateforme ferroviaire constitue la fondation de l'infrastructure de la voie ferrée, sur laquelle reposent l'ensemble des couches de la structure. Elle est généralement constituée soit de matériaux de remblai, dans le cas d'un ouvrage en remblai, soit du sol naturel en place lorsqu'il s'agit d'un déblai.

Elle représente ainsi l'assise de base qui assure la stabilité globale de la voie et conditionne le bon comportement des couches supérieures.

VI.2.4.1. Rôles de la plate-forme

La plateforme ferroviaire assure plusieurs fonctions essentielles, notamment :

- ⇒ L'évacuation des eaux de pluie et des eaux de surface vers les dispositifs d'assainissement.
- ⇒ L'atténuation des vibrations générées par le passage des trains.
- ⇒ Le rabattement et la gestion des eaux souterraines afin de limiter leur influence sur la stabilité de la voie.
- ⇒ La prévention de la remontée des fines (limons et argiles) du sol vers le ballast, évitant ainsi sa contamination.
- ⇒ Afin d'évaluer l'efficacité et la performance de la plateforme, plusieurs vérifications doivent être effectuées :
- ⇒ Contrôler sa stabilité en évaluant sa résistance aux différentes charges et sollicitations.
- ⇒ Analyser les caractéristiques géotechniques des sols constituant l'assise de la plateforme.
- ⇒ S'assurer de la conformité aux normes et réglementations en vigueur.

⇒ Veiller à ce que la plateforme ne se situe pas en permanence au-dessus du niveau de la nappe phréatique naturelle sans mesures de drainage appropriées. À cet effet, la mesure préalable du niveau de la nappe est indispensable avant tout éventuel rabattement.

VI.3. Classification des sols pour la plate-forme

La classification des sols a été établie à partir des résultats des essais géotechniques réalisés sur les sondages.

Les analyses montrent que les sols sont globalement fins à moyennement plastiques, avec des caractéristiques mécaniques indiquant une portance acceptable après traitement. Selon le GTR, les matériaux appartiennent principalement aux classes A1, A2 et A3, avec quelques niveaux ponctuels de classe D3.

D'après la classification UIC, les sols sont majoritairement de classe QS1, traduisant une aptitude globale à constituer la plate-forme. Les horizons de moindre qualité (QS3) restent localisés et nécessitent un traitement ou un remplacement.

Ainsi, la plate-forme est globalement classée QS1, sous réserve d'amélioration des couches superficielles les plus faibles.

VI.3.1. La classe de portance de la plate-forme

D'après les spécifications du code UIC 719 R (page 16), trois catégories de plateformes sont définies en fonction de leur capacité portante : P1 (qualité médiocre), P2 (qualité moyenne) et P3 (bonne qualité). Chaque catégorie se distingue par sa capacité à supporter les charges : la plateforme P1 est adaptée aux charges limitées, la P2 aux charges moyennes, tandis que la P3 est destinée aux charges importantes, grâce à l'utilisation de sols de meilleure qualité. Le tableau ci-dessous présente les classes de plateforme en fonction de la qualité du sol support :

Tableau VI-1 : La classe la portance de la plate-forme (Normes UIC 719 R)

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

VI.3.2. Plate-forme proposée

Après analyse de la classification des sols conformément aux recommandations de l'UIC, nous proposons l'adoption d'une plateforme de type P3, de bonne qualité. Afin d'en améliorer les performances sur un sol classé QS3, l'intégration d'une couche de forme dans la conception s'avère indispensable.

Les données issues des investigations de terrain confirment cette orientation, en mettant en évidence le rôle essentiel de cette couche pour assurer la stabilité, la durabilité et le bon fonctionnement de la plateforme.

VI.4. Couche de forme

Pour garantir une plateforme de type P3, il a été retenu de mettre en œuvre une couche de forme d'une épaisseur de 50 cm, réalisée avec un matériau de qualité QS3, au niveau des zones où le sol en place est classé QS1.

Ce choix vise à assurer de meilleures performances mécaniques et à garantir la stabilité et la durabilité de la plateforme.

VI.4.1. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

Selon les recommandations de la fiche UIC 719R relatives au dimensionnement des couches d'assise, l'épaisseur du ballast et des différentes sous-couches est déterminée à l'aide de la formule suivante : $e \geq E+a+b+c+d+f+g$

e : étant l'épaisseur de la couche du ballast et des sous couches.

Paramètres	Valeurs (m)	Critère de choix
E	0.45	Les plateformes de classe de portance P3
a	0	Pour le groupe de la ligne UIC 1
b	0.13	Les traverses en béton « Bi-bloc » de longueur L = 2.24 m VAX U31
c	0	Un dimensionnement normal.
d	+0.05	La charge nominale d'essieu de 22.5 ton/axe
f	0	Les lignes parcourues à $V \leq 160\text{km/h}$ et P3
g	0	(Pas de géotextile) la couche de forme est en sol QS3.
e(m)	0.63	/
e(m) « adoptée »	0.65	

Les données et les propriétés de ces paramètres sont explicitées en annexe conformément au code UIC 719R

Tableau VI-2 : Structure de la voie du projet

Couches	Épaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	30	GC (grave concassée) (25/50mm)
Sous-Ballast	15	Grave propre (0 /31.5 mm) bien graduée
Couche de fondation	20	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme	50	Matériaux en QS3

VI.1. Conclusion

Ce chapitre a permis de souligner l'importance d'un bon dimensionnement des couches d'assise pour garantir la stabilité, la durabilité et le bon fonctionnement des voies ferrées. Les différents types de couches ainsi que les méthodes de dimensionnement ont été étudiés afin d'assurer une répartition correcte des charges et une résistance suffisante face aux sollicitations mécaniques.

Chaque projet ferroviaire possède ses propres particularités et demande une étude adaptée aux conditions géotechniques et environnementales du site. Pour assurer un dimensionnement convenable de l'assise, nous nous sommes basés sur les normes en vigueur ainsi que sur les recommandations des spécialistes du domaine.

La poursuite des recherches dans ce domaine reste nécessaire pour répondre aux exigences croissantes du transport ferroviaire et maintenir la qualité du chemin de fer comme moyen de transport durable, fiable et efficace.

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has rounded corners and small circular details at the top and bottom edges suggesting the binding of the scroll.

CHAPITRE VII

PROFIL EN TRAVERS

VII. PROFIL EN TRAVERS

VII.1. Introduction

Les travaux de terrassement jouent un rôle essentiel dans la préparation d'un terrain destiné à un projet de construction ou d'aménagement. Ils regroupent l'ensemble des opérations de déblai et de remblai permettant d'obtenir une surface stable, nivelée et adaptée à la réalisation des ouvrages prévus.

VII.2. Profil en travers

Le profil en travers constitue un élément fondamental dans la conception et la réalisation des projets ferroviaires. Il permet de définir les dimensions de la plateforme, les pentes des talus, les dispositifs d'assainissement ainsi que les protections nécessaires contre les risques naturels comme l'ensablement ou les éboulements.

Le profil en travers type, appliqué aux sections homogènes de la voie ferrée, rassemble l'ensemble des dimensions et des caractéristiques techniques requises, telles que la largeur de la voie, les différentes couches de la superstructure, les pentes des talus, les fossés et les ouvrages de soutènement. Cette méthode évite de représenter chaque profil avec des dimensions particulières, ce qui facilite la conception et optimise le temps d'étude du projet.

VII.2.1. Les éléments du profil en travers

Le profil en travers type doit comprendre l'ensemble des éléments suivants :

VII.2.1.1. Eléments de superstructure

- ⇒ Le type de rail employé.
- ⇒ La distance entre les deux rails, ou l'écartement de la voie.
- ⇒ La distance entre les axes (cas de plusieurs voies)
- ⇒ Le type de traverse utilisé pour la construction de la voie.
- ⇒ La valeur maximale de devers en courbe.
- ⇒ L'épaisseur de la couche de ballast.

VII.2.1.2. Eléments de l'infrastructure :

- ⇒ Les épaisseurs et la nomination des chaque couches.
- ⇒ Les pentes transversales de chaque couche.
- ⇒ La pente latérale de la plate-forme.

VII.2.1.3. Eléments du talus :

- ⇒ La pente de chaque talus.

VII.2.1.4. Eléments d'assainissement :

- ⇒ Le type et dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des drains.
- ⇒ Profil en travers type de mon projet :
- ⇒ Les rails UIC-60 sont espacés de 1435 mm Avec des travers Monoblocs VAX U-31.
- ⇒ Type de ligne : doublement (Voie existante et nouvelle voie) voie mixte électrifiée.

La double voie repose sur une plateforme de largeur 13.80m symétrique.

- ⇒ La pente latérale de la plateforme est de 4%.
- ⇒ Largeur de marche pied : 1.5 m.
- ⇒ Les talus de déblais et remblais 3H/2V.
- ⇒ Epaisseur du ballast 30cm.
- ⇒ Epaisseur de la sous- ballast 20cm.
- ⇒ L'épaisseur de la couche de forme est de 50cm.

VII.3. Calcul des cubatures

Les cubatures de terrassement permettent d'évaluer les volumes de déblais et de remblais nécessaires à la réalisation du projet afin d'obtenir une surface régulière, stable et conforme à la ligne de projet.

Cette évaluation repose principalement sur plusieurs éléments, notamment :

- ⇒ Les profils en long ;
- ⇒ Les profils en travers ;
- ⇒ Les distances séparant les différents profils.

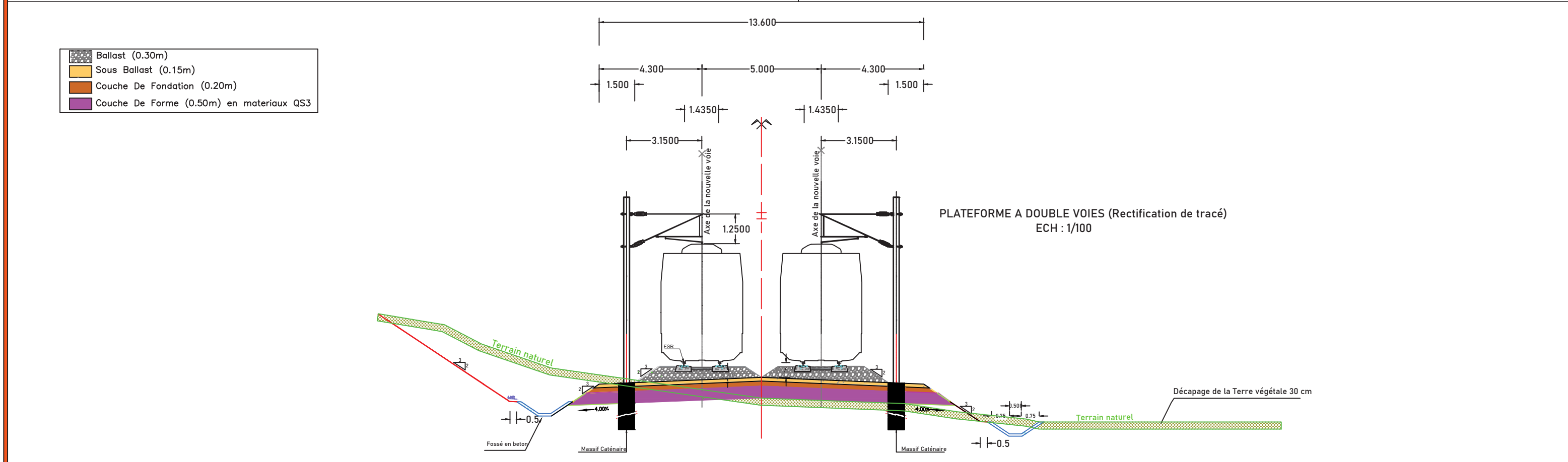
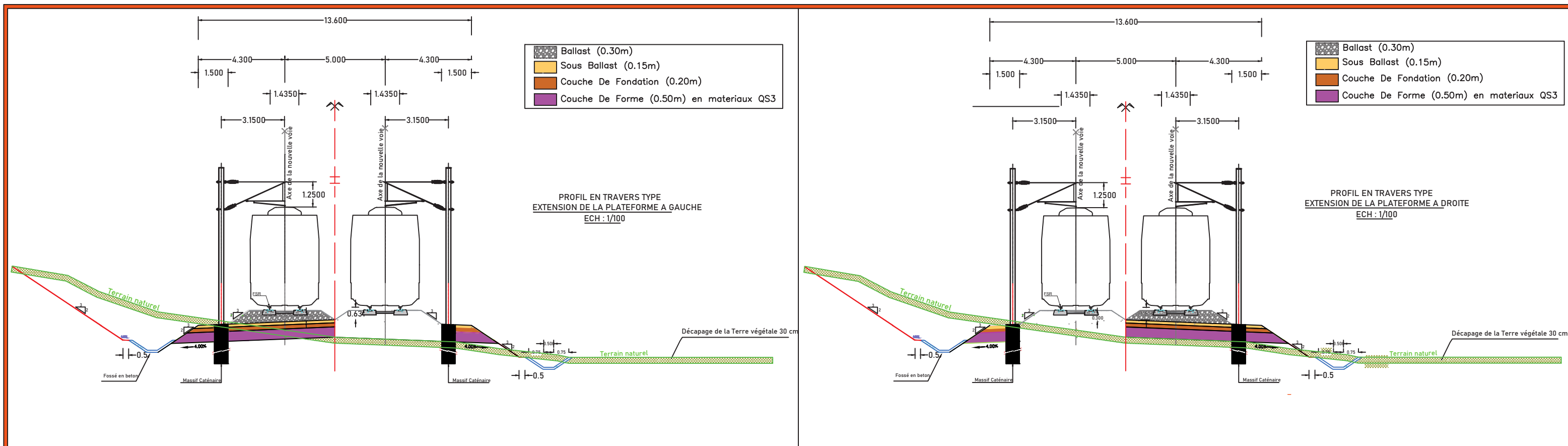
Dans le cadre de notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été réalisé à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D. Les résultats détaillés de ces calculs sont présentés dans l'annexe F.

Tableau VII-1 : : Les cubatures de terrassement

Volume déblais (m³)	Volume remblais (m³)	Volume décapage (m³)	Volume Ballast (m³)	Volume S-Ballast (m³)	Volume couche de fondation (m³)	Volume couche de forme (m³)
1593352	515332	136366	49108	23947	33092	88610

VII.4. Conclusion

En conclusion, le profil en travers constitue un outil indispensable pour l'analyse topographique d'un projet d'infrastructure ainsi que pour la conception des éléments nécessaires à sa réalisation. Il permet de représenter les courbes de niveau, les pentes, les altitudes ainsi que les éléments linéaires tels que les routes, les voies ferrées et les canalisations, facilitant ainsi la compréhension et l'exécution du projet



 المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics National School of Build and Ground works engineering	Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz	PROJET DE FIN D'ETUDES		Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
		Étude du dédoublement et renouvellement de la ligne minière A oued kebrit tronçon du (PK 46+000 au PK 58+000) SOUK AHRAS avec conception de la gare de MDAOUROUCH		GUERRAD Louai KAABECHE Akram	Mr. AYACHI Derradji Mr . HAMADI Kamel	1/100	PROFIL EN TRAVERS	2025 / 2026

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has rounded corners and a small circular detail at the top right corner.

CHAPITRE VIII

TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

VIII. TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

VIII.1. Introduction

Les terrassements et les ouvrages de génie civil constituent les fondements d'un projet ferroviaire. Les travaux de déblai et de remblai permettent d'adapter le terrain et d'assurer la stabilité de la plateforme ferroviaire. Les ouvrages tels que les ponts, viaducs, tunnels et passages dénivelés garantissent le franchissement des obstacles naturels et artificiels. Leur conception doit intégrer les contraintes géotechniques, hydrologiques et environnementales. Ensemble, ces aménagements assurent la continuité, la sécurité et la performance du réseau ferroviaire.

VIII.2. Les terrassements

Les terrassements consistent à modifier la topographie naturelle du terrain afin de réaliser une plateforme ferroviaire adaptée. Ils comprennent les déblais, qui correspondent à l'excavation et à l'enlèvement des terres, ainsi que les remblais, qui consistent en l'apport de matériaux pour rehausser le niveau du terrain, parfois sur des hauteurs importantes. Lorsque les déblais ou les remblais sont excessifs, ils peuvent entraîner des instabilités, notamment des ruptures sous forme de glissements de talus. Les talus de construction représentent ainsi les pentes aménagées lors des travaux de terrassement destinés à la réalisation de la voie ferrée.

VIII.2.1. Pente de talus

Conformément au référentiel technique de la SNTF, les pentes des talus sont généralement exprimées sous forme de rapport entre la base et la hauteur.

Pour les déblais, les pentes les plus fréquemment adoptées sont : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1 et 3/1.

Pour les remblais, les pentes couramment retenues sont principalement de 3/2 et 2/1.

Le choix de ces pentes dépend de plusieurs paramètres, notamment les caractéristiques géotechniques du sol, la hauteur de l'ouvrage, la configuration topographique du site ainsi que les risques naturels éventuels, afin de garantir la stabilité globale de l'infrastructure ferroviaire.

VIII.2.2. Calcule la stabilité de talus :

Les principaux paramètres géotechniques employés dans les analyses de stabilité des talus sont les suivants :

- ⇒ Poids spécifique γ .
- ⇒ Cohésion c .
- ⇒ Angle de frottement interne Φ .

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

- ⇒ $F_s \geq 1.5$ à long terme.
- ⇒ $F_s \geq 1.1$ situation accidentel (séisme).

Résultats de calcul de stabilité des talus par **GEO 5.0 2020** dans les cas de notre projet (Déblais et remblai supérieure a $H_{max} > 6m$).

Tableau VIII-1 : Résultats des stabilités des remblais et des déblais supérieurs à 8m

PK	Dispositions (H/V)	Hauteur (m)	Facteur de securite		Resultats
			Statique	Dynamique	
Déblais					
49+800	3/2	Berme 3m Talus 6m	2.92	1.95	Stable
52+400	3/2	Berme 3m Talus 6m	4.26	2.83	Stable
Remblais					
53+875	3/2	Berme 3m Talus 6m	2.02	1.55	Stable

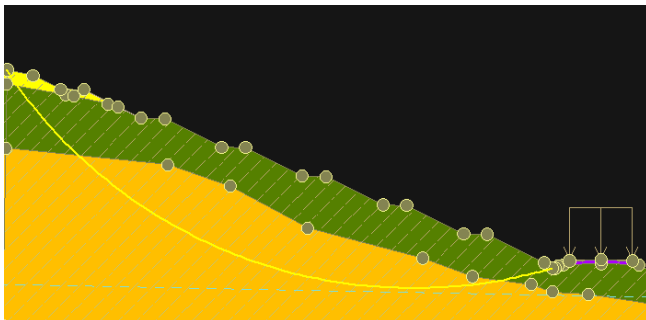


Figure VIII-2 : Analyse de Stabilité de Déblai

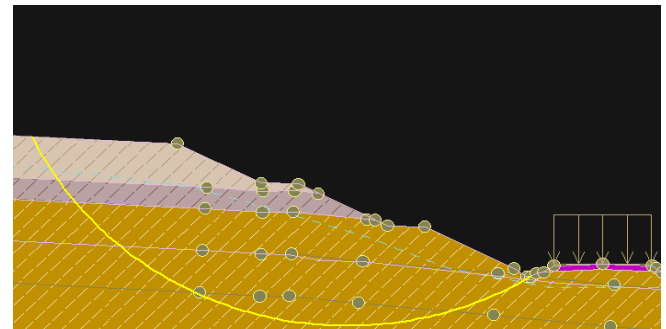


Figure VIII-1 : Analyse de Stabilité de Déblai

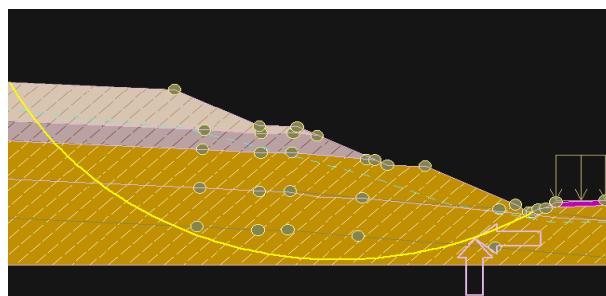


Figure VIII-3 : Analyse de Stabilité de Déblai

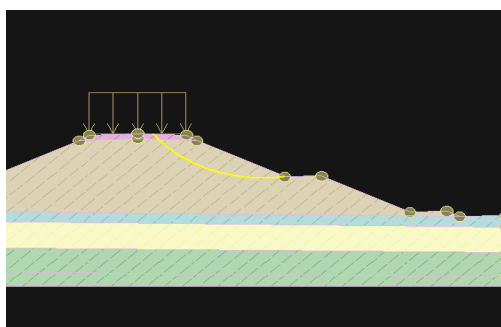


Figure VIII-5 : : Analyse de Stabilité de Remblai PK 53+875 Cas Statique

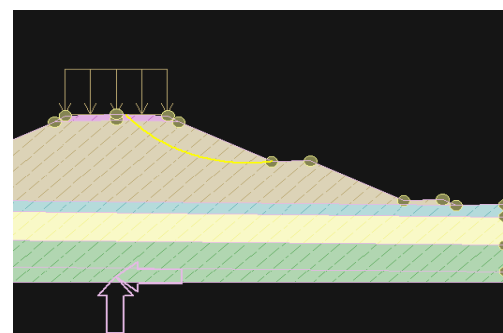


Figure VIII-4 : Analyse de Stabilité de Remblai PK 53+875 Cas Dynamique

VIII.2.3. Systèmes Redans

Selon la norme IN033, il est indispensable de construire des redans d'accrochage pour garantir la continuité du comportement entre le nouveau remblai et les remblais existants. Les redans doivent présenter une 54 qui s'adapte à la pente du talus existant afin de réduire les quantités de décaissement nécessaires. La partie horizontale des redans doit avoir une largeur supérieure à 0.6m.

VIII.3. Les ouvrages

Le tracé ferroviaire doit être équipé de plusieurs ouvrages afin de satisfaire aux exigences techniques et économiques de l'infrastructure. Parmi ces ouvrages figurent les ponts ferroviaires et routiers, les passages inférieurs, ainsi que les ouvrages hydrauliques et les structures de protection.

- ⇒ Lorsqu'un croisement avec une route est nécessaire, l'étude doit prendre en compte la nature de la voie traversée ainsi que l'intensité de son trafic, afin de déterminer la solution la plus adaptée en fonction de la vitesse de base maximale de la ligne ferroviaire. Trois principales solutions peuvent être envisagées :
- ⇒ Les passages supérieurs, généralement adoptés lorsque la vitesse des trains est élevée (supérieure ou égale à 100 km/h) et que les conditions topographiques limitent les autres alternatives.
- ⇒ Les passages à niveau, réservés principalement aux routes à faible trafic.
- ⇒ Les passages inférieurs, mis en place lorsque la configuration du terrain ou les contraintes topographiques l'imposent.

VIII.3.1. Les ouvrages d'art de notre projet

Dans le cadre du projet de dédoublement de la ligne minière Annaba–Djebel Onk, les passages à niveau ne sont pas retenus afin de garantir un niveau de sécurité conforme aux exigences ferroviaires.

Actuellement, la voie existante traverse cinq passages à niveau, alors que la vitesse de circulation des trains dépasse 100 km/h. Dans ces conditions, le maintien de ces passages représente un risque important pour la sécurité de l'exploitation ferroviaire et routière.

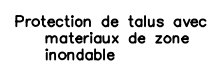
Il est donc nécessaire de supprimer ces cinq passages à niveau et de les remplacer par trois passages supérieurs. Par ailleurs, deux pistes existantes seront supprimées et raccordées à d'autres routes afin d'assurer la continuité de la circulation routière dans de meilleures conditions de sécurité.

Tableau VIII-2 : Liste des ouvrages d'art pour mon projet

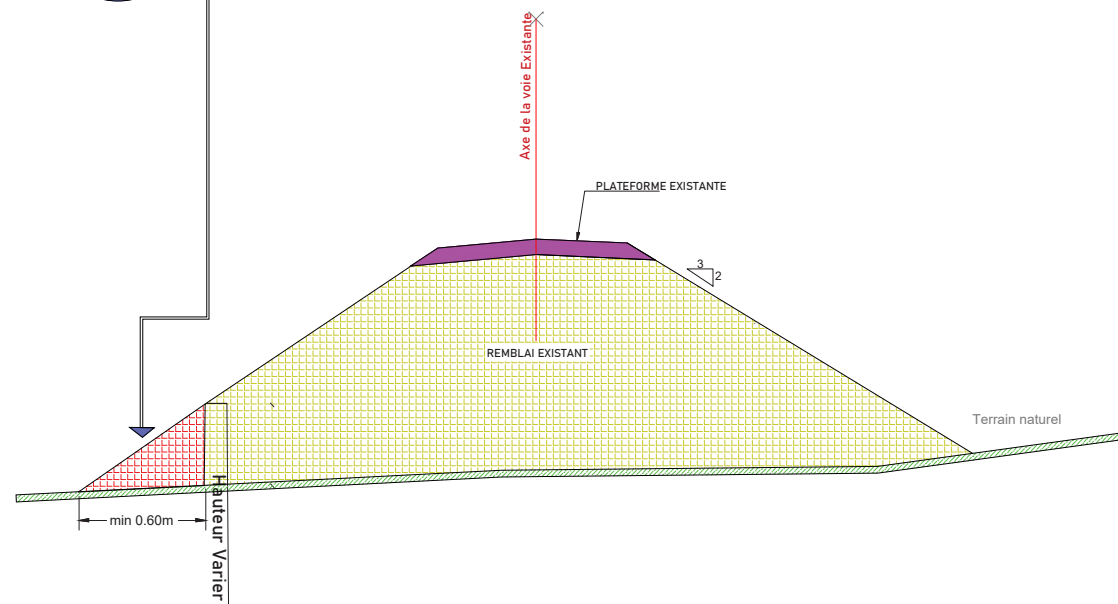
Rétablissement routiers	Localisation	Ouvrage d'art
Chemin communal	PK 52+350	Passage supérieure 01
Chemin communal	PK 52+825	Passage supérieure 02
Chemin communal	PK 53+075	Passage supérieure 03

VIII.4. Conclusion

En conclusion, les terrassements et les ouvrages ferroviaires constituent des éléments essentiels dans la conception et la réalisation d'une infrastructure ferroviaire. Les terrassements permettent de préparer une plateforme stable et adaptée au tracé de la voie grâce aux déblais, remblais et à l'aménagement des talus. Les ouvrages ferroviaires, tels que les ponts, passages supérieurs, passages inférieurs et ouvrages hydrauliques, assurent quant à eux la continuité du tracé, la sécurité de l'exploitation ainsi que l'intégration du projet dans son environnement naturel et routier. Leur bonne conception garantit la stabilité, la durabilité et la performance de la ligne ferroviaire.



PHASE 01 - Décaissement du 1^{er} redan d'accrochage au pied du talus existant. (voir surface hachurée)

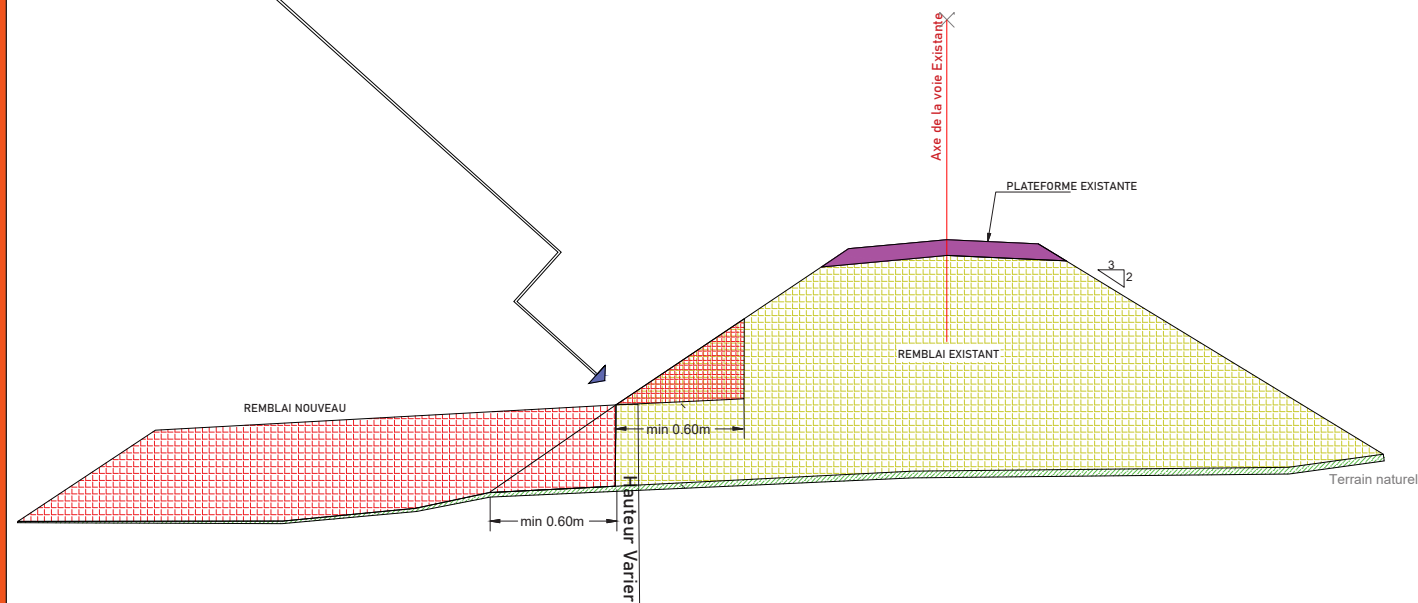


PLANS DE PHASAGE POUR LES PRINCIPES DE REALISATION DES REDANS ET DU REMBLAI NOUVEAU

PHASE 02 - Réalisation du remblai et comblement du 1^{er} redan d'accrochage.(voir surface hachurée)

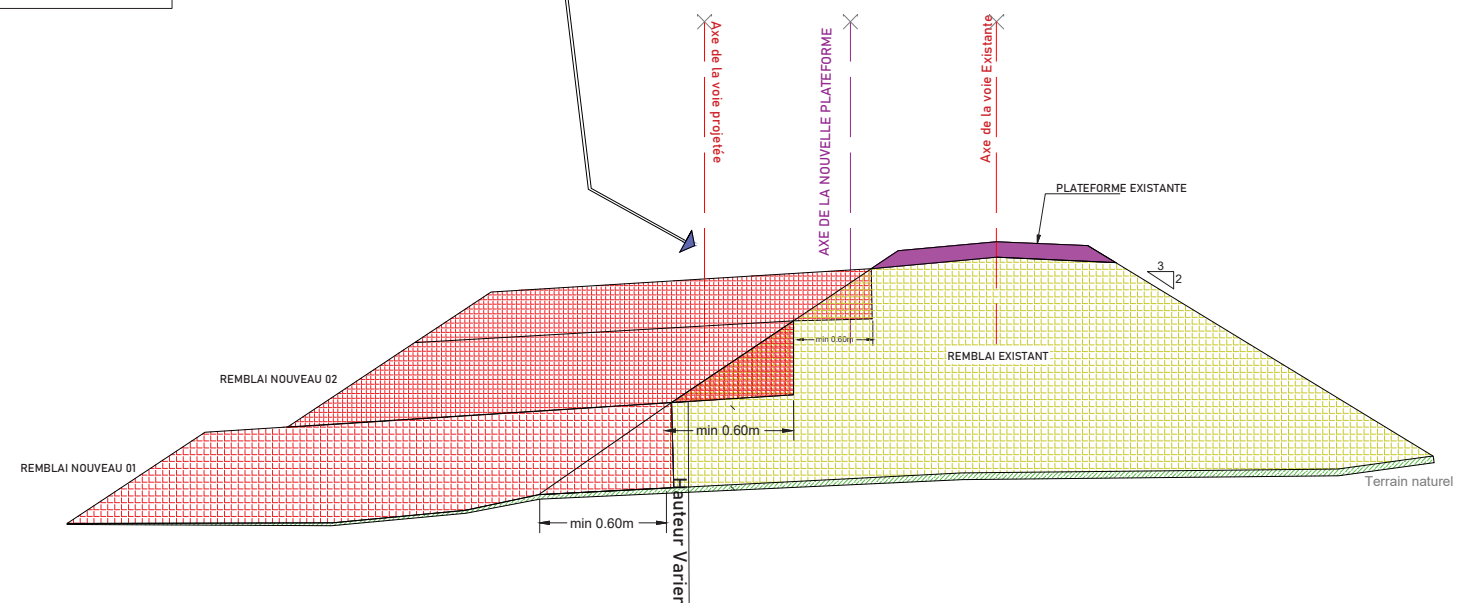


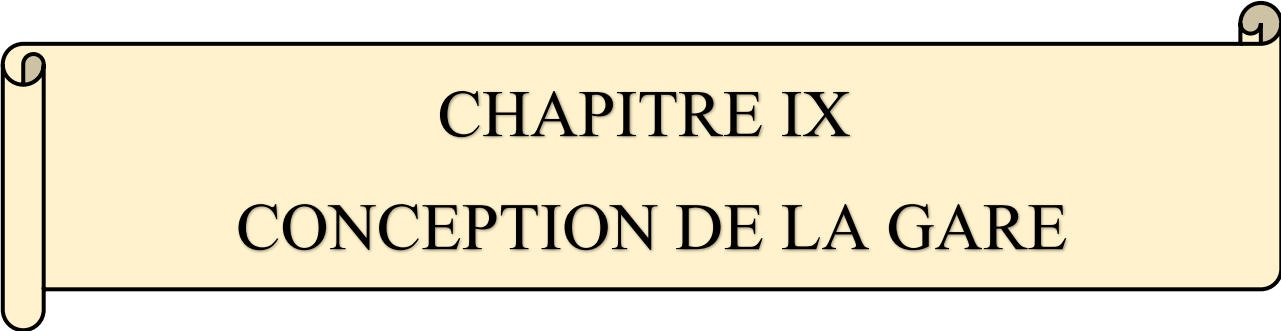
PHASE 03 - décaissement du 2^{ème} redan d'accrochage au pied du talus existant. (voir surface hachurée)



PLATEFORME EXISTANTE
REMBLAI EXISTANT
REMBLAI NOUVEAU

PHASE FINALE - Le même Principes de realisations pour le nouveau remblais 2



A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has rounded ends and a small circular detail at the top right corner.

CHAPITRE IX

CONCEPTION DE LA GARE

IX. CONCEPTION DE LA GARE

IX.1. Introduction

Une gare ferroviaire est un lieu où les trains effectuent un arrêt. Elle dispose de plusieurs installations destinées principalement à assurer l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ainsi que, dans certains cas, le chargement et le déchargement des marchandises.

IX.2. Type des gares

Les gares ferroviaires se répartissent en plusieurs types :

- ⇒ **Les gares de voyageurs** : elles sont généralement situées dans les grandes villes ou dans les zones à forte densité de population. Elles disposent de toutes les installations nécessaires pour l'accueil, l'embarquement et le débarquement des voyageurs.
- ⇒ **Les gares de marchandises** : elles sont implantées dans les zones industrielles, agricoles et commerciales importantes, à proximité des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands entrepôts. Elles sont équipées pour assurer le chargement, le déchargement ainsi que le stockage des marchandises.
- ⇒ **Les gares mixtes** : elles se trouvent dans des zones regroupant à la fois des activités industrielles, agricoles et commerciales. Elles possèdent des installations adaptées aussi bien au transport des voyageurs qu'au traitement des marchandises.
- ⇒ **Les gares de croisement** : ce sont des gares de petite taille, généralement situées sur les lignes ferroviaires à voie unique. Elles permettent le croisement sécurisé des trains venant de directions opposées, avec ou sans arrêt de l'un des convois.

IX.3. Etude du plan de masse d'une gare

Pour concevoir une gare, il est nécessaire de prendre en compte les fonctions de l'ensemble des installations de base qui la composent. Dans cette étape, trois éléments principaux sont indispensables pour l'étude du plan de masse :

- ⇒ **Les catégories de voies** : elles permettent de déterminer le rôle de la gare ainsi que les différents équipements qui la composent.
- ⇒ **Le trafic** : il constitue un élément essentiel pour évaluer l'importance de la gare et adapter ses installations en fonction des besoins en transport de voyageurs et de marchandises.
- ⇒ **L'emplacement de la gare** : il influence généralement les deux éléments précédents, en définissant les caractéristiques de la gare ainsi que son niveau d'activité.

IX.4. Aménagement de la gare

IX.4.1. Installations d'une gare à voyageur

Les installations et les constructions d'une gare ferroviaire dépendent de son type, de sa conception ainsi que de sa catégorie, et varient en fonction de ces paramètres. Parmi les principaux aménagements, on distingue :

Le bâtiment voyageurs : il s'agit d'un espace destiné à l'accueil des passagers, comprenant généralement une salle d'attente, des guichets de vente de billets, un poste de sécurité, un kiosque ainsi que d'autres équipements de service.

Les bâtiments à usages divers (B.U.D.) : ce sont des locaux de service réservés au personnel ferroviaire pour l'exploitation et la gestion de la gare.

Les quais : ce sont des bandes aménagées parallèlement aux voies ferrées, permettant l'accès des voyageurs aux trains.

Les abris de quais : ils sont installés sur les quais afin de protéger les voyageurs contre les intempéries et d'améliorer leur confort.

Les passages souterrains et les passerelles : ce sont des ouvrages permettant aux voyageurs de traverser les voies ferrées et de changer de quai en toute sécurité.

IX.4.2. Marge de glissement à l'aval des signaux

La marge de glissement est une section de voie située en aval d'un signal fermé, dans le sens de circulation du train. Aucune autre circulation n'est autorisée sur cette section. Son rôle est de limiter les conséquences d'un incident et, en cas de franchissement accidentel du signal fermé, d'éviter une collision si le train ne parvient pas à s'arrêter avant cette zone de sécurité.

Selon la norme UIC 739, la longueur de la marge de glissement (LG) est définie en fonction de la vitesse de circulation de la ligne comme suit :

- ⇒ $50 \text{ m} \leq LG \leq 200 \text{ m}$: utilisée comme marge en aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie ;
- ⇒ $LG = 200 \text{ m}$ pour une vitesse $V \geq 60 \text{ km/h}$;
- ⇒ $LG = 100 \text{ m}$ pour $40 \text{ km/h} \leq V < 60 \text{ km/h}$;
- ⇒ $LG = 50 \text{ m}$ pour $V < 40 \text{ km/h}$.

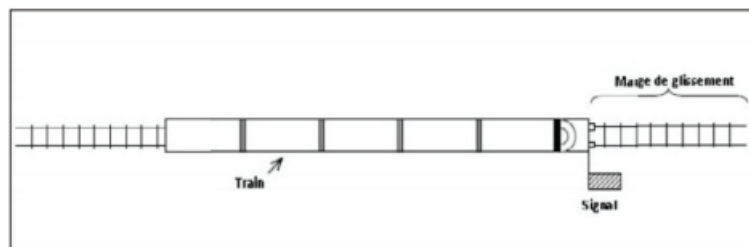


Figure IX-1 : Schématisation de la marge de glissement.

IX.4.3. Garage franc

Le garage franc correspond à la zone de la voie dans laquelle les trains sont autorisés à circuler en gare sans risque d'empiètement sur les circulations voisines. Sa valeur théorique est égale à 3,57 fois la distance entre les axes de la voie directe et de la voie déviée.

Toutefois, pour des raisons de sécurité, une marge supplémentaire de 1 mètre est généralement ajoutée à cette valeur théorique. Ainsi, le calcul du garage franc s'exprime par la formule suivante : $GF = 3.57 \cdot N + 1 \text{ m}$ avec :

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



Figure IX-2 : Schémas du garage franc.

IX.4.4. La longueur utile d'une voie de stationnement

Il est défini comme la distance comprise entre deux garages francs, permettant à un train de stationner sur une voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ni sur les autres voies de dépassement adjacentes.

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

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

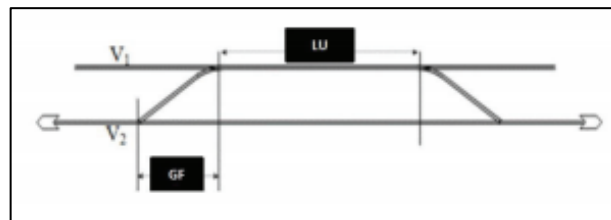


Figure IX-3 : La longueur utile d'une voie de stationnement

IX.4.5. IX. Heurtoir

Ce sont des dispositifs installés à l'extrémité des voies de garage ou de sécurité afin de signaler leur fin et d'empêcher les véhicules en mouvement de poursuivre leur route au-delà de la voie. Ils sont conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains en cas de choc, grâce à des systèmes amortisseurs qui réduisent l'impact.



Figure IX-4 : : Heurtoir

IX.5. Caractéristiques géométriques des gares :

IX.5.1. Déclivité dans les gares :

La pente en gare doit être réglementée en fonction des différentes activités qui s'y déroulent. Dans le cadre de notre projet, elle est maintenue à 0 ‰ afin d'éviter tout mouvement non désiré des trains.

IX.5.2. Quai :

IX.5.2.1. La longueur de quai (normes SNTF)

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

IX.5.2.2. Largeur des quais

La SNTF recommande, pour ce type de gare :

- Quai intermédiaire : $B > 8$ m
- Quai extérieur : $B \geq 6$

IX.5.2.3. Hauteur des quais

La hauteur nominale des bordures de quais par rapport au plan de roulement est fixée à 550 mm. La hauteur du quai est définie en fonction du type de matériel roulant susceptible de desservir la gare.

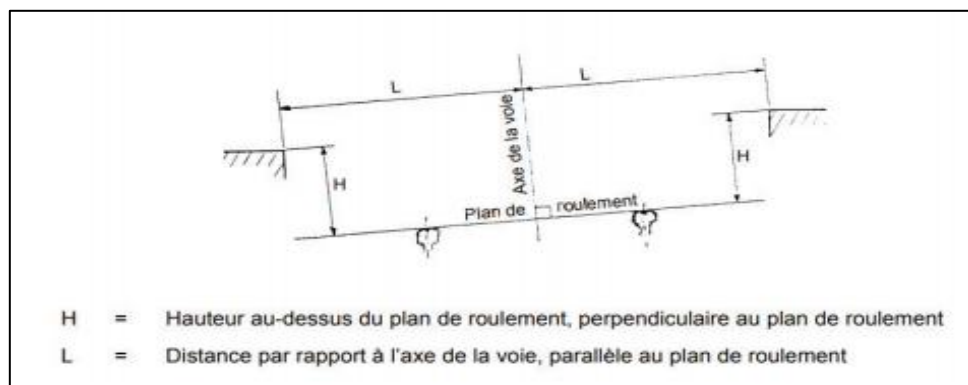


Figure IX-5 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

IX.5.2.4. La distance à l'axe de la voie

Cette section traite de la distance entre l'axe de la voie et les bordures de quai. Pour des quais dont la hauteur nominale est de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale par rapport à l'axe de la voie est égale à :

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

La valeur de S est donnée par la formule suivante :

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

Où :

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

IX.5.2.5. L'entre axe des quais

- e normal > 11.3 m.
- e minimal > 9.3 m.

IX.5.3. Les appareils de voie

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

IX.5.3.1. Conditions générales

Les appareils de voie doivent être implantés sur une pente constante. Il en est de même pour les communications.

Par ailleurs, à proximité des ouvrages d'art, les appareils de voie doivent être disposés en respectant des distances minimales, déterminées en fonction de la longueur L de l'ouvrage concerné.

Tableau IX-1 : Longueurs minimal des appareils de voie

Lmin	Longueur de l'appareil
$\geq 20\text{m}$	$L \leq 30\text{ m}$
$\geq 50\text{m}$	$30\text{ m} < L \leq 90\text{ m}$
$\geq 50\text{m}$	$L > 90\text{ m}$ depuis le côté opposé à l'appareil de dilatation

Lorsqu'un appareil de dilatation est requis en raison de la longueur L, l'appareil de voie doit être implanté à une distance minimale de 100 mètres de l'extrémité de cet appareil de dilatation.

IX.5.3.2. Règles d'implantation

IX.5.3.2.1. En tracé en plan

L'implantation des appareils de voie doit respecter les longueurs minimales du tracé définies ci-dessous :

En pointe

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

En talon de la branche déviée

Si la sortie de l'appareil est en alignement : la longueur minimale d'alignement à respecter est égale à $Vd/2$.

Si la sortie de l'appareil est en courbe

- ⇒ Pour $V_d < 100$ km/h : il convient de prévoir un alignement minimal égal à $V_d/2$, ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie d'un raccordement progressif.
- ⇒ Pour $100 \leq V_d < 160$ km/h : il est recommandé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens pour toute nouvelle situation.
- ⇒ Pour $V_d \geq 160$ km/h : cette disposition est obligatoire.

Quelle que soit la valeur de V_d , les longueurs des raccordements doivent être calculées de manière à garantir une variation maximale d'insuffisance de dévers $\Delta I/\Delta t$ de 75 mm/s en valeur normale et 90 mm/s en valeur exceptionnelle.

En talon de la voie directe

La longueur minimale d'alignement L_2 à réserver doit être supérieure à 50 m.

Tableau IX-2 : Les branchements

Domaine d'emploi du branchement	Vitesse (Km/h)	Type de branchement
Dans les faisceaux de classement, remisage, voie de nettoyage et toutes les voies de manœuvre	40	R190- 1/7 tg (0,143) R190- 1/9 tg (0,111)
*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.	65	R500- 1/12 tg (0,083)

IX.6. Description de La Gare de M'daourouch

La gare de M'daourouch est située sur le tronçon de la ligne Dréa – Oued kebrit. Elle s'étend du PK 52+075 au PK 53+325, soit une longueur totale de 1 250 m.

Cette gare comprend deux voies principales, une voie d'évitement ainsi que deux voies de garage d'une longueur utile de 300 m. Elle assure également le changement de voie en amont et en aval grâce à des communications implantées en chapeau de gendarme.

Elle dispose aussi de deux quais voyageurs latéraux d'une longueur de 225 m, avec une largeur de 6 m pour le quai extérieur et de 8 m pour le quai intermédiaire, ainsi que d'un bâtiment voyageurs destiné à l'accueil des passagers.

IX.7. Application Au Projet

Dans le cadre de notre projet, la gare de M'daourouch est implantée entre le PK52+075 et le PK 53+325, soit une longueur totale de 1250 m. Il s'agit d'une gare intermédiaire destinée principalement au trafic voyageurs.

Elle comprend trois voies de quai, dont les voies principales V1 et V2, tandis que la voie V4 est réservée au stationnement. Le bâtiment voyageurs est situé au PK52+725 , afin de faciliter l'accès des usagers.

IX.7.1. Longueurs de la marge de glissement

- Comme $V \geq 60$ km/h alors $LG = 200$ m.

IX.7.2. La longueur du quai

- Pour notre gare on prend 225m comme longueur des quais.

IX.7.3. Largeur des quais

Selon la SNTF (aménagement et gare trace des voies)

On prend :

- B= 8 m pour le quai extérieure (Quais 1)
- B= 6 m pour le quai intermédiaire (Quais 2).

IX.7.4. Hauteur des quais

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

IX.7.5. Entraxe des quais

On prend : $e = 15.3$ m (entre quai 1 et 2).

IX.7.6. La distance a l'axe de la voie

$L \text{ (mm)} = 1650 + (3750/\infty) + ((1435-1435) / 2) = 1650 \text{ mm.}$

IX.7.7. Entraxe entre les voies

Entraxe entre les voies est de 5 m.

IX.7.8. La longueur utile d'une voie de stationnement**Tableau IX-3 : Les longueurs des voies utiles de la gare***

N° Voie	Longueur utile (m)
1	867
2	867
3	685
Voie en tiroir (VT) = Voie de garage	300
Voie en tiroir (VT) = Voie de garage	300

IX.7.9. Longueur de garage de franc

Pour l'appareils de voie type (UIC 60 E1-500-1/12) : $GF = 3.57 \cdot 12 + 1 = 43.84 \text{ m}$

Pour l'appareils de voie type (UIC 60 E1-300-1/9) : $GF = 3.57 \cdot 9 + 1 = 33.13 \text{ m}$

IX.7.10. La passerelle

Elle permet le franchissement sans risques des voies. Pour notre gare, un passage supérieur est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et les bâtiments des voyageurs.

IX.8. Assainissement dans les gares**IX.8.1. Assainissement transversal**

Afin d'assurer une évacuation efficace des eaux pluviales au niveau des gares, il est nécessaire de mettre en place un système d'assainissement transversal adapté. Ce dispositif repose sur l'aménagement des quais avec une pente de 2 % en toit ou en V, permettant l'écoulement des eaux vers les voies. Par la suite, les eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

Ce système de pente facilite l'écoulement naturel des eaux de pluie sur les quais et les plates-formes, tout en évitant leur stagnation, susceptible de provoquer des problèmes d'hygiène, de sécurité et de dégradation des infrastructures ferroviaires.

IX.8.2. Assainissement longitudinal

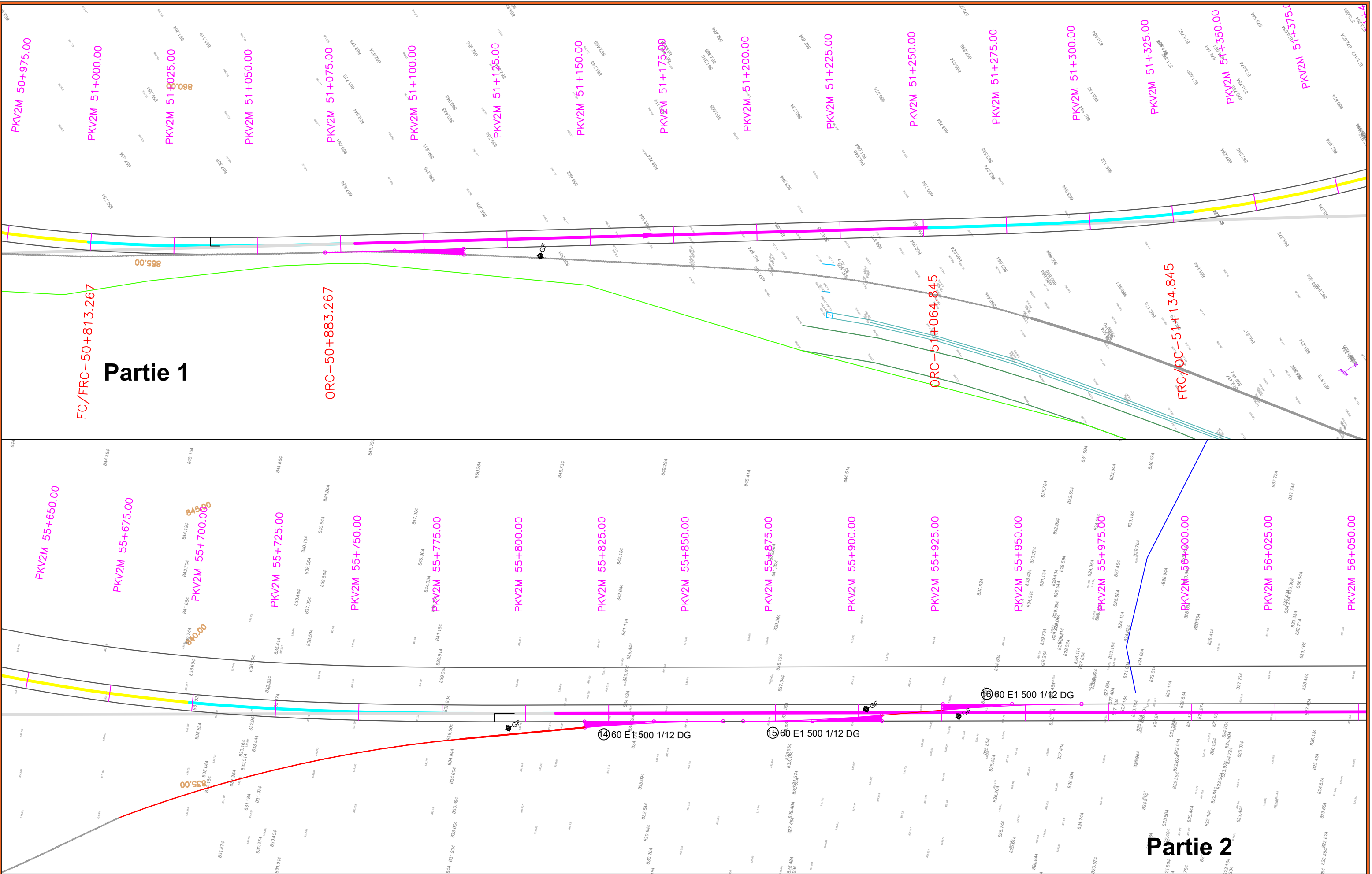
L'assainissement longitudinal a pour rôle de collecter les eaux de ruissellement qui s'infiltreront dans le ballast et la plate-forme ferroviaire. Pour cela, des drains disposés longitudinalement avec une pente de 4 ‰ sont installés.

Ces drains assurent la collecte et l'acheminement des eaux infiltrées vers le réseau d'assainissement à travers les regards de visite, garantissant ainsi la protection de la structure ferroviaire et le maintien de sa stabilité.

IX.9. Conclusion

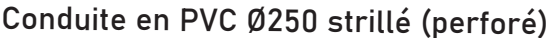
En conclusion, la conception d'une gare ferroviaire représente une phase importante dans la réalisation d'un projet ferroviaire. Elle permet d'assurer la sécurité de l'exploitation, le bon fonctionnement du trafic ainsi que le confort des voyageurs. Cette conception repose sur l'étude des voies, des quais, des appareils de voie, des ouvrages d'assainissement et des différents équipements nécessaires au service des usagers.

Une conception bien étudiée facilite la circulation des trains, les opérations de croisement, de stationnement et de dépassement, tout en respectant les exigences techniques du projet. La prise en compte des aspects géométriques, hydrauliques et fonctionnels permet également de garantir la durabilité des ouvrages et d'améliorer la qualité du transport ferroviaire.

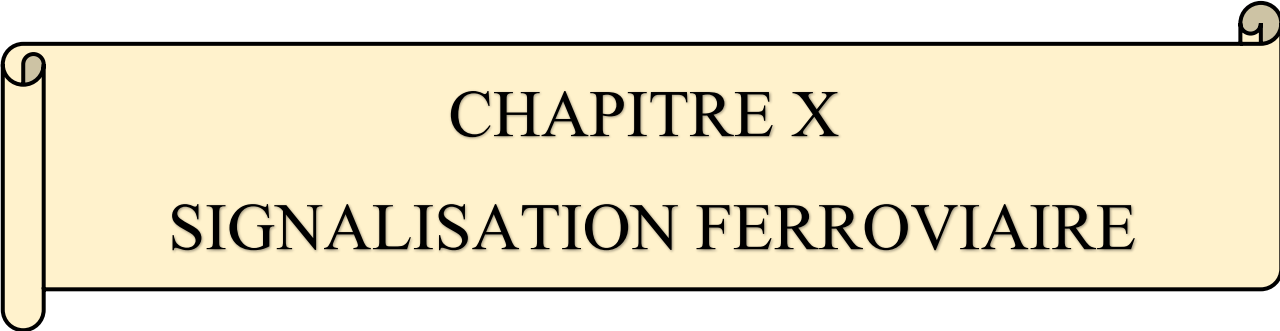


 المدرسة الوطنية العليا للدراسات Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics National School of Build and Ground works engineering	Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger		PROJET DE FIN D'ETUDES		Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
	Fax : (023) 70 19 38 Tel : (023) 70 19 04		Étude du dédoublement et renouvellement de la ligne minière A Drea tronçon du (PK 46+000 au PK 58+000) SOUK AHRAS avec conception de la gare de M'DAOUROUCH		GUERRAD Louai KAABECHE Akram	Mr. AYACHI Derradji Mr. HAMADI Kamel	1/1000	Tracé en plan du l'évitement du M'daourouche	2025 / 2026

ECH : 1/100



- | | |
|---|--|
|  | Ballast (0.30m) |
|  | Sous Ballast (0.15m) |
|  | Couche De Fondation (0.20m) |
|  | Couche De Forme (0.50m) en matériaux QS3 |

A horizontal yellow banner with a black border, styled to look like a rolled-up scroll. It has rounded ends and a small circular detail at the top right corner.

CHAPITRE X

SIGNALISATION FERROVIAIRE

X. SIGNALISATION FERROVIAIRE

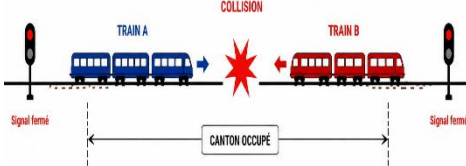
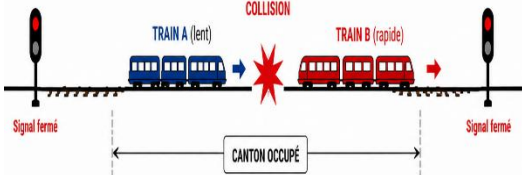
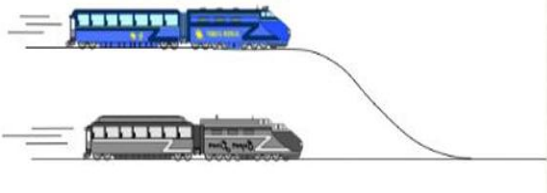
X.1. Introduction

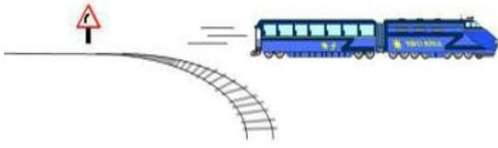
La signalisation ferroviaire constitue un élément fondamental dans l'exploitation du réseau, garantissant la sécurité des circulations et la régularité du trafic. Elle regroupe l'ensemble des dispositifs et systèmes permettant de contrôler, d'orienter et de sécuriser le mouvement des trains, notamment à travers les signaux, les postes d'aiguillage et les systèmes de contrôle automatique. Dans ce chapitre, nous allons présenter les principes de base de la signalisation ferroviaire, ainsi que son rôle essentiel dans la gestion des circulations et la prévention des conflits entre les trains, afin d'assurer une exploitation sûre et efficace du réseau.

X.2. Les risques ferroviaires

Les trains doivent circuler en toute sécurité. Le tableau suivant résume les cinq risques majeurs liés aux circulations ferroviaires :

Tableau X-1 : Les risques ferroviaires

Risque	Définition	Configuration	Cause
Nez-à-nez	C'est-à-dire la collision frontale de trains qui circulent en sens contraire sur la même voie		Non-respect d'un signal d'arrêt, erreur d'aiguillage ou défaillance du système de signalisation automatique
Le rattrapage	Des trains qui circulent dans le même sens sur la même voie		Espacement non géré (sur voie unique ou doubles voies)
La prise en écharpe	C'est-à-dire la collision latérale de trains qui circulent sur des itinéraires convergents		Non-respect du Point de Garage Franc

Le déraillement	C'est l'accident où le train quitte les rails		L'usure d'u rail, ou dilatation due à la chaleur, défaillance d'un essieu, ou vitesse excessive dans une courbe.
L'Accident aux Passages à Niveau	Il s'agit de la collision entre un train et un usager de la route (voiture, camion, cycliste).		Passage a niveaux non sécurisé

X.3. Fonctions des signaux

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel. L'usage veut que la signalisation d'arrêt (exécution et annonce) soit explicitée séparément, alors que les deux dernières forment un tout. En outre, l'expression «la signalisation d'arrêt » est réservée à la signalisation d'exécution d'arrêt.

X.4. Implantation longitudinale

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (ou un point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales ; c'est le rôle des signaux d'annonce à distance. Ces distances sont appelées, respectivement :

- ✚ Distance d'arrêt.
- ✚ Distance de ralentissement.

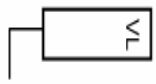
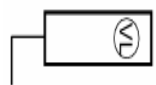
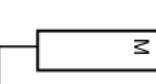
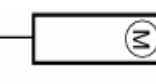
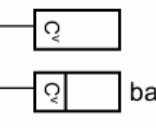
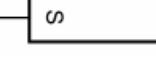
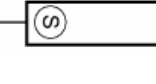
La distance d'implantation d'un signal à distance est fonction :

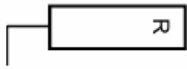
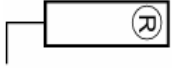
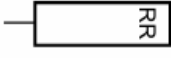
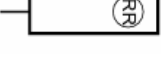
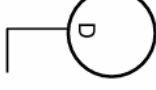
- ✚ Du profil moyen de la partie de voie intéressée (déclivité moyenne).
- ✚ De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- ✚ Des caractéristiques de freinage des circulations.

X.5. Les signaux ferroviaires

Le tableau suivant présente la signalisation utilisée pour notre projet :

Tableau X-2 : La signalisation utilisées pour notre projet

Nom du signal	Représentation schématique	Indication présentée	Signification
Feu vert			Le feu vert indique au mécanicien que la marche normale est autorisée, si rien ne s'y oppose
Feu vert clignotant			Equivalent au feu vert fixe pour les trains dont la vitesse-limite ne dépasse pas 160 km/h
Feu jaune clignotant			Le feu jaune clignotant commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant.
Avertissement			L'avertissement fermé commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêts : carré ou sémaphore annoncés, ou d'observer un feu rouge clignotant.
Feu blanc			Le feu blanc commande ou confirme au mécanicien l'observation de sa marche en manœuvre
Feu blanc clignotant			Le feu blanc clignotant indique au mécanicien l'exécution d'une manœuvre sur un parcours généralement de faible étendue, et interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.
Carré violet			Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.
Sémaphore			Le sémaphore fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.
Feu rouge clignotant			Lorsqu'un mécanicien rencontre un panneau présentant un feu rouge clignotant, il peut sans marquer l'arrêt, s'avancer en marche à vue. Mais il ne doit pas dépasser au franchissement de ce signal la vitesse de 15 km/h.

Ralentissement 30			Le ralentissement 30 fermé commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.
Ralentissement 60			Le ralentissement 60 fermé commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguille (ou des aiguillages) correspondant.
Rappel 30			Le rappel 30 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30 km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.
Rappel 60			Le rappel 60 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant.
Disque			Le disque fermé commande au mécanicien de se mettre aussitôt que possible en marche à vue et de marquer l'arrêt au premier signal ou appareil de voie rencontré.

X.6. Principe de cantonnement

Le cantonnement est la base de l'organisation des circulations. Il consiste à diviser une ligne en tronçons appelés cantons. Un seul train peut circuler dans un canton donné à la fois.

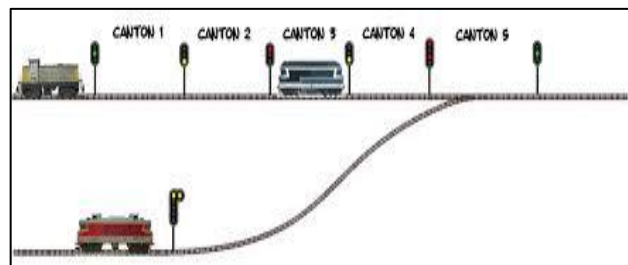


Figure X-1 : Système de cantonnement

X.6.1. Types de cantonnement

- ✚ **Cantonnement manuel** : les chefs de gare communiquent entre eux pour autoriser le passage d'un train dans un canton.
- ✚ **Block automatique à permissivité restreinte (BAPR)** : détecteurs de présence (circuits de voie) activent les signaux automatiquement ; en cas d'arrêt absolu, seul un train autorisé peut passer.
- ✚ **Block automatique lumineux (BAL)** : les signaux sont commandés automatiquement par la présence ou l'absence de trains ; les cantons sont plus courts, permettant une plus grande fréquence.

- ✚ **Cantonnement mobile** : dans les systèmes modernes (ERTMS niveau 3), la position exacte du train est transmise en continu par GPS ou balises. Cela permet de réduire l'espacement entre trains, améliorant capacité et sécurité.

X.7. Le système de signalisation moderne ERTMS

Le système ERTMS (Européen Rail Traffic Management System) est un système européen de signalisation ferroviaire destiné à assurer la sécurité, la gestion du trafic et l'interopérabilité des trains grâce à une communication entre le train et l'infrastructure, notamment via l'ETCS (contrôle de vitesse) et le GSM-R (communication radio). Il se compose de trois niveaux :

- ✚ **Niveau 1** : qui utilise des balises au sol avec une transmission discontinue des informations tout en conservant la signalisation latérale ;
- ✚ **Niveau 2** : basé sur une transmission continue par radio entre le train et un centre de contrôle appelé RBC, avec une signalisation principalement en cabine.
- ✚ **Niveau 3** : fondé sur le principe du bloc mobile, où les trains communiquent en temps réel leur position sans nécessiter de circuits de voie, ce qui permet d'augmenter fortement la capacité et la performance des lignes ferroviaires.

X.8. Application sur notre projet

Pour la réalisation de la simulation, les hypothèses d'exploitation suivantes ont été retenues pour l'ensemble de la ligne, conformément au plan de transport de la ligne minière Est :

La ligne sera équipée d'un système de signalisation moderne intégrant une protection automatique des trains de type ETCS niveau 1. Le cantonnement sera assuré par un Bloc Automatique Lumineux avec Installation Permanente de Contre-Sens (BAL-IPCS), piloté depuis un système de commande centralisée. La ligne sera divisée en plusieurs zones d'influence, chacune associée à un poste d'enclenchement électronique, tandis que les gares seront aménagées avec des voies banalisées permettant la circulation dans les deux sens.

En pleine voie, les cantons auront une longueur comprise entre 2,5 et 3 km et seront délimités par des signaux de cantonnement implantés à leurs extrémités. Les carrés d'entrée en gare seront positionnés en fonction de la configuration locale, avec une distance de référence de 600 m en amont du premier appareil de voie afin de faciliter les opérations de stationnement et de manœuvre.

Concernant les sorties de gare, une longueur utile minimale de 1 000 m sera maintenue entre deux carrés de sortie successifs. Les compteurs d'essieux seront implantés à environ 35 m des signaux et les pédales de fermeture automatique (FA) à 15 m, ce qui conduira à placer les carrés de sortie à environ 100 m du groupe fonctionnel (GF), dans le but d'optimiser la longueur utile des voies. Enfin, la localisation et la configuration du poste centralisé de commande du trafic restent à définir afin d'assurer la supervision et la gestion globale de l'exploitation de la ligne.

X.9. Conclusion

. La signalisation ferroviaire joue un rôle essentiel dans la sécurité et la fluidité de l'exploitation des lignes. Elle permet de gérer efficacement les circulations tout en réduisant les risques d'incidents. L'adoption de technologies modernes, telles que l'ETCS niveau 1 et le BAL avec IPCS, améliore la gestion du trafic, accroît la capacité de la ligne et renforce la flexibilité de l'exploitation. Le système retenu pour ce projet répond ainsi aux exigences de sécurité, de performance et de modernisation du réseau ferroviaire.

CHAPITRE XI

ETUDE D'IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT

XI. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.1. Introduction

Le projet ferroviaire du tronçon Dréa – Oued Kébrit constitue une étape importante dans le renforcement des infrastructures de transport au niveau régional. En assurant la liaison entre ces deux zones, il vise à améliorer la mobilité, à faciliter les échanges commerciaux et à soutenir le développement économique local.

Toutefois, la réalisation d'un tel projet nécessite la prise en compte des impacts environnementaux et sociaux susceptibles d'en découler.

Dans ce cadre, l'étude d'impact environnemental et social représente un outil essentiel pour évaluer la faisabilité du projet. Elle permet d'analyser de manière détaillée les effets potentiels sur le milieu naturel et humain, et de proposer des mesures d'atténuation afin de réduire ces impacts. Elle veille également à ce que les phases de construction et d'exploitation soient conformes aux exigences et aux normes environnementales en vigueur.

XI.2. Cadre Législatif et Réglementaire

Afin d'assurer une démarche responsable et durable, le projet doit respecter l'ensemble des lois et règlements en vigueur en Algérie relatifs à la protection de l'environnement. Le cadre réglementaire algérien accorde une attention particulière à la préservation des ressources naturelles et à l'intégration des principes du développement durable dans les projets d'infrastructure.

À ce titre, plusieurs dispositions législatives et réglementaires doivent être prises en considération pour garantir la conformité du projet et limiter ses impacts sur le milieu naturel et humain.

Tableau XI-1 : Quelques références légales et réglementaires

Protection de L'environnement et développement durable	Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. - Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire
Étude d'impact sur l'environnement	Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement. - Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement.
Faune et flore	Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. - Décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
Patrimoine culturel et sites archéologiques	Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

L'Algérie met un point d'honneur à préserver l'environnement dans tous ses projets de développement. Ces lois et règlements reflètent l'engagement du pays à protéger ses ressources naturelles et à assurer un développement harmonieux et durable.

XI.3. Description du Site

La zone traversée par le tracé ferroviaire du tronçon Dréa – M'daourouch se caractérise par une géographie relativement variée, typique des hautes plaines du Nord-Est algérien. Le tracé évolue à travers des terrains globalement plats à légèrement ondulés, entrecoupés par quelques reliefs modérés et des zones naturelles.

Il traverse principalement des espaces agricoles largement exploités, dominés par les cultures céréalières, l'élevage et, par endroits, des plantations d'oliviers. Ces terres constituent une ressource essentielle pour les populations locales. Par conséquent, toute perturbation des activités agricoles liée aux travaux devra être compensée par des mesures appropriées, telles que des indemnisations et un accompagnement des exploitants.

Le tracé intercepte également des zones habitées, comprenant de petits villages et des habitations dispersées, ce qui nécessite une attention particulière en matière de sécurité et de gestion des nuisances durant les phases de réalisation.

Sur le plan hydrologique, la région est marquée par la présence d'oueds temporaires, susceptibles de connaître des crues rapides en période de fortes précipitations. Ces écoulements représentent un risque potentiel d'inondation, qu'il est important de prendre en compte dans la conception des ouvrages hydrauliques associés au projet.

XI.4. Analyse de l'état initial de la zone du projet

XI.4.1. Situation géographique et administrative de la wilaya de Souk Ahras

La wilaya de Souk Ahras est située au nord-est de l'Algérie, à proximité de la frontière avec la Tunisie. Elle occupe une position stratégique qui en fait une zone de passage importante entre l'intérieur du pays et les régions frontalières.

Sur le plan géographique, elle est limitée : au nord par la wilaya de El-Tarf, à l'ouest par la wilaya de Guelma, au sud par la wilaya de Oum El Bouaghi, Tébessa et à l'est par la Tunisie. La région se caractérise par une alternance de reliefs montagneux au nord et de plaines et hauts plateaux au sud, ce qui lui confère une diversité naturelle importante.

Sur le plan administratif, la wilaya de Souk Ahras est composée de plusieurs daïras et communes, parmi lesquelles M'daourouch, Sedrata et Taoura. Le chef-lieu est la ville de Souk-Ahras. Cette organisation administrative permet d'assurer la gestion locale du territoire, notamment en matière d'aménagement, de développement économique et de services publics.

Tableau XI-2 : Situation administrative de la wilaya de Souk-Ahras

Aspect	Détails
Population	509 452 habitants
Densité	120 habitants/km²
Communes	26
Daïras	10

XI.4.2. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude

La région de Souk-Ahras dispose de nombreuses ressources naturelles et humaines, ainsi que d'un potentiel économique et touristique important. Elle se distingue par la diversité de ses caractéristiques, allant de sa structure géologique à ses activités économiques, en passant par ses atouts agricoles et son patrimoine historique.

Tableau XI-3 : Ressources physiques biologiques et humaines de la zone d'étude

Ressource	Type	Description
Physique	Relief	Relief montagneux et vallonné (prolongement de l'Atlas tellien) • Présence de plaines fertiles favorables à l'agriculture • Sols généralement argileux et calcaires, adaptés aux cultures céréalières
	Climat	Climat méditerranéen semi-humide • Hivers frais et pluvieux • Étés chauds et secs Favorable à l'agriculture (céréales, arboriculture)
	Géologie / Hydrogéologie	Formations sédimentaires dominantes (calcaires, marnes, argiles) • Présence de roches calcaires fissurées • Matériaux de construction : pierre, argile Nappes phréatiques dans les formations calcaires et alluviales • Circulation de l'eau dans les fissures (aquifères) • Présence d'oueds (écoulement saisonnier) • Ressources en eau utilisées pour : • irrigation • consommation locale
	Réseau Hydrographique	Présence d'oueds (cours d'eau saisonniers)
Biologique	Flore	• Forêts de : • Cultures agricoles : • Céréales (blé, orge) • Oliviers • Légumineuses
	Faune	Élevage : • Ovins (moutons) • Bovins et caprins • Faune sauvage : • Sangliers, renards, oiseaux divers

Humaine	Activités Économiques	Majoritairement orientée vers : • Agriculture • Élevage • Présence de travailleurs dans : • Commerce local • Services publics
	Les Infrastructures De base Existantes	-Réseau routier devers : RN. CW. CC.Réseau ferroviaire
	L'industrie	Industrie faiblement développée • Activités principales : • transformation agricole (moulins, huile d'olive) • petites unités artisanales • Exploitation locale de matériaux (argile, pierre)
	Tourisme	Paysages naturels : • montagnes • forêts • Tourisme rural et écologique possible • Proximité de sites historiques dans la région de Souk Ahras • Potentiel pour : • randonnée • tourisme vert

XI.5. L'impact du projet

XI.5.1. Les impacts positifs

La réalisation de ce contournement ferroviaire ouvre la voie à un essor multiforme pour la région, avec des perspectives prometteuses de renforcement sur plusieurs plans. Il y a des impacts directs et indirects. Il s'agit notamment de :

Tableau XI-4 : Les impacts positifs de notre projet

Direct	Indirect
*Réduction du trafic routier Moins de camions transportant le phosphate Diminution directe des émissions de gaz polluants (CO₂, NO_x) *Réduction des accidents routiers Moins de circulation de poids lourds * Optimisation du transport minier Transport plus rapide, plus sécurisé et mieux contrôlé • Réduction des nuisances routières Moins de bruit et de poussières le long routes existantes	*Amélioration de la qualité de l'air régionale Grâce à la baisse globale des émissions *Développement économique local Création d'emplois Développement des infrastructures *Réduction de la consommation énergétique globale Le rail consomme moins d'énergie que le transport routier *Organisation territoriale Structuration des activités minières dans un corridor précis Limitation de la dispersion des impacts environnementaux

XI.5.2. Les impacts négatifs et les solutions d'atténuation envisagées

Les impacts négatifs sont les effets défavorables ou préjudiciables résultant d'une action ou d'un projet, qui peuvent affecter l'environnement, la santé, la sécurité, l'économie et le bien-être des communautés. Le tableau ci-dessous présente une synthèse des impacts négatifs anticipés, leur évaluation en termes d'importance, ainsi que les mesures d'atténuation recommandées.

Tableau XI-5 : Identification des impacts négatifs du projet et les mesures d'atténuation proposées

Catégorie d'impact	Impacts négatifs	Solutions d'atténuation proposées
Sols	Dégradation et décapage des sols (terrassment) • Artificialisation des terres agricoles • Risque de contamination par les minerais ou hydrocarbures • Érosion des sols	Réhabilitation des sols après travaux (reboisement, remise en état) • Limitation de l'emprise du chantier • Gestion des déchets et hydrocarbures • Stabilisation des talus (plantation, géotextiles)
L'air	Émissions de poussières (travaux et transport de phosphate) • Pollution atmosphérique (engins de chantier, trains diesel) • Nuisances sonores (bruit, vibrations)	Arrosage régulier des pistes pour limiter la poussière • Utilisation d'engins moins polluants • Entretien des locomotives • Installation de barrières anti-bruit près des zones habitées • Couverture des wagons transportant les minerais
Eau (Superficielle/souterraine)	Pollution des oueds par ruissellement (poussières, hydrocarbures) • Risque de contamination des nappes phréatiques • Modification des écoulements naturels • Risque d'envasement des cours d'eau	Mise en place de systèmes de drainage et bassins de rétention • Traitement des eaux de ruissellement • Stockage sécurisé des produits polluants • Surveillance de la qualité des eaux • Construction d'ouvrages hydrauliques (ponts, buses)

XI.6. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet

Dans les projets ferroviaires, les contraintes environnementales peuvent fortement perturber le déroulement des travaux. Parmi celles-ci, les pluies intenses constituent un facteur critique, car elles affectent le bon fonctionnement du drainage des terrassements et accroissent le risque d'inondation par débordement des cours d'eau voisins, notamment dans les zones reconnues comme inondables. Par ailleurs, les phénomènes de pollution de l'eau et de l'air peuvent également engendrer des retards, imposant des adaptations dans la planification et l'exécution du projet.

N.B :

La prise en compte de l'aspect environnemental dès la phase d'étude préliminaire a permis d'anticiper les contraintes écologiques et d'affiner l'évaluation de la faisabilité du projet. Néanmoins, il demeure essentiel d'assurer un suivi rigoureux afin de garantir la mise en œuvre effective des mesures prévues. Il convient également d'accorder une attention particulière aux impacts cumulés à long terme, notamment ceux liés au changement climatique et à l'urbanisation croissante.



Figure XI-1 : Travaux de réalisation de la ligne minière Est « Tronçon Dréa-M'daourouch »

XI.7. Conclusion

Dans ce chapitre, l'analyse des impacts environnementaux du contournement ferroviaire a été exposée, en mettant en évidence plusieurs éléments essentiels. L'intégration précoce des considérations environnementales lors des premières phases de planification a permis d'identifier et d'anticiper les contraintes écologiques, contribuant ainsi à une évaluation plus fiable de la faisabilité du projet. En définitive, la réussite de ce projet repose sur un engagement continu en faveur de la durabilité environnementale, ainsi que sur une adaptation progressive des mesures d'atténuation face aux évolutions futures.

CHAPITRE XII
DEVIS QUANTITATIF ET
ESTIMATIF

XII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau XII-1 : Devis quantitatif et estimatif

N° Article	Désignations	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
1	ÉTUDE D'EXÉCUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER				
1-01	Amenée du matériel et installation générale de chantier	F	1	161 532 446.00	161532446.00
1-02	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	388 146 706.00	388146706.00
1-03	Étude d'exécution et plan de recollement	F	1	30 000 000.00	30000000.00
TOTAL 1					579 679 152.00
2	TERRASSEMENTS GENERAUX				
2-01	Décapage des terres végétale	M3	136366	527.4	71919428.4
2-02	Déblais en terres mise en dépôt	M3	1593352	569.6	907573299.20
2-03	Remblai provenant des zones d'emprunt	M3	515332	1300	669931600.00
TOTAL 2					1649424327.60
3	ASSISE FERROVIAIRE				
3-01	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de forme	M3	88610	1600	141776000.00
3-02	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de fondation	M3	33092	3375.4	111698736.80
3-03	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de sous ballast	M3	23947	3500	83814500.00
3-04	Fourniture et pose de Ballast	M3	49108	7547.68	370651469.44
TOTAL 3					707940706.24
4	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT				
4-01	Buses en béton arme diamètre (1500)	ML	264	50000	13200000.00
4-02	Dalot en béton armé (2x1,2x1.5)	M3	996	45000	44820000.00
4-03	Fossé en béton arme.	ML	25285	5900	149181500
TOTAL 4					207201500.00
5	TRAVAUX DE VOIE				
5-01	Fourniture des rails neufs UIC 60	T	3068	330000	1012440000.00
5-02	Pose de la voie à blanc	ML	25473	8940	227728620.00
5-03	Fourniture des traverses bi-bloc en béton armé (VAX U31)	U	42455	10000	424550000.00
5-04	Fourniture des attachés pour le rail UIC60	U	169820	1400	237748000.00
5-05	Fourniture semelle cannelée	U	84910	300	25473000.00
5-06	Soudure aluminothermique	U	177	22451.05	3973835.85
5-07	Soudure électrique	U	2830	22451.05	63536471.50
TOTAL 5					1995449927.35
6	TRAVAUX DE LA GARE				
6-01	Fourniture des ADV UIC E1 60-500-1/12	U	14	26000000	364000000,00
6-02	Fourniture des ADV UIC E1 60-300-1/9	U	4	22000000	88000000.00

6-03	Heurtoire	U	2	1121901	2243802.00
6-04	Traverse de garage franc	U	18	59307	1067526,00
6-05	Bâtiment voyageurs	M2	1200	92000	110400000.00
6-06	Fourniture et pose des quais avec ces installations	ML	450	150000	67500000.00
6-07	Passage souterrain	F	1	31112900	31112900.00
6-08	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare	F	1	83803927	83803927.00
TOTAL 6					696009541.00
7	SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION				
7-01	Électrification 25 kV/50 Hz	F	1	255000000	255 000 000.00
TOTAL 7					255 000 000.00
8	OUVRAGE D'ART				
8-01	Passage supérieure	U	3	137731152.09	413193456.27
TOTAL 8					413 193 456.27
Montant total du projet (hors taxe)					6 539 817 224,46
Montant de TVA (19%)					1 242 565 273,65
Montant total du projet (TTC)					7 782 382 497,10

Le montant total en lettre : Sept milliards sept cent quatre-vingt-deux millions trois cent quatre-vingt-deux mille quatre cent quatre-vingt-dix-sept et dix centimes

CONSLUION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

L'investissement dans le secteur ferroviaire constitue un facteur essentiel du développement socio-économique, ce qui fait de ce domaine un secteur stratégique et sensible. En Algérie, l'État consacre des budgets importants à la modernisation des infrastructures ferroviaires et à l'extension du réseau national afin d'améliorer les services de transport et de répondre aux besoins de développement.

Le présent projet porte sur l'étude du tracé ferroviaire reliant DREA À OUED KEBRIT, sur la ligne SOUK AHRAS-OUED KEBRIT. Notre travail a concerné l'étude APD (Avant-Projet Détaillé) d'un tronçon d'environ 12 km.

Cette étude a intégré plusieurs volets techniques, notamment :

- ⇒ Les études géométriques permettant la définition précise du tracé ;
- ⇒ Les études géologiques et géotechniques destinées à caractériser les terrains et leurs propriétés mécaniques ;
- ⇒ Les études hydrauliques visant à déterminer les ouvrages nécessaires pour l'évacuation des eaux pluviales et souterraines.

Ces analyses ont été complétées par la conception des terrassements et des fondations afin de déterminer les volumes de travaux et d'estimer le coût global du projet.

Par ailleurs, ce travail nous a permis de développer nos compétences dans l'utilisation de plusieurs logiciels spécialisés tels que Autodesk Civil 3D, Global mapper GEO5 et.

Enfin, l'application des normes de Union internationale des chemins de fer et de Société nationale des transports ferroviaires a constitué une exigence essentielle pour assurer la conformité technique et réglementaire de l'étude.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SNTF, Référentiel technique, version 2, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
- [2] SNCF IN 0272, Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h.
- [3] SNTF, Référentiel technique, version 2, Chapitre 7 : Hydraulique drainage, 2005.
- [4] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
- [5] UIC 703 R, Géométrie de la voie, 2ème Edition.
- [6] UIC 741 OR, Quai des gares à voyageurs , 4ème Edition.
- [7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».
- [8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [9] Guide des terrassements routiers, Fascicule II, 2ème Edition.
- [10] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [11] Cours hydraulique et assainissement de Dr.RHMANI Douadi ENSTP.
- [12] Cours voie ferrée Mr.MORSLI Rabeh. ENSTP.
- [13] La signalisation ferroviaire, Presses de l'école nationale des ponts et chaussée.

LES ANNEXES

ANNEXE A

Listing de la geometrie Axe en Plan

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abcisse	X	Y
			46+000.00	399272.0450	3996993.3614
DR1	ANG=249.9041 (g)	955.500			
			46+955.50	398597.4232	3996316.7039
CLO2	A=268.328				
	R=900.000	80.000			
			47+035.50	398540.1119	3996260.8981
ARC3	XC=397931.6195				
	YC=3996924.0248				
	R=900.000	93.919			
			47+129.42	398467.7275	3996201.1221
CLO4	A=268.328				
	R=900.000	80.000			
			47+209.42	398402.0916	3996155.3966
DR5	ANG=262.2063 (g)	99.320			
			47+308.74	398319.7656	3996099.8371
CLO6	A=209.762				
	R=400.000	110.000			
			47+418.74	398225.9426	3996042.5927
ARC7	XC=398049.7403				
	YC=3996401.6926				
	R=400.000	125.050			
			47+543.79	398106.9582	3996005.8061
CLO8	A=209.762				
	R=400.000	110.000			
			47+653.79	397997.1984	3996000.1085
DR9	ANG=299.6157 (g)	115.123			
			47+768.91	397882.0777	3995999.4135
CLO10	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			47+868.91	397782.2607	3995994.6488
ARC11	XC=397834.5257				

ANNEXE A

	YC=3995598.0781				
	R=400.000	124.010			
			47+992.92	397663.7660	3995959.7977
CLO12	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			48+092.92	397577.2636	3995909.7631
DR13	ANG=263.9634 (g)	775.778			
			48+868.70	396922.4920	3995493.7044
CLO14	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			48+978.70	396827.9262	3995437.5948
ARC15	XC=396553.8462				
	YC=3995971.3365				
	R=600.000	268.295			
			49+246.99	396570.1861	3995371.5590
CLO16	A=256.905				
	R=600.000	110.000			
			49+356.99	396460.2902	3995375.2833
DR17	ANG=304.1018 (g)	148.313			
			49+505.31	396312.2846	3995384.8326
CLO18	A=268.328				
	R=900.000	80.000			
			49+585.31	396232.3901	3995388.7999
ARC19	XC=396214.4041				
	YC=3994488.9796				
	R=900.000	444.390			
			50+029.70	395803.7756	3995289.8443
CLO20	A=268.328				
	R=900.000	80.000			
			50+109.70	395733.7064	3995251.2544
DR21	ANG=267.0088 (g)	169.777			
			50+279.47	395586.2210	3995167.1571
CLO22	A=250.998				
	R=900.000	70.000			
			50+349.47	395524.9718	3995133.2768
ARC23	XC=395109.9004				
	YC=3995931.8479				
	R=900.000	64.725			
			50+414.20	395466.5181	3995105.5164
CLO24	A=250.998				
	R=900.000	70.000			
			50+484.20	395401.5548	3995079.4566
DR25	ANG=276.5386 (g)	242.603			

ANNEXE A

			50+726.80	395175.2411	3994992.0601
CLO26	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			50+826.80	395083.6003	3994952.2092
ARC27	XC=395273.0957				
	YC=3994599.9430				
	R=400.000	163.154			
			50+989.95	394959.4130	3994848.1428
CLO28	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			51+089.95	394904.1447	3994764.8870
DR29	ANG=234.6563 (g)	161.521			
			51+251.48	394820.4950	3994626.7140
CLO30	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			51+351.48	394772.3475	3994539.1472
ARC31	XC=395137.6842				
	YC=3994376.2696				
	R=400.000	392.856			
			51+744.33	394799.3699	3994162.8606
CLO32	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			51+844.33	394859.5357	3994083.0722
DR33	ANG=156.2158 (g)	1745.487			
			53+589.82	395967.5845	3992734.3869
CLO34	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			53+689.82	396027.7503	3992654.5985
ARC35	XC=395689.4360				
	YC=3992441.1895				
	R=400.000	570.803			
			54+260.62	395949.1211	3992136.9467
CLO36	A=200.000				
	R=400.000	100.000			
			54+360.62	395867.9765	3992078.6227
DR37	ANG=262.9774 (g)	660.282			
			55+020.90	395316.2366	3991715.9175
CLO38	A=252.587				
	R=580.000	110.000			
			55+130.90	395226.3106	3991652.6432
ARC39	XC=395589.3739				
	YC=3991200.3325				
	R=580.000	578.454			

ANNEXE A

			55+709.36	395012.4427	3991140.7473
CLO40	A=252.587				
	R=580.000	110.000			
			55+819.36	395030.6264	3991032.3052
DR41	ANG=187.4113 (g)	543.135			
			56+362.49	395137.3285	3990499.7548
CLO42	A=289.828				
	R=600.000	140.000			
			56+502.49	395170.1280	3990363.7383
ARC43	XC=395740.7157				
	YC=3990549.2909				
	R=600.000	177.452			
			56+679.94	395248.9824	3990205.4909
CLO44	A=289.828				
	R=600.000	140.000			
			56+819.94	395337.8217	3990097.3989
DR45	ANG=153.7287 (g)	119.456			
			56+939.40	395417.2005	3990008.1312
CLO46	A=289.828				
	R=600.000	140.000			
			57+079.40	395506.0398	3989900.0391
ARC47	XC=395014.3066				
	YC=3989556.2391				
	R=600.000	151.286			
			57+230.69	395576.2624	3989766.4906
CLO48	A=289.828				
	R=600.000	140.000			
			57+370.69	395614.9605	3989632.0333
DR49	ANG=184.6351 (g)	144.913			
			57+515.60	395649.5969	3989491.3208
CLO50	A=236.643				
	R=800.000	70.000			
			57+585.60	395665.3337	3989423.1188
ARC51	XC=394880.9015				
	YC=3989266.0641				
	R=800.000	352.166			
			57+937.76	395657.4737	3989073.8778
CLO52	A=236.643				
	R=800.000	70.000			
			58+007.76	395638.6846	3989006.4528
DR53	ANG=218.2300 (g)	34.808			
			58+042.57	395628.8527	3988973.0619

ANNEXE B

Profil-Abscisse Sommet et Raccordements

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			46+000.00	812.985
D1	PENTE= 0.54%	2524.998		
			48+525.00	826.598
ARC1	S= 48+575.00 Z=826.868			
	R= -14212.844	100.000		
			48+625.00	827.489
D2	PENTE= 1.24%	3315.274		
			51+940.27	868.692
ARC2	S= 51+978.27 Z=869.164			
	R= -6115.668	76.000		
			52+016.27	869.164
D3	PENTE= 0.00%	1403.646		
			53+419.92	869.164
ARC3	S= 53+468.42 Z=869.164			
	R= -6059.983	97.000		
			53+516.92	868.388
D4	PENTE= -1.60%	1112.392		
			54+629.31	850.580
ARC4	S= 54+676.30 Z=849.827			
	R= -47216.620	93.982		
			54+723.29	848.982
D5	PENTE= -1.80%	1362.804		
			56+086.10	824.451
ARC5	S= 56+144.85 Z=823.394			
	R= -58779.488	117.508		
			56+203.60	822.454
D6	PENTE= -1.60%	1819.852		
			58+023.46	793.336

ANNEXE C1

Coefficient de ruissellement Cr

Couverture Végétale	Morphologie	Pente %	Terrain Sable grossier	Terrain Limoneux	Terrain Argileux
Bois	Presque plat	$p < 5$	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	$5 \leq p < 10$	0.25	0.35	0.50
	Montagneux	$10 \leq p < 30$	0.30	0.50	0.60
Pâturage	Presque plat	$p < 5$	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	$5 \leq p < 10$	0.15	0.36	0.55
	Montagneux	$10 \leq p < 30$	0.22	0.42	0.60
Culture	Presque plat	$p < 5$	0.30	0.50	0.60
	Ondulé	$5 \leq p < 10$	0.40	0.60	0.72
	Montagneux	$10 \leq p < 30$	0.52	0.72	0.82

ANNEXE C2

Nature de l'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
Ks	30	40	50	70	

ANNEXE D1

La classe la portance de la plate-forme

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en oeuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale : "e _f " (en mètres) (voir fig. 9 - page 30)
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	-

ANNEXE D2

Dimensionnement de couche d'assise

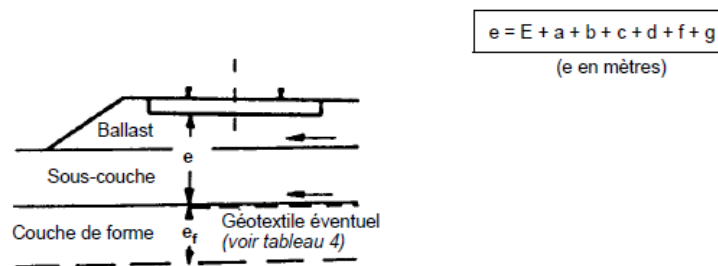


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 ^a
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 ^a
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3 ^a
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC) ^b
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4 ^b
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6 ^b
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	= $\frac{2,50 - L}{2}$	pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	= 0	pour un dimensionnement normal
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur" ^b
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	= 0	pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 ^c
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3 ^c

ANNEXE D3

Conditions de réutilisations des matériaux de déblais

La majorité des matériaux rencontrés sont classés selon la norme NF P11-300 comme suit : A2, A1, R23 et R34 et R43. La réutilisation de ces matériaux en remblais est sujette aux recommandations du guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme (GTR).

Ces dernières sont données par classes aux paragraphes suivants :

Classe A (sous-classe A1 et A2) :

Cette classe correspond au sol fin dont le D_{max} (Diamètre du plus gros élément en mm) est inférieur à 50 mm et les tamisât à 80µ supérieur à 35%, les sols rentrant dans cette classe sont les limons argileux et les argiles limoneuses ainsi que les argiles sableuses et les argiles grisâtres, rencontrés le long du tracé.

D'après le GTR, la teneur en eau de ces matériaux, va définir les conditions de réutilisations (procédé d'extraction et mode de compactage).

Classe R3 (sous-classe R34) :

Cette classe correspond aux matériaux rocheux de natures argileuses ou marneuses, jugées du point de vue fragmentable, comme étant des roches peu fragmentables à fragmentables et de point de vue dégradabilité comme des roches moyennement à très dégradables. D'après le GTR ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. Mais vu que cette classe se caractérise par le fait qu'elles possèdent une structure plus ou moins résistante, elles se fragmentent à la mise en œuvre, et elles évoluent granulométriquement en cours du chantier, et que sa mise en place nécessite une étude spécifique préalable, pour ces raisons, et à ce stade du projet, ces matériaux ne seront pas considérés réutilisables.

Classe R2 (sous-classe R23) :

Il s'agit de calcaire tuf facé fragmentable (encroûtement), rencontré essentiellement en couche de recouvrement de faible épaisseur. D'après le GTR, ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR.

Classe R4 (sous-classe R43) :

Cette classe correspond aux matériaux rocheux de nature gréseuse rencontrée très rarement le long du tracé souvent en alternance avec des argiles et des calcaires. La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR.

ANNEXE E

Slope stability analysis PK49+800(STATIQUE)

Settings

Standard - safety factors

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Earthquake analysis : Standard

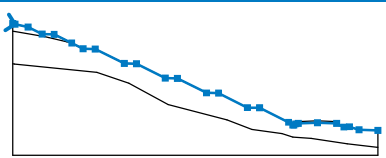
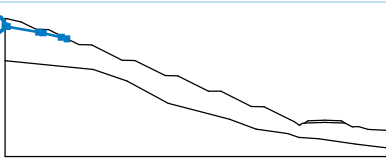
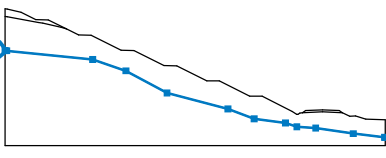
Safety factors		
Permanent design situation		
Safety factor :	$SF_s =$	1,50 [-]

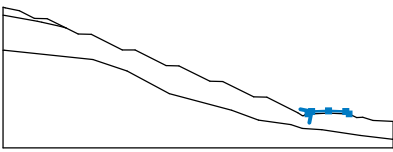
Anchors

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Safety factor for steel strength :	$SF_t =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	$SF_e =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	$SF_c =$	1,50	[-]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	16,55	0,28	16,49	1,93	16,12
		3,71	15,23	5,23	15,20	7,44	14,09
		8,89	13,37	10,41	13,34	14,07	11,51
		15,60	11,48	19,25	9,65	20,78	9,62
		24,44	7,79	25,96	7,76	29,62	5,93
		31,14	5,90	34,80	4,07	35,33	3,71
		35,48	3,71	35,71	3,87	36,02	3,92
		38,45	4,01	40,88	3,92	41,77	3,47
		42,48	3,51	43,69	3,14	46,07	3,05
2		0,00	15,61	0,27	15,56	4,03	14,89
		4,58	14,79	6,76	14,28	7,44	14,09
3		0,00	11,46	0,20	11,44	10,62	10,37
		14,64	9,00	19,62	6,30	27,01	4,37
		30,19	3,18	33,98	2,66	35,35	2,20
		37,64	2,04	42,19	1,37	45,98	0,91
		46,07	0,90				

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
4		36,02	3,92	36,43	4,19	38,45	4,27
		40,47	4,19	40,88	3,92		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	SABLE AVEC BLOCS DE GRES		30,00	0,00	18,00
2	ARGILE SABLO GRAVELEUSE		25,00	40,00	19,90
3	SABLE ARGILLO GRAVELEUX		31,00	19,00	20,30
4	PLATEFORME		35,00	15,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	SABLE AVEC BLOCS DE GRES		18,00		
2	ARGILE SABLO GRAVELEUSE		21,00		
3	SABLE ARGILLO GRAVELEUX		20,30		
4	PLATEFORME		20,00		

Soil parameters

SABLE AVEC BLOCS DE GRES

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Stress-state : effective

Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 30,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

ARGILE SABLO GRAVELEUSE

Unit weight : $\gamma = 19,90 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 40,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

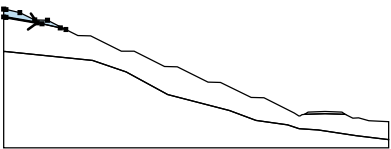
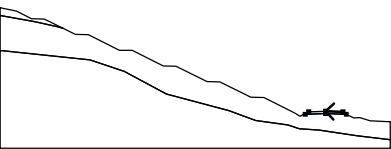
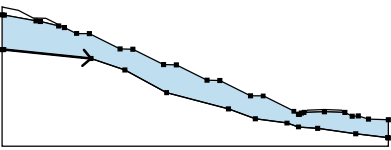
SABLE ARGILLO GRAVELEUX

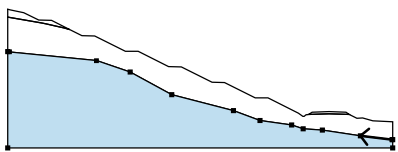
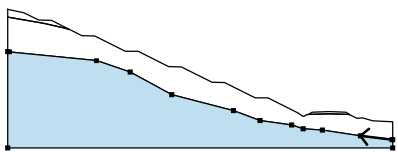
Unit weight : $\gamma = 20,30 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 31,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 19,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,30 \text{ kN/m}^3$

PLATEFORME

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		0,27	15,56	4,03	14,89	SABLE AVEC BLOCS DE GRES 
		4,58	14,79	6,76	14,28	
		7,44	14,09	5,23	15,20	
		3,71	15,23	1,93	16,12	
		0,28	16,49	0,00	16,55	
		0,00	15,61			
2		40,47	4,19	38,45	4,27	PLATEFORME 
		36,43	4,19	36,02	3,92	
		38,45	4,01	40,88	3,92	
3		0,20	11,44	10,62	10,37	ARGILE SABLO GRAVELEUSE 
		14,64	9,00	19,62	6,30	
		27,01	4,37	30,19	3,18	
		33,98	2,66	35,35	2,20	
		37,64	2,04	42,19	1,37	
		45,98	0,91	46,07	0,90	
		46,07	3,05	43,69	3,14	

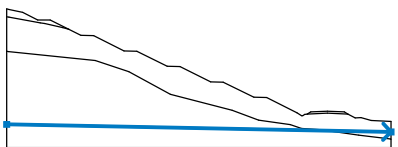
No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
		42,48	3,51	41,77	3,47	
		40,88	3,92	38,45	4,01	
		36,02	3,92	35,71	3,87	
		35,48	3,71	35,33	3,71	
		34,80	4,07	31,14	5,90	
		29,62	5,93	25,96	7,76	
		24,44	7,79	20,78	9,62	
		19,25	9,65	15,60	11,48	
		14,07	11,51	10,41	13,34	
		8,89	13,37	7,44	14,09	
		6,76	14,28	4,58	14,79	
		4,03	14,89	0,27	15,56	
		0,00	15,61	0,00	11,46	
		45,98	0,91	42,19	1,37	
4		37,64	2,04	35,35	2,20	SABLE ARGILO GRAVELEUX 
		33,98	2,66	30,19	3,18	
		27,01	4,37	19,62	6,30	
		14,64	9,00	10,62	10,37	
		0,20	11,44	0,00	11,46	
		0,00	-0,10	46,07	-0,10	
		46,07	0,90			

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, x	q ₂ , z	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 36,43	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 38,45	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Water type : GWT

No.	GWT location	Coordinates of GWT points [m]			
		x	z	x	z
1		0,00	2,67	46,07	1,77

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters					
Center :	x =	26,37 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-56,55 [°]
	z =	33,80 [m]		$\alpha_2 =$	16,54 [°]
Radius :	R =	31,37 [m]			
The slip surface after optimization.					

Total weight of soil above the slip surface: 3352,43 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 989,66$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 2892,17$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 31045,67$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 90727,28$ kNm/m

Factor of safety = 2,92 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE

Slope stability analysis PK49+800(DYNAMIQUE)

Settings

Standard - safety factors

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Earthquake analysis : Standard

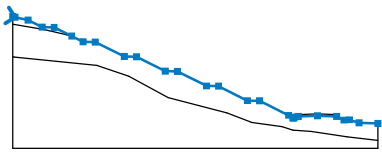
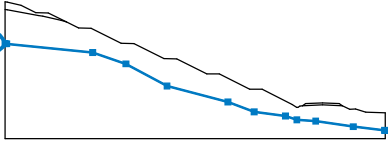
Safety factors		
Seismic design situation		
Safety factor :	$SF_s =$	1,00 [-]

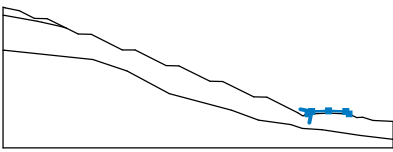
Anchors

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Safety factor for steel strength :	$SF_t =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	$SF_e =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	$SF_c =$	1,50	[-]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	16,55	0,28	16,49	1,93	16,12
		3,71	15,23	5,23	15,20	7,44	14,09
		8,89	13,37	10,41	13,34	14,07	11,51
		15,60	11,48	19,25	9,65	20,78	9,62
		24,44	7,79	25,96	7,76	29,62	5,93
		31,14	5,90	34,80	4,07	35,33	3,71
		35,48	3,71	35,71	3,87	36,02	3,92
		38,45	4,01	40,88	3,92	41,77	3,47
		42,48	3,51	43,69	3,14	46,07	3,05
2		0,00	15,61	0,27	15,56	4,03	14,89
		4,58	14,79	6,76	14,28	7,44	14,09
3		0,00	11,46	0,20	11,44	10,62	10,37
		14,64	9,00	19,62	6,30	27,01	4,37
		30,19	3,18	33,98	2,66	35,35	2,20
		37,64	2,04	42,19	1,37	45,98	0,91
		46,07	0,90				

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
4		36,02	3,92	36,43	4,19	38,45	4,27
		40,47	4,19	40,88	3,92		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	SABLE AVEC BLOCS DE GRES		30,00	0,00	18,00
2	ARGILE SABLO GRAVELEUSE		25,00	40,00	19,90
3	SABLE ARGILLO GRAVELEUX		31,00	19,00	20,30
4	PLATEFORME		35,00	15,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	SABLE AVEC BLOCS DE GRES		18,00		
2	ARGILE SABLO GRAVELEUSE		21,00		
3	SABLE ARGILLO GRAVELEUX		20,30		
4	PLATEFORME		20,00		

Soil parameters

SABLE AVEC BLOCS DE GRES

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Stress-state : effective

Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 30,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

ARGILE SABLO GRAVELEUSE

Unit weight : $\gamma = 19,90 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 40,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

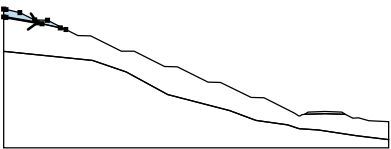
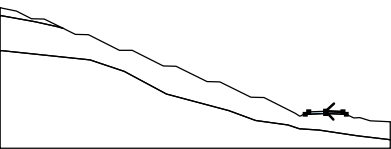
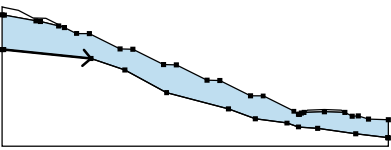
SABLE ARGILO GRAVELEUX

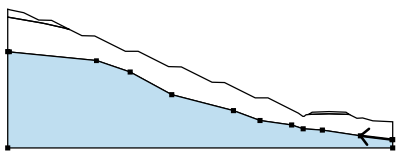
Unit weight : $\gamma = 20,30 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 31,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 19,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,30 \text{ kN/m}^3$

PLATEFORME

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		0,27	15,56	4,03	14,89	SABLE AVEC BLOCS DE GRES 
		4,58	14,79	6,76	14,28	
		7,44	14,09	5,23	15,20	
		3,71	15,23	1,93	16,12	
		0,28	16,49	0,00	16,55	
		0,00	15,61			
2		40,47	4,19	38,45	4,27	PLATEFORME 
		36,43	4,19	36,02	3,92	
		38,45	4,01	40,88	3,92	
3		0,20	11,44	10,62	10,37	ARGILE SABLO GRAVELEUSE 
		14,64	9,00	19,62	6,30	
		27,01	4,37	30,19	3,18	
		33,98	2,66	35,35	2,20	
		37,64	2,04	42,19	1,37	
		45,98	0,91	46,07	0,90	
		46,07	3,05	43,69	3,14	

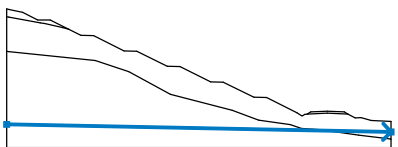
No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
		42,48	3,51	41,77	3,47	SABLE ARGILO GRAVELEUX 
		40,88	3,92	38,45	4,01	
		36,02	3,92	35,71	3,87	
		35,48	3,71	35,33	3,71	
		34,80	4,07	31,14	5,90	
		29,62	5,93	25,96	7,76	
		24,44	7,79	20,78	9,62	
		19,25	9,65	15,60	11,48	
		14,07	11,51	10,41	13,34	
		8,89	13,37	7,44	14,09	
		6,76	14,28	4,58	14,79	
		4,03	14,89	0,27	15,56	
		0,00	15,61	0,00	11,46	
		45,98	0,91	42,19	1,37	
4		37,64	2,04	35,35	2,20	
		33,98	2,66	30,19	3,18	
		27,01	4,37	19,62	6,30	
		14,64	9,00	10,62	10,37	
		0,20	11,44	0,00	11,46	
		0,00	-0,10	46,07	-0,10	
		46,07	0,90			

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, x	q ₂ , z	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 36,43	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 38,45	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Water type : GWT

No.	GWT location	Coordinates of GWT points [m]			
		x	z	x	z
1		0,00	2,67	46,07	1,77

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,1500$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,0750$

Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters					
Center :	x =	28,87 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-65,47 [°]
	z =	29,59 [m]		$\alpha_2 =$	32,64 [°]
Radius :	R =	31,51 [m]			
The slip surface after optimization.					

Total weight of soil above the slip surface: 6369,20 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 2184,43$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 4251,75$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 68831,47$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 133972,49$ kNm/m

Factor of safety = 1,95 > 1,00

Slope stability ACCEPTABLE

Slope stability analysis PK52+400 (STATIQUE)

Settings

Philippines - DPWH Settings

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Earthquake analysis : Standard

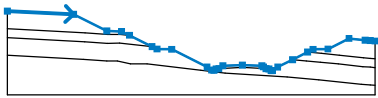
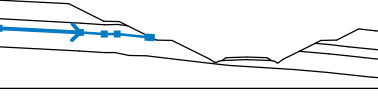
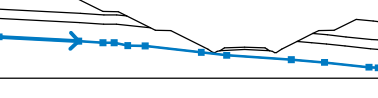
Safety factors		
Permanent design situation		
Safety factor :	$SF_s =$	1,50 [-]

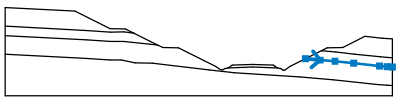
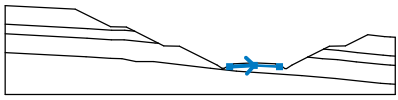
Anchors

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Safety factor for steel strength :	$SF_t =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	$SF_e =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	$SF_c =$	1,50	[-]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,50	9,52	7,33	9,18	10,78	7,46
		12,30	7,42	13,12	7,02	15,45	5,85
		15,96	5,60	17,49	5,57	21,14	3,74
		21,61	3,42	21,85	3,40	22,06	3,53
		22,36	3,58	22,78	3,86	24,78	3,94
		26,81	3,86	26,98	3,75	27,23	3,58
		27,53	3,53	27,76	3,38	27,91	3,38
		28,44	3,74	29,97	4,50	31,52	5,28
		32,10	5,57	33,63	5,60	35,81	6,69
		37,48	6,51	38,00	6,47	38,50	6,43
2		0,50	7,70	8,54	7,27	10,86	7,11
		12,15	7,12	13,12	7,02		
3		0,50	6,77	8,48	6,35	10,83	6,19
		12,10	6,20	15,12	5,88	15,45	5,85
4		31,52	5,28	32,95	5,15	34,79	4,95
		37,32	4,69	38,00	4,64	38,50	4,60
5		0,50	4,95	8,37	4,53	10,78	4,37
		11,88	4,36	13,23	4,08	14,94	4,06
		20,50	3,41	23,01	3,12	29,40	2,70
		32,69	2,42	37,08	1,95	38,00	1,89
		38,50	1,86				

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
6		29,97	4,50	31,41	4,36	32,86	4,24
		34,69	4,05	37,24	3,78	38,00	3,72
		38,50	3,68				
7		22,36	3,58	24,78	3,69	27,23	3,58

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argile limoneuse brunâtre		25,00	47,00	19,40
2	Argile limoneuse brune à rougeâtre		21,00	43,00	19,80
3	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroutement calcaire		25,00	48,00	19,80
4	PLATEFORME		35,00	15,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [—]
1	Argile limoneuse brunâtre		21,00		
2	Argile limoneuse brune à rougeâtre		19,80		
3	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroutement calcaire		21,00		
4	PLATEFORME		20,00		

Soil parameters

Argile limoneuse brunâtre

Unit weight : $\gamma = 19,40 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 47,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Argile limoneuse brune à rougeâtre

Unit weight : $\gamma = 19,80 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 21,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 43,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19,80 \text{ kN/m}^3$

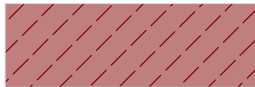
Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroutement calcaire

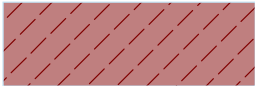
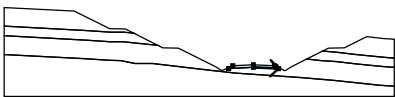
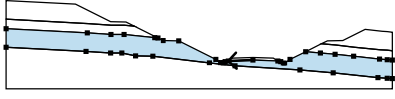
Unit weight : $\gamma = 19,80 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 48,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

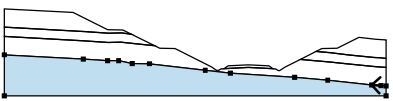
PLATEFORME

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		8,54	7,27	10,86	7,11	Argile limoneuse brunâtre 
		12,15	7,12	13,12	7,02	
		12,30	7,42	10,78	7,46	
		7,33	9,18	0,50	9,52	
		0,50	7,70			
2		8,48	6,35	10,83	6,19	Argile limoneuse brune à rougeâtre 
		12,10	6,20	15,12	5,88	
		15,45	5,85	13,12	7,02	
		12,15	7,12	10,86	7,11	
		8,54	7,27	0,50	7,70	
		0,50	6,77			

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
3		32,95	5,15	34,79	4,95	Argile limoneuse brunâtre 
		37,32	4,69	38,00	4,64	
		38,50	4,60	38,50	6,43	
		38,00	6,47	37,48	6,51	
		35,81	6,69	33,63	5,60	
		32,10	5,57	31,52	5,28	
4		31,41	4,36	32,86	4,24	Argile limoneuse brune à rougeâtre 
		34,69	4,05	37,24	3,78	
		38,00	3,72	38,50	3,68	
		38,50	4,60	38,00	4,64	
		37,32	4,69	34,79	4,95	
		32,95	5,15	31,52	5,28	
5		24,78	3,69	27,23	3,58	PLATEFORME 
		26,98	3,75	26,81	3,86	
		24,78	3,94	22,78	3,86	
		22,36	3,58			
6		24,78	3,69	22,36	3,58	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroustement calcaire 
		22,06	3,53	21,85	3,40	
		21,61	3,42	21,14	3,74	
		17,49	5,57	15,96	5,60	
		15,45	5,85	15,12	5,88	
		12,10	6,20	10,83	6,19	
		8,48	6,35	0,50	6,77	
		0,50	4,95	8,37	4,53	
		10,78	4,37	11,88	4,36	
		13,23	4,08	14,94	4,06	
		20,50	3,41	23,01	3,12	
		29,40	2,70	32,69	2,42	
		37,08	1,95	38,00	1,89	
		38,50	1,86	38,50	3,68	
		38,00	3,72	37,24	3,78	
		34,69	4,05	32,86	4,24	
		31,41	4,36	29,97	4,50	
		28,44	3,74	27,91	3,38	
		27,76	3,38	27,53	3,53	
		27,23	3,58			

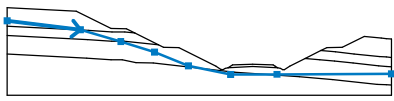
No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
7		38,00	1,89	37,08	1,95	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroutement calcaire 
		32,69	2,42	29,40	2,70	
		23,01	3,12	20,50	3,41	
		14,94	4,06	13,23	4,08	
		11,88	4,36	10,78	4,37	
		8,37	4,53	0,50	4,95	
		0,50	0,86	38,50	0,86	
		38,50	1,86			

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, x	q ₂ , z	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 22,78	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 24,78	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Water type : GWT

No.	GWT location	Coordinates of GWT points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,50	8,22	7,75	7,35	11,74	6,17
		15,08	5,13	18,42	3,76	22,59	2,91
		27,18	2,93	38,50	2,98		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	14,32	[m]	Angles :	α_1 =	-64,96	[°]
	z =	15,51	[m]		α_2 =	31,87	[°]

Slip surface parameters			
Radius :	R =	14,26 [m]	
The slip surface after optimization.			

Total weight of soil above the slip surface: 1766,46 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 402,01 \text{ kN/m}$

Sum of passive forces : $F_p = 1710,82 \text{ kN/m}$

Sliding moment : $M_a = 5732,64 \text{ kNm/m}$

Resisting moment : $M_p = 24396,35 \text{ kNm/m}$

Factor of safety = $4,26 > 1,50$

Slope stability ACCEPTABLE

Slope stability analysis PK52+400(DYNAMIQUE)

Settings

Philippines - DPWH Settings

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Earthquake analysis : Standard

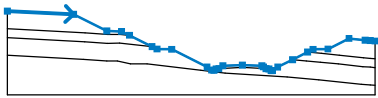
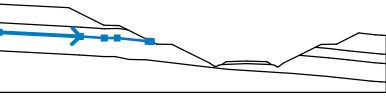
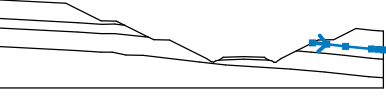
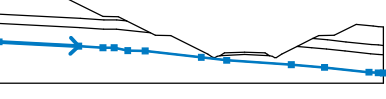
Safety factors		
Seismic design situation		
Safety factor :	SF _s =	1,10 [-]

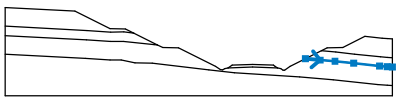
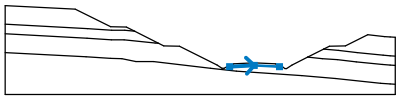
Anchors

Verification methodology : Safety factors (ASD)

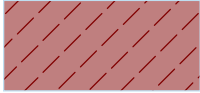
Safety factors			
Safety factor for steel strength :	SF _t =	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	SF _e =	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	SF _c =	1,50	[-]

Interface

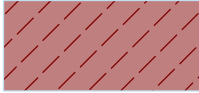
No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,50	9,52	7,33	9,18	10,78	7,46
		12,30	7,42	13,12	7,02	15,45	5,85
		15,96	5,60	17,49	5,57	21,14	3,74
		21,61	3,42	21,85	3,40	22,06	3,53
		22,36	3,58	22,78	3,86	24,78	3,94
		26,81	3,86	26,98	3,75	27,23	3,58
		27,53	3,53	27,76	3,38	27,91	3,38
		28,44	3,74	29,97	4,50	31,52	5,28
		32,10	5,57	33,63	5,60	35,81	6,69
		37,48	6,51	38,00	6,47	38,50	6,43
2		0,50	7,70	8,54	7,27	10,86	7,11
		12,15	7,12	13,12	7,02		
3		0,50	6,77	8,48	6,35	10,83	6,19
		12,10	6,20	15,12	5,88	15,45	5,85
4		31,52	5,28	32,95	5,15	34,79	4,95
		37,32	4,69	38,00	4,64	38,50	4,60
5		0,50	4,95	8,37	4,53	10,78	4,37
		11,88	4,36	13,23	4,08	14,94	4,06
		20,50	3,41	23,01	3,12	29,40	2,70
		32,69	2,42	37,08	1,95	38,00	1,89
		38,50	1,86				

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
6		29,97	4,50	31,41	4,36	32,86	4,24
		34,69	4,05	37,24	3,78	38,00	3,72
		38,50	3,68				
7		22,36	3,58	24,78	3,69	27,23	3,58

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	Argile limoneuse brunâtre		25,00	47,00	19,40
2	Argile limoneuse brune à rougeâtre		21,00	43,00	19,80
3	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroustement calcaire		25,00	48,00	19,80
4	PLATEFORME		35,00	15,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [—]
1	Argile limoneuse brunâtre		21,00		
2	Argile limoneuse brune à rougeâtre		19,80		
3	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroustement calcaire		21,00		
4	PLATEFORME		20,00		

Soil parameters

Argile limoneuse brunâtre

Unit weight : $\gamma = 19,40 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 47,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Argile limoneuse brune à rougeâtre

Unit weight : $\gamma = 19,80 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : 0 Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 21,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 43,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 19,80 \text{ kN/m}^3$

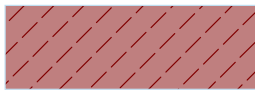
Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroutement calcaire

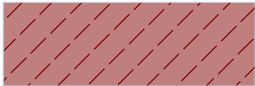
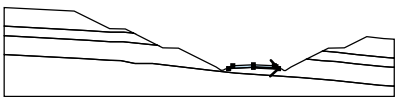
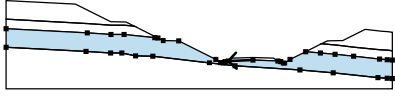
Unit weight : $\gamma = 19,80 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 48,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

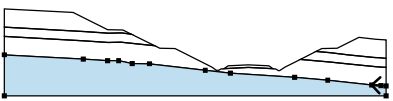
PLATEFORME

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		8,54	7,27	10,86	7,11	Argile limoneuse brunâtre 
		12,15	7,12	13,12	7,02	
		12,30	7,42	10,78	7,46	
		7,33	9,18	0,50	9,52	
		0,50	7,70			
2		8,48	6,35	10,83	6,19	Argile limoneuse brune à rougeâtre 
		12,10	6,20	15,12	5,88	
		15,45	5,85	13,12	7,02	
		12,15	7,12	10,86	7,11	
		8,54	7,27	0,50	7,70	
		0,50	6,77			

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
3		32,95	5,15	34,79	4,95	Argile limoneuse brunâtre 
		37,32	4,69	38,00	4,64	
		38,50	4,60	38,50	6,43	
		38,00	6,47	37,48	6,51	
		35,81	6,69	33,63	5,60	
		32,10	5,57	31,52	5,28	
4		31,41	4,36	32,86	4,24	Argile limoneuse brune à rougeâtre 
		34,69	4,05	37,24	3,78	
		38,00	3,72	38,50	3,68	
		38,50	4,60	38,00	4,64	
		37,32	4,69	34,79	4,95	
		32,95	5,15	31,52	5,28	
5		24,78	3,69	27,23	3,58	PLATEFORME 
		26,98	3,75	26,81	3,86	
		24,78	3,94	22,78	3,86	
		22,36	3,58			
6		24,78	3,69	22,36	3,58	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroustement calcaire 
		22,06	3,53	21,85	3,40	
		21,61	3,42	21,14	3,74	
		17,49	5,57	15,96	5,60	
		15,45	5,85	15,12	5,88	
		12,10	6,20	10,83	6,19	
		8,48	6,35	0,50	6,77	
		0,50	4,95	8,37	4,53	
		10,78	4,37	11,88	4,36	
		13,23	4,08	14,94	4,06	
		20,50	3,41	23,01	3,12	
		29,40	2,70	32,69	2,42	
		37,08	1,95	38,00	1,89	
		38,50	1,86	38,50	3,68	
		38,00	3,72	37,24	3,78	
		34,69	4,05	32,86	4,24	
		31,41	4,36	29,97	4,50	
		28,44	3,74	27,91	3,38	
		27,76	3,38	27,53	3,53	
		27,23	3,58			

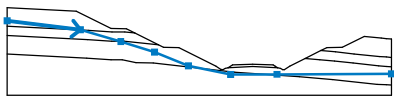
No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
7		38,00	1,89	37,08	1,95	Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroustement calcaire 
		32,69	2,42	29,40	2,70	
		23,01	3,12	20,50	3,41	
		14,94	4,06	13,23	4,08	
		11,88	4,36	10,78	4,37	
		8,37	4,53	0,50	4,95	
		0,50	0,86	38,50	0,86	
		38,50	1,86			

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, x	q ₂ , z	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 22,78	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 24,78	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Water type : GWT

No.	GWT location	Coordinates of GWT points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,50	8,22	7,75	7,35	11,74	6,17
		15,08	5,13	18,42	3,76	22,59	2,91
		27,18	2,93	38,50	2,98		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,1500$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,0750$

Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	13,99	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-64,46	[°]
	z =	15,86	[m]		$\alpha_2 =$	32,23	[°]

Slip surface parameters			
Radius :	R =	14,73 [m]	
The slip surface after optimization.			

Total weight of soil above the slip surface: 1894,83 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 597,67 \text{ kN/m}$

Sum of passive forces : $F_p = 1689,41 \text{ kN/m}$

Sliding moment : $M_a = 8803,62 \text{ kNm/m}$

Resisting moment : $M_p = 24885,04 \text{ kNm/m}$

Factor of safety = $2,83 > 1,10$

Slope stability ACCEPTABLE

Slope stability analysis PK 53+875 (STATIQUE)

Settings

Philippines - DPWH Settings

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Earthquake analysis : Standard

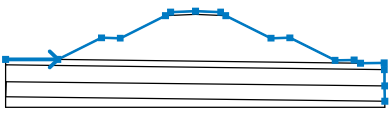
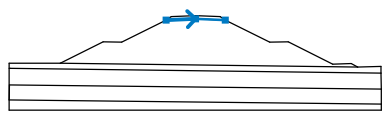
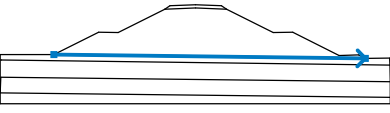
Safety factors		
Permanent design situation		
Safety factor :	$SF_s =$	1,50 [-]

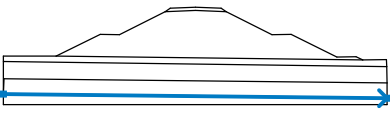
Anchors

Verification methodology : Safety factors (ASD)

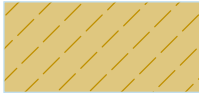
Safety factors			
Safety factor for steel strength :	$SF_t =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	$SF_e =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	$SF_c =$	1,50	[-]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	3,37	4,22	3,37	7,74	5,12
		9,26	5,09	12,92	6,92	13,33	7,20
		15,35	7,28	17,37	7,20	17,78	6,92
		21,44	5,09	22,96	5,12	26,62	3,29
		28,15	3,33	28,68	3,06	30,59	3,10
		30,60	2,54	30,62	1,23	30,63	0,00
2		12,92	6,92	15,35	7,02	17,78	6,92
3		4,22	3,37	28,68	3,06		
4		0,00	2,94	0,09	2,94	30,60	2,54
5		0,00	0,34	0,04	1,57	30,62	1,23

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
6		0,00	0,34	30,63	0,00		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	REMBLAI		35,00	5,00	20,00
2	Argile limoneuse jauneatre		20,00	30,00	19,40
3	Argile brune peu plastique		23,00	42,00	19,50
4	Argile limoneuse peu plastique marron		29,00	34,00	22,60
5	PLATEFORME		35,00	15,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [–]
1	REMBLAI		20,00		
2	Argile limoneuse jauneatre		20,00		
3	Argile brune peu plastique		20,00		
4	Argile limoneuse peu plastique marron		23,00		

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
5	PLATEFORME		20,00		

Soil parameters

REMBLAI

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 5,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Argile limoneuse jauneatre

Unit weight : $\gamma = 19,40 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 20,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Argile brune peu plastique

Unit weight : $\gamma = 19,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 23,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 42,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

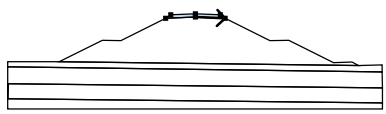
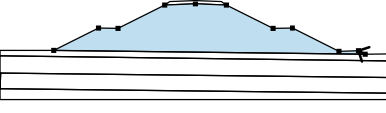
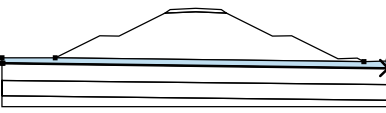
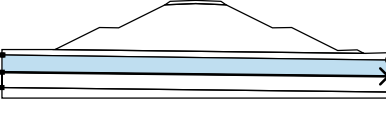
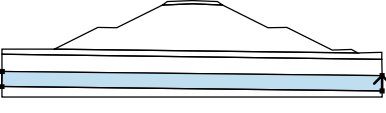
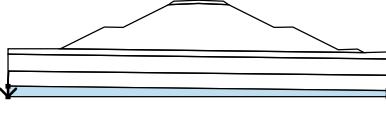
Argile limoneuse peu plastique marron

Unit weight : $\gamma = 22,60 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 29,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 34,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$

PLATEFORME

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		15,35	7,02	17,78	6,92	PLATEFORME 
		17,37	7,20	15,35	7,28	
		13,33	7,20	12,92	6,92	
2		28,68	3,06	28,15	3,33	REMBLAI 
		26,62	3,29	22,96	5,12	
		21,44	5,09	17,78	6,92	
		15,35	7,02	12,92	6,92	
		9,26	5,09	7,74	5,12	
		4,22	3,37			
3		0,09	2,94	30,60	2,54	Argile limoneuse jaunâtre 
		30,59	3,10	28,68	3,06	
		4,22	3,37	0,00	3,37	
		0,00	2,94			
4		0,04	1,57	30,62	1,23	Argile brune peu plastique 
		30,60	2,54	0,09	2,94	
		0,00	2,94	0,00	0,34	
5		30,63	0,00	30,62	1,23	PLATEFORME 
		0,04	1,57	0,00	0,34	
6		0,00	0,34	0,00	-0,50	PLATEFORME 
		30,63	-0,50	30,63	0,00	

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin	Length	Width	Slope	Magnitude		
				x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q ₁ , f, F, x	q ₂ , z	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 13,33	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 15,35	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,41 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-53,01 [°]
	z =	10,55 [m]		$\alpha_2 =$	9,62 [°]
Radius :	R =	5,48 [m]			
The slip surface after optimization.					

Total weight of soil above the slip surface: 83,98 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 56,74$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 114,68$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 310,92$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 628,42$ kNm/m

Factor of safety = 2,02 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE

Slope stability analysis PK53+875(DYNAMIQUE)

Settings

Philippines - DPWH Settings

Stability analysis

Verification methodology : Safety factors (ASD)

Earthquake analysis : Standard

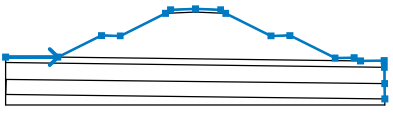
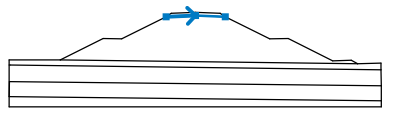
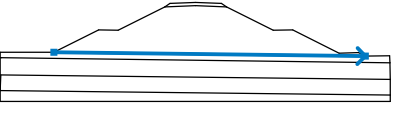
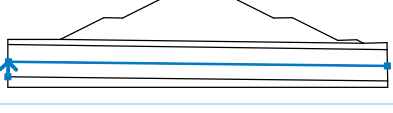
Safety factors		
Seismic design situation		
Safety factor :	$SF_s =$	1,10 [-]

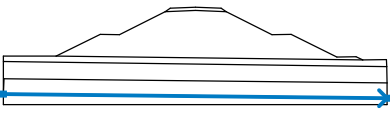
Anchors

Verification methodology : Safety factors (ASD)

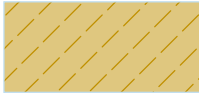
Safety factors			
Safety factor for steel strength :	$SF_t =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (soil) :	$SF_e =$	1,50	[-]
Safety factor for pull out resistance (grouting) :	$SF_c =$	1,50	[-]

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	3,37	4,22	3,37	7,74	5,12
		9,26	5,09	12,92	6,92	13,33	7,20
		15,35	7,28	17,37	7,20	17,78	6,92
		21,44	5,09	22,96	5,12	26,62	3,29
		28,15	3,33	28,68	3,06	30,59	3,10
		30,60	2,54	30,62	1,23	30,63	0,00
2		12,92	6,92	15,35	7,02	17,78	6,92
3		4,22	3,37	28,68	3,06		
4		0,00	2,94	0,09	2,94	30,60	2,54
5		0,00	0,34	0,04	1,57	30,62	1,23

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
6		0,00	0,34	30,63	0,00		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	REMBLAI		35,00	5,00	20,00
2	Argile limoneuse jauneatre		20,00	30,00	19,40
3	Argile brune peu plastique		23,00	42,00	19,50
4	Argile limoneuse peu plastique marron		29,00	34,00	22,60
5	PLATEFORME		35,00	15,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [–]
1	REMBLAI		20,00		
2	Argile limoneuse jauneatre		20,00		
3	Argile brune peu plastique		20,00		
4	Argile limoneuse peu plastique marron		23,00		

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
5	PLATEFORME		20,00		

Soil parameters

REMBLAI

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 5,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Argile limoneuse jauneatre

Unit weight : $\gamma = 19,40 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 20,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Argile brune peu plastique

Unit weight : $\gamma = 19,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 23,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 42,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

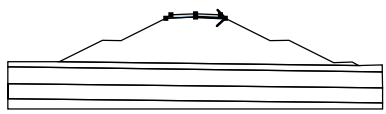
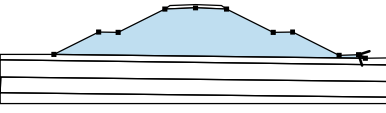
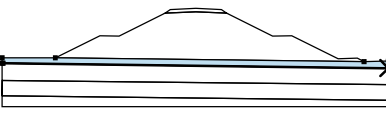
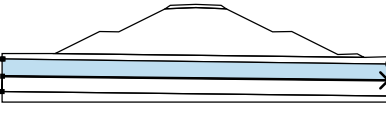
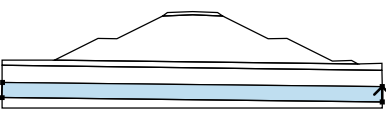
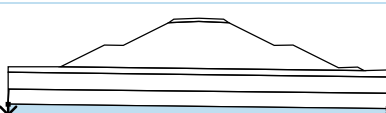
Argile limoneuse peu plastique marron

Unit weight : $\gamma = 22,60 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 29,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 34,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$

PLATEFORME

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 35,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		15,35	7,02	17,78	6,92	PLATEFORME 
		17,37	7,20	15,35	7,28	
		13,33	7,20	12,92	6,92	
2		28,68	3,06	28,15	3,33	REMBLAI 
		26,62	3,29	22,96	5,12	
		21,44	5,09	17,78	6,92	
		15,35	7,02	12,92	6,92	
		9,26	5,09	7,74	5,12	
		4,22	3,37			
3		0,09	2,94	30,60	2,54	Argile limoneuse jaunâtre 
		30,59	3,10	28,68	3,06	
		4,22	3,37	0,00	3,37	
		0,00	2,94			
4		0,04	1,57	30,62	1,23	Argile brune peu plastique 
		30,60	2,54	0,09	2,94	
		0,00	2,94	0,00	0,34	
5		30,63	0,00	30,62	1,23	Argile limoneuse peu plastique marron 
		0,04	1,57	0,00	0,34	
6		0,00	0,34	0,00	-0,50	Argile limoneuse peu plastique marron 
		30,63	-0,50	30,63	0,00	

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, x q ₂ , z		unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 13,33	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 15,35	l = 2,00		0,00	30,00		kN/m ²

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,1500$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,0750$

Settings of the stage of construction

Design situation : seismic

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,70 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-48,20 [°]
	z =	11,69 [m]		$\alpha_2 =$	6,38 [°]
Radius :	R =	6,64 [m]			
The slip surface after optimization.					

Total weight of soil above the slip surface: 89,19 kN/m

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 72,75$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 112,89$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 483,04$ kNm/m

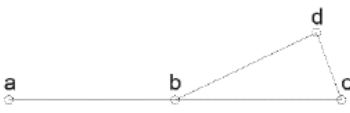
Resisting moment : $M_p = 749,62$ kNm/m

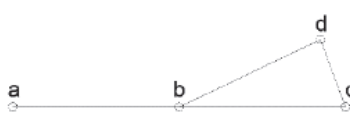
Factor of safety = 1,55 > 1,10

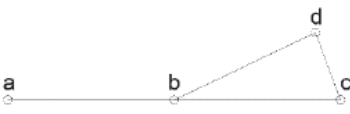
Slope stability ACCEPTABLE

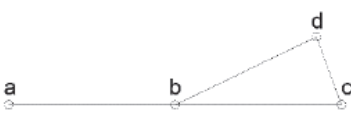
ANNEXE F

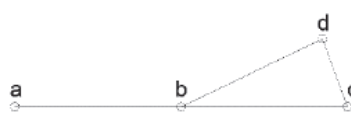
Les coordonnées des appareils de Voie

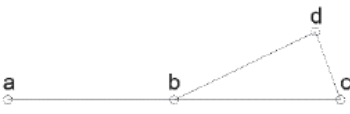
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(1) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	394909.3881	3994779.3176
b	394898.6299	3994761.5182
c	394887.8724	3994743.7196
d	394886.4315	3994744.6747

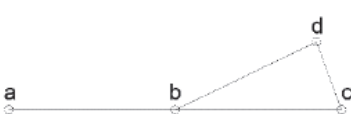
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(3) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	395028.8765	3993891.6814
b	395048.1519	3993875.6720
c	395055.4273	3993859.6626
d	395054.0519	3993858.6156

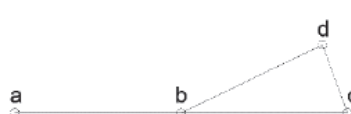
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(2) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	395089.9239	3993810.2302
b	395076.6485	3993826.2395
c	395063.3731	3993842.2489
d	395064.7485	3993843.2959

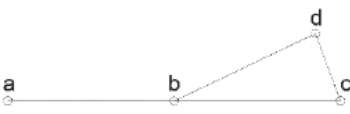
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(4) ADV-60E1-300-1:12-G		
		
	X	Y
a	395093.7572	3993805.6107
b	395107.0318	3993789.6007
c	395120.3064	3993773.5906
d	395121.5899	3993774.7485

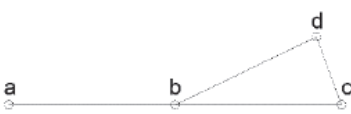
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(5) ADV-60E1-300-1:12-G		
		
	X	Y
a	395162.4989	3993730.5420
b	395149.2239	3993746.5509
c	395135.9481	3993762.5607
d	395134.6646	3993761.4028

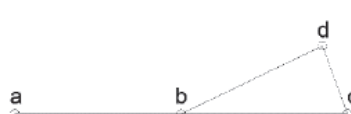
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(6) ADV-60E1-300-1:9-G		
		
	X	Y
a	395166.3288	3993725.9233
b	395176.9345	3993713.1335
c	395187.5405	3993700.3433
d	395188.8884	3993701.5923

Coordonnées d'Appareil de Voie		
(7) ADV-60E1-300-1:9-G		
		
	X	Y
a	395261.1554	3993629.2703
b	395250.5498	3993642.0605
c	395239.9441	3993654.8503
d	395238.5962	3993653.6012

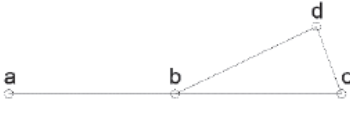
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(8) ADV-60E1-500-1:9-D		
		
	X	Y
a	395589.3829	3993233.4467
b	395599.9891	3993220.6567
c	395610.5951	3993204.8672
d	395609.1181	3993206.7737

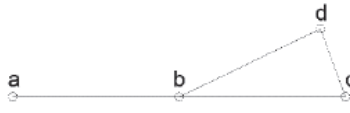
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(9) ADV-60E1-500-1:9-D		
		
	X	Y
a	395669.4837	3993119.1474
b	395656.2087	3993135.1564
c	395645.6027	3993147.9466
d	395647.0797	3993149.0400

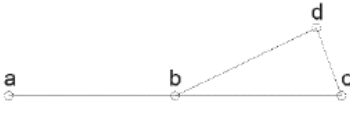
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(10) ADV-60E1-500-1:12-G		
		
	X	Y
a	395666.7989	3993114.5589
b	395680.0736	3993098.5490
c	395693.3484	3993082.5391
d	395694.6319	3993083.6970

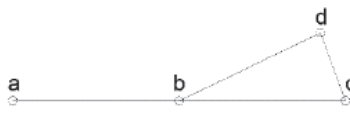
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(11) ADV-60E1-500-1:12-G		
		
	X	Y
a	395733.2029	3993042.3041
b	395719.9279	3993150.3138
c	395706.6529	3993074.3835
d	395705.3694	3993073.1656

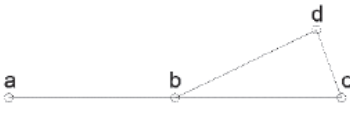
ANNEXE F

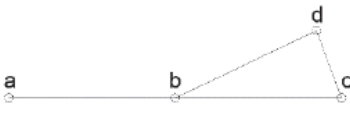
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(12) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	395737.0322	3993037.6871
b	395750.3079	3993021.6782
c	395763.5836	3993005.6648
d	395762.2081	3993004.6214

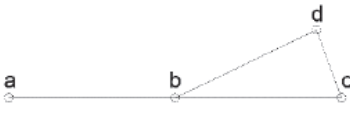
Coordonnées d'Appareil de Voie		
(13) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	395794.4878	3992960.5666
b	395781.2127	3992976.5756
c	395767.9370	3992992.5854
d	395769.3125	3992993.6324

Coordonnées d'Appareil de Voie		
(14) ADV-60E1-500-1:12-G		
		
	X	Y
a	395036.9867	3990987.8407
b	395032.9005	3991008.2323
c	395028.8141	3991028.6249
d	395027.1348	3991028.2149

Coordonnées d'Appareil de Voie		
(15) ADV-60E1-500-1:12-G		
		
	X	Y
a	395038.1689	3990981.9351
b	395042.2548	3990961.5424
c	395046.3405	3990941.1507
d	395048.0198	3990941.5607

Coordonnées d'Appareil de Voie		
(16) ADV-60E1-500-1:12-G		
		
	X	Y
a	395063.0169	3990883.3705
b	395058.9311	3990903.7622
c	395054.8452	3990924.1549
d	395053.1656	3990923.7450

Coordonnées d'Appareil de Voie		
(17) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	395319.4586	3995040.1988
b	395299.9574	3995032.9706
c	395280.4572	3995025.7428
d	395279.9245	3995027.3873

Coordonnées d'Appareil de Voie		
(18) ADV-60E1-500-1:12-D		
		
	X	Y
a	395222.4596	3995009.5783
b	395241.9605	3995016.8069
c	395261.4613	3995024.0356
d	395261.9941	3995022.3911