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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

Etude en APD du Dédoublement et du renouvellement de la Ligne Minière EST section 2 : Drea - Oued El Keberit tronçon du PK61+000 au PK 75+000 avec la conception de la gare OUED – DAMOUS.

Présenté par :

Boukakra Brahim Elkhalil
Djedjig Rafik

Encadré par :

Mr. GHAFFAR Karam Allah
Mr. FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2025/2026

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

Résumé

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur Dédoublement et renouvellement de la Ligne Minière EST section 2 : Drea -oued el Keberit, s'étendant du PK 61+000 au PK 75+000. L'étude intègre également la conception de la gare d'OUED –DAMOUS. Elle a été menée conformément aux normes établies par l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) et selon les recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). Pour la modélisation et l'analyse, plusieurs outils numériques ont été mobilisés, notamment Covadis 17, global mapper et Google Earth.

Mots-clés : Avant-Projet Détaillé (APD), Ligne Minière EST, Dédoublement ferroviaire, Renouvellement de voie, Gare d'OUED-DAMOUS, Conception ferroviaire, UIC, SNTF, Covadis 17, Global Mapper, Google Earth.

Summary

This thesis is part of a Detailed Preliminary Design Study (APD) concerning the doubling and renewal of the mining railway line, Section 2: Drea – Oued El Keberit, extending from PK 61+000 to PK 75+000. The study also includes the design of the OUED-DAMOUS railway station. It was carried out in accordance with the standards established by the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the National Railway Transport Company (SNTF). For modeling and analysis, several digital tools were used, including Covadis 17, Global Mapper and Google Earth

Keywords: Detailed Preliminary Design (APD), Eastern Mining Railway Line, Railway Doubling, Track Renewal, OUED-DAMOUS Railway Station, Railway Design, UIC Standards, SNTF, Covadis 17, Global Mapper, Google Earth.

ملخص

تندرج هذه المذكرة ضمن إطار دراسة المشروع التمهيدي المفصل المتعلقة بازدواجية وتجديد الخط المنجمي الشرقي، المقطع الثاني: دراعة – وادي الكبريت، الممتد من النقطة الكيلومترية 61+000 إلى 75+000 كما تشمل الدراسة تصميم محطة وادي الداموس. وقد أُنجزت هذه الدراسة وفقًا للمعايير المعتمدة من قبل الاتحاد الدولي للسكك الحديدية.(UIC) وطبقًا لتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF)ولأغراض النمذجة والتحليل، تم استخدام عدة برامج وأدوات رقمية، من بينها:

Google Earthو Global Mapperو Covadis 17

الكلمات المفتاحية :المشروع التمهيدي المفصل(APD) ، الخط المنجمي الشرقي، ازدواجية السكة الحديدية، تجديد الخط، محطة وادي الداموس، تصميم السكك الحديدية، معاييرUIC ، الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية(SNTF) ، Covadis 17، Global Mapper، Google Earth.

Remerciement

D’abord, nous exprimons notre gratitude envers Allah pour le courage, la patience et la détermination qu’Il nous a accordés afin de mener à bien ce travail.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d’études.

Nous remercions particulièrement toute l’équipe de l’ENSTP pour son soutien et son accompagnement tout au long de notre parcours.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à nos familles pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leur appui constant. Nous adressons également nos remerciements à Mme Y. MAHIAOUI pour ses efforts et son aide précieuse.

Nous remercions vivement nos encadrants, Mr. K. GHEFFAR et Mr. F. FEDGHOUCHE, pour leur disponibilité, leur suivi rigoureux, leurs conseils avisés et leur précieuse contribution à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également l’ensemble de nos professeurs notamment Mr. BENREDOUANE, Mr. AIMIEUR, Mme. KHOUAS pour leur dévouement, leurs enseignements, leurs remarques constructives et leurs orientations tout au long de notre formation à l’école.

Nous exprimons aussi notre profonde reconnaissance à Mr. R. MORSLI pour son soutien précieux, ses remarques éclairées et ses encouragements constants.

Nous remercions les professionnels du secteur ferroviaire qui ont généreusement partagé leur expérience et leurs connaissances, contribuant ainsi à l’enrichissement de ce projet.

Nous adressons une gratitude particulière au personnel de COSIDER T127, notamment à Mr. B. MADI, Mr. AISSA et Mr. DJAMEL, pour leur encadrement, leur assistance tout au long de la période de stage ainsi que leur soutien lors des échanges techniques. Leurs informations et leurs idées précieuses ont grandement enrichi ce mémoire.

Nous remercions également les équipes de COSIDER TP et de SETIRAIL pour leur disponibilité, leurs efforts et le temps consacré au partage de leur expérience professionnelle.

Enfin, nous exprimons notre sincère gratitude aux membres du jury pour l’honneur qu’ils nous font en acceptant d’évaluer notre modeste travail.

Dédicace

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

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

À mon frère Walid et à ma sœur, pour tout ce que vous avez fait pour moi afin que j'atteigne ce moment. Merci pour votre soutien et vos encouragements.

À mon frère Khalil, qui m'a inspiré à choisir les travaux publics et l'ENSTP, et qui m'a accompagné et guidé tout au long de mon parcours académique.

À mes amis intimes, Mounib, Younes, Wadoud, Tarek, Hocine, Sidou et Amdjed, pour votre amitié sincère, votre soutien et votre présence constante dans les moments importants.

À ma deuxième famille, GSA : Ayoub, Ramzi, Adel, Palacier et Walid. Vous avez été un soutien précieux tout au long de mon parcours.

À ma famille de l'ENSTP : Basset, Kamel, , Yasser, Karam, Saiti Oussama, Ikram, Samah et Anissa. Merci pour votre soutien sincère, votre aide précieuse et votre accompagnement durant ces cinq années. Merci pour tous les moments partagés et les souvenirs inoubliables qui ont marqué ce parcours.

À mon binôme, BOUKAKRA Brahim Ekhalil, pour ta précieuse collaboration, ton soutien, ainsi que pour tous les moments et souvenirs partagés durant ces années.

Enfin, ce mémoire est dédié à toutes les personnes qui m'ont accompagné dans ce parcours. Merci pour votre soutien, vos conseils et vos encouragements.

DJEDJIG RAFIK

Dédicace

Je dédie ce mémoire avec une profonde gratitude, un immense respect et beaucoup d'affection :

À mon cher père et à ma chère mère, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leur soutien indéfectible et leurs encouragements permanents. Aucun mot ne saurait exprimer ma reconnaissance pour tout ce qu'ils ont fait afin de me permettre d'atteindre ce jour. Que Dieu les protège et les récompense pour tous leurs efforts.

À mes chères sœurs, Maria et Rania, pour leur affection, leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leur présence à mes côtés tout au long de mon parcours. Merci pour votre confiance, votre compréhension et tous les moments de bonheur partagés. Je vous souhaite tout le succès et le bonheur que vous méritez.

À mes amis proches, Fiko, Yasser, Danil, Karam, Ali, Hmidani, Khaled, Smail, Kamel pour leur amitié sincère, leur soutien constant et tous les moments mémorables partagés ensemble.

À ma deuxième famille, GSA : Ayoub, Ramzi, Adel, Mounib et Walid, pour leur présence, leur soutien et leur précieuse amitié.

À ma famille de l'ENSTP : Basset, Kamel, Yasser, Karam, Saiti Oussama, Ikram, Samah et Anissa. Merci pour votre aide, votre solidarité et tous les souvenirs inoubliables qui ont marqué ces cinq années.

À mon binôme, Djedjig Rafik, pour son sérieux, sa collaboration, son soutien et tous les efforts fournis tout au long de ces années.

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite. Merci pour votre confiance, vos conseils et vos encouragements.

BOUKAKRA BRAHIM ELKHALI

Symboles et Abréviations :

- **SNTF :** Société Nationale des Transports Ferroviaires.
- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- **UIC :** Union Internationale des Chemins de Fer.
- **RPA** : Règles Parasismiques Algériennes
- **EN :** Normes Européennes.
- **NF :** Normes Françaises.
- **RPA :** Règlement Parasismique.
- **APD :** Avant-Projet Détaillé.
- **PK :** Point Kilométrique.
- **ADV** : Appareil de Voie.
- **LRS :** Longs Rails Soudés.
- **BV :** Bassin Versant.
- **QPS :** Débit Pleine Section.
- **VPS :** Vitesse Pleine Section.
- **FSR** : Fil Supérieur du Rail.
- **GPS:** Global Positioning System.
- **LiDAR:** Light Detection and Ranging.
- **CBR :** California Bearing Ratio.
- **VBS :** Valeur au Bleu de Méthylène.
- **PU :** Puits de Reconnaissance.
- **PDL** : Pénétromètre Dynamique Léger.
- **IP :** Indice de Plasticité.
- **OPN** : Optimum Proctor Normal.
- **DRG :** Dimension de la Plus Grosse Roche.
- **LA :** Los Angeles.
- **MDE :** Micro-Deval en Eau.
- **Vbg :** Valeur de Propreté.
- **PST :** Partie Supérieure des Terrassements.
- **CAO :** Conception Assistée par Ordinateur.
- **GTR :** Guide des Terrassements Routiers.
- **ERTMS :** European Rail Traffic Management System.

- **BV :** Bâtiment Voyageur.
- **PCG :** Point de Croisement et de Garage.

LISTE des Figures

Figure I-1 : Limites administratives de la wilaya de Souk Ahras 18
Figure I-2 : Ligne ferroviaire minière Est Annaba – Djebel El Onk 19
Figure II-1 : RAIL Vignole UIC 60 E1 24
Figure II-2 : traverse en béton monobloc 25
Figure II-3 : traverses en béton bibloc 25
Figure II-4 : système d'attache pandrol 27
Figure II-5 : système d'attache Nabla 27
Figure II-6 : Système d'attache de rail 28
Figure II-7 : infrastructure ferroviaire 28
Figure III-1 : Courbe avec raccordement progressif 31
Figure 2-III : L'insuffisance de dévers 33
Figure III-3 : Valeur de déclivité max selon SNTF 40
Figure IV-1 : reseau hydrographique du bassin versant de l`oued Mellègue 44
Figure IV-2 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien 51
Figure IV-3: Extrait de la carte des pluies annuelles établie par l'A.N.R.H en 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1989. (Source ANRH). 52
Figure IV-4 : Courbe Intensité-Duré-Fréquence, station de Souk Ahras 55
Figure IV-4 : protection des talus 67
Figure V-1 : Extrait de la carte géologique de Souk Ahres 69
Figure V-2 : Classification sismique des wilayas d`Algérie Selon RPA2024 70
Figure VI-1 : Profil en travers d'une voie 88
Figure IV-2 : coupe transversale de l'assise ferroviaire 91
Figure VI-3 : Assise ferroviaire adopte pour notre projet 92
Figures VII-1 : profil en travers en remblai 95
Figures VII-2 : profil en travers en déblai 96
Figures VIII-1 : Gare voyageur 99
Figures VIII-2 : Schéma illustratif du garage franc 101
Figures VIII-3 : Schéma illustrative de la longueur utile 101
Figures VII-4 : Les heurtoirs 102
Figure VIII-5 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie 103
Figure VIII-4 : schéma de la gare Oued Damous 107
Figure X-1 : implantation longitudinale 119
Figure X-2 : schéma de cantonnement 121

Listes de tableaux

Tableau III-1 : Longueur minimale des éléments 31
Tableau III-2 : Dévers maximal 33
Tableau III-3 : L'insuffisance de dévers maximale 33
Tableau III-4 : L'excès de dévers maximale 34
Tableau III-5 : Limite de la variation de dévers 34
Tableau III-6 : Limite de la variation d'insuffisance de dévers 35
Tableau III-7 : Tableau récapitulatif des paramètres de trace 35
Tableau III-8 : Rayon des courbes de notre traces 36
Tableau III-9 : vérification des rayons de trace 38
Tableau III-10 : Rayon admissible en raccordements de profil en long 40
Tableau III-11 : Longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil 41
Tableau III-12 : Tableau récapitulatifs des paramètres profil en long 41
Tableau IV-1: caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Mellègue 45
Tableau IV-2 : caractéristiques morphométriques des sous bassins versant du grand bassin versant de l'oued Mellègue 45
Tableau IV-3 : caractéristique des bassins versant traversant le tracé du projet 46
Tableau IV-4 : calcul de temps de concertation des bassins versants des oueds 48
Tableau IV-5 : : Moyenne annuelles et mensuelles des températures à la station de Souk Ahras et de Tébessa (source : Rapport Etude préliminaire de la ligne minière) 50
Tableau IV-6 : Les pluies moyennes annuelles 52
Tableau IV-7 : Quantiles des Pluies annuelles en mm. 53
Tableau IV-8 : répartition mensuelle des précipitations, station de M`Daourouch 53
Tableau IV-9 : Pluies max journalières en mm (Gumbel) 54
Tableau IV-10 : Valeurs de **a** 54
Tableau IV-11 : Intensités en mm/h 55
Tableau IV-12 : coefficient de ruissellement C_1 56
Tableau IV-13 : coefficient de ruissellement C_2 56
Tableau IV-14 : coefficient de ruissellement 57
Tableau IV-15 : Calcul coefficient de ruissellement 58
Tableau IV-16 : récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule rationnelle 59
Tableau IV-17 : récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule de Crupedix 60
Tableau IV-18 : récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule de Mallet-Gauthier 61
Tableau IV-19 : dimensions des ouvrages de drainages assainissement longitudinal 63
Tableau IV-20 : dimensionnement des fosses 65
Tableau IV-21 : Calcul des débits de saturation des fossés 65
Tableau IV-22 : calcul des NPHE des zones inondables 66
Tableau V-1 : Pénétromètre dynamique lourds 75
Tableau V-2 : Résultats SP 62+956 76
Tableau V-3 : Résultats SP PK 63+270 77

Tableau V-4 : Résultats SP gare Damous PK 63+775 77
Tableau V-5 : Résultats SP PK 71+000 78
Tableau V-6 : récapitulatif des résultats de pressionmètre 78
Tableau V-7 : Type d'essais de laboratoire réalisés 78
Tableau V-8 : Caractéristiques mécaniques CD des sols meubles rencontrés 79
Tableau V-9 : Résultats des essais œdométriques 80
Tableau V-10 : Résultats de l`essai Limites d'Atterberg 81
Tableau V-11 : Résultats de l`essai analyse granulométriques 81
Tableau V-12 : Résultats de l'essai CBR 82
Tableau V-13 : Résultats des essais Proctor. 83
Tableau VI-1 : Tableau récapitulatifs des résultats géotechnique 89
Tableau VI-2 : Classification des sols selon UIC 719 R 90
Tableau VI-3 : Classification des plateformes selon UIC 719 R 91
Tableau VI-4 : Epaisseur des couches adoptes 92
Tableau VII-1 : Caractéristique du notre profil en travers. 96
Tableau VIII-2 : Implantation des appareils des voie 105
Tableau VII-3 : PK d'heurtoir 105
Tableau XI-1 : Volumes des terrassements 113
Tableau XI-2 : les ouvrages à franchir 115
Tableau XI-3 : Caractéristiques du passage supérieur existant 115
Tableau X-1 : Signalisation ferroviaire 120
Tableau V-19 : Sondage carottier 158
Tableau V-20 : Sondages des puits de reconnaissance 158

Table des matières

INTRODUCTION 16
CHAPITRE I : PRESENTATION DE PROJET 18
I.1. Localisation de projet 18
I.2. Description du projet étudié : 18
I.3. Présentation de la zone d`étude : 19
I.3.1. Présentation du tronçon étudie : 19
I.3.2. Relief et topographie de la zone d`étude : 19
I.4. Objectif de projet : 20
CHAPITRE II : ARMEMMENT DE LA VOIE 22
II.1. Rail : 22
II.1.1. Type de rail : 22
II.1.2. Rôle de rail : 22
II.1.3. Caractéristiques mécaniques du rail : 22
II.1.4. Type de rail utilisé dans notre projet : 23
II.2. Traverses : 25
II.2.1. Type de traverse : 25
II.2.2. Type de traverses utilisé dans notre projet : 25
II.3. Système d'attache : 26
II.3.1. Types système d'attaches : 26
II.3.2. Système d'attache utilisé dans notre projet : 27
II.4. Ballast : 28
CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE 30
III.1. Trace en plan : 30
III.1.2. Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan : 30
III.1.3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN : 31
III.1.4. APPLICATIONS SUR LE PROJET 36
III.2. Profil en long : 39
III.2.1. Les règles à respecter : 39
III.2.2. Les éléments du profil en long : 39
III.2.3. Application sur notre projet : 41
III.3. Commentaire sur trace en plan et profil en long : 42
CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT 44
IV.1.1. Présentation de l`Oued Mellègue 44

IV.2.1. Calcul du temps de concentration (tc) 47
IV.4.1. Pluies annuelles 53
IV.4.2. Précipitations mensuelles 53
IV.4.3. Précipitations maximales journalières 53
IV.4.4. Les pluies de courte durée 54
IV.5.1 Formule Rationnelle 56
IV.5.2. Coefficient de ruissellement : 56
IV.5.3. Formule de Crupedix : 60
IV.5.4. Formule de Mallet Gauthier : 61
IV.6.1. Méthode de MANNING STRICKLER pour le dimensionnement des dalots : 61
IV.6.2. Condition d'autocurage : 62
IV.6.3. Dimensionnement des ouvrages hydraulique : 62
IV.6.4. Assainissement longitudinal : 64
IV.6.5. Dimensionnement des Fosses : 64
IV.8. Protection des talus en zones inondables 66
CHAPITRE V : GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE 69
V.1. Aperçu géologique : 69
IV. 1.1. Morphologie et Topographie du site : 69
V.1.2. Géologie locale : 69
V.1.3. Sismicité : 70
V.2. Reconnaissance géotechnique : 71
V.2.1. Objectifs de la reconnaissance géotechnique : 71
V.2.2. Programme d'investigation géotechnique : 71
V.3. Investigation in-situ : 71
V.3.1. Sondages carottier NFP 94-116 : 71
V.3.2. Puits de reconnaissance : 73
V.3.3. Pénétromètre dynamique lourd : 75
V.3.4 Sondages pressiométriques NF EN ISO 22476-4 76
V.4.1. Essai de cisaillement : 79
V.4.2. Essais œdométriques : 80
V.4.3. Limites d'Atterberg NF P 94-051 mars 1993 : 80
V.4.4. Analyses granulométriques : 81
V.4.5. Essai CBR : 82
V.4.6. Essai optimum Proctor : 83
V.6. Conclusion : 84
CHAPITRE VI : ASSISE FERROVIARE 86
VI.1. Rôles de l'assise ferroviaire : 86

VI.2. Composition de l'assise ferroviaire : 86
VI.2.1. Couche de Ballast : 86
VI.2.2. La sous-couche : 87
VI.2.3. Sous-ballast : 87
VI.2.4. La couche de forme : 88
VI.2.5. Plateforme : 88
VI.3. Dimensionnement de la couche d'assise ferroviaire : 89
VI.3.1. Classification du sol support : 89
VI.3.2. Classification de la plateforme : 90
VI.3.3. Calcul d'épaisseur de la couche d'assise selon UIC 719R : 91
VI.4. Caractéristiques des matériaux constitutifs des couches d'assise : 93
CHAPITRES VII : PROFIL EN TRAVERS 95
VII.1. Profil en travers type : 95
VII.2. Les profils en travers affectés au projet 96
CHAPITRES VIII : AMENAGEMENT DE LA GARE -OUED DAMOUS 99
VIII.1. Types de gares 99
VIII.2. Etude du plan de masse de la gare : 99
VIII.3. Aménagement de la gare : 99
VIII.3.1. Installation d'une gare voyageurs : 99
VIII.3.2 Installation d`une gare marchandise 100
VIII.4. Marge de glissement a l`aval signaux : 100
VIII.5. Garage franc : 100
VIII.6 La longueur utile de la voie de stationnement 101
VIII.7. Equipement de la gare 102
VIII.7.1. Réseaux de la voie : 102
VIII.7.2. Catenaire : 102
VIII.7.3. Les heurtoirs : 102
VIII.8. Les Quais 102
VII.8.1. La longueur des quais : 102
VIII.8.2. La largeur des quais : 103
VIII.8.3. L'entraxe des quais : 103
VIII.8.4. La hauteur des quais : 103
VIII.8.5. Distance par rapport l`axe de la voie : 103
VIII.9. Les appareils de voie : 104
VIII.10. Application au notre projet 104
VIII.10.1. Déclivités dans la gare : 104
VIII.10.2. Les quais : 104

VIII.10.3. Les appareils des voies....105
VIII.10.4. Longueur des garages francs :....105
VIII.10.6. Passage souterrains....105
VII.10.7. Le heurtoir :....105
VII.11. Assainissement de la gare :....106
VIII.11.1. Assainissement transversal :....106
VIII.11.2. Assainissement longitudinal :....106
VIII.12. Conclusion :....106
CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART....110
IX.1. Terrassement :....110
XI.1.1. Exigences environnementales des ouvrages en terre :....110
XI.1.2. Conditions d'utilisation des remblais :....111
XI.1.3. Conditions d'utilisation des déblais :....111
XI.1.4. Stabilité et Talus :....112
XI.1.5. Compactages :....113
XI.1.6. CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :....113
XI.2. Ouvrages d'art :....114
XI.2.1. Influence sur le choix du type de l'ouvrage :....114
XI.2.2. Les ouvrages dans notre projet :....115
CHAPITRE X : SIGNALISATION FERROVIARE....118
X.1. Objectifs et rôle de la signalisation :....118
X.2. Implantation longitudinale :....119
X.3. Les signaux ferroviaires :....120
X.4. Cantonnement ferroviaire....121
X.4.1. Principe de fonctionnement....121
X.4.2. Rôle du cantonnement....121
X.5.Types de blocs :....121
X.5.1. Block Manuel (BM) :....122
X.5.3. Block Automatique Lumineux (BAL) :....122
X.6. Système de signalisation ERTMS :....123
X.6.1. Fonctionnement général :....123
X.6.2. Composantes principales :....123
X.6.3. Les trois niveaux ETCS :....123
X.6.4. Application sur notre projet :....124
CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONnEMENT....126
XI.1. Délimitation de la zone d'étude....126
XI.2. Cadre législatif et réglementaire....126

XI.3. Références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire : 126
XI.4. Description du Site : 127
XI.5. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude : 127
XI.5.1. Ressources physiques 127
XI.5.2. Ressources Biologique 127
XI.5.3 Ressources Humaine 127
X.6. L'impact du projet : 128
X.6.1. Les effets bénéfiques : 128
XI.7. Impacts négatifs et mesures d'atténuation proposées 128
XI.7.1. Sols : 128
XI.7.2. Eaux superficielles et souterraines : 128
XI.7.3. Qualité de l'air : 128
XI.7.4. Flore : 129
XI.7.5. Faune : 129
XI.7.6. Milieu humain : 129
XI.7.7. Milieux agricoles : 129
XI.8. Conclusion : 130
CHAPITRE XII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 132
CONCLUSION 135

INTRODUCTION

Le transport ferroviaire représente aujourd'hui un élément fondamental dans le développement économique et territorial des nations. Grâce à sa capacité à transporter d'importants volumes de marchandises et de voyageurs dans des conditions optimales de sécurité, de fiabilité et de rentabilité, il constitue un mode de transport stratégique pour accompagner la croissance des échanges et la valorisation des ressources naturelles.

Dans cette perspective, l'Algérie a engagé un vaste programme de modernisation et d'extension de son réseau ferroviaire afin d'améliorer ses performances opérationnelles et de répondre aux besoins croissants en matière de mobilité et de transport de marchandises. Parmi les projets les plus importants figure le développement de la ligne minière Est, destinée à assurer l'acheminement des ressources minières vers les zones industrielles et portuaires tout en favorisant le transport des voyageurs.

Le présent Projet de Fin d'Études porte sur l'étude en Avant-Projet Détaillé (APD) du dédoublement et du renouvellement de la Ligne Minière EST, section 2 reliant Dréa à Oued El Kéberit entre les PK 61+000 et PK 75+000, ainsi que sur la conception de la gare Oued Damous. Cette étude vise à proposer une infrastructure ferroviaire répondant aux exigences techniques, économiques, environnementales et sécuritaires imposées par les normes nationales et internationales.

Afin d'atteindre cet objectif, le mémoire est structuré en onze chapitres :

- Chapitre I : Présentation du projet : présente la zone d'étude, les caractéristiques du projet et ses objectifs.
- Chapitre II : Armement de la voie : décrit les principaux éléments constituant la voie ferrée.
- Chapitre III : Étude géométrique : traite du tracé en plan et du profil en long de la ligne.
- Chapitre IV : Étude hydrologique et assainissement : présente l'analyse hydraulique et le dimensionnement des ouvrages d'assainissement.
- Chapitre V : Étude géotechnique : expose les caractéristiques géologiques et géotechniques du site.
- Chapitre VI : Dimensionnement de l'assise ferroviaire : concerne le calcul et la vérification de la structure de la plateforme ferroviaire.
- Chapitre VII : Profils en travers types : présente les différentes sections transversales adoptées pour le projet.
- Chapitre VIII : Aménagement de la gare Oued Damous : décrit la conception et l'organisation de la gare.
- Chapitre IX : Terrassements et ouvrages d'art : traite des cubatures et des principaux ouvrages nécessaires au projet.
- Chapitre X : Signalisation ferroviaire : présente les équipements de sécurité et d'exploitation de la ligne.
- Chapitre XI : Étude d'impact sur l'environnement : évalue les impacts du projet et les mesures d'atténuation proposées.

CHAPITRE I :

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

La ligne ferroviaire minière Est relie Annaba aux gisements de Djebel El Onk **et** Blad El Hadba, sur 422 km, traversant cinq wilayas et desservant plus d'un million d'habitants. Elle fait actuellement l'objet de travaux de modernisation, de dédoublement et de rectification du tracé.

I.1. Localisation du projet

La région d'étude est située à l'extrême est de l'Algérie, dans la wilaya de Souk Ahras. Elle est délimitée au nord par la wilaya d'El Tarf, au nord-ouest par celles de Guelma et Constantine, et à l'ouest par Oum El Bouaghi.
Le tronçon étudié concerne également les localités de Oued El Kéberit et Oued Damous, situées dans la wilaya de Souk Ahras.



Figure I-1 : Limites administrative de la wilaya de Souk Ahras

I.2. Description du projet étudié :

Ce projet porte sur une étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) relative à la modernisation de la ligne ferroviaire minière Est reliant Annaba à Souk Ahras. L'étude concerne le tronçon situé entre Dréa et Oued El Kébrit, du PK 61+000 au PK 75+000, sur un linéaire 14 km.

I.3. Présentation de la zone d`étude :

I.3.1. Présentation du tronçon étudie :

Le tronçon étudié relie Oued Damous **à** Oued El Kéberit (PK 61+000 – PK 75+000, soit 14 km). Il comprend le dédoublement de la voie, le renouvellement de la superstructure et la conception de la gare d'Oued Damous**,** destinée au transport de voyageurs. La ligne présente un caractère mixte, assurant à la fois le transport de marchandises et de voyageurs.

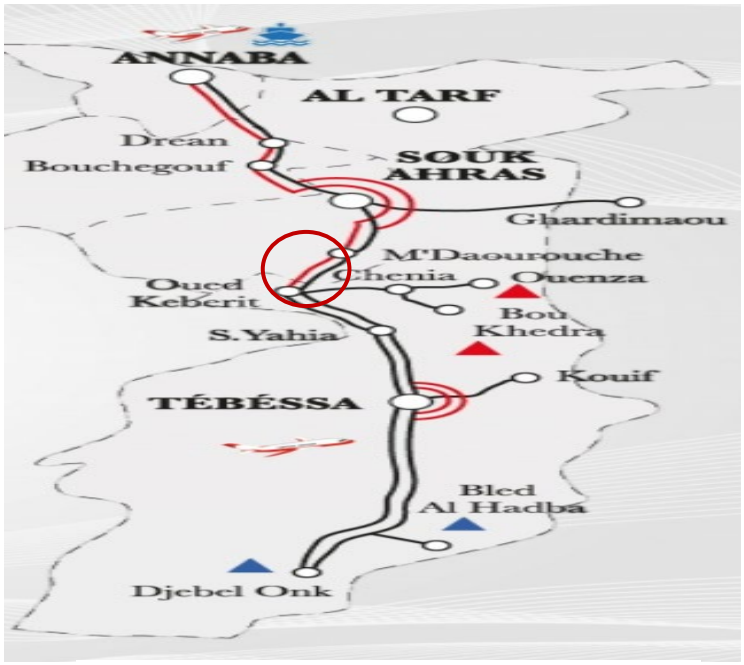


Figure I-2 : Ligne ferroviaire minière Est Annaba – Djebel El Onk

I.3.2. Relief et topographie de la zone d`étude :

La carte topographique met en évidence un relief fortement accidenté, caractérisé par une variation altimétrique importante et une alternance de thalwegs et de lignes de crêtes. Le tronçon situé entre Oued El Kebrit et Oued Damons se distingue par des pentes longitudinales et transversales élevées, constituant une contrainte majeure pour le tracé ferroviaire.

Ce contexte impose le respect de contraintes géométriques strictes, notamment en termes de profil en long et de limitation des rampes. Les zones de vallée offrent des axes préférentiels d'implantation, mais nécessitent la mise en place d'ouvrages hydrauliques pour le franchissement des oueds.

Par conséquent, la conception du dédoublement de la ligne minière requiert une optimisation du tracé, intégrant des terrassements importants et la réalisation d'ouvrages d'art, afin d'assurer la continuité et la sécurité de l'infrastructure ferroviaire.

I.4. Objectif de projet :

Le projet vise à moderniser l'infrastructure ferroviaire à travers des opérations de dédoublement et de renouvellement, permettant d'améliorer de manière significative les conditions d'exploitation. Il contribue ainsi à augmenter la capacité de circulation des trains, à réduire les contraintes liées au croisement et à assurer une meilleure fluidité du trafic sur l'ensemble du tronçon.

Par ailleurs, ce projet intègre la réalisation de la gare d'Oued Damous, conçue pour le transport de voyageurs, ce qui renforce l'accessibilité de la zone et favorise la desserte locale. L'ensemble s'inscrit dans le cadre d'une ligne à caractère mixte, permettant la cohabitation du trafic de marchandises, notamment minier, et du transport de voyageurs dans des conditions optimisées de sécurité et d'exploitation.

CHPITRE II : ARMEMMENT DE LA VOIE

CHAPITRE II : ARMEMMENT DE LA VOIE

La voie ferrée constitue un élément essentiel des infrastructures de transport ferroviaire. Elle est composée de plusieurs éléments fondamentaux assurant la stabilité et le bon fonctionnement de la circulation des trains, notamment la plateforme, le rail, les traverses et le ballast. L'ensemble de ces composants forme la superstructure ferroviaire, dont le rôle principal est de supporter les charges transmises par le trafic tout en garantissant la sécurité et le confort des usagers. Depuis le développement du chemin de fer, les exploitants ferroviaires se sont intéressés à plusieurs problématiques majeures telles que la sécurité ferroviaire afin d'éviter les déraillements et les accidents, la réduction des nuisances sonores et des vibrations, l'amélioration du confort des voyageurs, ainsi que l'augmentation de la vitesse et des charges par essieu. Face à ces exigences croissantes, il est devenu indispensable de maîtriser les interactions entre les différents composants de la superstructure afin de proposer des solutions techniques adaptées et d'assurer la durabilité et la performance de la voie ferrée.

II.1. Rail :

Le rail constitue un élément fondamental de la voie ferrée. Il est conçu pour assurer simultanément le roulement, le guidage et la stabilité des essieux. Fabriqué en acier, il est installé sur des traverses avec un écartement standard de 1 435 mm, et sa longueur varie généralement entre 18 m et 36 m.

II.1.1. Type de rail :

On distingue plusieurs types de rails utilisés dans les voies ferrées, notamment :

- **Rail Vignole :** c'est le type of le plus répandu, utilisé principalement sur les voies principales ainsi que sur les lignes à grande vitesse.
- **Rail à double champignon :** il s'agit d'un modèle ancien, aujourd'hui devenu rare.
- **Rail à patin large :** conçu pour améliorer la stabilité et la répartition des efforts sur les traverses.

II.1.2. Rôle de rail :

Le rail joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des voies ferrées en assurant plusieurs fonctions essentielles :

- **Support des charges :** il reprend les efforts verticaux et horizontaux générés par le passage des trains.
- **Guidage :** il assure le maintien et la direction des roues pour un déplacement précis sur la voie.
- **Transmission électrique** : il permet le retour du courant de traction et sert également de support au courant de signalisation utilisé pour le contrôle des circulations.

II.1.3. Caractéristiques mécaniques du rail :

Les deux caractéristiques principales du rail sont :

- **La dureté :** du rail permet de résister à l'usure et à l'écrasement causés par les charges des essieux. En cas d'insuffisance, le rail peut subir une usure prématurée ainsi qu'une déformation du profil de roulement.
- **La ductilité :** permet au rail d'absorber l'énergie et de supporter de légères déformations sans rupture brutale. Son absence peut provoquer des ruptures fragiles, notamment sous l'effet des chocs ou des basses températures.

II.1.4. Type de rail utilisé dans notre projet :

Dans le cadre de notre étude de la ligne minière, la voie est principalement destinée au transport de marchandises plutôt qu'au transport de voyageurs. Ce type de ligne est caractérisé par un trafic très important ainsi que par des charges élevées pouvant atteindre jusqu'à 40 tonnes par essieu. Afin d'assurer la durabilité, la résistance et la ductilité de la structure de la voie face à ces sollicitations importantes ainsi que conforme à la norme EN 13674, le choix s'est porté sur le rail UIC 60 E1.

On utilise le rail UIC 60 dans notre projet car il offre une bonne durabilité et une grande stabilité. Il peut supporter des charges élevées, résiste bien à l'usure et assure une bonne répartition des efforts sur la voie. De plus, il est adapté aux lignes à trafic charges important.

Rail UIC 60 est caractérisé par :

- Masse : 60.21 kg/ml
- Surface de la section : 76.7 cm²
- Hauteur du rail : 172 mm
- Largeur du champignon : 72 mm
- Largeur du patin : 150 mm
- Épaisseur de l'âme : 16.5 mm
- Dureté de la table de roulement : 260-300 HBW
- Résistance à la traction : ≥ 880 N/mm²
- Allongement : ≥ 10%

➢ **Les éléments constituants le rail UIC 60 :**
- **Le patin :** Repose sur les traverses et assure la répartition de la charge sur la traverse
- **L'âme** : Partie verticale reliant le champignon au patin et assure l'inertie verticale du rail.
- **Le champignon** : Constitue la table de roulement.

➢ **Long rails soudées LRS** :

Les longs rails soudés (LRS) sont des rails reliés entre eux par soudure afin de former une voie ferrée continue, sans joints apparents, sur de grandes longueurs. Ces rails sont fabriqués en atelier par l'assemblage de rails élémentaires. Les ateliers de soudage peuvent produire des barres constituées de rails de 36 à 80 m, soudés électriquement pour atteindre des longueurs pouvant aller jusqu'à 288 ou 400 m.

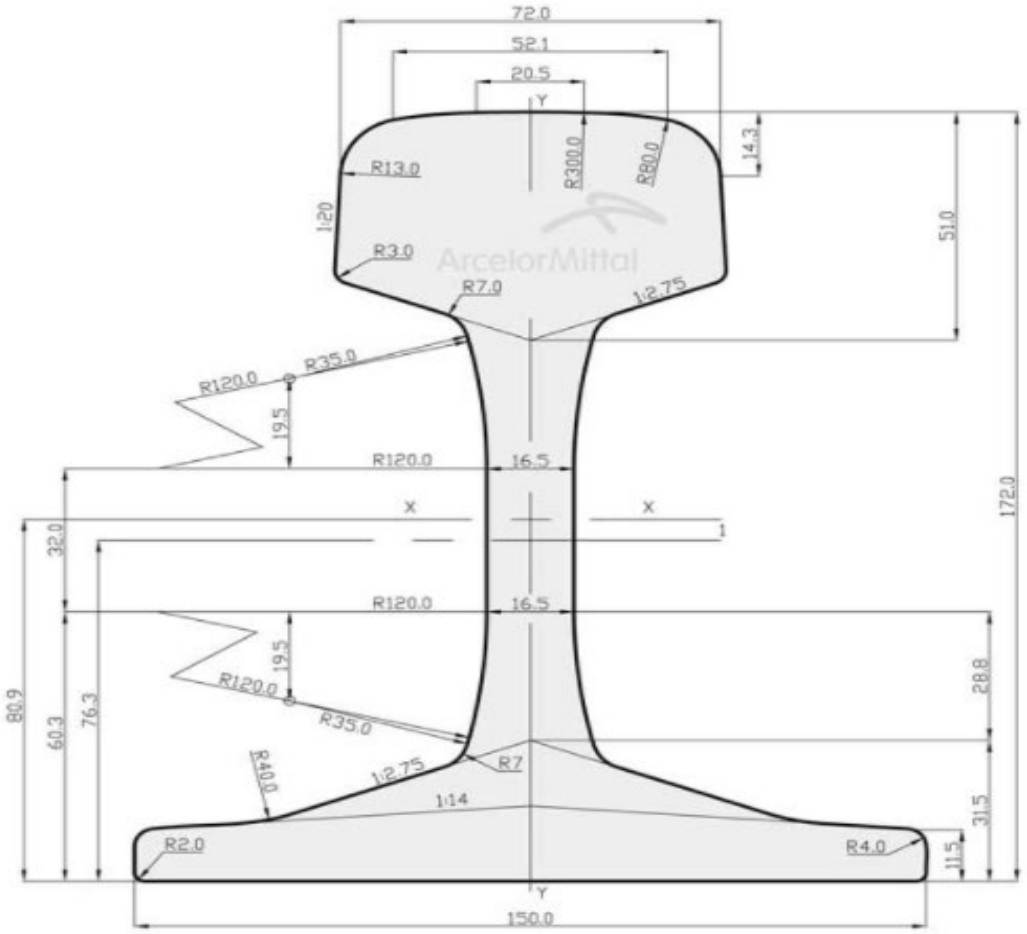
Ces longues barres, dont la flexibilité permet le transport sur des rames de wagons plats, sont ensuite mises en place sur le chantier puis assemblées entre elles par soudure aluminothermique ou par soudure électrique.

Les longs rails soudés (LRS) présentent principalement deux avantages résultant de la suppression des joints :

- Une diminution des coûts d'entretien de la voie grâce à la réduction de l'usure et des interventions de maintenance ;
- Une amélioration de la qualité du roulement, offrant ainsi un meilleur confort aux voyageurs.

Rail 60E1 / UIC 60

Profile 60E1 / UIC 60 rail:



Dimensions:

Type of rail	Standard	Dimensions mm					Section S	Mass m
		H	B	C	D	E	cm²	kg/m
60E1 (UIC60)	EN 13674 - 1	172,00	150,00	72,00	51,00	16,50	76,70	60,21

Figure II-1 : RAIL Vignole UIC 60 E1

II.2. Traverses :

Les traverses constituent un élément essentiel du système de voie ferroviaire. Elles assurent la stabilité de la voie ainsi que la sécurité de la circulation des trains grâce à plusieurs rôles importants :

- Elles maintiennent les rails à l'écartement normal de 1435 mm, correspondant à la distance mesurée entre les bords intérieurs des rails.
- Elles assurent la répartition des charges transmises par les essieux vers le ballast et le sol d'appui afin de réduire les contraintes exercées sur le terrain.
- Elles permettent de donner aux rails une inclinaison de 1/20, améliorant ainsi le contact roue-rail et la répartition des efforts.

.

II.2.1. Type de traverse :

Les traverses utilisées en Algérie sont :

- **Traverses en béton monobloc** : Traverse en un seul bloc en béton précontraint, Bonne tenue en TRACTION donc limite les fissures, destinées aux lignes à fortes charges.



Figure II-2 : traverse en béton monobloc

- **Traverses en béton bibloc** : Traverse à 2 blochets en béton armé reliés par une entretoise métallique,



Figure II-3 : traverses en béton bibloc

II.2.2. Type de traverses utilisé dans notre projet :

Dans le cadre de notre étude de la ligne minière, la voie est principalement destinée au transport de marchandises plutôt qu'au transport de voyageurs. Ce type de ligne est caractérisé par un trafic très important ainsi que par des charges élevées pouvant atteindre jusqu'à 40 tonnes par essieu. Afin d'assurer la stabilité, la résistance et la durabilité de la structure de la voie, le choix s'est porté sur les traverses monoblocs en béton précontraint.

Le choix des traverses monoblocs en béton précontraint est basé sur plusieurs critères techniques :

- **Épaisseur de la traverse (rigidité nécessaire)** : les traverses monoblocs offrent une grande rigidité permettant de mieux supporter les fortes charges.
- **Longueur de la traverse** : leur longueur importante contribue à améliorer la stabilité de la voie.
- **Forme de la traverse** : leur géométrie est étudiée pour s'opposer efficacement aux déplacements longitudinaux et transversaux de la voie.
- **Résistance aux agents atmosphériques** : elles présentent une bonne résistance aux conditions climatiques et assurent une meilleure durabilité.
- **Compatibilité avec le ballast :** Très bonne stabilité longitudinale et latérale.
- **Vie en service :** plus de vie de service 40-60 ans

La densité de traverses au kilomètre est de 1666 unités (Les traverses sont mises chaque 0.6 m sur la voie). Cependant, dans les secteurs en plein courbe, il est nécessaire :

- D'ajouter les traverses supplémentaires, afin d'empêcher les mouvements de voie…
- D'ajuster l'épaisseur et la largeur de ballast (devers).

Les principales dimensions des traverses monoblocs sont :

- Écartement : 1435 mm
- Longueur totale : 2400 mm
- Largeur : 300 mm
- Hauteur : 215 - 220 mm
- Masse : ≥ 300 kg

II.3. Système d'attache :

Les systèmes d'attaches ferroviaires constituent un élément essentiel de la voie ferrée. Sur le plan mécanique, ils assurent la liaison entre les rails et les traverses. Ils permettent également de maintenir l'écartement correct de la voie, de prévenir le basculement des rails et de contribuer à l'absorption d'une partie des vibrations générées par le trafic ferroviaire.

II.3.1. Types système d'attaches :

En Algérie, sur le réseau de la SNTF, une catégorie principale d'attaches est utilisée :

Les attaches élastiques : Ces systèmes présentent l'avantage de permettre un certain mouvement vertical du rail, ce qui contribue à réduire l'usure des composants et à diminuer les besoins en maintenance de la voie.

Il y'a deux systèmes

- **Système Pandrol Fastclip :**

  Ce système est largement utilisé depuis quelques années, notamment avec les traverses monobloc. Il repose sur des clips insérés latéralement ou longitudinalement, exerçant une pression constante sur le patin du rail, garantissant ainsi un maintien efficace et stable.

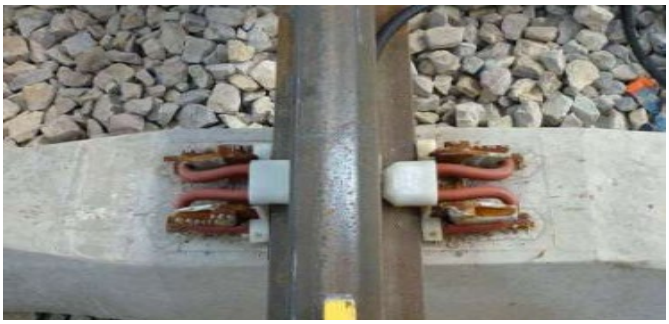


Figure II-4 : système d'attache pandrol

- **Système Nabla fastening system :**

Toujours utilisé en Algérie, notamment sur les réseaux classiques et en gare, ce système comprend une lame d'acier élastique fixée par un tire-fond. Il assure un bon maintien du rail tout en offrant une isolation électrique efficace.

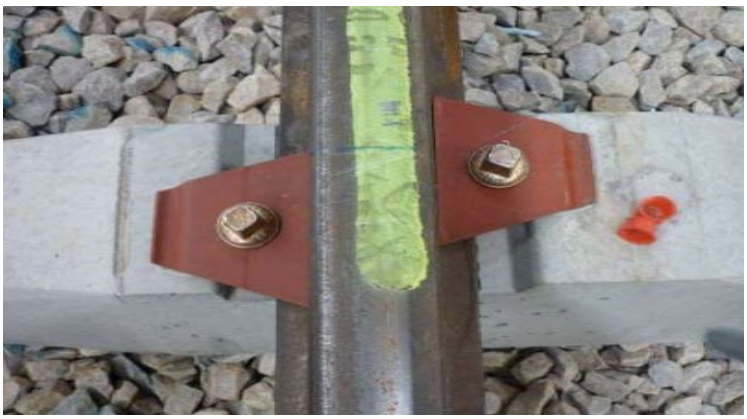


Figure II-5 : système d'attache Nabla

II.3.2. Système d'attache utilisé dans notre projet :

Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi d'utiliser le système d'attache Nabla. Il s'agit d'une fixation élastique directe qui maintient le rail sur la traverse tout en permettant une certaine souplesse. Ce système utilise une lame ressort spécifique qui assure un maintien efficace du rail, absorbe les vibrations et réduit les chocs transmis à la voie. Grâce à cette élasticité, les rails conservent leur position et leur écartement, ce qui améliore la stabilité et la durabilité de la voie.

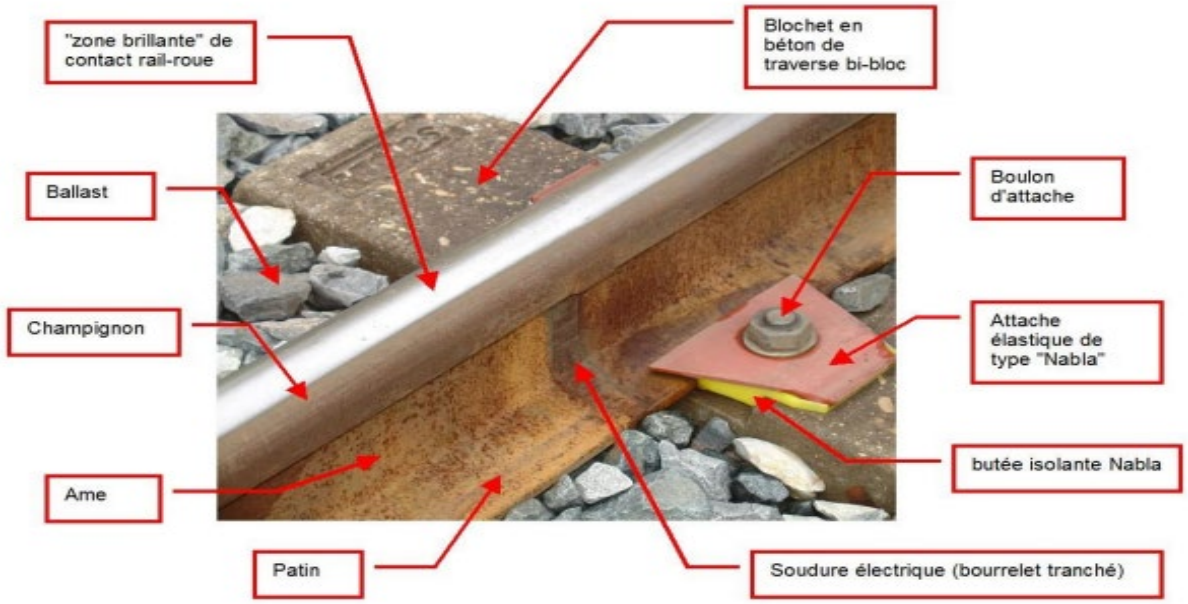


Figure II-6 : Système d'attache de rail.

II.4. Ballast :

Le ballast est un élément essentiel de la superstructure ferroviaire, constitué de granulats concassés issus de roches dures et placé sous les traverses. Il assure la répartition des charges, la stabilité de la voie, le drainage des eaux et l'amortissement des vibrations provoquées par le passage des trains.

Le dimensionnement de la couche de ballast sera traité dans le chapitre VI consacré à l'assise ferroviaire.

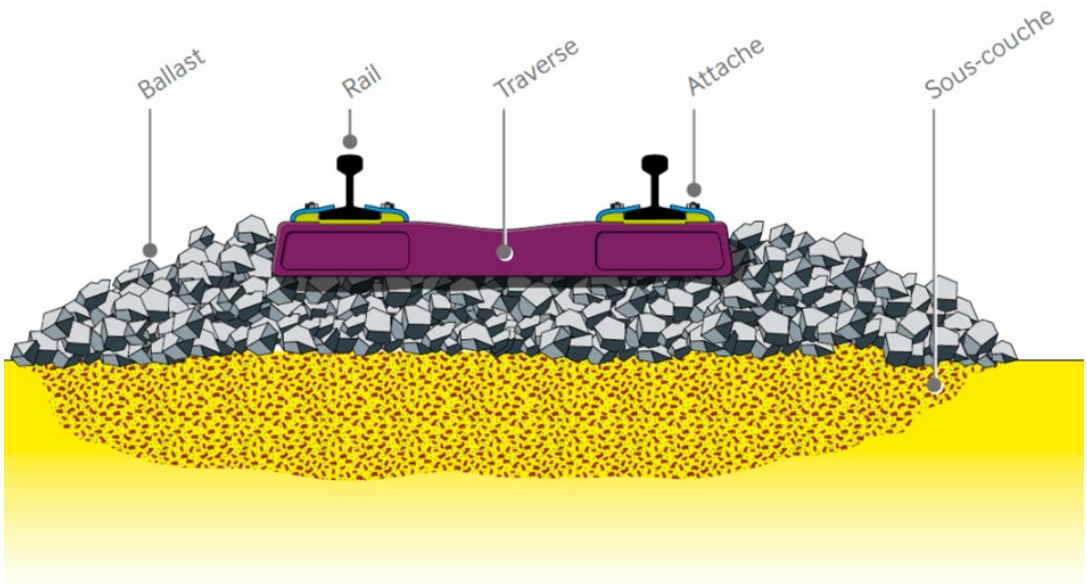


Figure II-7 : infrastructure ferroviaire

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

Les progrès de la technique ferroviaire ont permis d'augmenter les vitesses de circulation tout en garantissant la sécurité, le confort et la qualité du service pour les usagers. Toutefois, l'expérience a montré que l'atteinte de vitesses élevées repose souvent sur la création de nouvelles lignes ou l'aménagement des tracés existants. Dans ce contexte, l'étude géométrique du tracé ferroviaire constitue une démarche technique essentielle visant à optimiser la configuration des voies. Elle intègre des éléments fondamentaux tels que les alignements droits pour assurer la stabilité, les courbes pour permettre des changements de direction maîtrisés, le dévers pour compenser les effets de la force centrifuge, ainsi que les déclivités qui influencent les efforts de traction et de freinage. L'équilibre de ces paramètres est indispensable pour garantir une infrastructure ferroviaire à la fois sûre, performante et durable.

III.1. Trace en plan :

Le tracé en plan d'une voie ferrée correspond à la projection horizontale de l'axe de la voie, représentant ainsi la trajectoire du train vue du dessus. Il se compose d'une succession d'alignements droits, de courbes circulaires (pleines courbes) et de courbes de transition progressives (clothoïdes) assurant un passage fluide entre les différentes sections. Sa conception repose sur la prise en compte de deux vitesses de référence :

- La vitesse maximale des trains voyageurs (Vmax)
- La vitesse minimale des trains de marchandises (Vmin).

L'objectif principal du tracé en plan est de garantir des conditions optimales de stabilité, de confort et de sécurité pour l'ensemble des circulations ferroviaires tout au long du parcours.

III.1.2. Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan :

- Le tracé doit s'intégrer au relief naturel afin de limiter les terrassements, réduire les coûts et diminuer l'impact environnemental.
- Les franchissements des oueds et des routes doivent être limités ; lorsqu'ils sont indispensables, ils doivent être réalisés perpendiculairement ou au point le plus étroit pour réduire l'importance des ouvrages d'art.
- Le tracé doit éviter les zones sensibles (terrains agricoles, forêts, propriétés privées) afin de préserver ces espaces et éviter les conflits d'usage.
- Il est préférable de suivre les courbes de niveau naturelles pour réduire les volumes de déblais et de remblais et optimiser l'exécution du projet.
- Les alignements droits doivent être privilégiés autant que possible, car ils facilitent la construction, améliorent l'exploitation et réduisent les coûts.
- Le tracé doit garantir la sécurité, la stabilité et le confort des usagers, en respectant les normes ferroviaires, notamment pour les circulations à grande vitesse.
- Les zones à risques géologiques (terrains instables, zones fissurées, glissements de terrain) doivent être évitées afin d'assurer la durabilité de l'infrastructure.
- La stabilité des talus doit être assurée en remblais en déblais.

III.1.3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN :

La ligne est conçue pour une exploitation ferroviaire à trafic mixte (Trafic Voyageurs : Vitesse **100 km/h** et Marchandises : Vitesse **80 km/h**).

L'étude sera réalisée sur la base des paramètres géométriques et dynamiques définis dans le référentiel technique **IN00272**, ainsi que ceux fixés par recommandations techniques ferroviaires de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) et référentiel système nationale des chemins fer (SNTF).

Le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel **Covadis.**

Le tracé en plan se compose des éléments suivants :

- **Alignements droits :**
  Correspondent aux sections rectilignes de la voie, où le rayon de courbure est considéré comme théoriquement infini.

- **Courbe circulaire :**

Les courbes circulaires correspondent à des arcs de cercle à rayon constant, utilisés pour assurer la déviation progressive de la direction de la voie ferrée.

- **Courbe avec raccordement progressif :**

Les courbes de transition, également appelées courbes de raccordement progressif, assurent la liaison graduelle entre un alignement droit et une courbe circulaire, ou entre deux courbes de rayons différents.

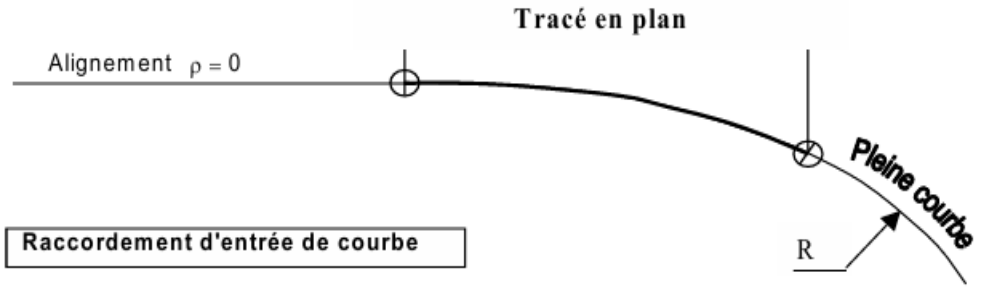


Figure III-1 : Courbe avec raccordement progressif

- **Longueur minimale des éléments de trace**

Les longueurs minimales des alignements et des courbes circulaires, mesurées entre les milieux des doucines, doivent respecter les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-1 : Longueur minimale des éléments

Longueur minimale des éléments	
Valeur maximale normale (m)	V/2
Valeur maximale exceptionnelle (m)	V/3

- **Rayon Minimum**

Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

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

Tel que :

- V_{max} : Vitesse maximal (voyageur) (Km/h)
- I_{max} : L'insuffisance de dévers max admissibles(mm).
- D_{max} : Dévers max admissible (mm)

- **Le dévers :**

Le dévers correspond à la différence de hauteur entre le rail extérieur et le rail intérieur dans une courbe. Il permet de compenser partiellement la force centrifuge, de limiter les efforts latéraux exercés sur la voie et d'améliorer à la fois le confort et la sécurité de circulation.

Il y'a deux types de dévers

a. Dévers théorique :

Le dévers théorique (ou dévers d'équilibre) correspond à la dénivellation transversale idéale entre les deux files de rails, permettant de compenser exactement la force centrifuge pour une vitesse de circulation Vet un rayon de courbure R donnés. En considérant le dévers d exprimé en millimètres, le rayon R en mètres et la vitesse Ven km/h.

$$d_{th} = \frac{11.8xV_{max}^2}{R}\ (mm)$$

b. Dévers pratique :

Le dévers adopté en voie résulte d'un compromis technique visant à garantir des conditions satisfaisantes de sécurité et de confort, aussi bien pour les trains de voyageurs à grande vitesse que pour les trains de fret circulant à des vitesses plus faibles. Cette valeur, réellement appliquée à la voie, est appelée dévers pratique.

$$d_p = \frac{1000 \times\ C}{R}\ (mm)$$

- C : Coefficient de dévers donné par C= 0.006 x V^2 max

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

Tableau III-2 : Dévers maximal

Dévers maximal	
Valeur limite normale (mm)	160
Valeur limite exceptionnelle (mm)	180

- **L'insuffisance de dévers maximale admissible :**

Quand un véhicule ferroviaire aborde une courbe à une vitesse excédant la vitesse d'équilibre associée au dévers en place, la force centrifuge développée n'est que partiellement contrebalancée par ce dévers. Il en résulte un déséquilibre dont l'effet se traduit par un report de la résultante des efforts vers le rail extérieur. Cette grandeur, quantifiée en millimètres, est égale à l'écart entre le dévers d'équilibre théorique et le dévers effectivement appliqué en voie.

L'insuffisance de dévers maximale admissible (Imax) est la valeur maximale du manque de dévers qu'on peut accepter dans une courbe ferroviaire.

Elle est limitée pour garantir la sécurité, le confort des voyageurs et réduire l'usure de la voie.

$$I = \frac{11.8xV^2}{R} - d_p \qquad \text{Ou} \quad I = d_{th} - d_p$$

Tableau III-3 : L'insuffisance de dévers maximale

L'insuffisance de dévers maximale	
Valeur limite normale (mm)	150
Valeur limite exceptionnelle (mm)	160

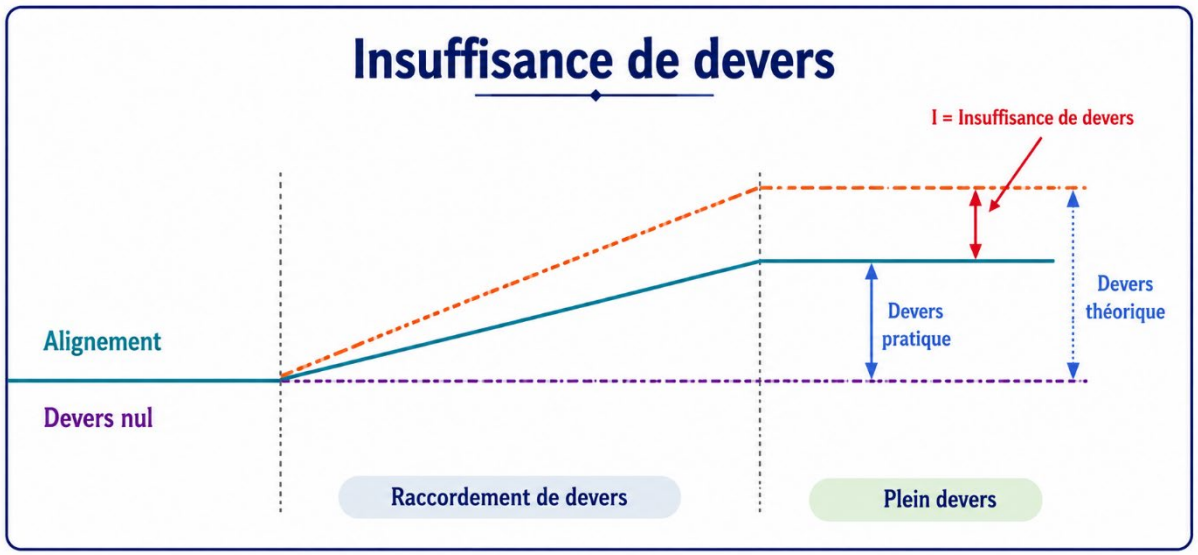


Figure 2-III : L'insuffisance de dévers

- **L'excès de dévers maximale admissible :**

À l'inverse, lorsqu'un véhicule ferroviaire négocie une courbe à une vitesse inférieure à la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, la composante centripète générée par ce dévers n'est pas intégralement absorbée par la force centrifuge. Il en découle un déséquilibre opposé, orientant la résultante des efforts vers le rail intérieur. Cette grandeur, également exprimée en millimètres, est définie comme l'écart entre le dévers prescrit et le dévers d'équilibre théorique.

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurées du rail intérieur dans les courbes

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

Tableau III-4 : L'excès de dévers maximale

L'excès de dévers maximale	
Valeur maximale normale (mm)	110
Valeur maximale exceptionnelle (mm)	130

- **Limite de la variation de dévers dans les courbes de transition :**

La limite de la variation de dévers (Δd/Δl) est la valeur maximale du changement du dévers par unité de longueur dans une courbe de transition (clothoïde).

Elle est fixée pour assurer une variation progressive du dévers, garantissant le confort des voyageurs et la stabilité du train.

Tableau III-5 : Limite de la variation de dévers

Limite de la variation de dévers	
Valeur maximale normale (mm)	180/V
Valeur maximale exceptionnelle (mm)	216/V

- **Limite de la variation d'insuffisance de dévers**

Cette limite permet de prendre en considération le fait que l'être humain est plus sensible aux variations d'accélération qu'aux accélérations elles-mêmes.

$$dd/_{dt} = \frac{d_p}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$$

Tableau III-6 : Limite de la variation d'insuffisance de dévers

Limite de la variation d'insuffisance de dévers	
Valeur maximale normale (mm/s)	75
Valeur maximale exceptionnelle (mm/s)	90

Tableau III-7 : Tableau récapitulatif des paramètres de trace

	Formule		**Application**	
	Normal	**Exceptionnel**	**Normal**	**Exceptionnel**
Dévers maximal d_{max} (mm)	-	-	160	180
L'insuffisance de dévers maximale admissible I_{max}	-	-	150	160
$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + I_{max}}$	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max}+I_{max}}$	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max}+I_{max}}$	381	347
Longueurs minimales des alignements L_{min}(m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{3}$	50	33
Longueurs minimales des pleines courbes (m)	$\frac{V_{max}}{2}$	$\frac{V_{max}}{2}$	50	50
Insuffisance de dévers admissible I_{max} (mm)	-	-	150	160
Excès de dévers admissible E_{max} (mm)	-	-	110	130
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur (dd/dl) max (mm/m)	$\frac{180}{V_{max}}$	$\frac{216}{V_{max}}$	1.8	2.16
Limite de la variation d'insuffisance de dévers (dI/dt) max (mm/s)	-	-	75	90

III.1.4. APPLICATIONS SUR LE PROJET

Notre projet qui relie Oued Damos et Oued Kebrit début au pk61+000 au Pk 75+000.

Tableau III-8 : Rayon des courbes de notre traces

Rayon (m)	Nombre
500	3
600	3
700	1
800	2
1000	6

Pour une vitesse de 100 km/h tous les rayons de notre tracé doivent être supérieurs ou égal à 381m.

On considère un exemple de calcul pour un rayon de 800 m, afin d'illustrer les différentes étapes nécessaires à la détermination du dévers ainsi que des paramètres qui lui sont associés.

- **Devers théorique :**

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} = \frac{11.8 \times 100^2}{800} = 147.50\ mm$$

- **Coefficient de devers :**

$$C = 0.006 \times V_{max}^2 = 0.006 \times 100^2 = 60$$

La valeur de C doit être un multiple de 15 et doit répondre à la relation :

$$0.5 < \frac{C}{0.0118 \times V_{max}^2} < 0.7$$

Alors on prend C=60.

$$0.5 < \frac{60}{0.0118 \times 100^2} = 0.51 < 0.7\ \ verifie$$

- **Devers prescrit :**

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 60}{800} = 75mm$$

On adopte $d_p = 95mm$

- **Insuffisance de devers :**

$$I = d_{th} - d_p = 147.5 - 95 = 52.50\ mm < 150mm$$

- **Excès de devers :**

$$E = dp - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{\mathrm{R}} = 95 - \frac{11.8 \times 80^2}{800} = 0.60\ mm$$

- **Variation maximale de devers :**

$$\frac{dd}{dl} = \frac{180}{V_{max}} = \frac{180}{100} = 1.8mm/m$$

On adopte 1.6 mm/m

- **La longueur et le paramètre de clothoïde :**

$$L_{rp} = \frac{dp}{\frac{dd}{dl}} = \frac{95}{1.6} = 59.375\ m \rightarrow L_{rp} = 60m$$

- **La variation de l'insuffisance de dévers par rapport au temps :**

$$dI/_{dt} = \frac{dl}{dI} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{52.5}{95} \times \frac{100}{3.6} = 15.35\ mm/s$$

- **La variation de dévers par rapport au temps :**

$$dd/_{dt} = \frac{d_p}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{95}{60} \times \frac{100}{3.6} = 43.98\ mm/s$$

Tableau III-9 : vérification des rayons de trace

		Formule	1	2	3	4	5
Rayon(m)		-	500	600	700	800	1000
Vitesse Km/h	Min	-	100				
	Max	-	80				
$d_{th}(m)$		$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}$	236.00	196.67	168.57	147.50	118.00
C		$0.006 \times V_{max}^2$	60				
C_{adopte}		-	60				
Vérification C		$0.5 < \frac{c}{0.118 \times V_{max}^2} < 0.7$	0.6				
			Vérifie				
$d_p(mm)$		$\frac{1000 \times c}{R}$	120.00	100.00	85.71	75	60
$d_p\ adopte$		-	160.00	126	110	95	75
I(mm)		$d_{th} - d_p$	76.00	71.67	58.57	52.5	43.00
E(mm)		$dp - \frac{11.8 \text{x} \text{Vm}in2}{\text{R}}$	8.96	≈ 0	2.11	0.60	≈ 0
L_{rp} Adoptée		$\frac{d_p}{dd/dl}$	90	70	70	60	50
Variations de devers adopte		-	1.80	1.80	1.7	1.6	1.50
$dI/dt\ (mm/s)$		$\frac{I}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$	23.45	39.82	23.24	24.30	23.88
$dd/dt\ (mm/s)$		$\frac{d_p}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$	49.38	50.00	47.00	44.00	42.00

III.2. Profil en long :

Le profil en long d'une voie correspond à la représentation de son relief suivant son axe. Il est constitué d'une succession de pentes constantes (rampes et déclivités) reliées entre elles par des courbes verticales, généralement circulaires.

Il est obtenu en projetant sur un plan vertical passant par l'axe du tracé, les altitudes de la file basse des rails, ce qui permet de décrire l'évolution de la hauteur de la voie le long de son parcours.

III.2.1. Les règles à respecter :

L'élaboration du tracé d'une ligne de projet ne se fait pas de manière arbitraire. Elle doit respecter un ensemble de recommandations et de règles visant à garantir la stabilité, la sécurité, le confort des usagers ainsi que le bon écoulement des eaux.

Pour cela, il convient de respecter les principes suivants :

- Adapter au maximum le tracé au terrain naturel afin de limiter les travaux de terrassement.
- Éviter les remblais de grande hauteur.
- Limiter les angles sortant en zone de déblai.
- Éviter la superposition des courbes en profil en long avec celles du tracé en plan.
- Respecter les limites réglementaires concernant les pentes maximales et les rayons minimaux selon SNTF,
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

III.2.2. Les éléments du profil en long :

- **Déclivité maximale :**

La déclivité maximale d'une ligne ferroviaire est un paramètre essentiel de conception, dont la valeur dépend directement de la longueur de la rampe considérée. Selon les recommandations techniques SNTF :

- Pour des déclivités inférieures à 3000 m, la pente ne doit généralement pas dépasser 16‰, avec une tolérance exceptionnelle pouvant atteindre 18‰.
- Lorsque la longueur est comprise entre 3000 m et 15 000 m, la déclivité admissible diminue progressivement afin d'assurer de meilleures conditions d'exploitation, passant de 16‰ à 13‰ (et exceptionnellement de 18‰ à 15‰).
- Pour les longues déclivités supérieures à 15 000 m, la pente maximale est limitée à 13‰, avec une valeur exceptionnelle plafonnée à 15‰. Ces prescriptions traduisent la nécessité d'adapter le profil en long aux contraintes d'exploitation, en garantissant à la fois la sécurité, la performance des trains et le confort de circulation.

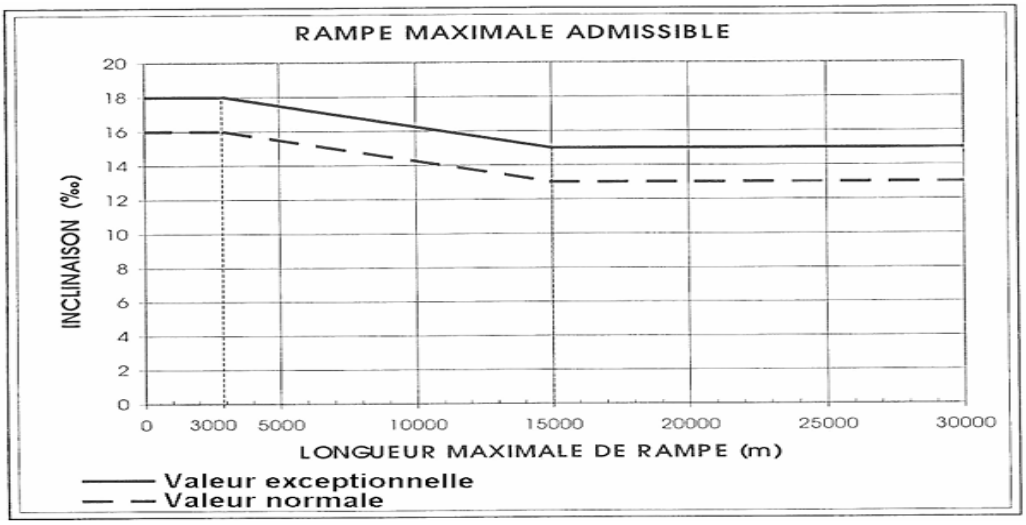


Figure III-3 : Valeur de déclivité max selon SNTF

- **Rayon admissible en raccordements de profil en long :**

Le rayon de raccordement en profil en long est limité afin de garantir le confort des voyageurs et éviter des accélérations trop importantes.

Lors du franchissement d'un raccordement à une vitesse V, le véhicule subit une accélération centrifuge $a_v = \frac{V_{Max}^2}{R_V}$.

Cette accélération doit rester limitée ⇒ cela impose un rayon minimum.

Les raccordements en profil en long sont réalisés à l'aide de courbes circulaires, sans insertion de courbes de transition entre les différentes pentes et le raccordement. Cette absence de progressivité engendre, aux extrémités du raccordement, une variation brusque de l'accélération verticale. Il en résulte des oscillations au niveau de la suspension des véhicules, ce qui altère le confort des voyageurs et affecte le comportement dynamique du train.

L'objectif est Limiter la variation d'accélération verticale et Assurer un bon comportement dynamique du train à vitesse élevée. Et pour cela on doit respecter :

Tableau III-10 : Rayon admissible en raccordements de profil en long

Rayon admissible en raccordements de profil en long	
Valeur normale	0.35 V^2
Valeur exceptionnelle	0.25 V^2

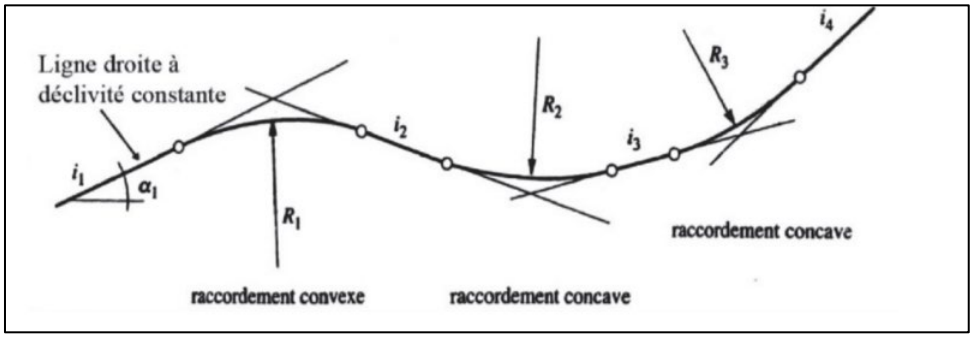


Figure III-4 : Rayon admissible en raccordements de profil en long

- **Longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil**

Entre deux variations brusques d'accélération verticale, il est nécessaire de prévoir un intervalle de temps suffisant afin de permettre au système de suspension d'absorber les chocs et d'éviter l'effet cumulé d'accélérations rapprochées, susceptibles de provoquer des oscillations importantes du véhicule.

Par conséquent, la longueur minimale des pentes uniformes est limitée comme suit :

Tableau III-11 : Longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil

Longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil	
Valeur minimale normale	V/2
Valeur minimale exceptionnelle	V/2.5

III.2.3. Application sur notre projet :

Pour une vitesse de voyageur V_{max} =100 Km/h et V_{min} = 80 Km/h.

Tableau III-12 : Tableau récapitulatifs des paramètres profil en long

		Formule		*Application*	
		Normal	*Exceptionnel*	*Normal*	*Exceptionnel*
Déclivité maximale	L<3000 m	-	-	16 ‰	18 ‰
	3000<L>15000 m	-	-	16 ‰ à 13 ‰	18 ‰ à 15 ‰
	L>15000 m	-	-	13 ‰	15 ‰
	Gares	-	-	0	0
Rayon minimal en raccordements verticaux (m)	-	0.35V²	0.25V²	3500	2500
La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)	-	V/2	V/2,5	50	40

III.3. Commentaire sur trace en plan et profil en long :

Dans le cadre du projet de travaux de dédoublement, de modernisation et/ou de rectification du tracé visant à augmenter la capacité de la ligne minière, l'étude porte le tronçon : Drea– Oued Kébrit, allant du PK 61+000 au PK 75+000.

Pour ce projet, il a été retenu une vitesse maximale de 100 km/h pour les trains voyageurs et de 80 km/h pour les trains de marchandises. Le choix des vitesses a été choisi pour plusieurs raison :
1. Un terrain accidenté en zone montagneuse impose des courbes rapprochées, ce qui limite la vitesse de circulation.

2.Le dédoublement de la ligne consiste à conserver le couloir existant, sauf dans les cas où une rectification du tracé s'avère nécessaire.

3. Cette ligne est destinée à la circulation des trains de marchandises, dont la vitesse est généralement inférieure à celle des trains de voyageurs.

Dans le tronçon allant du PK 61+000 au PK 75+000, la voie sera dédoublée du côté gauche de la voie existante.

Le tracé en plan présente une sinuosité importante, avec des rayons de courbure compris entre 500 m et 1000 m. L'utilisation de rayons plus grands n'a pas été possible en raison des contraintes liées à la topographie de la région.

Concernant le profil en long, le tracé traverse une zone montagneuse. Le sens vers Tébessa est descendant, avec une pente maximale de 1,5 %. Les volumes de déblais et de remblais restent globalement acceptables.

Les ouvrages existants sur l'ancienne voie ne sont plus exploitables, car ils sont très anciens et probablement en fin de vie. De plus, l'augmentation des charges et les nouveaux types de trains les rendent inadaptés. Donc, il est nécessaire de remplacer ces ouvrages dans le nouveau tracé.

Les ouvrages sont les suivants :

- PK 63+175 : Pont rail à voie unique.
- PK 69+475 : Pont rail à voie unique.
- PK 73+550 : Pont rail à voie unique.
- PK 74+400 : Pont rail à voie unique.

Le tracé prévoit le passage sous un ouvrage d'art existant (pont routier) au PK 70+868.

CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT

CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT

Le tracé de la voie ferrée traverse plusieurs bassins versants hydrologiques qui nécessitent une analyse approfondie. Les précipitations de forte intensité peuvent engendrer des inondations au niveau de certaines zones du tracé, notamment celles présentant une topographie propice à l'accumulation des eaux.
Ainsi, l'assainissement des infrastructures ferroviaires constitue un enjeu technique majeur à prendre en compte dès les phases d'études préliminaires.
Dans ce cadre, la présente étude vise à concevoir un système efficace d'évacuation des eaux afin de garantir la stabilité et la pérennité de l'infrastructure. Ce système devra permettre la collecte et l'évacuation des eaux pluviales ainsi que des eaux issues des nappes phréatiques.

IV.1. Présentation Hydrologique de la zone

Le tracé de la ligne minière tronçon Drea–Oued Kébrit, traverse le bassin versant de l'Oued Mellègue, identifié sous le numéro 12 selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.).

IV.1.1. Présentation de l`Oued Mellègue

L'Oued Mellègue, cours d'eau à écoulement permanent sur une longueur d'environ 72,44 km, prend sa source au nord et au sud de Mesloula, à l'ouest de l'Ouenza. Il traverse les monts de l'Ouenza en suivant un parcours sinueux, avant de poursuivre son écoulement vers le territoire tunisien.
Ce cours d'eau est alimenté par plusieurs affluents principaux, notamment l'Oued Guetare, l'Oued Kébrit, l'Oued Mrah El Bel, l'Oued Meksouba et l'Oued Baabar. Il résulte également de la confluence de l'Oued El Chabro et de l'Oued Meskiana.

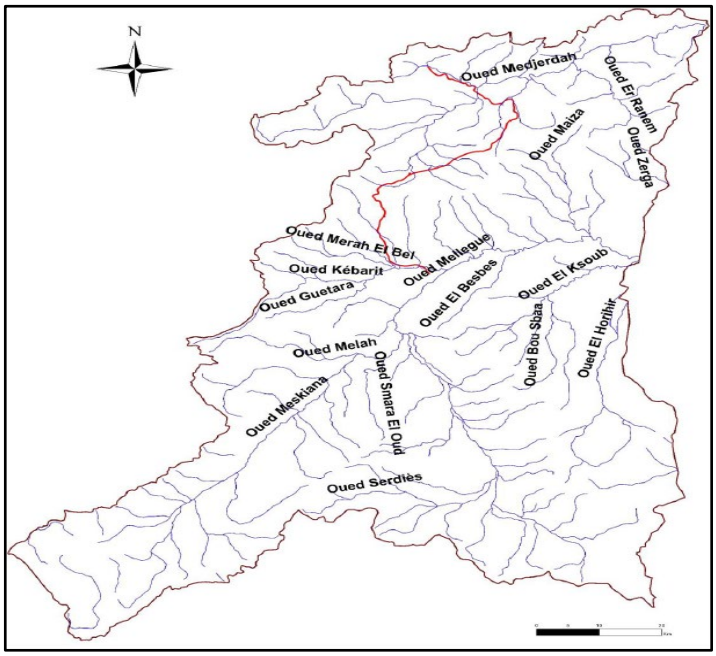


Figure IV-1 : reseau hydrographique du bassin versant de l`oued Mellègue

Tableau IV-1: caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'oued Mellègue

N° SBV	S	P	Lw	Kc	L,re	l,re	Dd	Hmin	Hmax	Hmoy
12	7811.57	609.24	4362.21	1.9	276.35	28.27	0.56	250	1600	925

Il est subdivisé en 05 sous bassins versants qui sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau IV-2 : caractéristiques morphométriques des sous bassins versant du grand bassin versant de l'oued Mellègue

N° SBV	Oued	S	P	Lw	Kc	L,re	l,re	Dd	Hmin	Hmax	Hmoy
1201	O. Medjerdah	1524.72	266.01	708.73	1.91	120,33	12,67	0,46	250	1400	825
1202	O. Meskiana	1831.61	248.24	1338.34	1.62	107	17,12	0,73	700	1550	1125
1203	O. Chabro	1571.12	246.11	810.53	1.74	108,59	14,47	0,52	700	1600	1150
1204	O. Mellegue Amont	1488.21	235.02	737.75	1,71	103,07	14,44	0,5	500	1200	850
1205	O. Mellegue Aval	1395.91	266.88	766.86	2	122	11,44	0,55	450	1400	925

Tel que :

- N°SBV : Numéro du bassin versant ;
- Oued : Nom de l'écoulement principal du sous bassin versant ;
- S : Surface du sous bassin versant (km²) ;
- -P : Périmètre du sous bassin versant (km) ;
- L_W : Longueur du cours d'eau principal du sous bassin versant (km) ;
- K_C : Indice de compacité (sans unité) ;
- L_{re}: Longueur du rectangle équivalent (km) ;
- L.re : Largeur du rectangle équivalent (km) ;
- D_d : Densité de drainage (km/km2) ;
- H_{max}: altitude maximale au niveau du sous bassin versant (m) ;
- H_{min}: altitude minimale au niveau du sous bassin versant (m) ;
- H_{moy}: altitude moyenne au niveau du sous bassin versant (m).

Dans la présente étude, on s'intéresse à l'oued Mellègue amont qui traverse la section à étudier dans plusieurs points.

IV.2. Caractéristiques des bassins versants

La détermination des caractéristiques des bassins versants repose sur le calcul et l'évaluation de paramètres explicatifs essentiels à l'estimation des débits de crue.
Le point kilométrique (PK) constitue un repère permettant d'identifier les zones où le tracé de la voie ferrée intersecte les cours d'eau. Cette intersection sert de base pour la délimitation des bassins versants.
La délimitation a été réalisée à partir des cartes d'état-major à l'échelle 1/50 000, en suivant les lignes de partage des eaux définies par l'orientation des courbes de niveau. Par ailleurs, le réseau hydrographique a été établi par digitalisation du talweg, correspondant au cours d'eau principal.

Après digitalisation des bassins versants sur les cartes topographiques, sous le logiciel Autocad, et après la vérification avec le logiciel global mapper et google earth les paramètres suivants ont été déterminés :

- Surface du bassin versant (Km²)
- Périmètre du bassin versant (Km)
- Longueur du plus long cours d'eau (Km)
- Altitude maximale (m)
- Altitude minimale (m)
- La pente (m/m)

Tableau IV-3 : caractéristique des bassins versant traversant le tracé du projet

N	PK	S (M2)	L	H_{max}	H_{min}	H_{moy}	I(m/m)
1	61+105	143 394,87	608,00	757	739	748	0,03
2	61+547	65 067,25	475,92	743	732	737,5	0,023
3	63+225	79 126 965,53	20 921,92	990	702	846	0,014
4	63+697	121 458,44	409,47	710	705	707,5	0,012
5	64+694	108 663,69	506,37	704	695	699,5	0,018
6	64+952	80 074,07	307,26	697	693	695	0,013
7	65+993	3 159 965,26	3 468,46	751	675	713	0,022
8	66+230	22 630,42	220,00	692	677,6	684,8	0,065
9	66+400	45 896,23	293,45	690	675,5	682,75	0,049
10	66+579	98 139,16	441,87	683	669,5	676,25	0,031
11	66+678	36 850,63	324,50	679	670	674,5	0,028
12	66+829	45 690,24	263,72	675	668	671,5	0,027
13	66+895	17 662,76	221,87	676	668	672	0,036
14	67+029	23 692,74	206,60	677	666	671,5	0,053
15	67+083	6 656,87	82,20	672	668	670	0,049
16	67+250	44 032,28	249,33	677	661,3	669,15	0,063
17	67+422	47 096,17	305,32	673	662	667,5	0,036
18	67+483	7 382,24	145,06	667	662	664,5	0,034
19	67+517	4 982,64	64,03	664	662,7	663,35	0,02
20	67+942	326 450,48	623,03	677	660	668,5	0,027
21	69+475	115 971 834,93	30 360,00	856	641	748,5	0,007
22	69+720	35 518,73	241,65	652	645	648,5	0,029
23	70+940	533 130,82	1 495,79	654	636	645	0,012

24	71+109	2 471 294,33	2 703,11	686	633	659,5	0,02
25	71+450	93 556,89	412,93	646	633	639,5	0,031
26	71+721	45 029,58	281,50	642	633	637,5	0,032
27	71+981	279 726,65	798,00	655	625,5	640,25	0,037
28	72+238	48 596,87	335,50	641	628	634,5	0,039
29	72+318	11 054,40	164,70	636	626	631	0,061
30	72+635	1 264 357,75	1 868,89	661	619	640	0,022
31	72+838	69 689,52	557,00	648	626	637	0,039
32	72+975	132 213,90	747,00	653	619,7	636,35	0,045
33	73+550	93 139,16	441,87	683	669,5	676,25	0,031

IV.2.1. Calcul du temps de concentration (tc)

Le temps de concentration est un paramètre fondamental en hydrologie. Il correspond à la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau, tombée au point le plus éloigné d'un bassin versant, atteigne son exutoire. Il joue un rôle clé dans l'analyse de la réponse du bassin lors des pluies, en influençant directement l'estimation des débits de pointe et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.
Son évaluation repose sur plusieurs formules empiriques, chacune étant adaptée aux caractéristiques propres du bassin versant :

- **Superficie de 0.0004 km² a 0.81 km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de KIRPICH

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

- t_c: temps de concentration en heure I : pente du bassin versant en m/m
- L : longueur du cours d`eau principale en (m).

- **Superficie de 0.81 km² a 5 km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de VENTURA

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

- t_c : temps de concentration en heure
- S : surface du bassin versant en km^2
- P : pente moyenne du bassin versant en (m/m)

- **Superficie de 5 km² a 25 km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de PASSINi

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

- L : longueur du cours d`eau principale en (KM).
- S : surface du bassin versant en km²
- P : pente moyenne du bassin versant en (m/m)

- **Superficie de 25 km² a 200 km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de GIANDOTTI

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

- L : longueur du cours d`eau principale en (KM).
- S : surface du bassin versant en km²
- H: $H_{moy} - H_{min}(m)$

Tableau IV-4 : calcul de temps de concertation des bassins versants des oueds

BV	Surface S	L	H_{moy}	Pente	t_c	Formule
	En km²	En Km	H_{max}-H_{min}	P ou I	h	
			En (m)	En(m/m)		
1	0,143	0,608	748,00	0,0296	**0,1754**	**Kirpich**
2	0,065	0,476	737,50	0,0231	**0,1598**	**Kirpich**
3	79,127	20,922	846,00	0,0138	**6,9754**	**Giandotti**
4	0,121	0,409	707,50	0,0122	**0,1820**	**Kirpich**
5	0,109	0,506	699,50	0,0178	**0,1853**	**Kirpich**
6	0,080	0,307	695,00	0,0130	**0,1424**	**Kirpich**
7	3,160	3,468	713,00	0,0219	**1,5255**	**Ventaura**
8	0,023	0,220	684,80	0,0655	**0,0591**	**Kirpich**
9	0,046	0,293	682,75	0,0494	**0,0822**	**Kirpich**
10	0,098	0,442	676,25	0,0306	**0,1354**	**Kirpich**
11	0,037	0,325	674,50	0,0277	**0,1110**	**Kirpich**

12	0,046	0,264	671,50	0,0265	**0,0962**	**Kirpich**
13	0,018	0,222	672,00	0,0361	**0,0748**	**Kirpich**
14	0,024	0,207	671,50	0,0532	**0,0610**	**Kirpich**
15	0,007	0,082	670,00	0,0487	**0,0310**	**Kirpich**
16	0,044	0,249	669,15	0,0630	**0,0660**	**Kirpich**
17	0,047	0,305	667,50	0,0360	**0,0957**	**Kirpich**
18	0,007	0,145	664,50	0,0345	**0,0549**	**Kirpich**
19	0,005	0,064	663,35	0,0203	**0,0358**	**Kirpich**
20	0,326	0,623	668,50	0,0273	**0,1844**	**Kirpich**
21	115,972	30,360	748,50	0,0071	**10,6836**	**Giandotti**
22	0,036	0,242	648,50	0,0290	**0,0869**	**Kirpich**
23	0,533	1,496	645,00	0,0120	**0,4966**	**Kirpich**
24	2,471	2,703	659,50	0,0196	**1,4261**	**Ventaura**
25	0,094	0,413	639,50	0,0315	**0,1271**	**Kirpich**
26	0,045	0,282	637,50	0,0320	**0,0941**	**Kirpich**
27	0,280	0,798	640,25	0,0370	**0,1985**	**Kirpich**
28	0,049	0,336	634,50	0,0387	**0,1001**	**Kirpich**
29	0,011	0,165	631,00	0,0607	**0,0487**	**Kirpich**
30	1,264	1,869	640,00	0,0225	**0,9520**	**Kirpich**
31	0,070	0,557	637,00	0,0395	**0,1467**	**Kirpich**
32	0,132	0,747	636,35	0,0446	**0,1755**	**Kirpich**
33	0,093	0.620	634,80	0.0523	**0,1430**	**Kirpich**

IV.3. Caractéristiques climatiques

- **Températures**

La région de l'étude est caractérisée par un climat méditerranéen avec un été chaud et un hiver froid avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 14.6°C au niveau de la station de Souk Ahras et de 15.8°C au niveau de la station de Tébessa.

Tableau IV-5 : : Moyenne annuelles et mensuelles des températures à la station de Souk Ahras et de Tébessa (source : Rapport Etude préliminaire de la ligne minière).

STATION	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne Annuelle
Souk Ahras 1965-2002	21	15,9	11,2	7,3	6,30	6,3	9,3	13	15,9	20,5	23,9	24	14,6
Tébessa 1993-2002	22,6	16,5	11,3	7,3	6,00	7,4	10,3	14	18,2	23,4	26,7	26,2	15,8

- **Humidité (les zones bioclimatiques)**

La combinaison des précipitations et des températures permet de caractériser le régime climatique à dominance méditerranéenne qui prévaut dans l'Est algérien. Ce climat se distingue par une alternance marquée entre une saison froide et humide et une saison chaude et sèche. Cette dernière s'accentue progressivement vers le Sud, jusqu'à couvrir la totalité de l'année dans les régions arides.
L'étude de cette combinaison pluviothermique à l'échelle locale permet de définir différents domaines bioclimatiques. Cette classification repose sur l'utilisation d'un climagramme intégrant le quotient Q du Quotient pluviothermique d'Emberger en ordonnée, et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m) en abscisse.
Sur cette base, plusieurs types de bioclimats méditerranéens sont distingués :

- Humide (pluviométrie annuelle P > 900 mm), caractérisé par une forte humidité de l'air
- Subhumide (P > 600 mm environ) ;
- Semi-aride (300–350 < P < 550–600 mm), marqué par un déficit hydrique notable ;
- Subaride (P < 350 mm), avec un nombre de mois secs supérieur à celui des mois humides ;
- Aride (P < 150 mm), correspondant à une sécheresse biologique permanente sur l'année.

La carte au 1/1 000 000 établie par Côte M. (1998), fondée sur cette approche et confirmée par l'analyse des milieux naturels, notamment des formations végétales, met en évidence de forts contrastes climatiques. Elle révèle également une organisation en bandes zonales longitudinales, en relation étroite avec le relief et la répartition des précipitations.
D'après cette carte, la zone d'étude, située entre Souk Ahras et Oued Kébrit, se caractérise par un climat allant du subhumide au semi-aride.

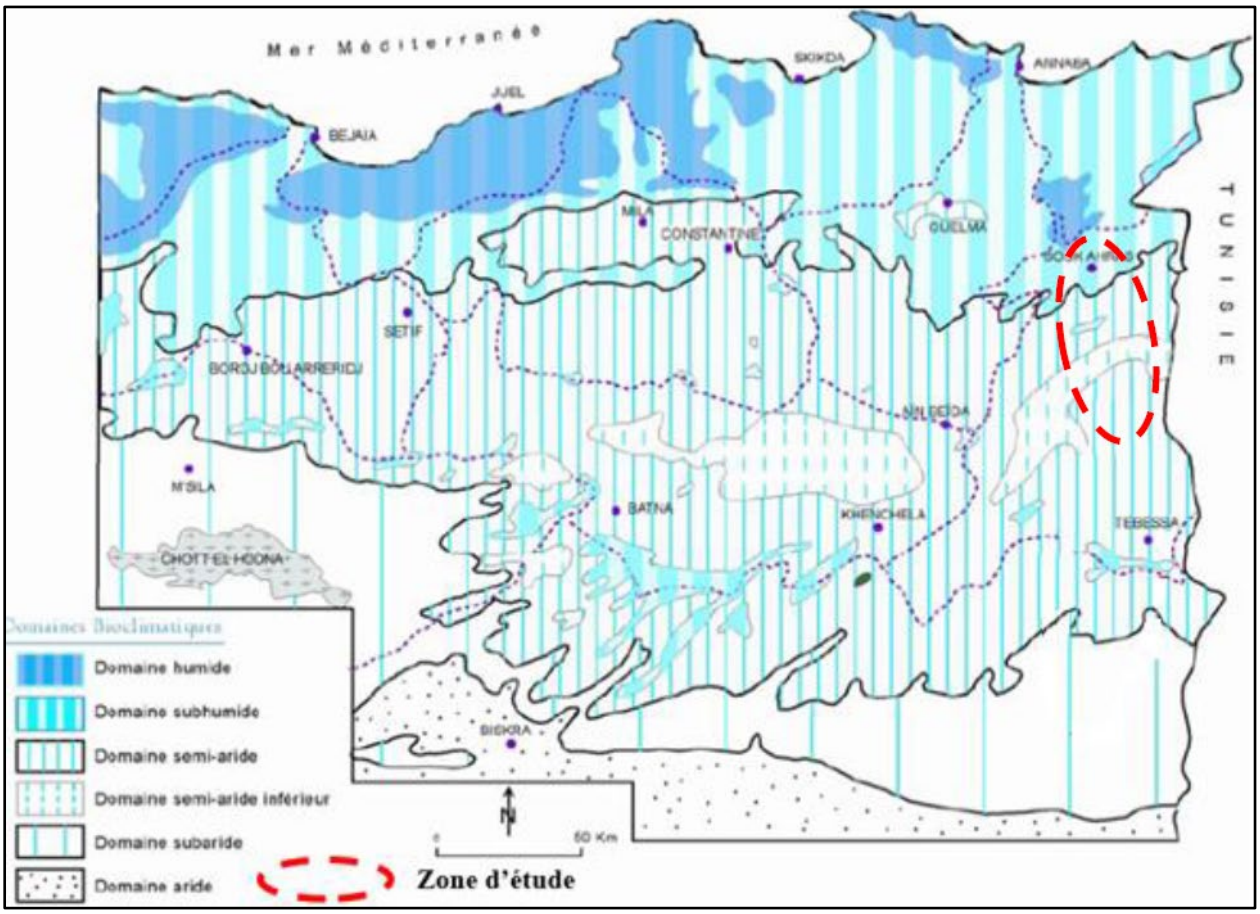


Figure IV-2 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien

- **Pluviométrie**

De manière générale, les précipitations en Algérie diminuent du littoral vers l'intérieur du pays selon un gradient latitudinal. Toutefois, cette répartition est localement modifiée par l'effet orographique de l'Atlas Saharien. La carte pluviométrique de l'Algérie établie par l'A.N.R.H. (1993) illustre cette organisation spatiale des précipitations.
La distribution des pluies est influencée par deux grandes catégories de facteurs. D'une part, des facteurs géographiques tels que l'éloignement de la mer, l'altitude et l'exposition des versants aux vents dominants chargés d'humidité. D'autre part, des facteurs météorologiques, notamment la circulation des masses d'air : masses d'air polaire océanique froides et humides, masses d'air tropicales humides en provenance de l'Atlantique Sud, ainsi que masses d'air tropicales continentales liées à l'anticyclone saharien. Ces éléments conditionnent non seulement la répartition spatiale des précipitations, mais également les caractéristiques des régimes pluviométriques (Chaumont M. et Paquin C., 1971).
Par ailleurs, l'irrégularité temporelle des précipitations constitue une caractéristique majeure du climat algérien.

- **Pluie moyenne dans la région :**
  La pluviométrie annuelle moyenne dans la région est estimée à environ 400 mm, selon la carte des précipitations de l'Algérie du Nord établie par l'A.N.R.H.

Pmoy = 400 mm

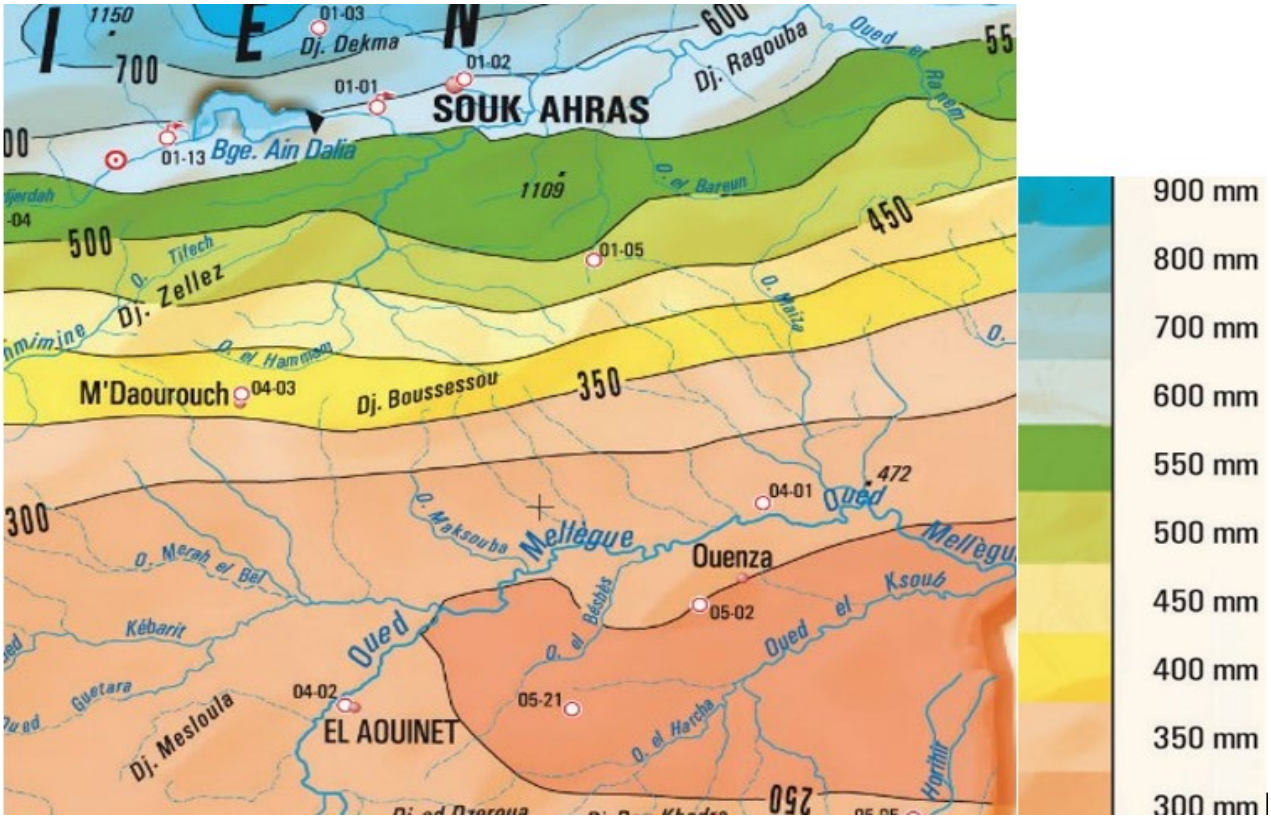


Figure IV-3: Extrait de la carte des pluies annuelles établie par l'A.N.R.H en 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1989. (Source ANRH).

On utilise les données de l'ANRH pour qu'on aura les pluies moyennes annuelle suivantes :

$$\text{Pluie moyenne annuelles}=\frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N}\left(\sum_{j=1}^{12} P_{ij}\right)$$

Les pluies moyennes annuelles des trois stations sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-6 : Les pluies moyennes annuelles

Station	Mdaourouch	Taoura	El Aouinet
Pluies moyennes annuelle	379,5491228	540,96765	346,21429

IV.4. Acquisition des données

Les données de la région d'étude ont été recueillies et actualises auprès de l ' Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H). Il s'agit d'observations journalières actualisées et reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M). A partir de ces données mensuelles nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles (L'ensemble des données de l'ANRH est présenté en annexe.)

IV.4.1. Pluies annuelles

L'ajustement à une loi normale des pluies annuelles de la région nous montre que la distribution statistique présente un caractère nettement symétrique

Le tableau suivant récapitule les valeurs de pluies annuelles (en mm) pour les périodes de retour choisies, au niveau de la station prise en considération

Tableau IV-7 : Quantiles des Pluies annuelles en mm.

Période de retour	Fréquence	M'Daourouch	Taoura	El Aouinet
10 ans	0,9	571,9	851,5	501,1
20 ans	0,95	624,8	936,0	545,2
50 ans	0,98	684,5	1031,0	594,7
100 ans	0,99	724,2	1094,4	627,8

IV.4.2. Précipitations mensuelles

Les précipitations mensuelles moyennes, présentées dans le tableau suivant, mettent en évidence les variations saisonnières ainsi que leur répartition au cours de l'année. Les données de la station de M'Daourouch révèlent l'existence de deux périodes distinctes : une saison sèche s'étendant de juin à août, et une saison relativement humide.

Tableau IV-8 : répartition mensuelle des précipitations, station de M`Daourouch

Mois	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août
P en mm	27,4	31,8	33,6	39,5	47,3	39,5	43,6	44,6	36,2	18,2	8,4	18,0
P en %	7,1	8,2	8,7	10,2	12,2	10,2	11,2	11,5	9,3	4,7	2,2	4,6

On remarque l'existence d'une saison sèche qui correspond aux mois de juin à août, avec des pluies moyennes mensuelles égales ou inférieures à 5 % du total annuel et une saison humide qui correspond aux autres mois.

IV.4.3. Précipitations maximales journalières

Les pluies journalières maximales, bien que rares, sont à l'origine de crues générant des débits importants, susceptibles de menacer les différentes infrastructures, d'où la nécessité de s'en prémunir. L'analyse fréquentielle des séries de pluies maximales permet d'estimer la période de retour associée à une valeur donnée.

L'ajustement statistique à la loi de Gumbel, présenté ci-après, concerne les stations pluviométriques représentatives de la zone d'étude. Il a été vérifié que les pluies journalières maximales annuelles en Algérie s'ajustent de manière satisfaisante à cette loi.

Tableau IV-9 : Pluies max journalières en mm (Gumbel)

Période de retour	Fréquence	M'DAOUROUCH	TAOURA	EL AOUINET
10 ans	0,9	54,11	62,0	56,8
20 ans	0,95	61,69	72,1	64,9
50 ans	0,98	71,51	85,2	75,5
100 ans	0,99	78,87	95,1	83,3

IV.4.4. Les pluies de courte durée

L'étude des relations Intensité–Durée–Fréquence (IDF) est essentielle pour déterminer les débits de projet utilisés dans le dimensionnement des ouvrages de protection contre les crues. Elle repose sur l'analyse des données pluvio graphiques permettant d'estimer les intensités et hauteurs de pluie pour différentes durées et périodes de retour. Dans cette étude, les travaux de l'ANRH, notamment l'« Étude générale des crues du Nord de l'Algérie » (2009), ont été utilisés comme référence. L'analyse a été réalisée selon la loi de Montana, à partir des paramètres régionaux (b, Pj10 et G), tandis que le paramètre a a été calculé en fonction de la fréquence considérée. Le concept de gradex adopté suppose que tout excédent de pluie au-delà d'un seuil donné contribue directement au ruissellement et à la formation des crues.

Avec les paramètres a et b nous avons calculé les IDF pour la zone d'étude.

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$$\mathbf{I(t,T)= } \boldsymbol{a} \times \frac{(\boldsymbol{T})}{\boldsymbol{t^b}}$$

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

Le poste pluviographique de Souk Ahras est représentatif de la zone d'étude :

$$\mathbf{I(t,T)= } \boldsymbol{a} \times \frac{(\boldsymbol{T})}{\boldsymbol{t^{0.62}}}$$

- Valeurs de **a** pour les différentes fréquences :

Tableau IV-10 : Valeurs de ***a***

T	2	5	10	20	50	100
a(T)	13.9	18.3	21.2	24.0	27,6	30,3

- Intensités obtenues en mm/heure :

Tableau IV-11 : Intensités en mm/h

I(t,T)	2	5	10	20	50	100
1h	13.9	18.3	21.2	24.0	27.6	30.3
2h	9.0	11.9	13.8	15.6	18.0	19.7
3h	7.0	9.3	10.7	12.1	14.0	15.3
6h	4.6	6.0	7.0	7.9	9.1	10.0
12h	3.0	3.9	4.5	5.1	5.9	6.5
24h	1.9	2.6	3.0	3.3	3.8	4.2

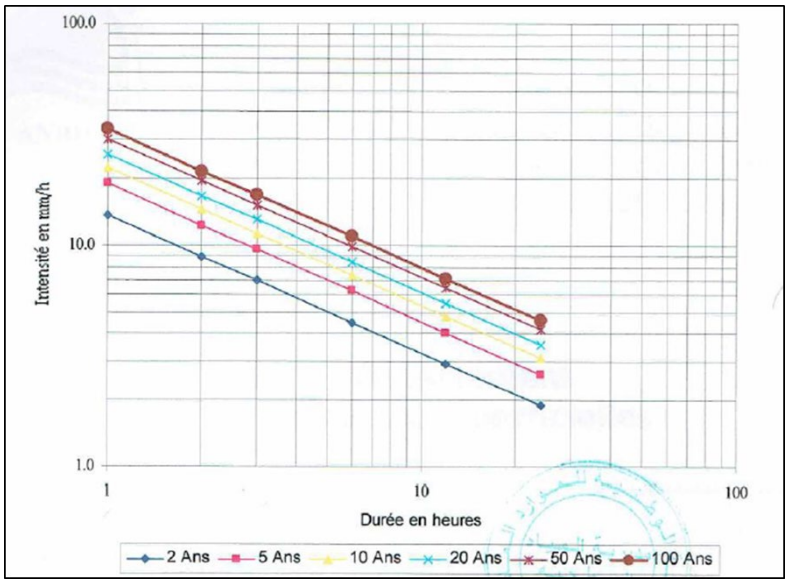


Figure IV-4 : Courbe Intensité-Duré-Fréquence, station de Souk Ahras

IV.5. Les crues :

L'estimation du débit maximal d'un cours d'eau constitue un enjeu majeur en raison des risques importants liés aux crues. Dans le cadre de la conception des aménagements hydrauliques, il est essentiel de déterminer la crue maximale probable afin de garantir la sécurité et la pérennité des ouvrages.
Cette crue se caractérise par plusieurs paramètres fondamentaux :

- Le débit de pointe,
- La durée de la crue,
- Le volume total écoulé.

La détermination des débits maximaux aux points de franchissement des écoulements superficiels le long du tracé s'appuie généralement sur des formules empiriques. Celles-ci tiennent compte à la fois des précipitations et des caractéristiques physiques des bassins versants.

IV.5.1 Formule Rationnelle

Applicable uniquement aux petits bassins versants **(< 10 km²)** car elle suppose une pluie uniforme sur toute la surface

$$Q_t = \frac{C_r \times I(t_c, T) \times A}{3.6}$$

Q_T : débit de crue de période de retour voulue (m3/s)

Cr : coefficient de ruissellement

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

A : superficie du bassin versant (Km²)

IV.5.2. Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement Cexprime la fraction des précipitations totales qui s'écoule en surface sur un sol saturé. Dans la méthode de Kenessey, ce coefficient est obtenu par la somme de trois composantes : C_1, C_2et C_3, représentant respectivement l'influence de la nature du sol, de l'occupation du sol (végétation ou urbanisation) et de la pente du terrain.

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

- C1 dépend de la pente Idu talweg principal, définie comme le rapport entre la différence d'altitude (entre le point le plus élevé et le point le plus bas) et la longueur du talweg.

Tableau IV-12 : coefficient de ruissellement C_1

Pente	C_1		
$\leq 3.5\%$	0.01	0.03	0.05
Entre 3.5 et 11%	0.06	0.08	0.1
Entre 11 et 35%	0.12	0.16	0.20
$> a$ 35%	0.22	0.26	0.30

- C2 : Dépend de la perméabilité du sol obtenue en fonction de sa nature lithologique.

Tableau IV-13 : coefficient de ruissellement C_2

Nature de sol	C2		
Imperméable	0.22	0.26	0.30
Peu perméables	0.10	0.15	0.20
Perméable	0.06	0.08	0.10
Très perméable	0.03	0.04	0.05

- C3 : Est un coefficient dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau IV-14 : coefficient de ruissellement

Couverture végétale	C_3		
Rocheux	0.22	0.26	0.30
Prairie	0.17	0.21	0.25
Labours champs	0.07	0.11	0.15
Foret et territoire sableux	0.03	0.04	0.05

La variabilité du coefficient de ruissellement de période de retour ‘’T’’ est fonction de la rétention initiale Po du BV :

- Pour C (10) < 0,8 on a :

$$Po = (1-(C10/0.8)) *P10$$

P0 en mm

P10 = hauteur de la pluie journalière décennale en mm

- C (10) ≥ 0,8 on admettra généralement :

$$P0 = 0 \text{ et } C(T) = C(10)$$

Coefficient de ruissellement Ct pour une période de retour T > 10 ans

$$Ct = 0.8\ (1-(Po/Pt))$$

P(T) = pluie journalière de période de retour T On obtient les Ct en fonction de la période de retour T suivants :

P(T) = pluie journalière de période de retour T On obtient les Ct en fonction de la période de retour T suivants :

Tableau IV-15 : Calcul coefficient de ruissellement

Bassins versants							Coefficient de Ruissellement (C10)	P10	P100	P0	Cr(T100)
N°	Couverture Végétale	Nature de terrains	Surface A en (Km^2)	Long-Talweg en Km	Hmoy En(m)	Pente %		En(mm)	En(mm)	En(mm)	
1	culture	limoneux	0,143	0,608	748	3,0%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
2	culture	limoneux	0,065	0,476	738	2,3%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
3	culture	limoneux	79,127	20,922	846	1,4%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
4	culture	limoneux	0,121	0,409	708	1,2%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
5	culture	limoneux	0,109	0,506	700	1,8%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
6	culture	limoneux	0,080	0,307	695	1,3%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
7	culture	limoneux	3,160	3,468	713	2,2%	0,50	54,1100	78,8700	20,29	**0,594**
8	culture	limoneux	0,023	0,220	685	6,6%	0,60	56,0000	78,8700	14,00	**0,658**
9	culture	limoneux	0,046	0,293	683	4,9%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
10	culture	limoneux	0,098	0,442	676	3,1%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
11	culture	limoneux	0,037	0,325	675	2,8%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
12	culture	limoneux	0,046	0,264	672	2,7%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
13	culture	limoneux	0,018	0,222	672	3,6%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
14	culture	limoneux	0,024	0,207	672	5,3%	0,60	56,0000	78,8700	14,00	**0,658**
15	culture	limoneux	0,007	0,082	670	4,9%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
16	culture	limoneux	0,044	0,249	669	6,3%	0,60	56,0000	78,8700	14,00	**0,658**
17	culture	limoneux	0,047	0,305	668	3,6%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
18	culture	limoneux	0,007	0,145	665	3,5%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
19	culture	limoneux	0,005	0,064	663	2,0%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
20	culture	limoneux	0,326	0,623	669	2,7%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
21	culture	limoneux	115,972	30,360	749	0,7%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
22	culture	limoneux	0,036	0,242	649	2,9%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
23	culture	limoneux	0,533	1,496	645	1,2%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
24	culture	limoneux	2,471	2,703	660	2,0%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
25	culture	limoneux	0,094	0,413	640	3,2%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
26	culture	limoneux	0,045	0,282	638	3,2%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
27	culture	limoneux	0,280	0,798	640	3,7%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
28	culture	limoneux	0,049	0,336	635	3,9%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
29	culture	limoneux	0,011	0,165	631	6,1%	0,60	56,0000	78,8700	14,00	**0,658**
30	culture	limoneux	1,264	1,869	640	2,3%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
31	culture	limoneux	0,070	0,557	637	4,0%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**

32	culture	limoneux	0,132	0,747	636	4,5%	0,50	56,0000	78,8700	21,00	**0,587**
33	culture	limoneux	0,093	0,620	635	5,2%	0,60	56,0000	78,8700	14,00	**0,658**

On aura les débits d'apport donnés avec la formule rationnelle dans le tableau suivant :

Tableau IV-16 : récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule rationnelle

BV	Surface A	Coefficient de	tc	I100	**Q100**
N	En (km^2)	Ruissellement	en(h)	En(mm/h)	**En(m^3/s)**
1	0,143	0,59	0,1754	89,15	**2,11**
2	0,065	0,59	0,1598	94,46	**1,01**
3	0,121	0,59	0,1820	87,14	**1,75**
4	0,109	0,59	0,1853	86,17	**1,55**
5	0,080	0,59	0,1424	101,45	**1,34**
6	3,160	0,59	1,5255	23,32	**12,16**
7	0,023	0,66	0,0591	175,01	**0,72**
8	0,046	0,59	0,0822	142,63	**1,07**
9	0,098	0,59	0,1354	104,67	**1,67**
10	0,037	0,59	0,1110	118,40	**0,71**
11	0,046	0,59	0,0962	129,38	**0,96**
12	0,018	0,59	0,0748	151,23	**0,44**
13	0,024	0,66	0,0610	171,61	**0,74**
14	0,007	0,59	0,0310	261,09	**0,28**
15	0,044	0,66	0,0660	163,43	**1,32**
16	0,047	0,59	0,0957	129,80	**1,00**
17	0,007	0,59	0,0549	183,19	**0,22**
18	0,005	0,59	0,0358	238,80	**0,19**
19	0,326	0,59	0,1844	86,43	**4,60**
20	0,036	0,59	0,0869	137,80	**0,80**
21	0,533	0,59	0,4966	46,76	**4,07**
22	2,471	0,59	1,4261	24,31	**9,80**
23	0,094	0,59	0,1271	108,86	**1,66**
24	0,045	0,59	0,0941	131,16	**0,96**
25	0,280	0,59	0,1985	82,57	**3,77**
26	0,049	0,59	0,1001	126,23	**1,00**
27	0,011	0,66	0,0487	197,32	**0,40**
28	1,264	0,59	0,9520	31,24	**6,44**
29	0,070	0,59	0,1467	99,60	**1,13**
30	0,132	0,59	0,1755	89,12	**1,92**
31	0,093	0,66	0.1430	101,19	**1,72**

IV.5.3. Formule de Crupedix :

Cette méthode a été menée à partir de 630 bassins versants pour lesquels on a pu évaluer le débit décennal instantané. Ces différentes valeurs de débits ont été mises en régression avec les principaux facteurs pouvant jouer un rôle. Parmi les plus significatifs, on a retenu la surface du bassin S en km2 ; la pluie journalière décennale P_{10} en mm/j et un coefficient régional R. Le débit décennal de pointe de crue Q_d en m3/s est donné par la relation :

$$Q_{10} = S^{0.8}\left[\frac{P}{80}\right]^2 R$$

On obtient le débit centennal à partir de la corrélation :

$$\mathbf{Q\ 100 = b' \times Q10}$$

Avec : $1{,}4 \leq b' \leq 4$

Le paramètre b' est dépendant de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 km2, b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q10 et Q100 comme si la formule rationnelle était applicable) ;
- Au-delà de 20 km2, b' est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. Tenant compte des données observées dans la région, nous avons pris **b' = 4.**

Le coefficient régional R varie selon la nature du sol.

- R = 0,2 pour des terrains perméables
- R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables
- R = 1 pour des terrains intermédiaires.

Tableau IV-17 : récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule de Crupedix

N° B. V	Surface	R	Pluie max journalière	Q10	b'	Q100
	A en (km²)		P10 (%)	en (m3/s)		en (m3/s)
3	79,127	1,0	54,11	15,10	4	**60,41**

IV.5.4. Formule de Mallet Gauthier :

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

$$Q_t = 2 \times K \times \log(1 + a \times H_m) \times \frac{1}{\sqrt{L}} \times \sqrt{1 + 4logT - \log A}$$

Avec :

- Q_t : débit de crue de période de retour T (m^3/s)
- $H_{m\ :\ pluie}$ moyenne annuelle (mm)
- A : superficie de BV en km^2
- T : période de retour t
- L : longueur du talweg principal
- a : coefficient (facteur pluviométrique considère dans sa variabilité) prit égal à 20 pour l`Algerie
- K : coefficient (facteur pluviométrique considère dans sa variabilité) égal à 2 dans notre cas

Tableau IV-18 : récapitulatif des débits de crues centennale des bassins versants par la formule de Mallet-Gauthier

N° B.V	Surface	Longueur	Pluie moyenne annuelle	Coefficient	Coefficient	Période de retour	Q100
	A en (km²)	L en (Km)	Hm en (mm)	K	a	T en (ans)	En (m3/s)
21	115,972	30,360	346,2142857	2,00	20,00	100,00	**199,32**

IV.6. Etude hydraulique et calculs des ouvrages hydrauliques :

Le réseau d'assainissement est un ensemble d'ouvrages élémentaires, qu'ils soient linéaires ou ponctuels, superficiels ou enterrés. Il a pour fonction de collecter les eaux de surface ou internes et de les acheminer vers un exutoire, généralement situé en dehors de la plateforme ferroviaire.

L'assainissement des plateformes ferroviaires comprend :
• les ouvrages de collecte longitudinale.
• les ouvrages transversaux.
• les ouvrages de raccordement.

Le calcul de débit de saturation est par la formule de Manning-Strickler.

IV.6.1. Méthode de MANNING STRICKLER pour le dimensionnement des dalots :

La formule de Manning-Strickler est

$$Q_S = K_s S_m R_h^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- R_h : rayon hydraulique $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

- P_m : périmètre mouillé (m)
- St : Section totale de l'ouvrage (m2).
- S_m : Section mouillé (m2).
- B : Largeur de l'ouvrage (m).
- H_u : Hauteur utile (m).
- K_s : Coefficient de rugosité, on prend k_s= 70 ouvrages en béton.

IV.6.2. Condition d'autocurage :

L'autocurage désigne la capacité d'une conduite d'assainissement à transporter les particules solides. Ainsi, un bon autocurage implique une capacité de transport suffisante pour éviter la sédimentation et le dépôt de ces particules.

L'ouvrage dimensionné doit vérifier les conditions suivantes :

- V>0.6 m/s pour Q=0.1Q_{ps}.
- V>0.3 m/s pour Q=0.01Q_{ps}.
- V<4m/s.

IV.6.3. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques :

Il existe deux principaux types de sections pour les ouvrages hydrauliques : les sections circulaires, réalisées à l'aide de buses, et les sections rectangulaires, réalisées avec des dalots. Le choix de la section dépend de plusieurs critères, notamment le débit à évacuer, la hauteur disponible sous la voie et les charges à supporter.

Dans le cadre de notre projet, qui concerne un dédoublement de voie impliquant des charges importantes ainsi que des débits élevés, le choix s'est porté sur des dalots pour le dimensionnement.

- **Dalots :** est un petit ouvrage hydraulique couvert, placé sous les routes ou les voies ferrées pour permettre l'écoulement des eaux.

Pour le dimensionnement des dalots, voici l'exemple suivant :

On suppose les dimensions de dalots 1.5m x 1m :

$$Q_S = K_s S_m R_h^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

- Surface mouillés : $S_m = 0.8H \times B = 0.8 \times 1.5 \times 1 = 1.2m^2$

- Périmètre mouillé : $P_m = 2 \times (0.8 \times H) + B = 3.1m$

-Rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

-Pente longitudinale dalot : on prend I=0.01 m/m.

- Ht ≤ 2.5 m : Hu =80% la hauteur totale.
- Ht > 2.5 m : Hu = Ht-0.5

Les dimensions des ouvrages sont choisies de manière à satisfaire les conditions requises.

$$Q_a<Q_s$$

Calcul :

$$Q_{100}=Q_s \rightarrow Q_S = K_s S_m R_h^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 70 \times 1.5 \times 1 \times 0.8 \times (\frac{1.5 \times 1 \times 0.8}{2 \times 0.8 \times 1 + 1.5})^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.01}$$

$$Q=4.46\ m^3/s$$

Vérification de la hauteur critique pour assurer un écoulement fluvial :

$$H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_s}{g \times B^2}} = \sqrt[3]{\frac{4.46}{9.81 \times 1.5^2}}$$

$$H_{cr} = 0.58\ m < 0.8 \times 1 = 0.8\ condition\ vérifié.$$

- Vérification des condition d'autocurage :

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = \frac{4.46}{1.8} = 3.71\ m/s$$

$$\frac{Q}{Q_{ps}} = 0.1 \rightarrow \frac{V}{V_{ps}} = 0.638 \rightarrow V = V_{ps} \times 0.638 \rightarrow V = 3.71 \times 0.638 \rightarrow V = 2.36\ > 0.6m/s$$

$$\frac{Q}{Q_{ps}} = 0.01 \rightarrow \frac{V}{V_{ps}} = 0.315 \rightarrow V = V_{ps} \times 0.315 \rightarrow V = 1.16m/s > 0.3m/s$$

$$V_{ps} = 3.71\ m/s\ < 4\ m/s \rightarrow ok$$

Tableau IV-19 : dimensions des ouvrages de drainages assainissement longitudinal

NB	PK	QA	TYPE	B	H	PENTE OA	QS	VPS	VER0.1	VER0.01	Vérification
1	61+105	2,11	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
2	61+547	1,01	DALOT	1.5	1	0.001	1.410887	1.175739	0.750122	0.370358	Ok
3	63+697	1,75	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
4	64+694	1,55	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
5	64+952	1,31	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
6	65+993	12,16	DALOT	3	3	0.001	15.1097	2.098569	1.338887	0.661049	Ok
7	66+230	0,72	DALOT	1.5	1	0.001	1.410887	1.175739	0.750122	0.370358	Ok
8	66+400	1,07	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
9	66+579	1,67	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
10	66+678	0,71	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
11	66+829	0,96	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
12	66+895	0,44	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok

13	67+029	0,74	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
14	67+083	0,28	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
15	67+250	1,32	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
16	67+422	1,00	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
17	67+483	0,22	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
18	67+517	0,19	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
19	67+942	4,60	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
20	69+720	0,80	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
21	70+940	4,07	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
22	71+109	9,80	DALOT	2	2	0.005	11.45946	3.581081	2.28473	1.12804	Ok
23	71+450	1,66	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
24	71+721	0,96	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
25	71+981	3,77	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
26	72+238	1,00	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
27	72+318	0,40	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
28	72+635	6,44	DALOT	2	1.5	0.005	7.930489	3.304371	2.108188	1.040877	Ok
29	72+838	1,33	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
30	72+975	1,92	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
31	73+100	1,72	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok
32	73+330	0,93	DALOT	1.5	1	0.01	4.461617	3.718014	2.372093	1.171175	Ok

IV.6.4. Assainissement longitudinal :

Les dispositifs de drainage longitudinal permettent d'évacuer les eaux de pluie et de ruissellement provenant de la plateforme, des talus et des bassins versants.
Leur conception dépend de l'origine des eaux et doit assurer un écoulement continu jusqu'à un exutoire. Ils se classent selon leur position (déblai ou remblai), leur nature (à ciel ouvert ou enterré) et leur fonction (superficiel ou profond).
En général, les remblais utilisent un drainage superficiel, tandis que les déblais peuvent nécessiter un drainage superficiel ou profond selon les besoins.

IV.6.5. Dimensionnement des Fosses :

Le calcul des débits engendrés par les écoulements ruisselés sur les talus du terrain naturel et les plates-formes de la voie ferroviaire, a été effectué pour une période de retour de 10 ans. Il a été calculé en appliquant la formule suivante (méthode Rationnelle) :

$$Q_t = \frac{C_r \times I \times A}{3.6}$$

Avec :

- Q_{10} : Débit décennal en(m^3/s)
- C_r : Coefficient de ruissellement pondéré.
- $I_{10}=\frac{a}{t_c^b}$: Intensité de pluie décennale (en mm/h)
- A : surface active de la plateforme de la voie ou talus (en km^2)
- t_c : temps de concentration (en heure)

- a et b : paramètre de montana

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

$$Q = K \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times S$$

- Q : Débit décennal en(m^3/s)
- Ks : Coefficient de rugosité Strickler (Ks = 70 ; correspondant à des fossés en béton grossier)
- A : Superficie de la section du fossé
- Rh : Rayon hydraulique
- I : Pente longitudinale des fossés**.**

Tableau IV-20 : dimensionnement des fosses

		Cas Remblai	Cas déblais
		Le cas plus défavorable : longueur=2300m Htalus=5m Largeur de la plateforme=13.6m	Le cas plus défavorable : Longueur =1975m Htalus=4.9 Berme=0.3m Largeur de la plateforme=13.6m
Plateforme	C_r	0.9	0.9
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(km^2)	0.03128	0.02686
	Tc(h)	0.11	0.1
	I(mm/h)	119.063	126.311
	Qpf(m^3/s)	0.41	0.85
Talus	C_r	0.4	0.4
	P(m/m)	2/3	2/3
	A(km^2)	0.0115	0.01
	Tc(h)	0.016	0.016
	I(mm/h)	393.45	526.553
	Q (m^3/s)	0.6	0.58
Qpf(m^3/s) totale		1.2	1.43
Vps		1.9	2.26
Vérification Vps<4		OK	OK

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

Qa < Qs

➢ Dimensionnement du fossé proposé :

Tableau IV-21 : Calcul des débits de saturation des fossés

Fosse	b	h	z	Sm	Pm	Rh	Ks	I	Qs(m3/s)
Type	0.5	0.5	3/2	0.63	2.32	0.27	70	0.01	1.82

IV.7. Les zones inondables :

L'étude des zones inondables a pour objectif de délimiter les espaces susceptibles d'être submergés en cas de crue exceptionnelle, afin d'assurer la protection des ouvrages, des biens et des usagers. Dans le cadre de notre projet, la présence de zones potentiellement inondables a été identifiée notamment entre le PK 69+050 et le PK 69+200, où des cours d'eau se trouvent à proximité de la trace.

- **Calcul du NPHE**

Le NPHE représente le niveau maximal atteint par les eaux lors d'une crue centennale (Q100). Il permet de :

- Définir la cote de sécurité pour les remblais
- Délimiter les zones inondables (zones de débordement).
- Assurer la protection des infrastructures.

Le NPHE sera déterminé en Calculant le tirant d'eau (h) via formule de Manning-Strickler

$$Q = k_s \times A \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

Avec :

- A=$L \times H$
- R=$\frac{A}{P} = \frac{L \times H}{L+2H}$
- K_s : rugosité
- i : pente du terrain /pente d`eau

On résout cette équation souvent par itération (car elle est implicite en h)

Tableau IV-22 : calcul des NPHE des zones inondables

Zone	Pk debut	Pk fin	Nphe	Cote minimale de tn	Cote nphe	Marge de securité (m)	Pente (m/m)	Debit (m3/s)	Coté
1	69+300	69+500	1,26	640,25	641,26	0,5	0,01	251,02	Gauche

IV.8. Protection des talus en zones inondables

Dans le cadre de la protection des talus situés dans les zones susceptibles d'être inondées, il est proposé la mise en place d'un gabionnage associé à un géotextile filtrant. Cette solution permet :

- La stabilisation mécanique des talus face aux efforts de l'eau,
- La protection contre l'érosion due aux courants de crue,

- Le filtrage et la dissipation des eaux, grâce au géotextile qui empêche le départ des fines.

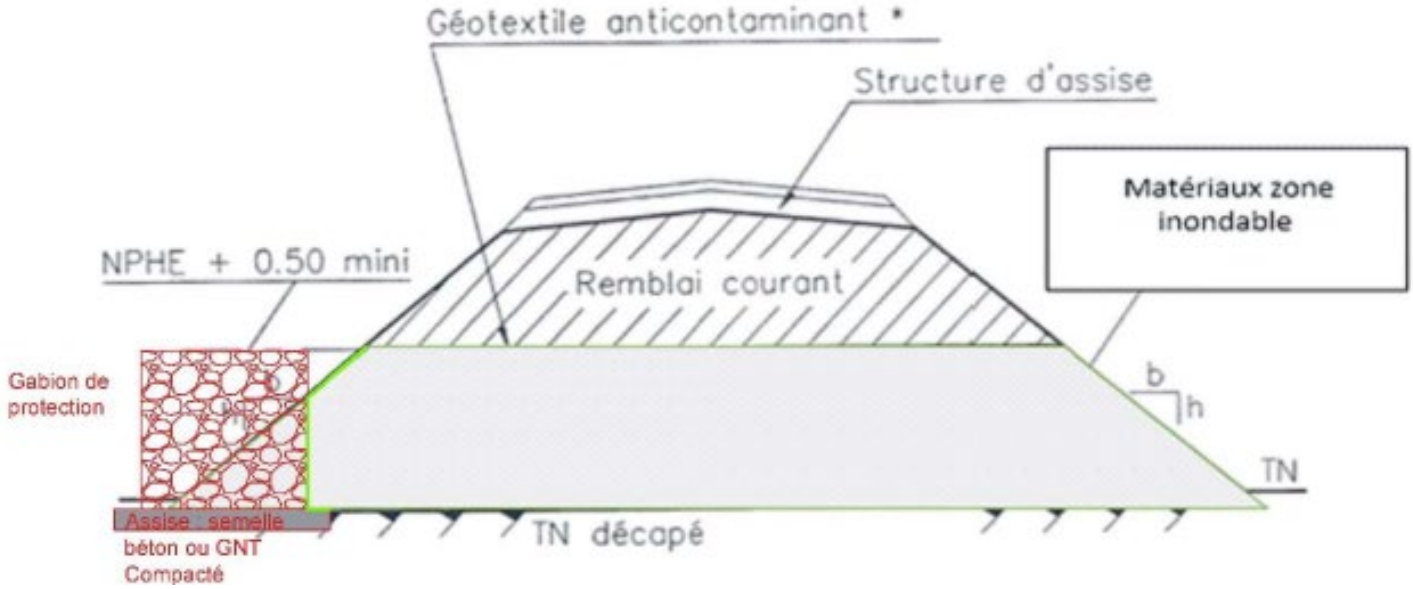


Figure IV-4 : protection des talus

CHAPITRE V : GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE

CHAPITRE V : GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE

Dans le cadre des projets ferroviaires, l'étude géologique et géotechnique constitue une étape essentielle pour garantir la sécurité, la durabilité et la performance de l'infrastructure. Elle permet de connaître la nature et la structure des sols et du sous-sol, d'identifier les éventuels aléas naturels tels que les zones instables ou les risques d'érosion, et de déterminer les caractéristiques mécaniques des terrains, notamment la portance, la compressibilité et la résistance au cisaillement. Ces informations sont indispensables pour adapter la conception du tracé, dimensionner les terrassements, les plateformes ferroviaires et les ouvrages d'art, tout en prévenant les désordres comme les tassements ou les glissements, et en optimisant les choix techniques et économiques du projet à long terme.

V.1. Aperçu géologique :

IV. 1.1. Morphologie et Topographie du site :

Le terrain est accidenté, avec de fortes variations d'altitude et des pentes importantes entre Oued El Kebrit et Oued Damons, ce qui contraint le tracé ferroviaire. Il traverse principalement des formations crétacées (calcaires, marnes et marno-calcaires) de l'anticlinal d'Oued Kebrit.

V.1.2. Géologie locale :

D'après la carte de Souk Ahras (1/200 000), les formations traverses :

- Campanien : calcaires et marno-calcaires blancs avec des marnes grises.
- Emschérien–Campanien : marnes et marnes argileuses grises avec intercalations de marno-calcaires.
- Turonien : calcaires gris, calcaires marneux et marnes argileuses.
- Cénomanien : marnes argileuses avec intercalations de calcaires noirs.

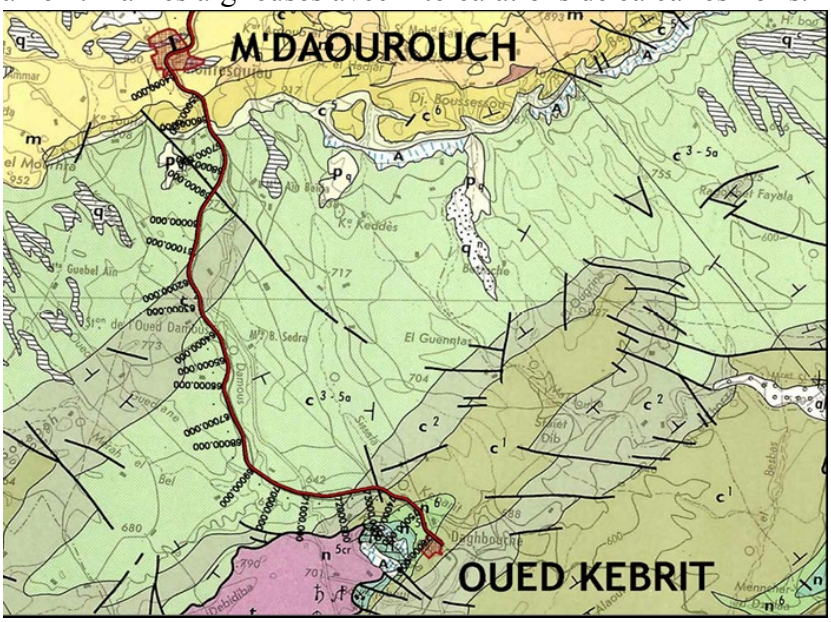


Figure V-1 : Extrait de la carte géologique de Souk Ahres

V.1.3. Sismicité :

Selon le Règlement Parasismique Algérien RPA 2024, publié par le Centre de Génie Parasismique (CGS), Ce règlement divise le territoire national en sept zones de sismicité croissante. La wilaya de Souk Ahras est classée en zone IV, correspondant à une sismicité moyenne à élevée. Pour cette zone, l'accélération sismique de référence à considérer dans les calculs est de 0,20 g.

Sismicité	Zone
Très faible	0
Faible	I
Faible à moyenne	II
Moyenne	III
Moyenne à élevée	IV
Elevée	V & VI

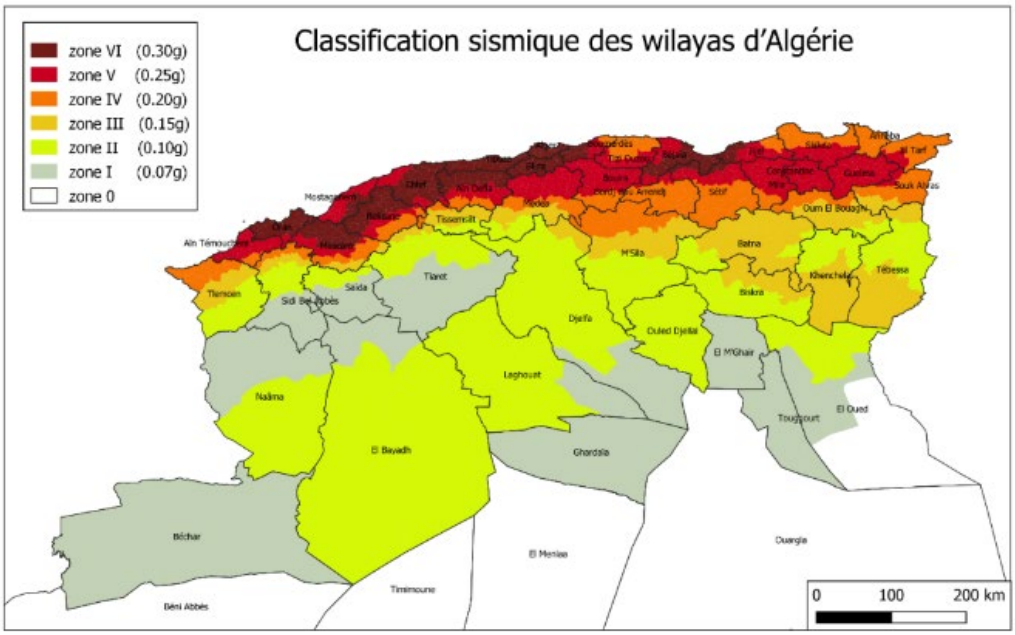


Figure V-2 : Classification sismique des wilayas d`Algérie Selon RPA2024

V.2. Reconnaissance géotechnique :

V.2.1. Objectifs de la reconnaissance géotechnique :

Les résultats de cette campagne permettront d'établir un profil géologique détaillé du tracé, mettant en évidence la nature et la répartition des différentes formations rencontrées. Ils serviront également à évaluer la capacité portante de la plateforme afin de vérifier son aptitude à supporter les charges prévues. Par ailleurs, une analyse de la stabilité des talus les plus significatifs sera réalisée pour prévenir tout risque de glissement. Ces investigations permettront aussi d'estimer les cubatures du projet (déblais et remblais) et de déterminer les tassements au niveau des remblais les plus importants. Enfin, elles contribueront à définir la typologie et les caractéristiques des fondations des ouvrages d'art à mettre en place.

V.2.2. Programme d'investigation géotechnique :

Le but de l'investigation géotechnique pour les projets ferroviaires est de caractériser les sols le long du tracé afin de garantir la sécurité, la stabilité et la durabilité de l'infrastructure. Elle permet de déterminer les propriétés mécaniques et physiques des terrains, d'évaluer la capacité portante de la plateforme, d'identifier les risques géotechniques (tassements, glissements, instabilités), et de définir les solutions techniques adaptées pour les fondations, les remblais, les déblais et les ouvrages d'art. Ces investigations servent également à optimiser le dimensionnement de la voie ferrée et à réduire les coûts et les risques lors de la construction et de l'exploitation.

L'investigation géotechnique comprend des essais réalisés in situ, des prélèvements d'échantillons ainsi que des essais en laboratoire visant à déterminer les caractéristiques des sols.

V.3. Investigation in-situ :

Ces investigations ont pour objectif d'identifier la nature des sols et d'évaluer leurs propriétés mécaniques directement sur le terrain.

On a réalisé un programme de reconnaissance géotechnique comprenant :

- **7 sondages carottés** atteignant 20,0 m de profondeur avec essais SPT.
- **6 sondages pressiométriques** avec des essais tous les 1,0 m.
- **21 puits de reconnaissance** exécutés à la pelle mécanique jusqu'à 4,0 m de profondeur.
- **29 essais au pénétromètre dynamique** menés jusqu'au refus ou à une profondeur de 8,0 m.

V.3.1. Sondages carottier NFP 94-116 :

L'essai de pénétration au carottier est applicable aux sols fins ainsi qu'aux sols grenus dont la dimension maximale des éléments ne dépasse pas 20 mm, et il peut atteindre jusqu'à une profondeur d'environ 50 m. Le principe consiste à mesurer la résistance du sol à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé, enfoncé au fond d'un forage préalablement réalisé. Cet essai permet ainsi d'établir une relation entre la résistance à la pénétration et les propriétés ainsi que la variabilité des sols.

- **Lithologie du terrain :**

SC 001 – PK 63+270 :

- Terre végétale (0,00 – 0,10 m)
- Argile marneuse marron (0,10 – 5,00 m)
- Argile marneuse marron sableuse à tendance graveleuse (5,00 – 6,50 m)
- Blocs et galets dans une matrice sablo-argileuse (6,50 – 14,50 m)
- Marne grise indurée (14,50 – 15,00 m)

SC Gare F Damous – PK 63+775:

- Terre végétale (0,00 – 0,30 m)
- Marne verte à aspect schisteux (0,30 – 10,00 m)

SC PK62+956 :

- Terre végétale. (00.00 – 00.40m).
- Tuf avec encroutement calcaire. (00.40– 01.20 m).
- Argile limoneuse brune peu plastique. (01.20 – 04.00 m).
- Argile brune à rougeâtre compacté. (04.00 – 11.00m).

SC PK65+725 :

- Terre végétale. (00.00 – 00.30m).
- Argile limoneuse brunâtre. (00.30– 06.00 m).
- Argile limoneuse brune à rougeâtre. (06.00 – 09.00 m).
- Argile brune à à rougeâtre compacté avec encroutement calcaire. (09.00 – 15.00m)

SC PK70+872 :

- Terre végétale. (00.00 – 00.40m).
- Argile limoneuse brunâtre. (00.40– 04.00 m).
- Argile limoneuse brune à rougeâtre. (04.00 – 12.50 m).
- Marne beige jaunâtre compacté. (12.50 – 20.00m).

SC 002 – PK 71+000 :

- Terre végétale (0,00 – 0,50 m)
- Marne jaune verdâtre sableuse peu graveleuse (0,50 – 6,00 m)
- Passage d'alluvions (6,00 – 8,50 m)
- Marne jaune verdâtre sableuse peu graveleuse (8,50 – 15,00 m)

SC PK74+171 :

- Terre végétale. (00.00 – 00.15m).
- Argile limoneuse jaunâtre. (00.15– 01.60 m).
- Argile brune peu plastique. (01.60 – 06.00 m).
- Argile limoneuse peu plastique à marron. (06..00 – 10.00m).

V.3.2. Puits de reconnaissance :

Un puits de reconnaissance est une excavation réalisée à ciel ouvert, généralement à l'aide d'une pelle mécanique, dans le but d'examiner directement les terrains en place jusqu'à une profondeur limitée, souvent de l'ordre de 3 à 5 mètres. Il permet d'identifier la nature et la succession des différentes couches de sol, d'évaluer leurs caractéristiques (compacité, humidité, cohésion), de prélever des échantillons et de détecter la présence éventuelle d'eau. Cette méthode constitue un moyen simple et efficace de reconnaissance géotechnique, souvent utilisé en complément des sondages plus profonds.

Les coupes lithologiques établies lors de l'exécution du prélèvement par puits, montrent ce qui suit :

PUIT PK 61+100 :

- 00.25 m : Terre végétale.
- 00.25 – 04.00 m: tuf Calcaire beige.

PUIT 008 PK 62+600 :

- 00.00– 00.35 m : Terre végétale.
- 00.35 – 04.00 m : Argile limoneuse beige avec taux faible de calcaire.

PUIT 01 PK 62+300 :

- 00.00– 00.30 m : Terre végétale.
- 00.30 – 04.00 m : Marne brunâtre compact

PUIT 02 PK 63+000 :

- 00.00– 00.20 m : Terre végétale.
- 00.20 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 03 PK 63+325 :

- 00.00– 00.25 m : Terre végétale.
- 00.25 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte

PUIT 04 PK 64+500 :

- 0.00-0.10 : Sable fin argileux rouge.
- 0.10-1.50 : calcaire gréseux grisâtre avec sable rouge carbonaté.

PUIT 05 PK 65+325 :

- 00.00– 00.20 m : Terre végétale.
- 00.20 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 06 PK 66+000 :

- 00.00– 00.20 m : Terre végétale.
- 00.20 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 07 PK 66+350 :

- 00.00– 00.30 m : Terre végétale.
- 00.30 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 08 PK 67+550 :

- 00.00– 00.40 m : Terre végétale.
- 00.40 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 09 PK 67+950 :

- 00.00– 00.35 m : Terre végétale.
- 00.35 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 10 PK 68+475:

00.00 – 00.25 m : Terre végétale.
00.25 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 11 PK 69+850:

- 00.00– 00.30 m : Terre végétale.
- 00.30 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 12 PK 70+425 :

- 00.00– 00.20 m : Terre végétale.
- 00.20 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 13 PK 71+725 :

- 00.00– 00.40 m : Terre végétale.
- 00.40 – 04.00 m : Marne brunâtre compacte.

PUIT 14 PK 72+225 :

- – 00.40 m : Terre végétale.
- 00.40 – 04.00 m : Marne verdâtre compacte.

PUIT 15 PK 72+825 :

- 00.00– 00.35 m : Terre végétale.
- 00.35 – 04.00 m: Marne verdâtre compacte.

PUIT 16 PK 73+000 :

- 00.00– 00.25 m : Terre végétale.
- 00.25 – 04.00 m : Argile limoneuse beige.

PUIT 17 PK 73+875 :

- 00.00– 00.30 m : Terre végétale.
- 00.30 – 04.00 m : Argile limoneuse beige.

PUIT 18 PK 74+575 :

- 00.00– 00.20 m : Terre végétale.
- 00.20 – 04.00 m : Marne verdâtre avec des alluvions d'oued.

PUIT 19 PK 75+225 :

- 00.00– 00.40 m : Terre végétale.
- 00.40 – 04.00 m : Marne verdâtre avec des alluvions d'oued.

V.3.3. Pénétromètre dynamique lourd :

Le pénétromètre dynamique lourd est un appareil d'investigation géotechnique utilisé pour évaluer la résistance des sols en place. Il consiste à enfoncer dans le sol une tige munie d'une pointe, sous l'effet de chocs répétés d'un marteau de masse importante tombant d'une hauteur donnée. Le nombre de coups nécessaires pour enfoncer la pointe sur une certaine profondeur permet d'estimer la compacité et la portance du terrain. Cet essai est particulièrement adapté aux sols granulaires et permet d'obtenir rapidement un profil de résistance du sol avec la profondeur.

Tableau V-1 : Pénétromètre dynamique lourds

N°	Pk	Observation
1	61+105	Refus à 6.0 m
2	61+546	Refus à 4.8 m
3	63+700	Sans Refus
4	64+950	Sans Refus
5	65+700	Sans Refus
6	65+950	Sans Refus
7	66+225	Refus à 2.4 m
8	66+375	Refus à 1.6
9	66+675	Refus à 0.8 m
10	66+900	Sans Refus
11	67+075	Sans Refus
12	67+250	Sans Refus
13	67+500	Sans Refus
14	67+950	Sans Refus
15	69+750	Sans Refus
16	71+100	Sans Refus
17	71+450	Sans Refus
18	71+725	Sans Refus
19	71+975	Sans Refus
20	72+250	Sans Refus
21	72+625	Sans Refus

22	72+975	Refus à 4.4 m
23	73+250	Refus à 2.0 m
24	72+975	Refus à 4.4 m
25	73+250	Refus à 2.0 m
26	74+575	Refus à 1.6 m
27	74+800	Refus à 1.2 m
28	72+225	Refus à 1.2 m
29	75+575	Refus à 2.8 m

V.3.4 Sondages pressiométriques NF EN ISO 22476-4

Les sondages pressiométriques sont des essais géotechniques réalisés dans le sol afin de mesurer sa déformabilité et sa résistance sous l'effet d'une pression appliquée.

- **Prof (m)** : profondeur du sondage exprimée en mètres.
- **E (bars)** : module pressiométrique Ménard, représentant la déformabilité du sol sous l'effet d'une pression. Plus la valeur est élevée, plus le sol est rigide.
- **PL (bars)** : pression limite, correspondant à la pression maximale que le sol peut supporter avant rupture ou déformation importante.
- **Pf (bars)** : pression de fluage, indiquant la pression à partir de laquelle les déformations du sol deviennent importantes et permanentes.
- **E/Pl :** rapport entre le module pressiométrique et la pression limite, utilisé pour apprécier l'état de consolidation et le comportement mécanique du sol.
- **État de consolidation** : caractérisation du niveau de compactage et de consolidation du sol (sous-consolidé, normalement consolidé, sur-consolidé).

Récapitulatif des résultats :

Tableau V-2 : Résultats SP 62+956

Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	Pf (bars)	E/Pl	état de consolidation
01,50	090,94	11,08	06,22	8,21	Sous-consolidé
03,00	110,19	10,68	05,34	10,32	Normalement consolidé
04,50	205,54	17,74	03,98	11,59	Normalement consolidé
06,00	313,73	24,32	16,04	12,90	Normalement consolidé
07,50	574,01	28,65	12,86	20,04	Sur-consolidé
09,00	472,93	33,62	11,97	14,07	Normalement consolidé
10,50	472,93	33,77	12,12	14,00	Normalement consolidé

Tableau V-3 : Résultats SP PK 63+270

Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	Pf (bars)	E/Pl	état de consolidation
01.00	34,28	4,45	1,97	7,70	Lâche
02.00	29	5,02	4,37	5,78	Remanié
03.00	115,15	6,15	2,6	18,72	surconsolidé
04.00	578,09	11,94	4,54	48,42	surconsolidé
05.00	154,37	12,84	6,53	12,02	Normalement consolidé
06.00	172,7	14,18	7,98	12,18	Normalement consolidé
07.00	399,15	43,74	39,43	9,13	Normalement consolidé
08.00	688,1	49,93	49,93	13,78	Normalement consolidé
09.00	692,31	50	45,11	13,85	Normalement consolidé
10.00	727,25	50,15	45,21	14,50	Normalement consolidé
11.00	669,35	50,2	50,2	13,33	Normalement consolidé
12.00	1037,46	50,35	50,35	20,60	surconsolidé
13.00	669,35	50,4	50,4	13,28	Normalement consolidé
14.00	674,42	50,41	45,55	13,38	Normalement consolidé
15.00	522,91	18,47	8,83	28,31	surconsolidé

Tableau V-4 : Résultats SP gare Damous PK 63+775

Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	Pf (bars)	E/Pl	État de consolidation
01,50	079,23	12,72	12,72	6,23	Remanié
03,00	223,95	36,78	18,73	6,09	Remanié
04,50	320,64	40,09	14,07	8,00	Sous-consolidé
06,00	263,57	46,10	33,26	5,72	Remanié
07,50	489,99	49,82	22,27	9,84	Normalement consolidé
09,00	1941,49	49,74	49,74	39,03	surconsolidé
10,50	1182,17	49,86	49,86	23,71	surconsolidé
12,00	2221,18	50,06	50,06	44,37	surconsolidé
13,50	1403,46	50,19	50,19	27,96	surconsolidé
15,00	1989,26	50,35	50,35	39,51	surconsolidé
16,50	2310,20	50,52	50,52	45,73	surconsolidé
18,00	2095,95	50,68	50,68	41,36	surconsolidé
19,50	2095,95	50,83	50,83	41,23	surconsolidé
21,00	2276,31	50,97	50,97	44,66	surconsolidé
22,50	1976,39	51,13	51,13	38,65	surconsolidé
24,00	2038,43	51,28	51,28	39,75	surconsolidé
25,50	2113,17	51,43	51,43	41,09	surconsolidé
27,00	2093,22	51,58	51,58	40,58	surconsolidé
28,50	2187,57	51,73	51,73	42,29	surconsolidé
30,00	2031,82	51,88	51,88	39,16	surconsolidé

Tableau V-5 : Résultats SP PK 71+000

Prof (m)	E (bars)	PL (bars)	Pf (bars)	E/Pl	État de consolidation
01.00	020.40	04.35	02.71	4,69	Remanié
02.00	026.32	04.12	00.89	6,39	Lâche
03.00	108.47	04.61	02.19	23,53	surconsolidé
04.00	231.65	26.42	11.37	8,77	Sous-consolidé
05.00	319.27	48.25	34.14	6,62	Lâche
06.00	530.33	51.26	49.24	10,35	Normalement consolidé
07.00	521.09	13.01	04.96	40,05	surconsolidé
08.00	147.09	17.11	12.93	8,60	Normalement consolidé
09.00	158.62	17.75	09.03	8,94	Normalement consolidé
10.00	312.93	17.31	08.73	18,08	surconsolidé
11.00	189.59	11.91	05.67	15,92	Normalement consolidé
12.00	456.73	16.51	08.20	27,66	surconsolidé
13.00	420.23	16.61	08.96	25,30	surconsolidé
14.00	544.46	16.71	09.22	32,58	surconsolidé
15.00	395.87	17.75	08.82	22,30	surconsolidé

Tableau V-6 : récapitulatif des résultats de pressionmètre

Sondage pressiométrique	$\bar{E}p$	$\bar{P}l$
Sp PK 63+270	14.93	1.45
Sp Pk 62+956	20.53	1.86
Sp PK 71+000	10.87	1.12
Sp gare damous PK 63+775	59.19	4.28

V.4. Essais au laboratoire :

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

Type	Norme
Densités sol et roche	NF P94-053/ NF P94-064
Teneur en eau naturelle	NF P94-050
Analyse granulométrique moyenne	NF P94-041
Limite d'Atterberg	NF P94-051
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

V.4.1. Essai de cisaillement :

Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés, des essais de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande ont été réalisés en conditions UU (non consolidé – non drainé) et CD (consolidé – drainé), conformément à la norme NF P 94-071-1 d'août 1994.

Tableau V-8 : Caractéristiques mécaniques CD des sols meubles rencontrés

SC N°	***Prof (m)***	***Angle de frottement interne ϕ***	***Cohesion C`(bar)***
PK61+100	***4.00-4.30***	***20***	***0.21***
PK62+600	***6.50-6.70***	***15***	***0.22***
PK63+270	***2.50-3.00***	***16***	***0.25***
SC Gare damous	***2.60-2.90***	***24***	***0.48***
SC Gare damous	***3.50-3.80***	***27***	***0.40***
PK64+500	***6.65-700***	***2.21***	***0.43***
Pk65+325	***4.30-4.70***	***22***	***0.37***
PK67+950	***2.40-2.60***	***23***	***0.42***
PK71+000	***3.60-40***	***23***	***0.20***
PK72+225	***7.70-8.00***	***32***	***0.11***
PK73+000	***4.10-4.60***	***18***	***0.23***
PK74+575	***4.65-5.00***	***17***	***0.13***

V.4.2. Essais œdométriques :

Les essais de compressibilité à l'oedomètre selon la norme XP P94-090-1 Décembre 1997 ont été réalisés.

- **PROF (m)** : Profondeur de prélèvement ou intervalle de profondeur en mètres.
- **Pc (bars)** : Pression de préconsolidation du sol, exprimée en bars. Elle représente la contrainte maximale que le sol a supportée dans le passé.
- **Cc (%)** : Indice de compression du sol. Il caractérise l'amplitude du tassement du sol lors de la compression.
- **Cg (%)** : Indice de gonflement du sol. Il indique la capacité du sol à se dilater lors du déchargement ou de la réhydratation.

Tableau V-9 : Résultats des essais œdométriques

SC N°	*Prof (m)*	*Pc(bars)*	*Cc%*	*Cg%*
PK61+100	***4.00-4.30***	1.53	19.88	4.65
PK62+600	***6.50-6.70***	1.50	1.50	4.65
PK63+270	***2.50-3.00***	1.73	12.49	1.66
SC Gare damous	***2.60-2.90***	1.32	13.06	1.66
SC Gare damous	***3.50-3.80***	1.27	12.49	2.99
PK64+500	***6.65-7.00***	1.09	11.36	2.99
Pk65+325	***4.30-4.70***	0.43	3.98	1.99
PK67+950	***2.40-2.60***	1.10	9.65	1.66
PK71+000	***3.60-40***	1.75	17.60	1.66
PK72+225	***7.70-8.00***	1.25	13.06	2.99
PK73+000	***4.10-4.60***	1.07	9.65	2.33
PK74+575	***4.65-5.00***	1.71	5.11	5.32

V.4.3. Limites d'Atterberg NF P 94-051 mars 1993 :

Des essais des limites d'Atterberg ont été réalisés sur des échantillons de sols prélevés à différentes profondeurs, conformément à la norme NF P 94-051 de mars 1993. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

- **Profondeur (m)** : Intervalle de profondeur du prélèvement en mètres.
- **WL (%)** : Limite de liquidité du sol (%). Elle correspond à la teneur en eau à partir de laquelle le sol passe de l'état plastique à l'état liquide.
- **WP (%)** : Limite de plasticité du sol (%). Elle représente la teneur en eau à partir de laquelle le sol passe de l'état semi-solide à l'état plastique.
- **IP (%)** : Indice de plasticité du sol (%). Il est égal à la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité :

$$I_p = W_L - W_P$$

Tableau V-10 : Résultats de l`essai Limites d'Atterberg

SC N°	***Prof (m)***	***WL (%)***	***WP (%)***	***IP%***
PK61+100	**2.00-2.50**	43.33	21	22.33
PK62+600	**1.50-2.00**	66	40	26
PK63+270	**2.00-2.50**	44	23.56	20.71
SC Gare damous	**2.00-2.50**	68	41	27
PK64+500	**1.50-2.00**	22	15	7
Pk65+325	**1.50-2.00**	26	15	11
PK71+000	**2.00-2.30**	48.52	25	23.07
PK72+225	**1.50-2.00**	37.56	22	15.56
PK73+000	**2.00-2.50**	43.33	20	23.33
PK74+575	**1.50-2.00**	42	28	14

V.4.4. Analyses granulométriques :

Des essais granulométriques ont été réalisés sur des échantillons prélevés à partir des sondages carottés, conformément aux normes NF P 94-057/1992 et NF P 94-056/1996. Les résultats obtenus sont présentés ci-après :

Tableau V-11 : Résultats de l`essai analyse granulométriques

SC N°	***Prof (m)***	***Grains*** $< 80\mu$(%)
PK61+100	**2.00-2.50**	75.00
PK62+600	**1.50-2.00**	85.15
PK63+270	**2.00-2.50**	88.56
SC Gare damous	**2.00-2.50**	98.92
PK64+500	**1.50-2.00**	96.94
Pk65+325	**1.50-2.00**	93.38
PK71+000	**2.00-2.30**	95.60
PK72+225	**1.50-2.00**	85.16
PK73+000	**2.00-2.50**	79.00
PK74+575	**1.50-2.00**	92.00

V.4.5. Essai CBR :

Les essais CBR ont été réalisé selon la norme NF P P94-093 et les résultats sont montrés dans le tableau suivant :

- Indice CBR (%) 10 coups : valeur du CBR après compactage avec 10 coups par couche.
- Indice CBR (%) 25 coups : valeur du CBR après compactage avec 25 coups par couche.
- CBR 56 coups (%) : valeur du CBR après compactage avec 56 coups par couche.
- CBR à 95 coups (%) : valeur du CBR après compactage avec 95 coups par couche

Tableau V-12 : Résultats de l'essai CBR

Sondage N	**Indice CBR (%) 10 coups**	**Indice CBR (%) 25 coups**	**CBR 56 coups (%)**	**CBR A 95 coups (%)**	**Classe**
PUIT 007	**2.15**	**3.25**	**4.00**	**3.6**	**S4**
PUIT 008	**2.33**	**2.77**	**2.98**	**2.9**	**S4**
PUIT 01	**2,66**	**3,73**	**5,82**	**4,8**	**S4**
PUIT 02	**2,82**	**3,31**	**5,22**	**4,2**	**S4**
PUIT 03	**1,90**	**3,48**	**4,55**	**4**	**S4**
PUIT 04	**1,91**	**3,06**	**5,39**	**4,2**	**S4**
PUIT 05	**1,25**	**2,07**	**5,84**	**4,3**	**S4**
PUIT 06	**2,83**	**3,80**	**4,73**	**4,2**	**S4**
PUIT 07	**2,58**	**3,40**	**5,40**	**4,6**	**S4**
PUIT 08	**2,08**	**3,06**	**8,74**	**6,2**	**S3**
PUIT 09	**1,99**	**2,90**	**8,32**	**6,6**	**S3**
PUIT 10	**1,91**	**2,57**	**8,07**	**5,5**	**S3**
PUIT 11	**2,66**	**3,51**	**5,23**	**4,3**	**S4**
PUIT 12	**3,06**	**3,30**	**5,98**	**4,6**	**S4**
PUIT 13	**1,67**	**3,32**	**4,57**	**3,9**	**S4**
PUIT 14	**3.32**	**3.98**	**7.05**	**5.5**	**S3**
PUIT 15	**1.99**	**3.31**	**5.21**	**4.2**	**S4**
PUIT 16	**2.53**	**2.53**	**7.37**	**5.1**	**S3**
PUIT 17	**2.33**	**2.99**	**9.51**	**6.2**	**S3**
PUIT 18	**3.00**	**3.42**	**7.52**	**5.5**	**S3**
PUIT 19	**2.24**	**3.43**	**4.97**	**4.2**	**S4**

V.4.6. Essai optimum Proctor :

Les essais de Proctor ont été réalisé selon la norme **NF P P94-093** et les résultats sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau V-13 : Résultats des essais Proctor.

Sondage	PK	**Densité sèche maximal (t/m^3)**	**Teneur en eau optimale W_{opn} (%)**	**Type d`essai Proctor**
PUIT 007	61+100	**1.72**	**20.90**	**Normal**
PUIT 008	62+600	**1.70**	**21.70**	**Normal**
PUIT 01	62+300	**1,68**	**18,78**	**Normal**
PUIT 02	63+000	**1,62**	**20,64**	**Normal**
PUIT 03	63+325	**1,60**	**20,73**	**Normal**
PUIT 04	64+500	**1,66**	**17,05**	**Normal**
PUIT 05	65+325	**2,10**	**19,96**	**Normal**
PUIT 06	66+000	**1,67**	**19,28**	**Normal**
PUIT 07	66+350	**1,69**	**19,00**	**Normal**
PUIT 08	67+550	**1,67**	**20,16**	**Normal**
PUIT 09	67+950	**1,71**	**17,38**	**Normal**
PUIT 10	68+475	**1,78**	**16,43**	**Normal**
PUIT 11	69+850	**1,67**	**20,24**	**Normal**
PUIT 12	70+425	**1,68**	**19,35**	**Normal**
PUIT 13	71+725	**1,55**	**13,57**	**Normal**
PUIT 14	72+225	**1.75**	**16.80**	**Normal**
PUIT 15	72+825	**1.91**	**11.32**	**Normal**
PUIT 16	73+000	**1.79**	**18.05**	**Normal**
PUIT 17	73+875	**1.69**	**17.76**	**Normal**
PUIT 18	74+575	**1.78**	**9.15**	**Normal**
PUIT 19	75+225	**1.78**	**11.45**	**Normal**
PUIT 20	76+400	**1.63**	**17.85**	**Normal**

V.6. Conclusion :

L'étude géologique et géotechnique réalisée sur le tronçon ferroviaire Oued Damous – Oued El Kéberit a permis de caractériser les conditions géologiques, géomorphologiques et géotechniques des terrains traversés par le projet. Les investigations effectuées, comprenant des sondages carottés, des essais pressiométriques, des puits de reconnaissance, des essais au pénétromètre dynamique ainsi que de nombreux essais de laboratoire, ont fourni une connaissance détaillée du sous-sol et de son comportement mécanique.

Les résultats mettent en évidence la prédominance de formations marneuses, argilo-marneuses et localement alluvionnaires, présentant des caractéristiques géotechniques variables selon les secteurs. Les essais pressiométriques montrent globalement une amélioration de la résistance et de la rigidité des terrains avec la profondeur, tandis que les essais de cisaillement révèlent des paramètres mécaniques compatibles avec les exigences du projet sous réserve de la mise en œuvre de mesures de stabilisation adaptées dans les zones sensibles.

Les essais de laboratoire ont confirmé la présence de sols à plasticité faible à moyenne, avec des valeurs de portance CBR généralement faibles à moyennes, nécessitant une attention particulière lors du dimensionnement de la plateforme ferroviaire. Les résultats des essais Proctor permettent toutefois d'identifier les conditions optimales de compactage afin d'assurer une bonne stabilité des remblais et des couches de forme.

Du point de vue sismique, la zone d'étude est classée en zone IV selon le RPA 2024, correspondant à une sismicité moyenne à élever, ce qui devra être pris en compte dans la conception des ouvrages d'art et des infrastructures associées.

Dans l'ensemble, les terrains rencontrés sont compatibles avec la réalisation du projet de dédoublement de la ligne ferroviaire, sous réserve du respect des recommandations géotechniques relatives au traitement des sols, au compactage des remblais, au drainage des eaux et à la stabilité des talus. Les résultats obtenus constituent ainsi une base fiable pour le dimensionnement des terrassements, de la plateforme ferroviaire et des différents ouvrages projetés.

CHAPIRTE VI : ASSISE FERROVIARE

CHAPITRES VI : ASSISE FERROVIARE

L'assise ferroviaire constitue un élément fondamental de la structure de la voie ferrée, assurant la transmission et la répartition des charges provenant du trafic vers le sol support. Elle joue un rôle essentiel dans la stabilité, la durabilité et la performance globale de l'infrastructure ferroviaire. Composée généralement de la couche de forme, de la plateforme et des éventuelles couches de fondation, l'assise doit présenter des caractéristiques mécaniques adaptées afin de garantir une bonne portance, limiter les tassements et assurer un drainage efficace. Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes composantes de l'assise ferroviaire, leurs fonctions ainsi que les critères de conception et de dimensionnement nécessaires pour assurer la sécurité et la pérennité de la voie.

VI.1. Rôles de l'assise ferroviaire :

• Répartition des charges et stabilité : Elle assure la répartition des charges transmises par les traverses de façon quasi uniforme sur la plateforme et contribue à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée.

• Amortissement et protection : Elle permet l'amortissement des vibrations dues au contact rail–roue et protège la plateforme contre l'érosion et le gel.

• Gestion des eaux : Elle garantit l'évacuation des eaux de ruissellement par un drainage efficace.

VI.2. Composition de l'assise ferroviaire :

L'assise ferroviaire est constituée de deux éléments essentiels, à savoir la couche de ballast et la sous-couche, qui assurent la continuité de la répartition des charges, la stabilité de la voie et le bon drainage de l'infrastructure.

VI.2.1. Couche de Ballast :

Le ballast est un élément essentiel de la superstructure de la voie ferrée. Il est constitué de granulats entièrement concassés, généralement issus de roches dures, assurant le support direct des traverses.

- **Rôles**

  Le ballast remplit plusieurs fonctions fondamentales :

  • **Répartition des charges :** il transmet les efforts appliqués par les trains vers le sol support tout en limitant les tassements.

  • **Stabilisation de la voie :** il assure le maintien et le bon encastrement des traverses, ce qui est indispensable pour la stabilité des Longs Rails Soudés (LRS).

  • **Drainage :** il permet l'évacuation rapide des eaux de surface, évitant ainsi la dégradation de la structure.

  • **Amortissement :** il réduit les vibrations générées par le passage des trains grâce aux frottements entre les grains.

- **Caractéristiques**
  Le ballast doit répondre à des exigences strictes :
  • Nature du matériau **:** roche dure, anguleuse et bien concassée.
  • Granularité **:** généralement comprise entre 25 et 50 mm.

VI.2.2. La sous-couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation située entre le ballast et la plateforme. Elle peut être constituée d'une ou de plusieurs couches, incluant généralement le sous-ballast, une couche de fondation et, dans certains cas, un géotextile.

- **Rôles**
  La sous-couche assure plusieurs fonctions essentielles :
  • **Protection :** elle empêche la remontée des particules fines de la plateforme vers le ballast et protège la structure contre les effets du gel et de l'érosion.
  • **Amélioration de la portance :** elle favorise une meilleure répartition des charges transmises par le ballast et augmente la rigidité de l'assise ferroviaire.
  • **Drainage :** elle permet l'évacuation efficace des eaux de pluie vers les systèmes de collecte.
  • **Amortissement :** elle participe à la réduction des vibrations générées par le trafic ferroviaire.

- **Caractéristiques**
  La sous-couche doit répondre à certaines exigences techniques :
  • **Composition :** généralement constituée de matériaux granulaires propres (type grave 0/31,5 mm), avec la mise en place éventuelle d'un géotextile anticontaminant au contact des sols sensibles.
  • **Géométrie :** elle est réalisée avec une pente transversale comprise entre 3 % et 5 %, afin d'assurer un drainage rapide et efficace des eaux.

VI.2.3. Sous-ballast :

La couche de sous-ballast constitue la partie supérieure de la sous-couche, située directement sous le ballast. Elle est généralement présente sur la majorité des types de plateformes, y compris celles en terrain rocheux.

- **Rôles**
  Cette couche assure plusieurs fonctions importantes :
  • elle permet d'uniformiser la surface support de la voie.
  • elle atténue la rigidité de la base afin d'améliorer le comportement mécanique de la structure.
  •elle participe à une meilleure diffusion des efforts transmis par le ballast vers les couches inférieures.

VI.2.4. La couche de forme :

C'est la partie inférieure de la structure de la sous-couche.

- Rôles : Elle sert principalement à supporter les engins de chantier lors des travaux et à améliorer la portance sur les sols de mauvaise qualité.
- Caractéristiques : Matériau de type grave bien graduée (0/31,5 mm).
- Elle n'est pas nécessaire sur les sols de bonne qualité.

VI.2.5. Plateforme :

C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre qui supporte directement la sous-couche. Elle peut être constituée du sol naturel (déblai) ou de terres rapportées (remblai).

- **Rôles :** Assurer la répartition des charges, garantir un drainage efficace, protéger contre la pénétration des fines et atténuer les vibrations.
- **Caractéristiques :** Elle comprend souvent une couche de forme aménagée avec une pente transversale de 3 à 5 % pour l'évacuation des eaux.

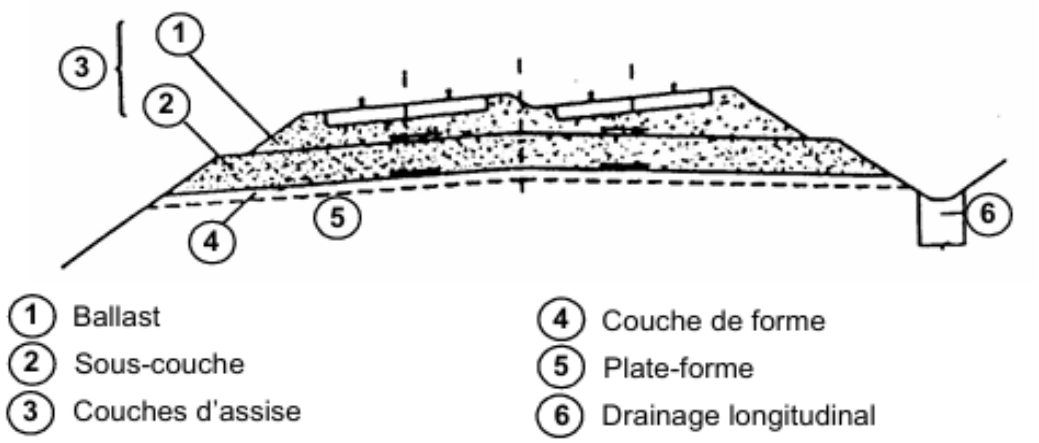


Figure VI-1 : Profil en travers d'une voie

VI.3. Dimensionnement de la couche d'assise ferroviaire :

VI.3.1. Classification du sol support :

D'après les résultats obtenus à partir des essais in situ ainsi que des essais réalisés en laboratoire dans le cadre de l'étude géotechnique, le dimensionnement de la couche d'assise a été effectué afin d'assurer une plateforme performante et durable pour notre projet.

Pour la classification du sol support le long du tracé, la classification élaborée par l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) a été adoptée. Cette classification repose sur l'identification géotechnique des sols ainsi que sur les conditions hydrogéologiques et hydrologiques du site.

Le tableau présente la classification GTR + UIC et RPA 2024 de l'ensemble des sondages réalisés dans le cadre de la campagne géotechnique complémentaire

Tableau VI-1 : Tableau récapitulatifs des résultats géotechnique

PK	Classification GTR	Classification UIC	Classification RPA 2024
61+100	A1TS	QS1	S3
62+600	A1TS	QS1	S3
62+300	A1TS	QS1	S3
63+000	A1TS	QS1	S3
63+325	A1TS	QS1	S4
64+500	A1TS	QS1	S3
65+325	A1TS	QS1	S3
66+000	A1TS	QS1	S4
66+350	A2TS	QS1	S3
67+550	A1TS	QS1	S3
67+950	A1TS	QS1	S3
68+475	A1TS	QS1	S3
69+850	A1TS	QS1	S3
70+425	A1TS	QS1	S3
71+725	A1TS	QS1	S4
72+225	A1TS	QS1	S4
73+875	A1TS	QS1	S3
74+575	A1TS	QS1	S3

Selon la classification GTR, le sol A1ts correspond à un sol fin peu plastique, tel que les limons, loess ou silts alluvionnaires, se trouvant à l'état très sec (ts). Ce type de sol est sensible aux variations de teneur en eau, ce qui peut entraîner des changements rapides de consistance.

Selon les résultats obtenus à partir des essais géotechniques et conformément à la classification UIC, le sol rencontré le long du tracé est classé QS1. Cette catégorie correspond à des sols de qualité médiocre, acceptables en l'état, mais nécessitant une attention particulière vis-à-vis du drainage afin d'assurer la stabilité et la durabilité de la plateforme. Ces sols peuvent toutefois être améliorés par un traitement approprié, notamment par l'utilisation de liants hydrauliques.

Les sols classés QS1 correspondent généralement à des matériaux comportant plus de 40 % de fines (à l'exception des sols 0.2), ainsi qu'à des roches très évolutives telles que les craies de densité sèche inférieure à 1,7 t/m³ et à forte friabilité, les marnes et les schistes altérés.

Tableau VI-2 : Classification des sols selon UIC 719 R

Classe de qualité	Désignation	Description
QS0	Sols impropres	Sols impropres à la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessitant des mesures confortatives (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.). Pour cette raison, ces sols ne sont pas pris en compte dans le dimensionnement des couches d'assise et des couches de forme.
QS1	Sols médiocres	Sols acceptables tels quels, mais nécessitant une attention particulière au drainage. Ils peuvent éventuellement être améliorés par un traitement approprié (traitement aux liants, par exemple).
QS2	Sols moyen	Sols de qualité moyenne.
QS3	Sols Bons	Sols de bonne qualité, favorables à la réalisation de la plate-forme.

VI.3.2. Classification de la plateforme :

Dans le cadre du projet de dédoublement et de renouvellement de la ligne minière, destinée principalement au trafic de marchandises, il est nécessaire d'assurer une voie durable et adaptée aux charges d'exploitation prévues. Pour cela, l'objectif est d'obtenir une plateforme de classe P3, correspondant à une plateforme de bonne qualité.

Pour un sol de classe QS1, et une plateforme de classe P3, on aura : une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 de l'épaisseur minimale est de 50 cm.

Tableau VI-3 : Classification des plateformes selon UIC 719 R

Plate-forme	Qualité
P1	Médiocre
P2	Moyenne
P3	Bonne

VI.3.3. Calcul d'épaisseur de la couche d'assise selon UIC 719R :

Une plateforme ferroviaire est généralement constituée d'un ensemble de couches superposées, à savoir :

- Une couche de ballast ;
- Une sous-couche, mono-couche ou multicouche.

L'épaisseur totale de l'ensemble ballast + sous-couche est donnée par l'expression suivante :

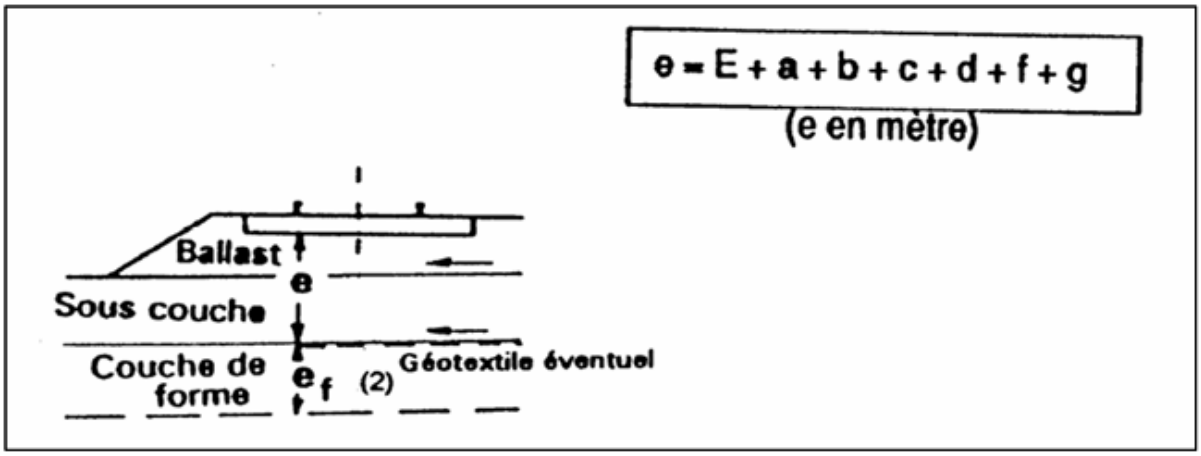


Figure IV-2 : coupe transversale de l'assise ferroviaire

Avec :

- E = (classe de la plateforme P1, P2, P3),
- a = Classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).
- b = Type et longueur de la traverse
- c = ligne nouvelle
- d = (la charge maximale à l'axe)
- f = type de plateforme et vitesse de référence.
- g = Géotextile

Conformément à la fiche UIC 719, l'épaisseur requise de la couche d'assise se calcule selon la formule suivante :

- E = 0,45 m pour une plate-forme de la voie P3
- a = 0 pour les groupes UIC 1 et 2
- b = 0.05 cm pour les traverses monobloc de longueur L = 2,40 m
- c = 0 pour un dimensionnement normal.
- d = 0,12 m (pour la charge nominale d'essieu de 25 t/essieu)
- f = 0
- g = 0 sans géotextiles pour couches de forme de qualité de sol QS3

e=0.45+0+0.05+0+0.12+0+0= 0.62 cm

Nous avons pris une épaisseur de 75 cm pour l'assise ferroviaire, l'épaisseur de chaque coche est dans le tableau suivant :

Tableau VI-4 : Epaisseur des couches adoptes

Couches	Epaisseur (cm)
Ballast	35
Sous-Ballast	20
Couche de Fondation	20
Couche de forme QS3	50

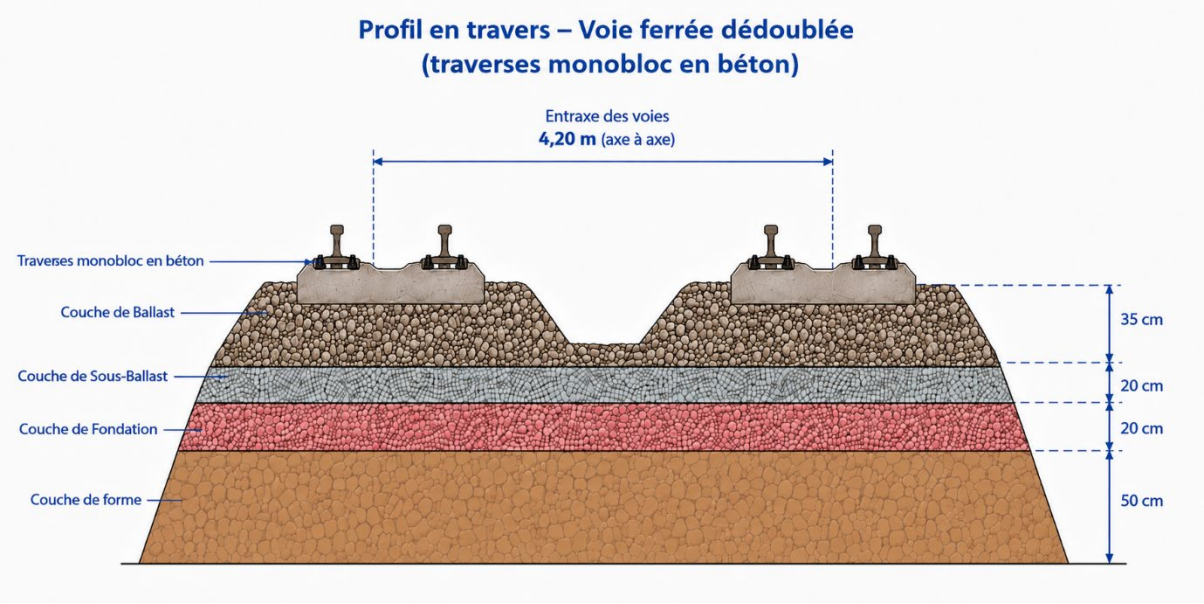


Figure VI-3 : Assise ferroviaire adopte pour notre projet

VI.4. Caractéristiques des matériaux constitutifs des couches d'assise :

- **Ballast :**

Les matériaux destinés à la couche de ballast doivent être issus du concassage de roches dures. Les exigences suivantes doivent être respectées conformément à la norme NFP 53-695:

- Les éléments doivent présenter une forme polyédrique à arêtes vives ;
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau 25/50 mm ;
- La résistance à la compression doit vérifier : RC ≥ 1200 kg/cm² ;
- La résistance à la fragmentation Los-Angeles doit être ≤ 22 % ;
- La résistance à l'usure Micro-Deval (MDA) doit être ≤ 8,5 %, avec la condition : LA + 2MDA ≤ 33 ;
- Les matériaux doivent être propres et exempts de toute matière impropre ;
- La proportion des éléments passant au tamis à mailles carrées de 1,6 mm ne doit pas dépasser 0,5 % ;
- La granulométrie des matériaux doit rester dans le fuseau 25/50 mm.

- **Sous-couche :**

Matériau de type grave bien graduée (0/31,5 mm) avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25.

- **Couche de fondation :**

Conformément aux exigences de la spécification technique ST590B, la couche de fondation est réalisée en grave sableuse entièrement concassée. Les matériaux utilisés doivent présenter une valeur de propreté Vbg ≤ 1, un coefficient de forme A ≤ 25 ainsi qu'une résistance LA+MDE ≤ 50. Ces matériaux peuvent provenir de sous-produits de carrières à ballast ou d'alluvions d'oued (fiche n°02 de l'Annexe E).

- **Couche de forme de qualité QS3 :**

La couche de forme de qualité S3 est exécutée conformément aux prescriptions de la spécification technique ST590B, à l'aide d'une grave 0/D. Les matériaux employés doivent satisfaire aux critères de résistance LA+MDE ≤ 60 et de propreté Vbg ≤ 2 (fiche n°04 de l'Annexe E). Après mise en œuvre et compactage, la couche doit atteindre un degré de compactage minimal de 100 % de l'OPM ainsi qu'un module de déformation EV2 ≥ 80 MN/m².

CHAPITRE VII : PROFIL EN TRAVERS

CHAPITRES VII : PROFIL EN TRAVERS

Le profil en travers d'un projet de voie ferrée représente une coupe perpendiculaire à l'axe de la voie montrant la disposition et les dimensions des différents éléments constituant l'infrastructure ferroviaire. Il permet de définir la géométrie de la plateforme ferroviaire ainsi que l'organisation des équipements nécessaires au bon fonctionnement et à la sécurité de la ligne.

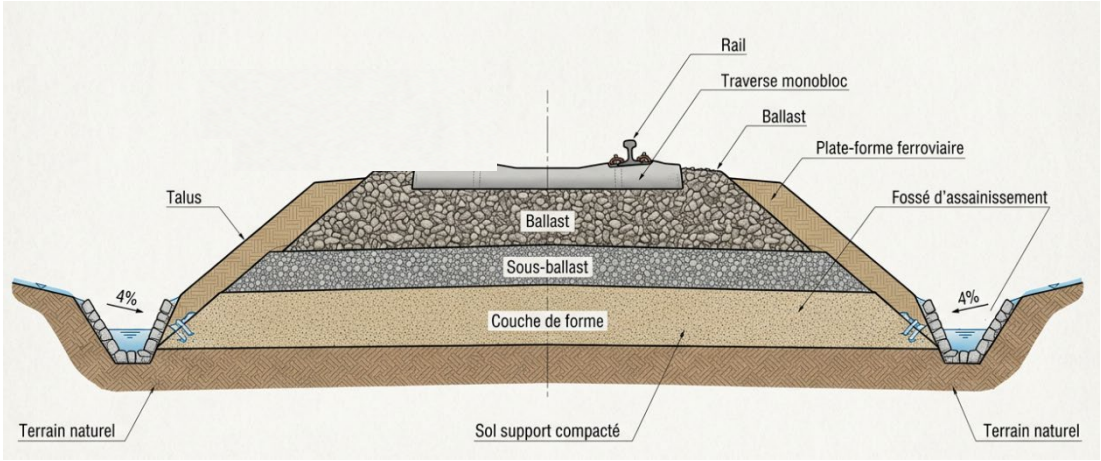
Le profil en travers comprend généralement :

- Les rails et traverses
- Le ballast
- La plateforme ferroviaire
- Les talus de remblai ou de déblai
- Les fossés d'assainissement

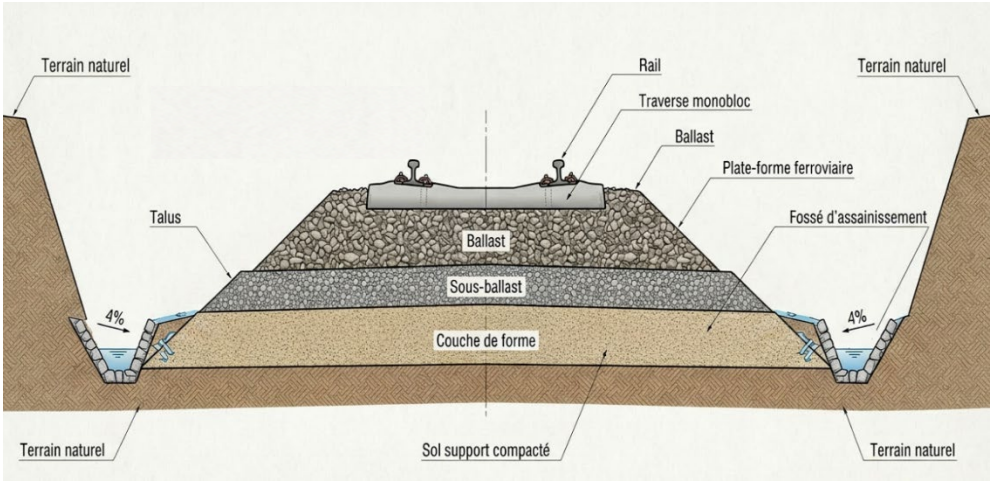
Il constitue un élément essentiel dans la conception des voies ferrées, car il permet d'assurer la stabilité de l'infrastructure, le drainage des eaux, la sécurité de circulation des trains et le confort d'exploitation.

VII.1. Profil en travers type :

Les profils en travers d'une voie ferrée varient selon la position de la plateforme ferroviaire par rapport au terrain naturel et selon les conditions d'exploitation. On distingue principalement le profil en remblai, utilisé lorsque la voie est située au-dessus du terrain naturel grâce à l'apport de matériaux de remblai ; le profil en déblai, adopté lorsque le terrain naturel est plus élevé que le niveau de la voie et nécessite des excavations ; ainsi que le profil mixte, où une partie de la plateforme est en remblai tandis que l'autre est en déblai, généralement sur les terrains en pente. Dans les zones de gare, le profil en travers comprend également les quais, les voies de service, les passages souterrains et les dispositifs d'assainissement. Enfin, certains profils spécifiques sont réalisés au niveau des ouvrages d'art tels que les ponts, viaducs et tunnels, où les dimensions et les éléments constitutifs sont adaptés aux contraintes structurelles et techniques de ces ouvrages.



Figures VII-1 : profil en travers en remblai



Figures VII-2 : profil en travers en déblai

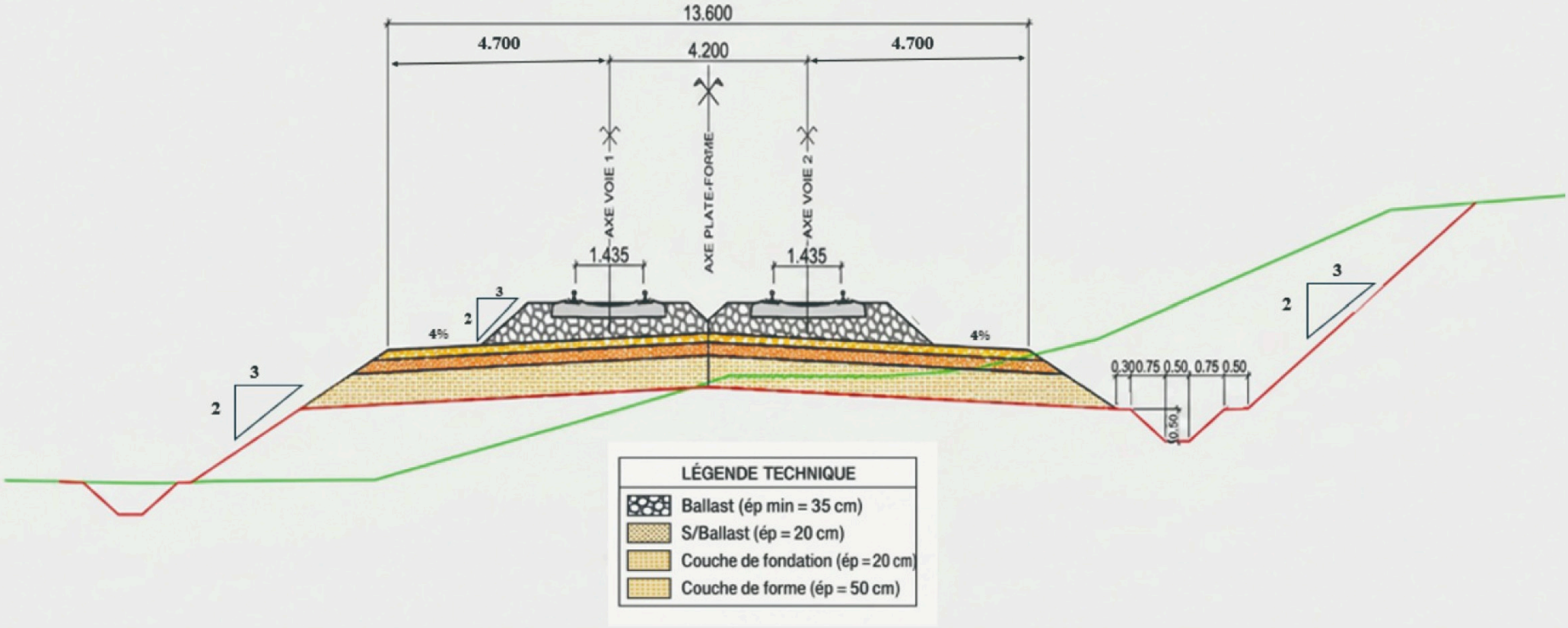
VII.2. Les profils en travers affectés au projet

Pour notre projet on caractérise nos profiles en travers comme se suit :

Tableau VII-1 : Caractéristique du notre profil en travers.

Types de ligne	Double voie mixte électrifiée
Écartement de la voie	1.435 m
Largeur de la plateforme	13.6 m
L'entraxe des voies	4.2m
Pente latérale de la plate-forme	4%
Pente latérale de la couche du ballast	3H /2V
Épaisseur du ballast	35cm
Épaisseur du sous-ballast	20 cm
Épaisseur de la couche de fondation	20cm
Pentes profils courants	Déblai : 3H/2V et remblai : 3H/2V
Fossé trapézoïdale	b= 0.50 m ; h= 0.5 m avec une berme de 3H/2V

Profil en travers



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba - 16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E -mail : enstp@enstp.edu.dz	**PROJET DE FIN D'ETUDE**	**Réalise par**	**Encadré par**	**Echelle**	**Planche**	**Année**
	Dédoublement et renouvellement de la ligne minière est section 2 : drea -oued el keberit tronçon du PK61+00 au PK 75+000 avec conception de la gare de OUED –DAMOUS	Djedjig Rafik Boukakra Brahim Elkhalil	GHAFFAR Karam FEDGHOUCHE Farhat	1:125	Profils en travers	-2025- -2026-

CHAPITRE VIII : AMENAGEMENT DE LA GARE OUED DAMOUS

CHAPITRE VIII : AMENAGEMENT DE LA GARE -OUED DAMOUS

L'aménagement d'une gare ferroviaire constitue une étape essentielle dans la conception d'une infrastructure de transport. Il vise à assurer une organisation efficace des voies, des quais et des équipements afin de garantir la sécurité, la fluidité des circulations et le confort des usagers. Ce chapitre présente les principaux éléments pris en compte dans l'aménagement de la gare ainsi que les critères techniques adoptés pour répondre aux besoins d'exploitation ferroviaire

VIII.1. Types de gares

Il existe différents types de gares ferroviaires, selon leur fonction dans le réseau. On peut distinguer principalement :

- **Gare voyageurs** : destinée à l'accueil et au transport des passagers, elle est équipée d'installations permettant l'accès, le confort et la sécurité des usagers.
- **Gare marchandises** : dédiée au transport et au traitement des biens, elle est équipée d'infrastructures adaptées au chargement, déchargement et au stockage des marchandises.
- **Gare mixte** : c'est une gare qui regroupe à la fois les activités de transport de voyageurs et de marchandises, en utilisant les mêmes installations ou des zones séparées au sein du même site ferroviaire.



Figures VIII-1 : Gare voyageurs

VIII.2. Etude du plan de masse de la gare :

Pour la conception d'une gare, la première étape consiste à établir un plan de masse regroupant l'ensemble des fonctions et des installations nécessaires. Cette phase repose sur la prise en compte de trois éléments essentiels :

- **Le trafic** désigne l'ensemble des flux de passagers et de marchandises circulant dans une gare ou sur un réseau ferroviaire. Il permet d'évaluer l'importance de la demande et constitue un élément essentiel pour le dimensionnement et l'aménagement des infrastructures afin de répondre aux besoins réels de transport.
- **La catégorie de la voie** correspond à la classification des voies ferrées selon leur fonction et leur niveau d'importance dans le réseau. Elle sert à organiser les installations ferroviaires, à définir les éléments composant la gare et à assurer une bonne gestion des circulations ainsi qu'un fonctionnement fluide des opérations.
- **L`emplacement des gares** est le choix de leur localisation en fonction des besoins de transport, de l'accessibilité et de l'intégration au réseau. Il vise à assurer une bonne desserte des usagers et un fonctionnement efficace de la gare.

VIII.3. Aménagement de la gare :

VIII.3.1. Installation d'une gare voyageurs :

Les gares ferroviaires disposent de plusieurs types d'installations qui dépendent de leur catégorie, de leur conception et de leur fonction. On distingue notamment :

- **Les bâtiments voyageurs** : c'est un espace dédié au public, où l'on retrouve les services essentiels comme l'attente, la vente de billets, la sécurité et quelques services commerciaux.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : ils sont destinés aux agents ferroviaires et servent principalement pour les fonctions administratives, techniques ainsi que pour le stockage et la maintenance.
- **Les quais** : ce sont des plateformes situées le long des voies, permettant aux passagers d'accéder aux trains et d'en descendre en toute sécurité.
- **Les abris de quais** : ce sont des structures légères installées sur les quais afin de protéger les voyageurs contre la pluie, le soleil ou le vent lors de l'attente.
- **Les passages souterrains et passerelles** : ces ouvrages facilitent la traversée des voies et le déplacement entre les quais en assurant la sécurité des usagers.

VIII.3.2 Installation d`une gare marchandise

Les installations d'une gare marchandises sont conçues pour assurer le traitement, le stockage et la circulation des biens. Elles comprennent généralement :

- **Le bâtiment de service (BS)** : il est destiné à la réalisation des formalités administratives liées aux opérations commerciales et au traitement des marchandises.
- **Les cours de débord** : ce sont des espaces aménagés pour faciliter les opérations de chargement et de déchargement des marchandises.
- **Les quais de débord** : ils permettent la manipulation et le transfert des marchandises entre les trains et les zones de stockage.
- **La halle de stockage** : il s'agit d'un bâtiment couvert destiné à entreposer les marchandises en attente d'expédition ou de distribution.
- **Le parking** : il est prévu pour le stationnement des véhicules de transport et de livraison.

VIII.4. Marge de glissement a l`aval signaux :

La marge de glissement à l'aval signaux correspond à une section de voie aménagée après un signal fermé, dans laquelle aucune autre circulation ferroviaire n'est admise. Cette zone de sécurité est prévue pour limiter les risques d'accident et éviter les collisions lorsqu'un train dépasse le signal sans parvenir à s'arrêter à temps.
Selon la norme UIC 741, la longueur de la marge de glissement varie en fonction de la vitesse de circulation et du type de signal ferroviaire. Elle est fixée à :

- **200 m** lorsque la vitesse est supérieure ou égale à 60 km/h ;
- **100 m** pour une vitesse comprise entre 40 km/h et 60 km/h ;
- **50 m** lorsque la vitesse est inférieure à 40 km/h.

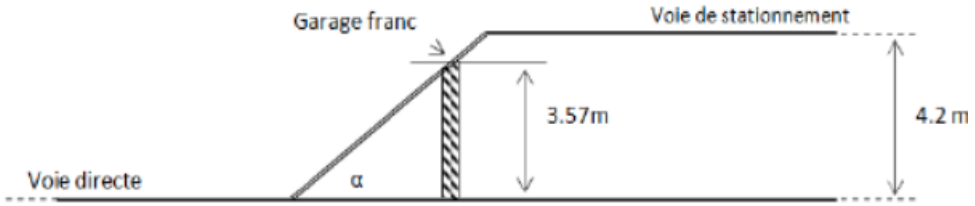
Ces valeurs sont généralement appliquées à l'aval des signaux de protection, d'entrée, intermédiaires et de sortie. Pour les signaux de block, la longueur de la marge de glissement est fixée à **50 m**.

VIII.5. Garage franc :

Le garage franc délimite la zone de voie pouvant être occupée par des véhicules stationnés sans gêner la circulation sur les voies voisines. Il est implanté de part et d'autre de la voie de stationnement et sa position est déterminée par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance$D = 3.57\ m$.
La valeur du garage franc est calculée à l'aide de la relation :

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

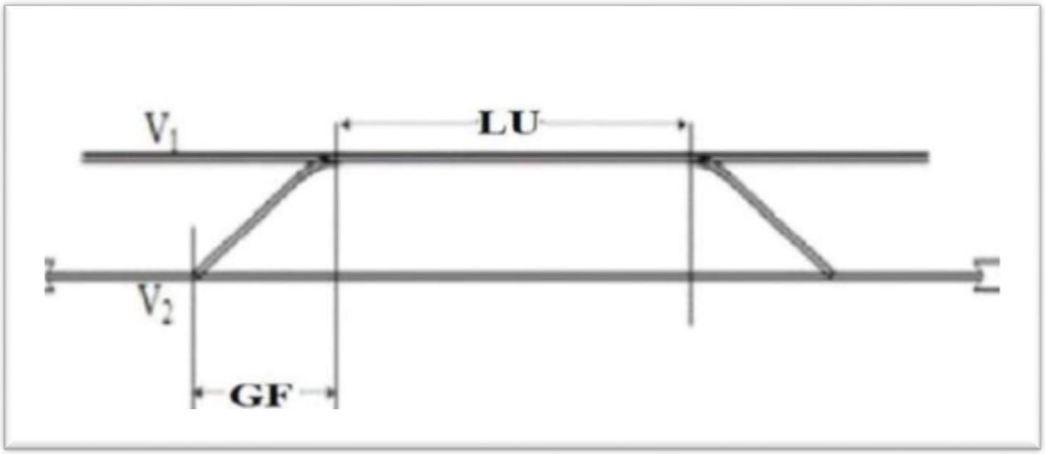
Où N représente une variable dépendant de l'ouverture de l'appareil de voie.



Figures VIII-2 : Schéma illustratif du garage franc

VIII.6 La longueur utile de la voie de stationnement

La **longueur utile** désigne la distance nécessaire et suffisante permettant à un train de stationner sur une voie de dépassement sans perturber la circulation sur la voie principale ni sur les autres voies voisines. Elle est déterminée entre deux points appelés garages francs**.**



Figures VIII-3 : Schéma illustrative de la longueur utile

LU=LG+LS+LT+LA+LC.

- **LU** : longueur utile.
- **LG** : longueur de glissement.
- **LS** : longueur de sécurité.
- **LT** : longueur maximale de train.
- **LA** : marge de tolérance d'arrêt.

VIII.7. Equipement de la gare

VIII.7.1. Réseaux de la voie :

Le réseau ferroviaire peut être composé de plusieurs types de voies, chacune ayant une fonction spécifique selon les besoins d'exploitation.

- Le réseau de service regroupe les voies utilisées pour le garage des trains, les manœuvres ainsi que le stationnement du matériel roulant.
- Le réseau de triage comprend les voies destinées au tri des wagons, à la formation des trains, ainsi qu'aux opérations de réception et d'expédition.
- Le réseau de fret est constitué des voies servant aux opérations de chargement et de déchargement des marchandises, aux accès vers les entrepôts et aux embranchements particuliers.
- Le réseau industriel rassemble les voies d'embranchement industriel, les voies de desserte interne et les voies dédiées à certains services spécifiques.
- Enfin, le réseau portuaire comprend les voies assurant la liaison avec les installations portuaires, les opérations de transbordement et les connexions entre les quais et les entrepôts.

VIII.7.2. Catenaire :

La caténaire est un ensemble de câbles aériens permettant d'alimenter les trains en énergie électrique sur les lignes ferroviaires électrifiées. Elle assure plusieurs fonctions essentielles, notamment :

- Le stationnement des trains sans interruption de l'alimentation électrique
- La réalisation des manœuvres de triage et de recomposition des convois.
- Les opérations de chargement et de déchargement des marchandises, en particulier pour les wagons nécessitant une alimentation électrique continue.

VIII.7.3. Les heurtoirs :

Les heurtoirs marquent l'extrémité des voies de garage ou des voies de sécurité. Placés au bout des voies en impasse, ils ont pour fonction d'empêcher les véhicules ferroviaires de dépasser la limite de la voie.
Généralement, des patins de freinage sont installés à environ 10 mètres avant le heurtoir et doivent être remis en place après chaque opération de manœuvre.
On distingue principalement deux types de heurtoirs :

- Les heurtoirs à déplacement (ou patinants), disponibles en petit et grand modèle.
- Les heurtoirs fixes.



Figures VII-4 : Les heurtoirs

VIII.8. Les Quais

VII.8.1. La longueur des quais :

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

VIII.8.2. La largeur des quais :

La SNTF recommande pour une telle gare :

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

VIII.8.3. L'entraxe des quais :

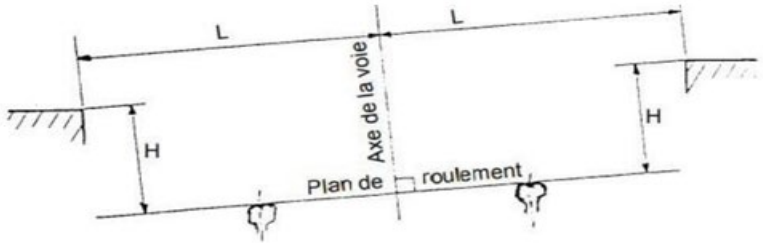
Selon SNTF :

- Entraxe normal en ≥ 11.3
- Entraxe minimal en ≥ 9.3

VIII.8.4. La hauteur des quais :

D'après la fiche UIC 741OR :

- La hauteur nominale du bord du quai est fixée à 550 mm.
- Toutefois, dans certains cas particuliers, notamment pour les quais desservant les lignes principales et les lignes de banlieue, une hauteur de 760 mm peut être adoptée sous certaines conditions spécifiques.



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

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

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

VIII.8.5. Distance par rapport l`axe de la voie :

Pour les bordures de quai aménagées à une hauteur nominale de 550 mm ou de 760 mm, la distance nominale par rapport à l'axe de la voie est déterminée comme suit :

$$L(mm) = 1650 + S$$

La valeur de S :

$$S(mm) = \left(\frac{3750}{R}\right) + \frac{I - 1435}{2}$$

- R : le rayon de la voie (m)
- I : L`écartement de la voie (mm)

VIII.9. Les appareils de voie :

Un appareil de voie est un équipement ferroviaire permettant de guider les trains et d'assurer les bifurcations, croisements et changements de direction entre différentes voies. Il peut être commandé manuellement ou automatiquement depuis un poste d'aiguillage
Les appareils de voie comprennent notamment :

- Les aiguillages
- Les traversées
- Les pénétrations
- Les séparations
- Les appareils de dilatation
- Les taquets dérailleurs.

VIII.10. Application au notre projet

La gare d'Oued Damous est située au nord de la commune d'Oued Keberit, sur la ligne ferroviaire reliant Annaba à Djebel Onk. Elle est implantée entre la gare de M'daourouch et celle d'Oued Keberit.
Cette gare voyageurs, située au PK 63+625, comprend trois voies principales ainsi que deux quais destinés au service des usagers. Elle dispose également d'une voie de stationnement permettant le garage temporaire des trains, d'un bâtiment voyageur assurant l'accueil des passagers, ainsi que d'un passage souterrain garantissant une circulation sécurisée entre les quais.

VIII.10.1. Déclivités dans la gare :

D'après les recommendations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) en Algérie, la déclivité maximale admissible dans les gares est fixée à 0,00 ‰. Cette disposition a pour objectif d'assurer la stabilité des trains pendant les opérations d'arrêt, de stationnement et de manœuvre, tout en évitant tout déplacement involontaire des véhicules ferroviaires.

VIII.10.2. Les quais :

- Longueur des quais :

Dans le cadre de notre projet, des quais d'une longueur de 225 mètres ont été prévus pour la gare, ce qui correspond à trois wagons de 75 mètres chacun

- Largeur des quais :

B= 6 m pour les quais

- Hauteur des quais

On prend pour notre cas h= 55 cm.

- La distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741 :

Pour la distance par rapport a l`axe de la voie L= 1650+S

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2} \rightarrow L = 1650 + \frac{3750}{\infty} + \frac{1435 - 1435}{2} = 1650mm$$

- R : rayon de voie (le trace dans la gare est droit R=∞)
- I : écartement de la voie (dans notre projet I=1435mm)

VIII.10.3. Les appareils des voies

Dans le cadre de notre projet, un seul appareil de voie ont été retenus :

- UIC 60 300 1/9
- UIC 60 500 1/12

Tableau VIII-2 : Implantation des appareils des voie

N°	Types d`appareil
1	60 E1 500 1/12 Déviation à droite
2	60 E1 500 1/12 Déviation à gauche
3	60 E1 300 1/9 Déviation à droite
4	60 E1 500 1/9 Déviation à gauche
5	60 E1 300 1/9 Déviation à gauche
6	60 E1 500 1/12 Déviation à gauche
7	60 E1 500 1/12 Déviation à droite

VIII.10.4. Longueur des garages francs :

UIC 60 300 1 /9 : $GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 9) + 1 = 33.13m.$

VIII.10.6. Passage souterrains

Dans notre gare, un passage souterrain est aménagé afin de faciliter le déplacement des voyageurs entre les différents quais. Étant donné que les trains peuvent desservir plusieurs voies, cet ouvrage permet d'éviter la traversée directe des voies ferrées, garantissant ainsi une meilleure sécurité des usagers.

Le passage souterrain joue également un rôle important en situation d'urgence. En cas d'incendie ou de tout autre incident, il peut servir d'issue d'évacuation permettant aux voyageurs de quitter la gare rapidement et en toute sécurité.

Ainsi, le passage souterrain constitue un aménagement essentiel contribuant à la sécurité, au confort et à la fluidité des déplacements au sein de la gare

VII.10.7. Le heurtoir :

Tableau VII-3 : PK d'heurtoir

N°	PK
1	64+275

VII.11. Assainissement de la gare :

VIII.11.1. Assainissement transversal :

Afin d'assurer une évacuation efficace des eaux pluviales dans les gares, les quais sont aménagés avec une pente de 2 %, réalisée soit en forme de toit, soit en forme de V selon la configuration adoptée. Cette inclinaison permet de diriger les eaux vers les voies ferrées. Par ailleurs, les pentes transversales des plates-formes facilitent l'acheminement des eaux vers les dispositifs de drainage.

VIII.11.2. Assainissement longitudinal :

L'assainissement longitudinal de cette station est assuré par une fosse latérale implantée le long des voies, permettant la collecte et l'évacuation des eaux pluviales ainsi que des eaux d'infiltration. Les eaux ruisselant au niveau des quais et de la plateforme ferroviaire sont dirigées vers cette fosse grâce aux pentes transversales aménagées.

La fosse est conçue avec une pente longitudinale de 4 %, afin de garantir un écoulement gravitaire efficace des eaux et d'éviter toute stagnation pouvant affecter la stabilité de la plateforme ou les équipements ferroviaires. Cette pente assure également une évacuation rapide vers les ouvrages de collecte ou les réseaux d'assainissement prévus en aval.

VIII.12. Conclusion :

L'aménagement de la gare Oued Damous a été conçu conformément aux exigences techniques et aux normes ferroviaires en vigueur, afin d'assurer un fonctionnement sûr, fluide et efficace des circulations ferroviaires ainsi qu'un meilleur confort pour les usagers. Cette étude a permis de définir les différents éléments constituant la gare, notamment les voies, les quais, les appareils de voie, les équipements de sécurité et les ouvrages destinés à faciliter les déplacements des voyageurs.
Le projet intègre également des dispositifs importants tels que le passage souterrain, garantissant une traversée sécurisée entre les quais, ainsi qu'un système d'assainissement adapté permettant une évacuation efficace des eaux pluviales grâce aux pentes transversales et longitudinales prévues. Les dimensions des quais, les longueurs utiles, les marges de glissement et les autres paramètres géométriques ont été déterminés selon les recommandations de la SNTF et des normes UIC afin d'assurer la sécurité de l'exploitation ferroviaire.
Ainsi, cette étude constitue une étape essentielle dans la conception de la gare et contribue à améliorer les conditions d'exploitation, la sécurité des voyageurs et la qualité des infrastructures ferroviaires sur la ligne étudiée.

- 1: 60 E1 500 1/12
- 2: 60 E1 500 1/12
- 3: 60 E1 300 1/9
- 4: 60 E1 300 1/9
- 5: 60 E1 300 1/9
- 6: 1: 60 E1 500 1/12
- 7: 1: 60 E1 500 1/12

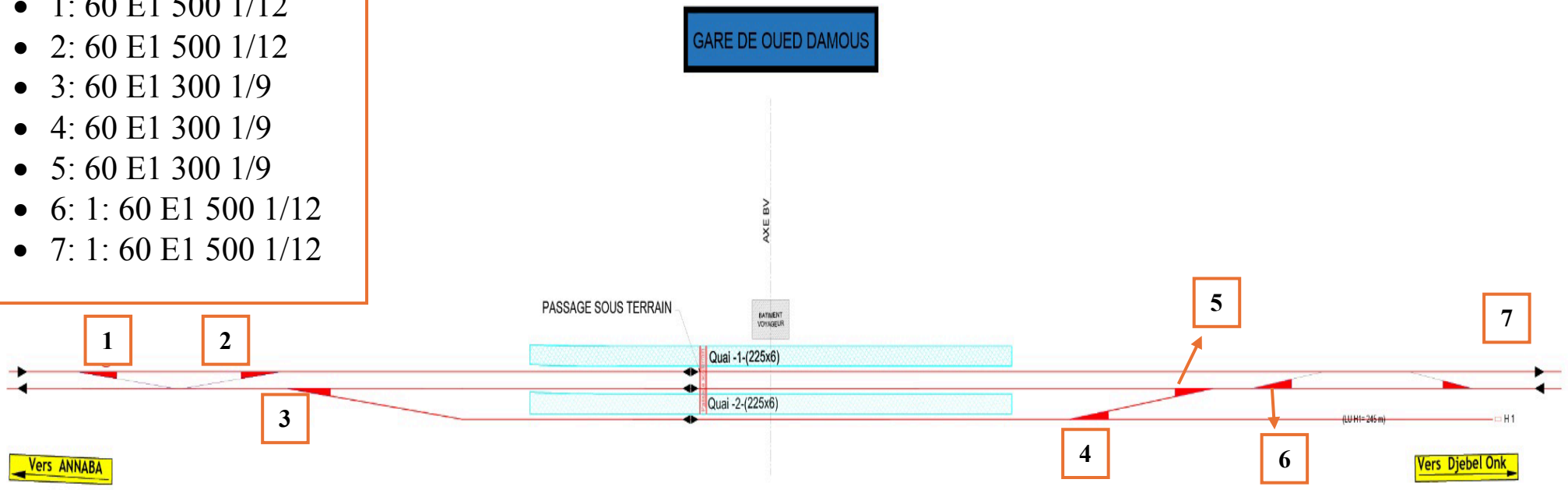
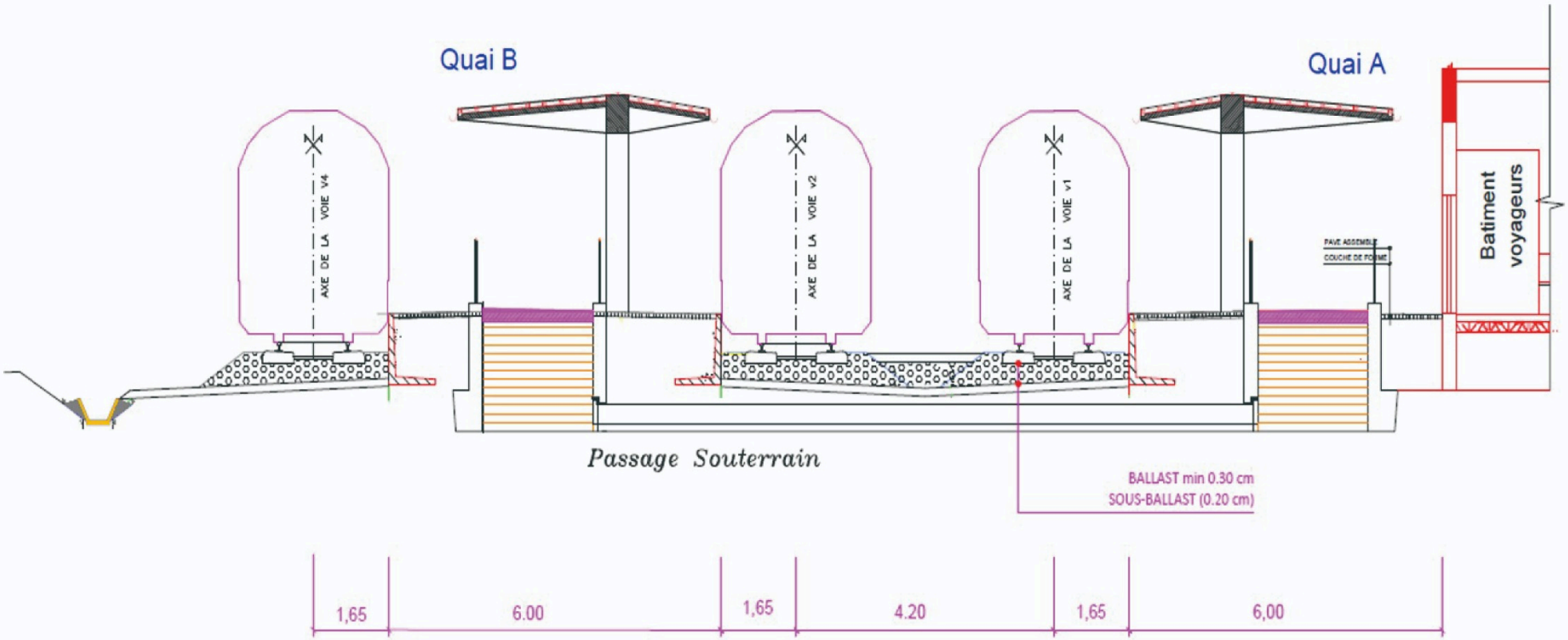


Figure VIII-4 : schéma de la gare Oued Damous

Profil en travers type de la gare



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba - 16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E -mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalise par	Encadré par	Echelle	Planche	Année
Dédoublement et renouvellement de la ligne minière est section 2 : drea -oued el keberit tronçon du PK61+00 au PK 75+000 avec conception de la gare de OUED –DAMOUS	Djedjig Rafik	GHAFFAR Karam	1:100	Profil en travers type de la gare	-2025- -2026-
	Boukakra Brahim Elkhalil	FEDGHOUCHE Farhat			

CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART

CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART

La réalisation d'une ligne ferroviaire repose en grande partie sur deux types de travaux fondamentaux : les terrassements et les ouvrages d'art.

Les travaux de terrassement consistent à modeler le terrain naturel afin d'y établir une plateforme stable et continue, capable de supporter la voie ferrée dans la durée. Ils impliquent des opérations de déblais et de remblais, exécutées en trois phases successives (l'extraction, le transport et la mise en place des matériaux) et nécessitent une attention particulière au drainage ainsi qu'à la stabilité des talus.

Les ouvrages d'art, quant à eux, permettent de franchir les obstacles naturels ou humains qui se trouvent le long du tracé. Ensemble, ces travaux constituent le socle technique indispensable à la sécurité, à la durabilité et à la continuité de toute infrastructure ferroviaire.

IX.1. Terrassement :

Les terrassements constituent une étape fondamentale dans la construction d'une ligne ferroviaire : ils consistent à modifier le relief naturel du terrain afin d'obtenir une plateforme stable et conforme au profil du tracé. Ces travaux regroupent deux opérations complémentaires :

- Les déblais (enlèvement de terres)
- Les remblais (ajout de terres)

Qui peuvent atteindre des hauteurs considérables. Lorsqu'ils sont mal maîtrisés ou excessifs, ils peuvent engendrer des instabilités telles que des glissements de talus, ces pentes formées le long de la plateforme pendant les travaux. Une exécution rigoureuse de ces opérations est donc indispensable pour garantir la stabilité, la durabilité et la sécurité de l'ensemble de l'infrastructure ferroviaire.

Les terrassements se déroulent généralement en trois étapes principales :

- L'extraction des matériaux (terre, roche, etc.) à l'aide d'engins spécifiques.
- Le transport des matériaux vers les zones de remblai ou les dépôts.
- La mise en œuvre c'est-à-dire l'étalement, le compactage et la mise en forme des matériaux.

XI.1.1. Exigences environnementales des ouvrages en terre :

Pour que les ouvrages en terre s'intègrent correctement dans leur environnement, les recommandations suivantes doivent être respectées :

- Choix des matériaux : Les matériaux utilisés, notamment ceux placés en surface, doivent être compatibles avec l'environnement local afin de préserver la végétation et la biodiversité.
- Effets sur les eaux souterraines : Toute répercussion sur l'hydrogéologie doit être étudiée, afin d'éviter de perturber les nappes d'eau souterraine ou les milieux aquatiques.

- Protection du patrimoine archéologique : Les sites archéologiques doivent être identifiés avant le début des travaux et, autant que possible, protégés tout au long de leur réalisation.

XI.1.2. Conditions d'utilisation des remblais :

Pour assurer une qualité optimale ainsi qu'une bonne stabilité et durabilité de la couche de remblai, les conditions suivantes doivent être respectées :

- **Retrait de la terre végétale :** La couche de terre végétale doit être retirée avant le début des travaux afin d'éviter tout affaissement futur.
- **Réalisation par couches successives :** Le remblai doit être mis en œuvre par couches successives.
- **Compactage :** Chaque couche doit être correctement compactée à l'aide d'engins adaptés, afin de garantir une densité suffisante.
- **Choix des matériaux :** Les matériaux utilisés doivent être appropriés et répondre aux critères techniques requis.
- **Pente transversale :** Une pente transversale minimale de 4 % doit être aménagée en surface des remblais pour assurer un bon écoulement des eaux pluviales et éviter toute stagnation.
- **Conformité aux normes :** Tous les travaux de terrassement doivent être exécutés conformément aux prescriptions géotechniques afin de garantir la stabilité de remblai.

XI.1.3. Conditions d'utilisation des déblais :

Pour garantir la sécurité et la qualité des travaux d'excavation, les conditions suivantes doivent être respectées :

- **Reconnaissance du sol :** Identifier les caractéristiques du terrain (nature, résistance, humidité) avant le début des travaux, qui sont identifier dans le chapitre d'étude géotechnique
- **Retrait de la couche végétale :** Préparer le terrain en enlevant la végétation en surface (décapage) avant d'entamer l'excavation.
- **Détection des réseaux enterrés :** Repérer et éviter les câbles électriques, canalisations et conduites de gaz présents dans le sol.
- **Stabilisation des talus :** Consolider les talus et parois pour prévenir tout risque d'éboulement ou de glissement de terrain.
- **Utilisation d'engins adaptés :** Choisir le matériel de terrassement approprié en fonction du type de sol et du volume à excaver.
- **Drainage :** Mettre en place un système d'évacuation des eaux pluviales et souterraines.

XI.1.4. Stabilité et Talus :

La stabilité des pentes consiste à vérifier que les talus naturels ou artificiels (remblais, déblais) ne risquent pas de glisser, de se rompre ou de s'effondrer sous l'effet des charges, de l'eau ou de la nature du sol. Une pente est considérée comme stable lorsque les forces résistantes (cohésion, frottement et poids propre favorable) l'emportent sur les forces déstabilisantes telles que le poids du massif, la pression de l'eau, les surcharges ou les effets sismiques. Cette vérification est généralement effectuée par la méthode de Bishop, et s'exprime à travers le facteur de sécurité (FS), qui doit être :

- FS $\geq$ 1.5 pour les talus en projet.
- FS $\geq$ 1,0 pour les situations sismiques.

Conformément au RPA 2024, l'accélération horizontale retenue d'après la carte de zonage sismique du territoire national est de 0,20g. Par conséquent, la stabilité contre le glissement en conditions sismiques a été évaluée en considérant une accélération verticale égale à la moitié de cette valeur, soit 0,10g.

La stabilité des pentes dépend principalement des facteurs suivants :

- Nature du sol : Les caractéristiques mécaniques et physiques du sol (cohésion c, angle de frottement φ, poids volumique γ) jouent un rôle déterminant dans la résistance du talus.
- Géométrie du talus : La hauteur et l'inclinaison de la pente influencent directement le risque de glissement.
- Présence d'eau : La nappe phréatique et les infiltrations réduisent la résistance du sol et augmentent les forces déstabilisantes.
- Surcharges : L'effet du remblai et du trafic ferroviaire a été pris en compte par l'application d'une surcharge additionnelle de 30 kPa, correspondant aux charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse monobloc.
- Conditions sismiques.

Les pentes des talus sont généralement exprimées en fractions base (V) sur hauteur (H).

Pour note nous avons pris des pentes de :

- En remblai : 3H/2V
- En déblai : 3H/2V

Remarque :
Dans notre tronçon, les hauteurs de remblais et de déblais restent faibles et ne sont pas significatives, avec une hauteur inférieure à 8 m

XI.1.5. Compactages :

Le compactage constitue une étape essentielle dans la construction des ouvrages en terre, influençant directement leur stabilité et leur durabilité. Les taux de compactage et les modules de déformation minimaux prescrits sont déterminés par la nature du sol, le type de compacteur utilisé et l'état d'humidité du matériau. L'épaisseur des couches élémentaires ainsi que l'énergie de compactage nécessaire doivent être soigneusement planifiées, et des mesures spécifiques telles que l'arrosage ou l'essorage du sol peuvent s'avérer nécessaires pour optimiser le processus. La technique de compactage est définie soit par des essais réalisés sur le terrain, soit en suivant les recommandations des documents de référence en vigueur, notamment ceux du Setra-LCPC relatifs aux terrassements. En respectant l'ensemble de ces paramètres et en appliquant les techniques appropriées, on garantit un compactage optimal, contribuant ainsi à la qualité et à la pérennité des ouvrages en terre.

XI.1.6. CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :

Les volumes de terrassement sont déterminés à partir du terrain naturel et du projet défini par le tracé en plan, le profil en long et les profils en travers.

Les cubatures ont été calculées à l'aide du logiciel COVADIS Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux ci-après, tandis que les calculs détaillés figurent en annexe.

Le tableau suivant présente les quantités de déblais et de remblais prévues dans le cadre de notre projet.

Tableau XI-1 : Volumes des terrassements

Terrassement	Volume (m^3)
Remblais	206 611.1
Déblais	463 739.1
Décapage	77301.6
Ballast	68035.2
Sous-Ballast	29233
Couche de fondation	29233
Couche de forme	113417.1

XI.2. Ouvrages d'art :

Les ouvrages d'art sont des structures de génie civil indispensables à la réalisation de tout projet ferroviaire. Ils permettent de franchir les obstacles naturels ou artificiels qui se trouvent sur le tracé, tels que les rivières, les vallées, les routes ou les infrastructures existantes, tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne.

Pour concevoir un tracé répondant aux exigences techniques et économiques, le trace doit être dotée d'ouvrages adaptés, notamment des ponts rail, des ponts routiers, des passages inférieurs et des ouvrages hydrauliques. Le choix du type d'ouvrage est déterminé par deux catégories de contraintes : les données naturelles, et les exigences techniques.

XI.2.1. Influence sur le choix du type de l'ouvrage :

Le choix du type d'ouvrage est influencé par deux grandes catégories de contraintes :

- **Données naturelles :** Elles concernent l'écoulement des eaux, la nature du sol et les autres caractéristiques environnementales du site, qui conditionnent directement la stabilité, la durabilité et la résistance de l'ouvrage.
- **Exigences techniques :** Elles regroupent des critères tels que la portée, le programme de charge et le gabarit, indispensables pour garantir la fonctionnalité et la sécurité de la structure.

Par ailleurs, plusieurs contraintes dimensionnelles et fonctionnelles doivent être prises en compte :

- **La nature de l'obstacle à franchir**, qui conditionne la forme et la configuration de la structure.
- **Le programme de charge**, définissant les charges que l'ouvrage devra être en mesure de supporter.
- **Le gabarit**, correspondant aux dimensions maximales autorisées pour assurer la compatibilité avec les autres infrastructures.
- **L'intégration architecturale**, afin d'assurer une harmonie visuelle et culturelle avec le paysage environnant.

XI.2.2. Les ouvrages dans notre projet :

1.Ponts rails :

Dans le cadre du projet de dédoublement de la ligne minière, le tronçon concerné s'étend du PK 61+000 au PK 75+000. Sur ce tronçon, quatre ponts rail à voie unique, appartenant à l'ancienne infrastructure, ont été recensés le long du tracé.

Ces ouvrages, conçus pour des charges moins importantes que celles exigées par le nouveau projet, sont considérés comme anciens et dégradés et probablement en fin de vie, ce qui les rend inadaptés aux exigences techniques et aux charges du nouveau tracé. Il est donc recommandé de procéder à leur remplacement par de nouveaux ouvrages à double voie, intégrant l'ensemble des exigences techniques requises. Les ouvrages concernés par ce remplacement sont situés aux positions kilométriques suivantes :

Tableau XI-2 : les ouvrages à franchir

PK	Type de tablier	Nbr de voies	Portée	Nbr de travées	Fondation
63+175	Remplacement par un ouvrage d'art (OA)	2	27.50 ml	03	Fondation superficielle sous réserve d'un complément d'étude géotechnique
69+475	Tablier poste tension	2	25,00 ml	02	Fondation superficielle sous réserve d'un complément d'étude géotechnique
73+550	Tablier poste tension	2	33,40 ml	01	Fondation superficielle sous réserve d'un complément d'étude géotechnique
74+400	Tablier métallique	2	45,00 ml	01	Fondation superficielle sous réserve d'un complément d'étude géotechnique

2. Croisement routes- rails :

L'étude du tracé prévoit le croisement d'un ouvrage d'art (pont route) au PK 70+868 sur la route RN16. Les caractéristiques de cet ouvrage existant sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau XI-3 : Caractéristiques du passage supérieur existant

PK	Type d'ouvrage	Nombre de travée	Ouverture (m)	Gabarit vertical (m)	Gabarit horizontal (m)
70+868	PS en béton	1	19,20	6,70	10,00

D'après ce tableau, l'ouvrage permet le passage du gabarit ferroviaire GC ainsi que du gabarit vertical caténaire.

PLATE FORME A DOUBLE VOIE
(Pont poutre)

Echelle: 1/100

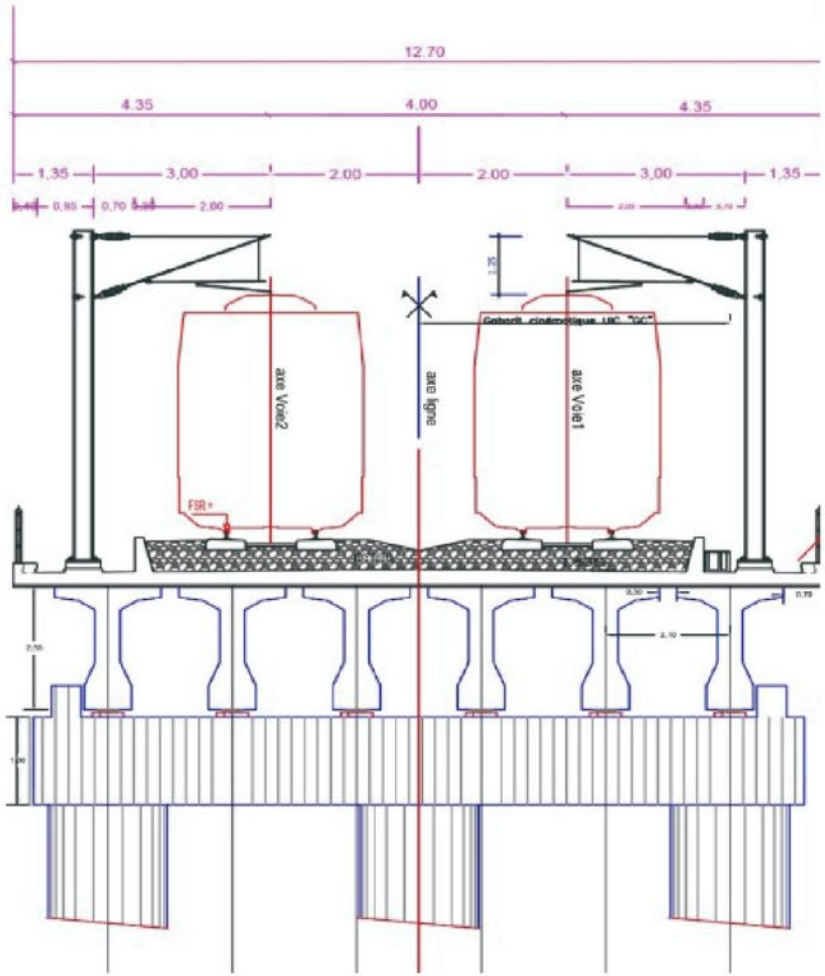
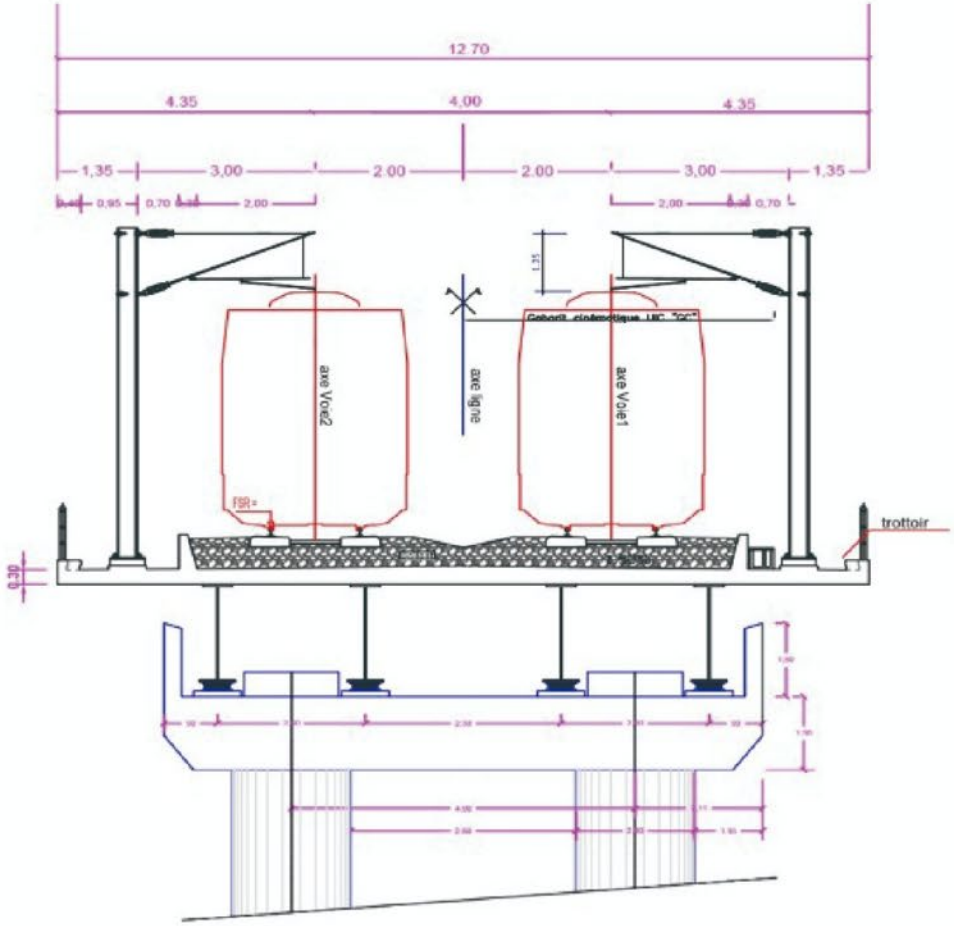


PLATE FORME A DOUBLE VOIE
(Pont mixte)

Echelle: 1/100



ENSTP	Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba - 16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E -mail : enstp@enstp.edu.dz	**PROJET DE FIN D'ETUDE**	**Réalise par**	**Encadré par**	**Echelle**	**Planche**	**Année**
		Dédoublement et renouvellement de la ligne minière est section 2 : drea -oued el keberit tronçon du PK61+00 au PK 75+000 avec conception de la gare de OUED –DAMOUS	Djedjig Rafik Boukakra Brahim Elkhalil	GHAFFAR Karam FEDGHOUCHE Farhat	1:100	Profils en travers types des ouvrages d'art	-2025-2026-

CHAPITRE X : SIGNALISATION FERROVIAIRE

CHAPITRE X : SIGNALISATION FERROVIAIRE

La signalisation ferroviaire constitue un élément fondamental de la sécurité et de la gestion du trafic au sein des réseaux ferroviaires. Véritable interface entre les infrastructures fixes (voies, aiguillages, ouvrages d'art) et les matériels roulants, elle transmet les informations et les ordres indispensables à une circulation fluide et sans risque. Reposant sur un ensemble de repères visuels (feux colorés, panneaux lumineux, tableaux et pancartes), aujourd'hui exclusivement lumineux sur les lignes classiques, elle est coordonnée en temps réel depuis les postes d'aiguillage répartis sur le réseau, garantissant ainsi une exploitation sécurisée et ordonnée du trafic.

Dans ce contexte, l'Algérie, dont le réseau ferroviaire connaît une extension progressive, accorde une attention croissante à la signalisation comme levier essentiel pour renforcer la sécurité, prévenir les accidents et optimiser l'efficacité du transport ferroviaire. La présente section se propose d'examiner les principes fondamentaux de la signalisation ferroviaire, en détaillant les différents types de signaux utilisés ainsi que les mécanismes de contrôle qui leur sont associés, dans un contexte où sécurité et fluidité de la circulation demeurent des priorités absolues.

X.1. Objectifs et rôle de la signalisation :

La signalisation ferroviaire constitue une convention partagée entre les exploitants, les mainteneurs de l'infrastructure et les conducteurs. Elle leur permet de communiquer entre eux au moyen d'indications normalisées, afin d'assurer en toute sécurité la circulation des trains, la protection des agents et la fluidité du trafic.

Parmi les fonctions essentielles de la signalisation ferroviaire :

1. Maîtriser le volume du trafic ferroviaire Réguler le nombre de trains en circulation afin d'éviter les conflits et d'assurer une fluidité optimale sur l'ensemble du réseau.

2. Informer les conducteurs des dangers Alerter les agents de conduite sur les risques présents sur la voie ferrée et leur fournir les moyens de réduire les risques d'accidents et de déraillements.

3. Réguler la circulation bidirectionnelle Organiser et sécuriser la circulation des trains dans les deux sens sur une même voie, notamment sur les tronçons à voie unique, afin d'éviter tout risque de nez-à-nez.

4. Commander les itinéraires Guider les trains sur leurs trajets, orienter les mouvements en gare et aux bifurcations pour que chaque train atteigne sa destination en toute sécurité.

5. Maintenir un espacement sécurisé entre les trains Garantir des distances suffisantes entre les circulations successives pour éviter les rattrapages et les collisions par l'arrière.

6. Contrôler les vitesses Imposer des limitations de vitesse adaptées aux conditions de la voie afin de prévenir les déraillements par excès de vitesse ou de chargement.

7. Protéger les circulations en gare Sécuriser les mouvements complexes dans les gares : convergences, cisaillements, manœuvres, afin d'éviter tout conflit entre les trains.

8. Protéger les passages à niveau Signaler et sécuriser les intersections entre la voie ferrée et la route pour protéger aussi bien les usagers de la route que les trains.

9. Assurer la sécurité de toutes les personnes impliquées Garantir la protection des passagers, du personnel ferroviaire et des marchandises contre l'ensemble des dangers liés à la circulation ferroviaire.

10. Améliorer la communication Faciliter les échanges d'informations entre les trains et les centres de contrôle afin de permettre une coordination efficace et réactive des opérations.

X.2. Implantation longitudinale :

Pour qu'un mécanicien puisse réagir à temps, les signaux ne sont pas placés au point exact du danger, mais en amont, à des distances calculées. On parle d'implantation longitudinale : le positionnement des signaux le long de la voie en fonction de critères physiques précis.

- **Les deux distances déterminantes :**

La distance de ralentissement est l'espace nécessaire pour qu'un train, roulant à sa vitesse maximale autorisée, réduise suffisamment son allure après avoir vu le signal d'annonce. Elle dépend directement de la vitesse d'approche et des performances de freinage du matériel roulant.

La distance d'arrêt est l'espace nécessaire pour un arrêt complet depuis le signal d'exécution jusqu'à la zone protégée. Elle est calculée en tenant compte du profil de la voie, notamment des pentes, qui accélèrent ou ralentissent naturellement le train et modifient l'efficacité du freinage.

Le couple annonce / exécution Ces deux distances définissent le placement du couple de signaux : le signal d'annonce est positionné suffisamment tôt pour que le conducteur ait le temps de ralentir, et le signal d'exécution est placé à la distance d'arrêt du point à protéger. C'est cette logique qui garantit que les indications ferroviaires sont toujours communiquées de manière claire et suffisamment anticipée.

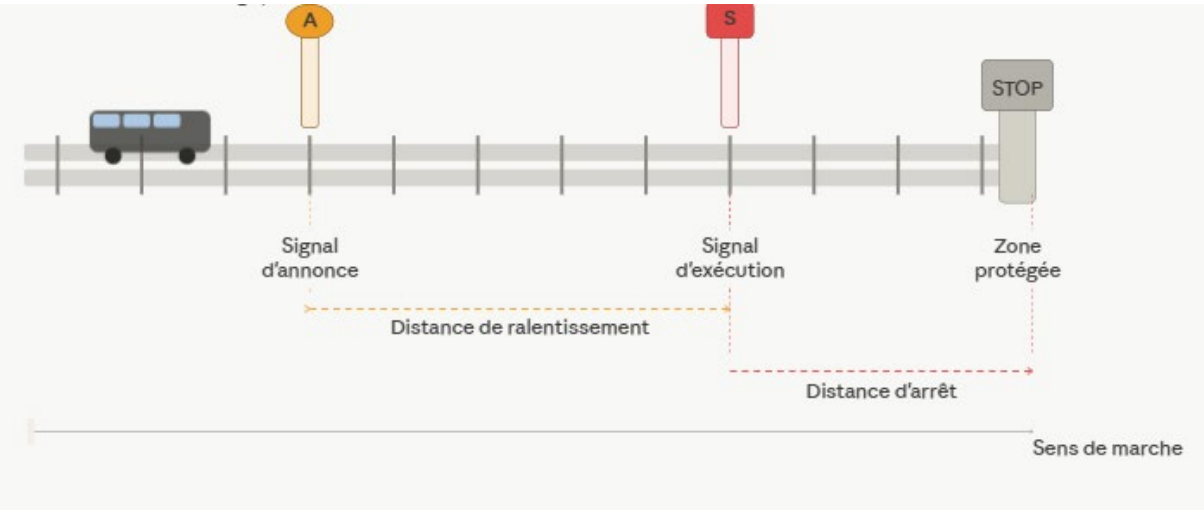
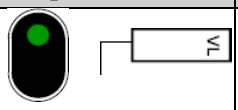
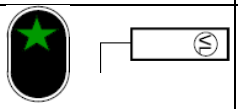
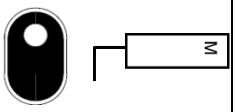
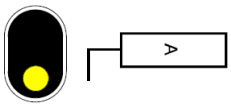
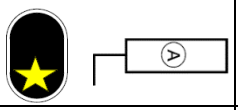
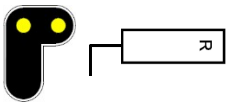
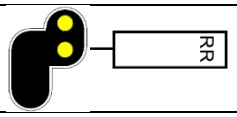
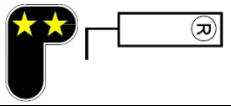
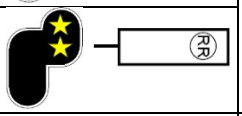
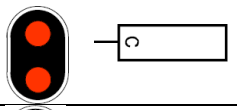
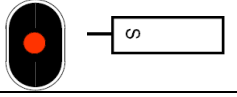
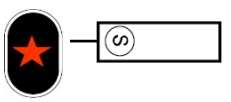


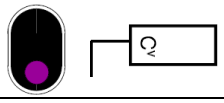
Figure X-1 : implantation longitudinale

X.3. Les signaux ferroviaires :

Pour notre projet ligne minier est on adopte les signaux ci-dessous :

Tableau X-1 : Signalisation ferroviaire

Nom du signal	Représentation	Signification
Feu vert		Le feu vert indique au mécanicien que la marche normale est autorisée si rien ne s'y oppose.
Feu vert clignotant		Il commande au mécanicien d'un train à vitesse plus de 160 km/h de réduire sa vitesse.
Feu blanc		Il commande ou confirme au mécanicien l'observation de ta marche en manœuvre
Feu blanc clignotant		Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train.
Avertissement / feu jaune		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 jaune clignotant		Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant.
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.
Rappel 30		
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 60		
Carré (2)		Le carré fermé commande au mécanicien l'arrêt avant te 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.

Carré violet		Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant te signal.

X.4. Cantonnement ferroviaire

Le cantonnement ferroviaire est un système de sécurité et de gestion du trafic permettant d'assurer l'espacement des trains sur une ligne ferroviaire. La voie est divisée en plusieurs sections successives appelées cantons, chacune étant protégée par une signalisation spécifique.

X.4.1. Principe de fonctionnement

- Un seul train est autorisé à circuler dans un canton à la fois ;
- Lorsqu'un train occupe un canton, les essieux provoquent un court-circuit entre les rails
- Cette occupation est détectée automatiquement par le système ;
- Le signal placé à l'entrée du canton passe alors au rouge afin d'interdire l'accès à un autre train ;
- Une fois le train engagé dans le canton suivant, le signal se libère et autorise le passage du train suivant.

X.4.2. Rôle du cantonnement

Le système de cantonnement permet :

- Éviter les risques de rattrapage et de collision ;
- Assurer un espacement réglementaire entre les trains ;
- Garantir la sécurité des circulations ferroviaires ;
- D'assurer une exploitation fluide et coordonnée du trafic ferroviaire.

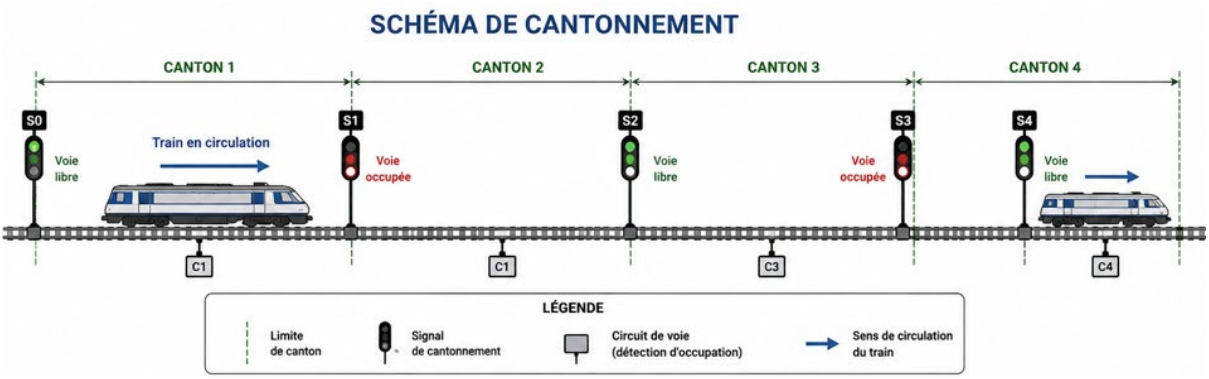


Figure X-2 : schéma de cantonnement

X.5.Types de blocs :

Les systèmes de block divisent la voie en cantons (sections protégées par des signaux d'arrêt) afin d'empêcher qu'un second train n'entre dans une section déjà occupée. Trois types de block sont utilisés selon le niveau de trafic et les caractéristiques de la ligne.

X.5.1. Block Manuel (BM) :

Système de signalisation à commande entièrement humaine, utilisé sur les lignes à faible trafic, ses Caractéristiques :

- Le signal de bloc est ouvert manuellement par un agent pour autoriser l'entrée dans le canton.
- La coordination se fait entre les postes d'aiguillage par échange d'informations manuel.
- Les cantons sont longs, ce qui limite le nombre de trains pouvant circuler simultanément.
- Le personnel requis est élevé, car le système repose entièrement sur la vigilance des opérateurs.
- Le coût d'installation est faible, le système étant simple et peu équipé.

  - Avantage : simple, peu coûteux et facile à entretenir.
  - Inconvénient : capacité limitée et fort risque d'erreur humaine

X.5.2. Block Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR) :

Système semi-automatique adapté aux lignes à trafic moyen et aux lignes secondaires, ses Caractéristiques :

- Repose sur des circuits de voie qui détectent automatiquement la présence des trains.
- Des signaux automatiques sont placés en entrée de chaque canton.
- Le signal d'avertissement est positionné à environ 1 500 m du sémaphore.
- Les cantons sont de longueur intermédiaire, plus longs que ceux du BAL.
- Nécessite moins de signaux que le BAL et moins de personnel que le BM.
- Le coût d'installation est moyen, ce qui en fait une solution économiquement équilibrée.

  - Avantages : réduction des erreurs humaines, coût raisonnable.
  - Inconvénient : capacité insuffisante en cas de trafic dense.

X.5.3. Block Automatique Lumineux (BAL) :

Définition : Système entièrement automatique à signaux lumineux, utilisé sur les lignes à fort trafic.

Caractéristiques :

- La voie est divisée en cantons courts, chacun équipé d'un signal lumineux automatique.
- La gestion des signaux est entièrement automatique, sans intervention humaine.
- Les signaux réagissent en temps réel à la position des trains et aux conditions de circulation.
- La réduction de la longueur des cantons permet de rapprocher les trains et d'augmenter la capacité de la ligne.
- Le personnel requis est minimal grâce à l'automatisation complète.

- Le coût d'installation est élevé en raison du très grand nombre de signaux à installer et à entretenir.

  - Avantages : haute capacité, grande souplesse d'exploitation, espacement réduit entre les trains.
  - Inconvénient : coût élevé et maintenance complexe.

X.6. Système de signalisation ERTMS :

L'ERTMS (European Rail Traffic Management System) est le système européen de gestion de la circulation ferroviaire. Il vise à améliorer la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire en harmonisant les systèmes de signalisation et de contrôle.

X.6.1. Fonctionnement général :

- Les trains sont équipés de systèmes embarqués qui communiquent avec les balises au sol et le centre de contrôle.
- Les signaux latéraux traditionnels sont remplacés par des informations transmises directement en cabine du conducteur.
- Les données relatives à la position, à la vitesse et aux autorisations de mouvement sont envoyées en temps réel.
- En cas de non-respect des limitations de vitesse ou de franchissement d'un signal d'arrêt, un freinage d'urgence automatique est déclenché.

X.6.2. Composantes principales :

L'ERTMS se compose de deux systèmes fondamentaux :

1. ETCS — European Train Control System : Système de contrôle et de commande des trains. Il gère les autorisations de mouvement et le contrôle des vitesses. Il se décline en trois niveaux.

2. GSM-R — Global System for Mobiles Railways : Système de communication radio dédié au ferroviaire. Il assure la transmission des données entre les trains et le centre de contrôle.

X.6.3. Les trois niveaux ETCS :

- Niveau 1 :
  - Le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol.
  - L'autorisation est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des cantons.
  - La signalisation latérale est nécessaire.
- Niveau 2 :
  - Le train se repère à l'aide des balises au sol.
  - Il transmet sa position au centre de contrôle via le GSM-R.
  - Le centre de contrôle lui communique son autorisation de mouvement selon l'occupation des cantons.
  - L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés directement en cabine.

- La signalisation latérale est optionnelle.

➢ Niveau 3 :

- Le train se repère à l'aide des balises au sol.
- Il échange ses données avec le centre de contrôle.
- Il détermine lui-même son autorisation de mouvement en fonction de la position des autres trains.
- L'espacement est entièrement basé sur la communication radio.
- Aucune signalisation latérale ni signalisation en cabine additionnelle n'est envisagée.

X.6.4. Application sur notre projet :

Le dédoublement de la ligne ferroviaire, associé à l'utilisation du système de signalisation BAL et de l'ERTMS, permet d'améliorer considérablement la sécurité, la capacité et l'efficacité de l'exploitation ferroviaire.

Le système BAL assure une signalisation locale à travers des indications lumineuses destinées aux conducteurs de trains, permettant de gérer l'espacement entre les circulations et de sécuriser les déplacements sur la ligne.

En complément, l'ERTMS garantit une supervision et un contrôle global du réseau ferroviaire grâce à une gestion centralisée du trafic. Ce système fournit des informations en temps réel aux conducteurs et permet une régulation plus précise des circulations ferroviaires.

L'association du BAL et de l'ERTMS dans notre projet contribue ainsi à :

- Renforcer la sécurité des circulations ferroviaires ;
- Améliorer la fluidité du trafic sur la ligne ;
- Optimiser la gestion des trains et des vitesses de circulation ;
- Augmenter la capacité de la ligne grâce à une meilleure coordination des mouvements ferroviaires.

CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.1. Délimitation de la zone d'étude

La zone d'influence environnementale du projet est subdivisée en deux composantes principales, à savoir une zone d'impact direct, correspondant aux effets biophysiques immédiats, et une zone d'influence indirecte ou diffuse, relative aux impacts socio-économiques.

La zone d'impact direct est définie comme l'emprise spatiale susceptible de subir directement les perturbations environnementales liées aux travaux de réhabilitation ou d'amélioration de la voie ferrée. Elle s'étend sur une largeur d'environ 50 mètres de part et d'autre de l'axe ferroviaire.

Toutefois, en milieu urbain, cette zone intègre une bande de sécurité spécifique dans laquelle les activités humaines sont fortement limitées ou inexistantes. Cette bande est fixée à 25 mètres de part et d'autre de l'axe des rails.

Cette zone d'impact direct constitue l'espace où les ressources naturelles sont les plus susceptibles d'être affectées par les travaux, notamment en raison de la présence des installations de chantier telles que les zones de stockage des matériaux, les aires de stationnement des engins et leurs environs immédiats, qui représentent des sources potentielles de perturbations environnementales.

XI.2. Cadre législatif et réglementaire

Afin d'assurer une mise en œuvre du projet respectueuse de l'environnement, celui-ci doit se conformer à l'ensemble des lois et règlements algériens relatifs à la protection de l'environnement. L'Algérie accorde une importance particulière à la préservation des écosystèmes ainsi qu'à l'intégration des principes du développement durable dans ses politiques sectorielles.

Dans ce cadre, plusieurs dispositions juridiques essentielles doivent être prises en considération. Le tableau ci-après présente les principales références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire.

XI.3. Références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire :

Domaine : 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.

Domaine : 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.

Domaine : Patrimoine culturel et sites archéologiques

- Loi n° 98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

Domaine : 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 fixant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement

XI.4. Description du Site :

Le tracé ferroviaire entre Dréa et Oued El Kéberit traverse des formations sédimentaires du Crétacé supérieur, composées principalement de calcaires, marno-calcaires et marnes. Cette diversité géologique engendre des caractéristiques géotechniques variables le long du tracé. Le projet nécessite également une attention particulière à la préservation des sols et à la réduction des impacts sur le milieu naturel et les zones agricoles traversées.

XI.5. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude :

XI.5.1. Ressources physiques

- **Relief :** La zone d'étude se caractérise par un relief accidenté et des variations altimétriques marquées, constituant une contrainte importante pour l'aménagement ferroviaire. La conception du tracé nécessite ainsi l'intégration de terrassements adaptés et d'ouvrages de franchissement afin de garantir la fonctionnalité et la sécurité de l'infrastructure.
- **Climat :** La région de Souk Ahras présente un climat méditerranéen à tendance semi-aride, caractérisé par des étés chauds et secs ainsi que des hivers frais et relativement pluvieux. Ces conditions climatiques influencent la conception et l'exploitation des infrastructures ferroviaires, notamment en matière de gestion des eaux pluviales
- **Géologie :** Les formations géologiques de la zone sont principalement constituées de calcaires, marno-calcaires et marnes argileuses d'âges Cénomanien à Campanien.
- **Réseau hydrographique :** Eaux superficielles : cours d'eau et oueds.

XI.5.2. Ressources Biologiques

- **Flore :** La région présente une couverture végétale variée, principalement constituée d'espèces herbacées caractéristiques telles que l'alfa, l'armoise et le sparte, accompagnées de diverses plantes adaptées aux conditions des zones montagneuses.
- **Faune :** La région abrite une faune diversifiée composée de nombreuses espèces de mammifères, de reptiles et d'oiseaux, parmi lesquelles figurent certaines espèces bénéficiant d'un statut de protection.

XI.5.3 Ressources Humaines

- **Activités économiques** L'activité agricole de la région repose sur la culture de diverses spéculations, notamment les céréales, les cultures fourragères, le maraîchage et l'oléiculture, associées à l'élevage, qui participe à la production de viande blanche.
- **Les infrastructures de base existantes :**
  - Réseau de transport : la région est desservie par un réseau routier reliant les principales agglomérations et infrastructures.
  - Ligne ferroviaire Souk Ahras–Annaba : axe de transport assurant la circulation des voyageurs et des marchandises entre les deux wilayas.

X.6. L'impact du projet :

X.6.1. Les effets bénéfiques :

Ces impacts apparaissent sous des formes directes et indirectes, en particulier à travers :

- **Direct :**
  - Améliorer la capacité de la ligne minière Est.
  - Créer de nouvelles opportunités d'emploi.
  - Augmenter la vitesse de circulation sur la ligne et réduire les temps de trajet.
- **Indirect :**
  - La suppression du transport routier des minerais, entraînant une réduction des coûts d'entretien des infrastructures routières**.**
  - La diminution du trafic routier, permettant de limiter la pollution atmosphérique et les risques d'accidents.
  - Une meilleure optimisation de la gestion des ressources locales afin d'améliorer l'efficacité globale.

XI.7. Impacts négatifs et mesures d'atténuation proposées

Les impacts négatifs correspondent aux effets défavorables susceptibles d'être engendrés par la réalisation et l'exploitation d'un projet. Ces effets peuvent affecter différents compartiments de l'environnement, notamment les sols, les ressources en eau, la qualité de l'air, la biodiversité ainsi que le cadre de vie des populations. Afin de limiter ces répercussions, des mesures d'atténuation appropriées doivent être mises en œuvre à chaque étape du projet.

XI.7.1. Sols :

Le projet peut entraîner une réduction des surfaces agricoles ainsi qu'une dégradation de la qualité des sols. Les travaux de construction sont également susceptibles de provoquer un compactage du sol, réduisant ainsi sa perméabilité et sa capacité d'infiltration des eaux. Pour atténuer ces impacts, il est recommandé d'assurer une gestion rigoureuse des déchets solides et des effluents, tout en mettant en place des mesures de stabilisation des sols afin de limiter les phénomènes d'érosion.

XI.7.2. Eaux superficielles et souterraines :

Les activités du chantier peuvent engendrer une pollution des eaux par le ruissellement de substances polluantes et perturber les nappes phréatiques ainsi que les ressources en eau locales. Les mesures d'atténuation consistent à réduire les émissions de poussières par un arrosage régulier des zones de travaux, à éviter l'utilisation ou le stockage de produits chimiques à proximité des zones sensibles et à préserver les milieux aquatiques environnants.

XI.7.3. Qualité de l'air :

Les travaux et l'exploitation ferroviaire peuvent générer des émissions de poussières et d'autres polluants atmosphériques susceptibles d'affecter la santé des populations, la sécurité et la qualité paysagère. Des nuisances sonores peuvent également être observées. Pour limiter ces effets, il est nécessaire d'optimiser l'organisation du chantier et de privilégier l'utilisation de matériaux et d'équipements à faible impact environnemental.

XI.7.4. Flore :

Le décapage des sols et les activités de chantier peuvent entraîner la disparition de la couverture végétale et la dégradation de certaines espèces floristiques. Afin de compenser ces pertes, il est recommandé de restaurer les zones affectées par des opérations de revégétalisation utilisant des espèces végétales locales adaptées aux conditions du milieu.

XI.7.5. Faune :

La suppression de certains habitats naturels, tels que les prairies et les zones humides, peut perturber les écosystèmes et affecter diverses espèces animales. Par ailleurs, le bruit et les vibrations générés par la circulation des trains peuvent modifier les comportements naturels de la faune. Les mesures d'atténuation préconisées incluent la sensibilisation des populations à la protection de la biodiversité ainsi que la réduction de la vitesse des trains lors de la traversée des zones écologiquement sensibles.

XI.7.6. Milieu humain :

Le projet peut engendrer des nuisances sonores affectant le confort et la qualité de vie des riverains. Les activités de chantier peuvent également accroître les risques d'accidents pour les travailleurs et les usagers. Il est donc recommandé d'aménager des passages sécurisés pour les piétons et les véhicules, d'installer des dispositifs antibruit à proximité des zones habitées et de limiter l'accès au chantier aux seules personnes autorisées.

XI.7.7. Milieux agricoles :

La réalisation des infrastructures ferroviaires peut réduire les superficies agricoles exploitables. Afin de préserver les terres à forte valeur agronomique, il est conseillé d'éviter, dans la mesure du possible, les zones agricoles les plus productives lors du choix du tracé et de l'implantation des ouvrages

XI.8. Conclusion :

L'étude d'impact sur l'environnement réalisée dans le cadre du projet de dédoublement et de renouvellement de la ligne minière Est entre Dréa et Oued El Kébérit, incluant la conception de la gare d'Oued-Damous, a permis d'identifier et d'évaluer les principaux effets susceptibles d'être engendrés sur les milieux physique, biologique et humain.
L'analyse a montré que ce projet présente des retombées positives significatives, notamment l'amélioration de la capacité de transport ferroviaire, la réduction des coûts liés au transport routier des minerais, la création d'emplois ainsi que la diminution des nuisances associées au trafic routier. Ces bénéfices contribuent au développement économique de la région et au renforcement des infrastructures de transport.

Toutefois, certaines incidences négatives peuvent survenir durant les phases de réalisation et d'exploitation, notamment sur les sols, les ressources en eau, la qualité de l'air, la biodiversité, les activités agricoles et le cadre de vie des populations riveraines. Afin de limiter ces impacts, plusieurs mesures d'atténuation ont été proposées, portant notamment sur la gestion environnementale du chantier, la protection des ressources naturelles, la préservation de la faune et de la flore ainsi que la sécurisation des zones habitées.

CHAPITRE XI : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	DESIGNATIONS	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
1	**INSTALLATIONS GENERALES**				
1.01	Amenée du matériel et installation générale de chantier	F	1.00	1794948719	1794948719
1.02	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1.00	229712273.4	229712273.4
1.03	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	148 584 722	148584722.9
1.04	Repli du laboratoire de chantier	F	1.00	47 935 361.27	47935361.27
1.05	Etude d'exécution	F	1.00	363993280	363993280
TOTAL 1					2221181076
2	**TERRASSEMENTS GENERAUX**				
2.01	Décapage des terres végétale	M3	77301.6	455.95	35245664.52
2.02	Remblai provenant des zones d'emprunt	M3	206611.1	676.2	139710425.8
2.03	Déblais en terres mise en dépôt	M3	463739.1	486.1	225423576.5
2.04	Fourniture Mise en place du Géotextile en zone inondable	M2	3000	1700	5100000
2.05	la dépose de la voie existante	ML	14000	440	6160000
TOTAL 2					411639666.9
3	**ASSISE FERROVIAIRE**				
3.01	Fourniture et pose de Ballast	M3	68035.2	6305	428961936
3.02	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de sous- ballast	M3	29233.5	3341	97669123.5
3.03	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de fondation	M3	29233.5	3341.8	97692510.3
3.04	Fourniture et mise en place du matériau pour Couche de forme	M3	113417.1	778.32	88274797.27
TOTAL3					712598367.1
4	**DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT**				

4.01	Dalots en béton armé 1 m x1.5 m	M3	826.5	117600	97196400
4.02	Dalots en béton armé 2 m x 2 m	M3	76	117600	8937600
4.03	Dalots en béton armé 2 m x 2.5 m	M3	95	117600	11172000
4.04	Dalots en béton armé 3 m x 3 m	M3	171	117600	20109600
4.05	Fossé en béton arme	ML	18 043	8000	144344000
TOTAL 4					281759600
5	**TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE**				
5.01	Fourniture des rails neufs UIC 60.	T	3379	121250	409703750
5.03	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-300-1/9	U	4	13670664	54682656
	Fourniture des appareils de voie simples UIC 500-1/12	U	3	16453603	49360809
5.05	Fourniture et Pose de garage franc	U	2	40891.56	81783.12
5.00	Travers Bi-bloc	U	8245	667	5499415
5.06	Traverses monobloc	U	46648	10185	475109880
5.07	Soudage aluminothermique et Soudage électrique	U	1120	18915	21184800
5.09	Attache pour Rail UIC 60 types nabla	U	93296	1200	111955200
5.10	Heurtoir	U	1.00	936686.56	936686.56
TOTAL 5					1029624725
6	**BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR**				
6.01	Réalisation du bâtiment voyageurs de la gare oued Damous	M2	500.00	50000	25000000
6.02	Réalisations des Quai	M2	2700.00	56317.2	152056440
6.03	Travaux d`aménagement extérieur de la gare oued Damous	M2	40000.00	5367	214680000
6.04	Abris de quai	M2	1200.00	37121.29	44545548
TOTAL 6					436281988
7	**Les ouvrages d`art**				

7.01	Pont rail a double voies	U	4.00	20000000	20000000
7.02	Démolition des ouvrages d'art	U	4.00	10000000	10000000
TOTAL 7					30000000
Total en HT (DA)					5 123 085 423.00
MONTANT TVA (DA)					973 386 230.37
MONTANT TOTAL EN TTC (DA)					6 096 471 653.37

Montant Total en TTC (DA) :

Six milliards quatre-vingt-seize millions quatre cent soixante-et-onze mille six cent cinquante-trois dinars algériens et trente-sept centimes

CONCLUSION

Au terme de ce Projet de Fin d'Études, nous avons réalisé une étude du dédoublement et du renouvellement de la ligne ferroviaire minière Est sur le tronçon Oued Damous – Oued El Kébérit (PK 61+000 au PK 75+000). Cette étude a permis de proposer des solutions techniques adaptées aux contraintes du terrain et aux exigences de l'exploitation ferroviaire, conformément aux normes en vigueur.

Le projet contribuera à l'amélioration de la capacité et des conditions d'exploitation de la ligne, au renforcement de la sécurité du trafic ferroviaire ainsi qu'au développement économique de la région à travers une meilleure valorisation des ressources minières.

Enfin, ce travail a constitué une expérience enrichissante qui nous a permis de consolider nos connaissances en ingénierie ferroviaire et de mettre en pratique les compétences acquises au cours de notre formation. Nous espérons que cette étude apportera une contribution utile aux efforts de modernisation et de développement du réseau ferroviaire algérien.

Bibliographie

[1] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.

[2] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.

[3] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

[4] SETERAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

[5] SETERAIL « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[6] METEOBLUE, WILAYA Souk Ahres

[7] Cours Mr.Morsli

[8] SETRA, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.

[9] SNTF, Appareils de vois.

[10] ST N°590 B-Oct 95.

[11] IN 260, Dimensionnement des structures d'assise pour la construction et la réfection des voies ferrées.

[12] IN 0272, Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h.

[13] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

[14] CDHA : naissance du réseau ferre en Algérie - lignes principales

[15] Cours Mr.Gheffar

[16] ST590B

[17] SNTF, ouvrage en terre.

ANNEXE

Annexe étude géométrique

Axe En Plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	216.86gr	663.054	61+000.000	394671.902	3986286.541
Clothoïde 1	Paramètre	219.089	60.000	61+663.054	394498.389	3985646.593
Arc 1	Rayon	800.000 m	602.244	61+723.054	394483.413	3985588.496
	Centre X	395262.841 m				
	Centre Y	3985408.240 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-219.089	60.000	62+325.298	394570.796	3985006.900
Droite 2	Gisement	164.16gr	181.668	62+385.298	394602.183	3984955.769
Clothoïde 3	Paramètre	-213.307	65.000	62+566.966	394699.149	3984802.143
Arc 2	Rayon	-700.000 m	268.257	62+631.966	394732.985	3984746.651
	Centre X	394124.334 m				
	Centre Y	3984400.900 m				
Clothoïde 4	Paramètre	213.307	65.000	62+900.223	394818.117	3984493.989
Droite 3	Gisement	194.46gr	88.878	62+965.223	394824.762	3984429.336
Clothoïde 5	Paramètre	223.607	50.000	63+054.101	394832.481	3984340.794
Arc 3	Rayon	1000.000 m	540.914	63+104.101	394837.238	3984291.022
	Centre X	395830.978 m				
	Centre Y	3984402.740 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-223.607	50.000	63+645.015	395036.631	3983795.275
Droite 4	Gisement	156.85gr	465.010	63+695.015	395067.662	3983756.070
Clothoïde 7	Paramètre	-223.607	50.000	64+160.025	395359.284	3983393.868
Arc 4	Rayon	-1000.000 m	366.246	64+210.025	395390.314	3983354.664
	Centre X	394595.968 m				
	Centre Y	3982747.199 m				
Clothoïde 8	Paramètre	223.607	50.000	64+576.271	395555.173	3983029.910
Droite 5	Gisement	183.34gr	688.769	64+626.271	395568.507	3982981.722
Clothoïde 9	Paramètre	-219.089	60.000	65+315.040	395746.653	3982316.390
Arc 5	Rayon	-800.000 m	437.747	65+375.040	395761.446	3982258.246
	Centre X	394981.453 m				
	Centre Y	3982080.447 m				
Clothoïde 10	Paramètre	219.089	60.000	65+812.787	395740.067	3981826.469
Droite 6	Gisement	222.95gr	103.629	65+872.787	395719.604	3981770.070
Clothoïde 11	Paramètre	204.939	70.000	65+976.415	395683.043	3981673.105
Arc 6	Rayon	600.000 m	339.236	66+046.415	395659.629	3981607.148
	Centre X	396232.434 m				
	Centre Y	3981428.558 m				
Clothoïde 12	Paramètre	-204.939	70.000	66+385.652	395653.091	3981272.476
Droite 7	Gisement	179.53gr	665.348	66+455.652	395673.911	3981205.655
Clothoïde 13	Paramètre	223.607	50.000	67+121.000	395884.153	3980574.398
Arc 7	Rayon	1000.000 m	86.470	67+171.000	395900.346	3980527.094
	Centre X	396840.914 m				
	Centre Y	3980866.699 m				
Clothoïde 14	Paramètre	-223.607	50.000	67+257.470	395933.190	3980447.133
Droite 8	Gisement	170.84gr	576.547	67+307.470	395954.921	3980402.104
Clothoïde 15	Paramètre	-204.939	70.000	67+884.017	396209.827	3979884.968
Arc 8	Rayon	-600.000 m	140.041	67+954.017	396239.545	3979821.601
	Centre X	395686.822 m				
	Centre Y	3979588.153 m				
Clothoïde 16	Paramètre	204.939	70.000	68+094.058	396278.552	3979687.433
Droite 9	Gisement	193.13gr	544.308	68+164.058	396287.440	3979618.010
Clothoïde 17	Paramètre	204.939	70.000	68+708.366	396346.056	3979076.868

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Arc 9	Rayon Centre X Centre Y	600.000 m 396946.674 m 3979106.726 m	429.393	68+778.366	396354.945	3979007.445
Clothoïde 18	Paramètre	-204.939	70.000	69+207.759	396565.256	3978643.562
Droite 10	Gisement	140.14gr	571.534	69+277.759	396620.973	3978601.204
Clothoïde 19	Paramètre	223.607	50.000	69+849.292	397082.593	3978264.222
Arc 10	Rayon Centre X Centre Y	1000.000 m 397692.457 m 3979057.253 m	188.500	69+899.292	397123.221	3978235.080
Clothoïde 20	Paramètre	-223.607	50.000	70+087.792	397287.368	3978142.976
Droite 11	Gisement	124.96gr	612.274	70+137.792	397333.412	3978123.487
Clothoïde 21	Paramètre	223.607	50.000	70+750.067	397899.225	3977889.532
Arc 11	Rayon Centre X Centre Y	1000.000 m 398304.476 m 3978804.193 m	201.767	70+800.067	397945.587	3977870.813
Clothoïde 22	Paramètre	-223.607	50.000	71+001.834	398139.918	3977817.826
Droite 12	Gisement	108.93gr	625.960	71+051.834	398189.366	3977810.421
Clothoïde 23	Paramètre	223.607	50.000	71+677.794	398809.174	3977722.881
Arc 12	Rayon Centre X Centre Y	1000.000 m 398973.792 m 3978709.661 m	286.397	71+727.794	398858.738	3977716.301
Clothoïde 24	Paramètre	-223.607	50.000	72+014.190	399144.045	3977724.260
Droite 13	Gisement	87.52gr	1346.341	72+064.190	399193.165	3977733.593
Clothoïde 25	Paramètre	-212.132	90.000	73+410.532	400513.706	3977995.904
Arc 13	Rayon Centre X Centre Y	-500.000 m 400655.379 m 3977513.589 m	372.473	73+500.532	400602.435	3978010.778
Clothoïde 26	Paramètre	212.132	90.000	73+873.004	400953.519	3977914.978
Droite 14	Gisement	146.40gr	75.392	73+963.004	401022.396	3977857.098
Clothoïde 27	Paramètre	212.132	90.000	74+038.396	401078.634	3977806.885
Arc 14	Rayon Centre X Centre Y	500.000 m 401445.651 m 3978150.393 m	211.927	74+128.396	401147.511	3977749.005
Clothoïde 28	Paramètre	-158.114	50.000	74+340.323	401338.975	3977661.906
Droite 15	Gisement	110.50gr	99.368	74+390.323	401388.146	3977652.873
Clothoïde 29	Paramètre	-212.132	90.000	74+489.691	401486.165	3977636.551
Arc 15	Rayon Centre X Centre Y	-500.000 m 401448.303 m 3977135.287 m	228.679	74+579.691	401574.427	3977619.118
Clothoïde 30	Paramètre	212.132	90.000	74+808.370	401775.114	3977513.697
Droite 16	Gisement	151.08gr	96.224	74+898.370	401839.554	3977450.915
				74+994.594	401906.431	3977381.730
Longueur totale de l'axe 13994.594 mètre(s)						

Profil En Long Projet

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-1.53 %	2231.888	61+000.000	742.294
Cercle 1	Rayon	8000.000 m	122.356	63+231.888	708.154
	Sommet Absc.	63+354.244 m			
	Sommet Alt.	707.218 m			
Pente 2	Pente	0.00 %	666.489	63+354.244	707.218
Cercle 2	Rayon	-5000.000 m	65.558	64+020.733	707.218
	Sommet Absc.	64+020.733 m			
	Sommet Alt.	707.218 m			
Pente 3	Pente	-1.31 %	3362.400	64+086.292	706.789
Cercle 3	Rayon	8000.000 m	38.972	67+448.692	662.698
	Sommet Absc.	67+553.585 m			
	Sommet Alt.	662.010 m			
Pente 4	Pente	-0.82 %	2008.978	67+487.664	662.282
Cercle 4	Rayon	9000.000 m	20.107	69+496.642	645.727
	Sommet Absc.	69+570.803 m			
	Sommet Alt.	645.422 m			
Pente 5	Pente	-0.60 %	4906.672	69+516.749	645.584
Cercle 5	Rayon	5000.000 m	14.645	74+423.421	616.114
	Sommet Absc.	74+453.451 m			
	Sommet Alt.	616.024 m			
Pente 6	Pente	-0.31 %	556.528	74+438.066	616.047
				74+994.594	614.335
Longueur totale de l'axe 13994.594 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 13995.313 mètre(s)					

Annexe étude géotechnique

MINISTÈRE DEL'HABITAT, DE L'URBANISMEET ET DE LA VILLE
المخبـــــر الوطنـــي للسكـــن والبنـــاء
LABORATOIRE NATIONAL DE l'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI CBR immédiat
NF P 94-078

Client : FLEISCHMANN Direction Régionale EST — N° Projet : DE-25-31

Projet : Déboulement LMF Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section Pk 62 Au Pk 76

Endroit : DREA- OUED EL KBERIT

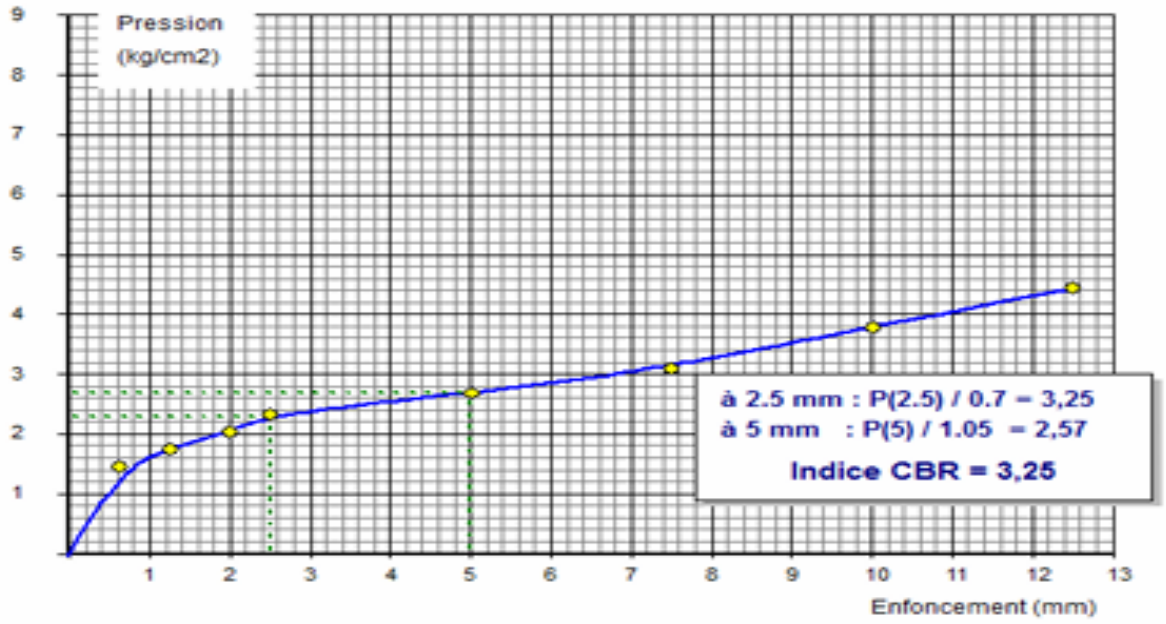
Sondage n° : PUIT 007 PK 61+100

Profondeur :

Matériaux : : 25 C/C

Provenance : Weau compactage : 1,72 %

Date essais : Densité : 22,45 t/m3



RESULTATS DE MESURES

Temps	30 s	1 mn	1mn 40s	2 mn	4 mn	6 mn	8 mn	10 mn
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50
Lecture	2,50	3,00	3,50	4,00	4,60	5,30	6,50	7,60
Pr(kg/cm2)	1,46	1,75	2,04	2,33	2,68	3,09	3,79	4,44

Coefficient de l'anneau = 11,275

Surface du piston = 19,32 cm2

Remarque :

Préparé par : Approuvé par : Date :

MINISTÈRE DEL'HABITAT, DE L'URBANISMEET ET DE LA VILLE

المخبـــــر الوطنـــي للسكـــن والبنـــاء

LABORATOIRE NATIONAL DE l'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR immédiat

NF P 94-078

Client : FLEISCHMANN Direction Régionale EST

N° Projet : DE-25-31

Projet : Déboulement LMF Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section Pk 62 Au Pk 76

Endroit : DREA- OUED EL KBERIT

Sondage n° :

Profondeur : PUIT 008 PK 62+600

Matériaux :

Provenance :

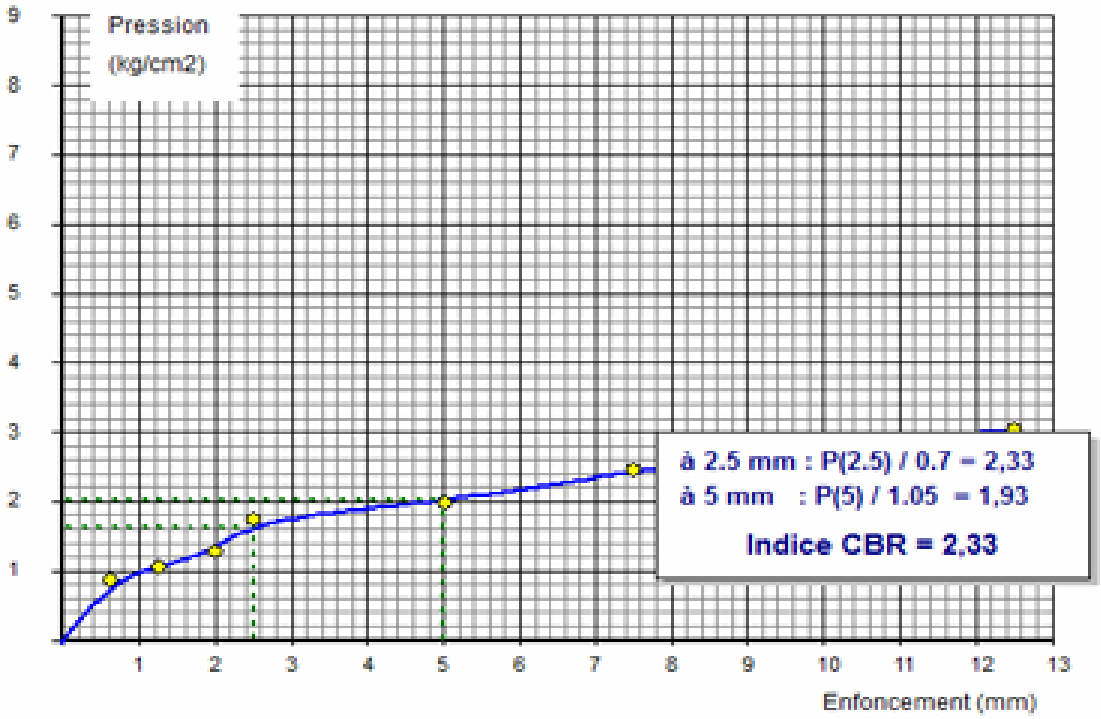
Date essais :

Immersion :

Compactage : 10 C/C

Weau compactage : 1,70 %

Densité : 21,70 t/m3



RESULTATS DE MESURES

Temps	30 s	1 mn	1mn 40s	2 mn	4 mn	6 mn	8 mn	10 mn
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50
Lecture	1,50	1,80	2,20	3,00	3,40	4,20	4,80	5,20
Pr(kg/cm2)	0,88	1,05	1,28	1,75	1,98	2,45	2,80	3,03

Coefficient de l'anneau = 11,275

Surface du piston = 19,32 cm2

Sebards 2013

Remarque :

Préparé par :

Approuvé par :

Date :

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR immédiat

NF P 94-078

Client : BET FLICHMAN **N° Projet : 68-25-4**

Projet : Dédoublement modernisation et-ou rectificationde tracé pour augmenter la capacité de la Ligne Minière est tracé

Endroit : Drea Oued Kibrit

Sondage n° : PUIT N 04 **PK 64+500**

Profondeur :

Matériaux :

Provenance :

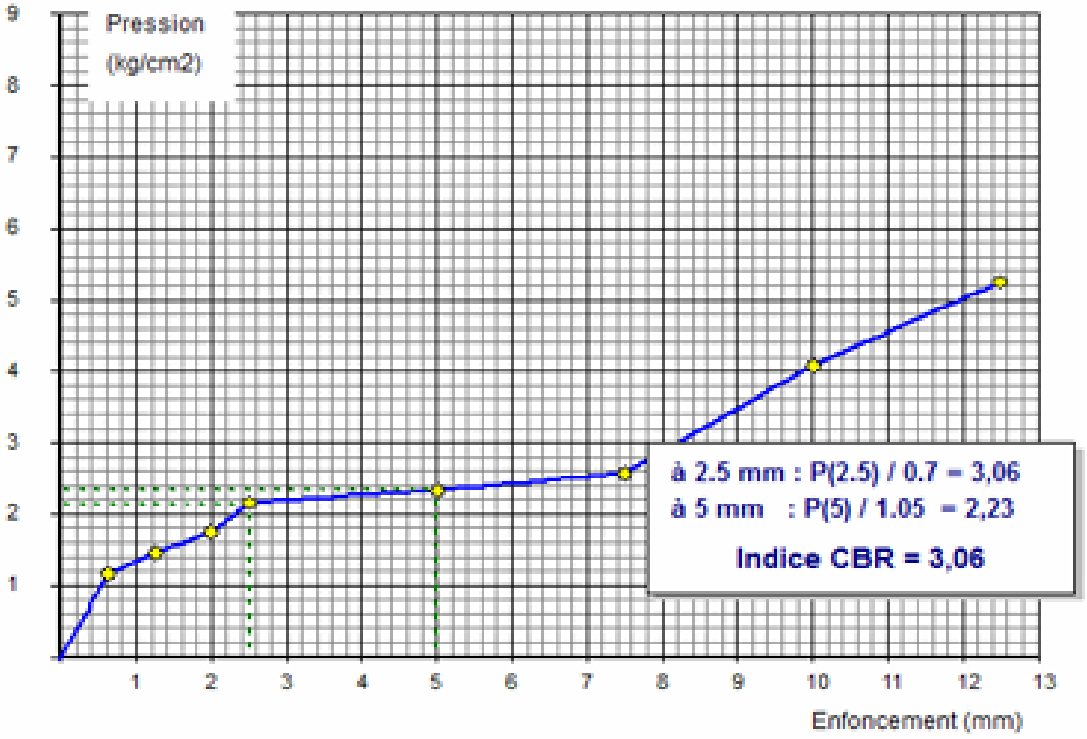
Date essais : 26/03/2025

Immersion :

Compactage : 25 C/C

Weau compactage : 17,05 %

Densité : 1,66 t/m3



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	*12,50*
Lecture	*2,00*	*2,50*	*3,00*	*3,70*	*4,00*	*4,40*	*7,00*	*9,00*
Pr(kg/cm2)	*1,17*	*1,46*	*1,75*	*2,16*	*2,33*	*2,57*	*4,09*	*5,25*

Coefficient de l'anneau = 11,275

Surface du piston = 19,32 cm2

Remarque :

Préparé par :

Approuvé par :

Date :

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR immédiat

NF P 94-078

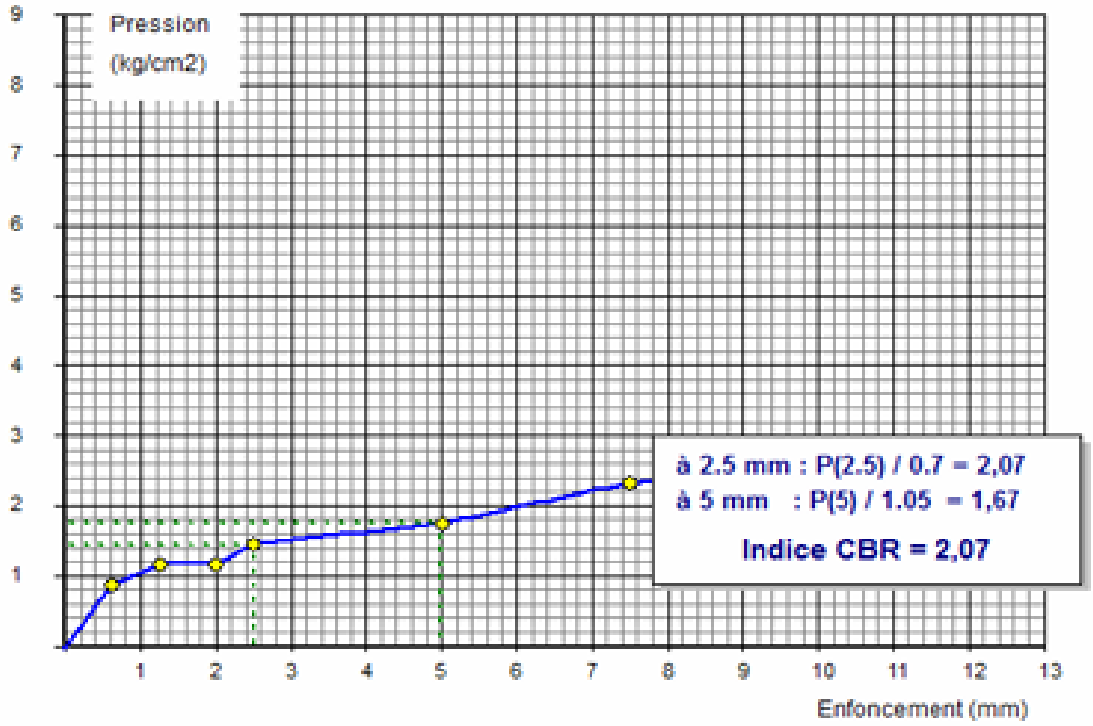
Client : BET FLICHMAN **N° Projet : 68-25-4**

Projet : Dédoublement modernisation et-ou rectificationde tracé pour augmenter la capacité de la Ligne Minière est tracé

Endroit : Drea Oued Kibrit

Sondage n° : PUIT N 05 **PK 65+325**
Profondeur :
Matériaux :
Provenance :
Date essais : 07/04/2025

Immersion :
Compactage : 25 C/C
Weau compactage : 19,96 %
Densité : 2,10 t/m3



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	*12,50*
Lecture	*1,50*	*2,00*	*2,00*	*2,50*	*3,00*	*4,00*	*4,50*	*4,50*
Pr(kg/cm2)	*0,88*	*1,17*	*1,17*	*1,46*	*1,75*	*2,33*	*2,63*	*2,63*

Coefficient de l'anneau = 11,275

Surface du piston = 19,32 cm2

Remarque :

Préparé par : Approuvé par : Date :

MINISTÈRE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION

UNITE : Oued El Kbarit

Essai de Pénétration Dynamique

Type B : NF P94 - 114

INTITULE : Déboulement Lmf Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section PK63+700

N°DOSSIER : XXX-04-16

LIEU : Dréa - Oued El Kberit

CLIENT : FLEISCHMANN

DATE ESSAIS :

Référence Essai : PDL 01 - PK 63+700

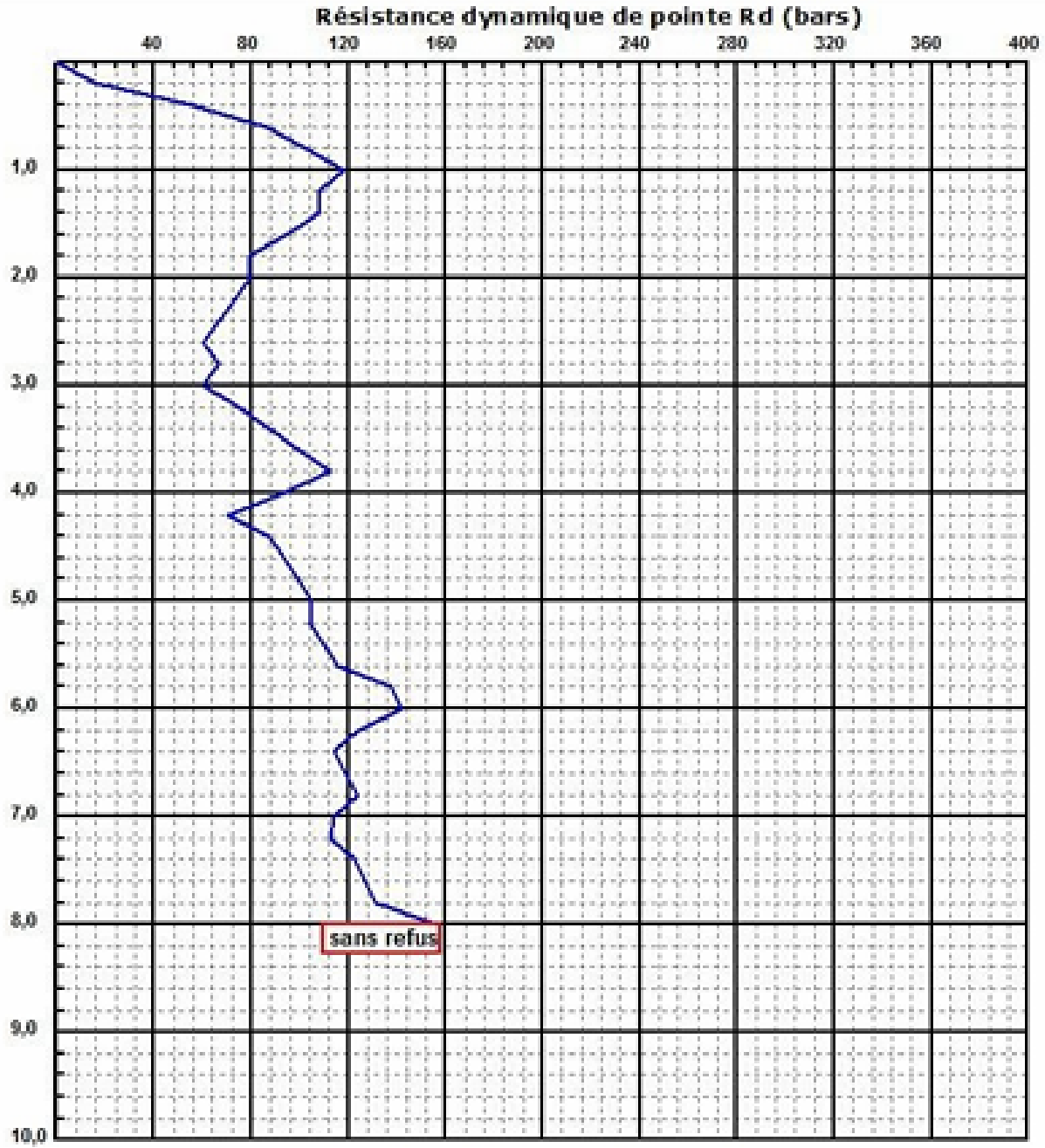
Localisation :

Coordonnées GPS :

X :

Y :

Z :



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Mouton (m') : 25 kg

Masse du Mouton (m) : 64 kg

Hauteur de chute (H) : 0.75 m

Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m

Masse d'une tige (m') : 8,5 kg

Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Battage :

$$Rd = \frac{m^2 \times H}{A \times e/N \times (m + \sum m')}$$

MINISTÈRE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

LNHC

Essai de Pénétration Dynamique

Type B : NF P94 - 114

INTITULE : Déboulement Lmf Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section PK64+700

N°DOSSIER : XXX-04-16

LIEU : Dréa - Oued El Kberit

CLIENT : FLEISCHMANN

DATE ESSAIS :

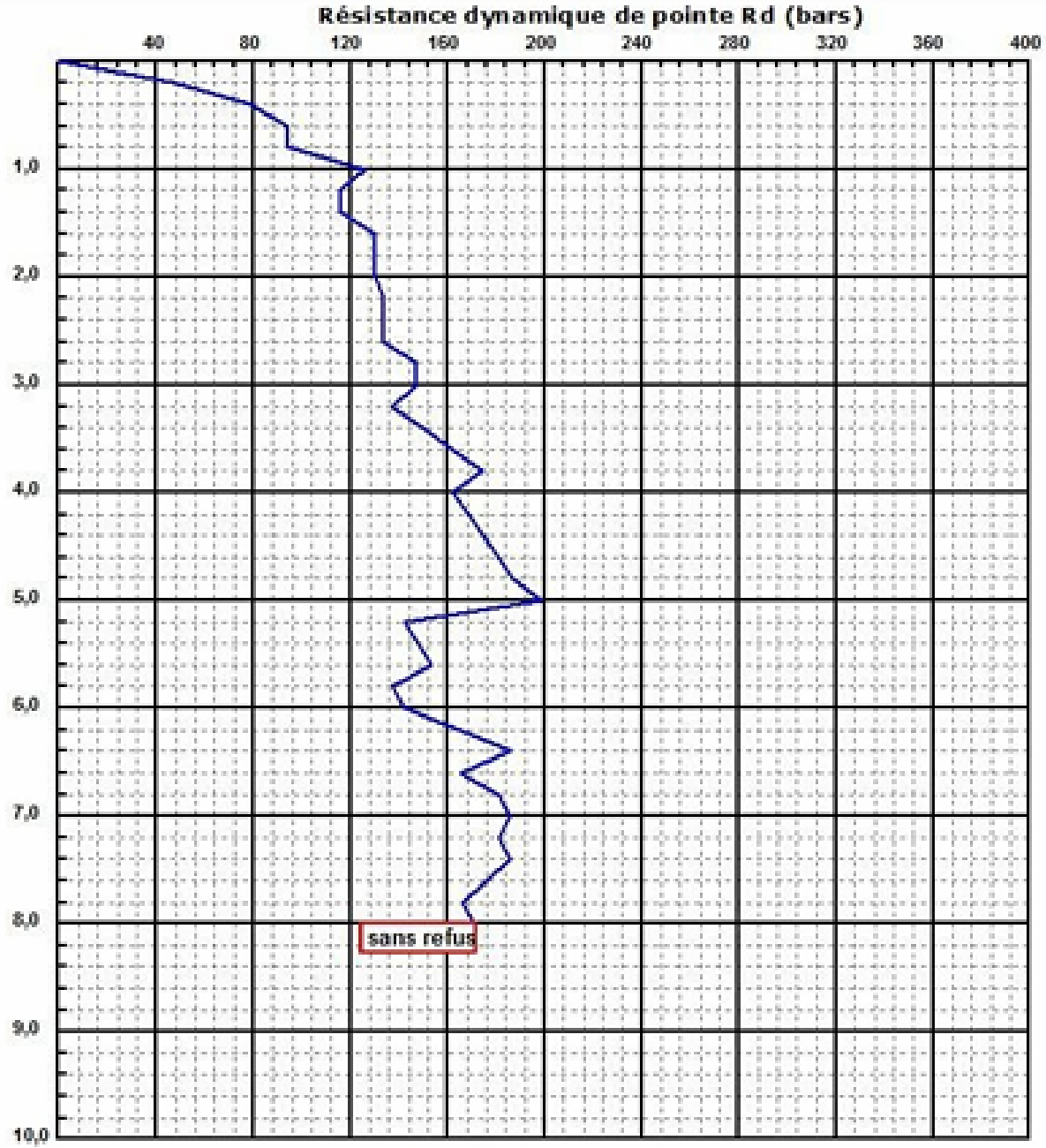
Référence de l'essai : PDL 02 - PK 64+700

Localisation :

Coordonnées GPS :

X : Z :

Y :



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Mouton (m') : 25 kg

Masse du Mouton (m) : 64 kg

Hauteur de chute (H) : 0.75 m

Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m

Masse d'une tige (m') : 8,5 kg

Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Battage :

$$Rd = \frac{m^2 \times H}{A \times e/N \times (m + \sum m')}$$

MINISTÈRE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

LNHC

Essai de Pénétration Dynamique

Type B : NF P94 - 114

INTITULE : Déboulement Lmf Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section PK65+700

N°DOSSIER : XXX-04-16

LIEU : Dréa - Oued El Kberit

CLIENT : FLEISCHMANN

DATE ESSAIS :

Référence de l'essai : PDL 04 - PK 65+700

Localisation :

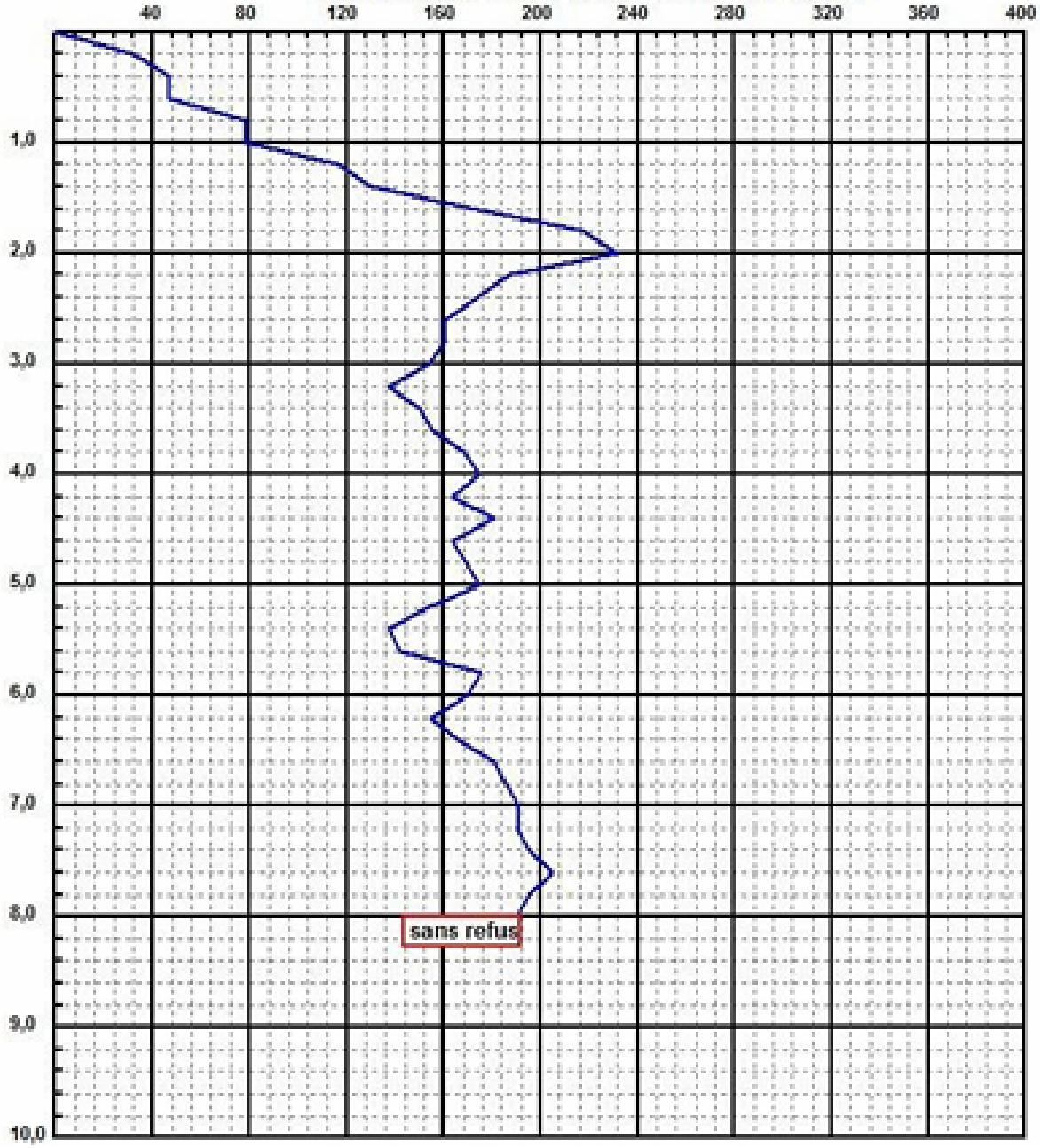
Coordonnées GPS :

X :

Y :

Z :

Résistance dynamique de pointe Rd (bars)



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Mouton (m') : 25 kg

Masse du Mouton (m) : 64 kg

Hauteur de chute (H) : 0.75 m

Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m

Masse d'une tige (m') : 8,5 kg

Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Battage :

$$Rd = \frac{m^2 \times H}{A \times e/N \times (m + \sum m')}$$

© Soltests 2013

Essai de Pénétration Dynamique

Type B : NF P94 - 114

INTITULE : Déboulement Lmf Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section PK64+000 à PK76+000

N°DOSSIER : XXX-04-16

LIEU : Dréa - Oued El Kberit

CLIENT : FLEISCHMANN

DATE ESSAIS :

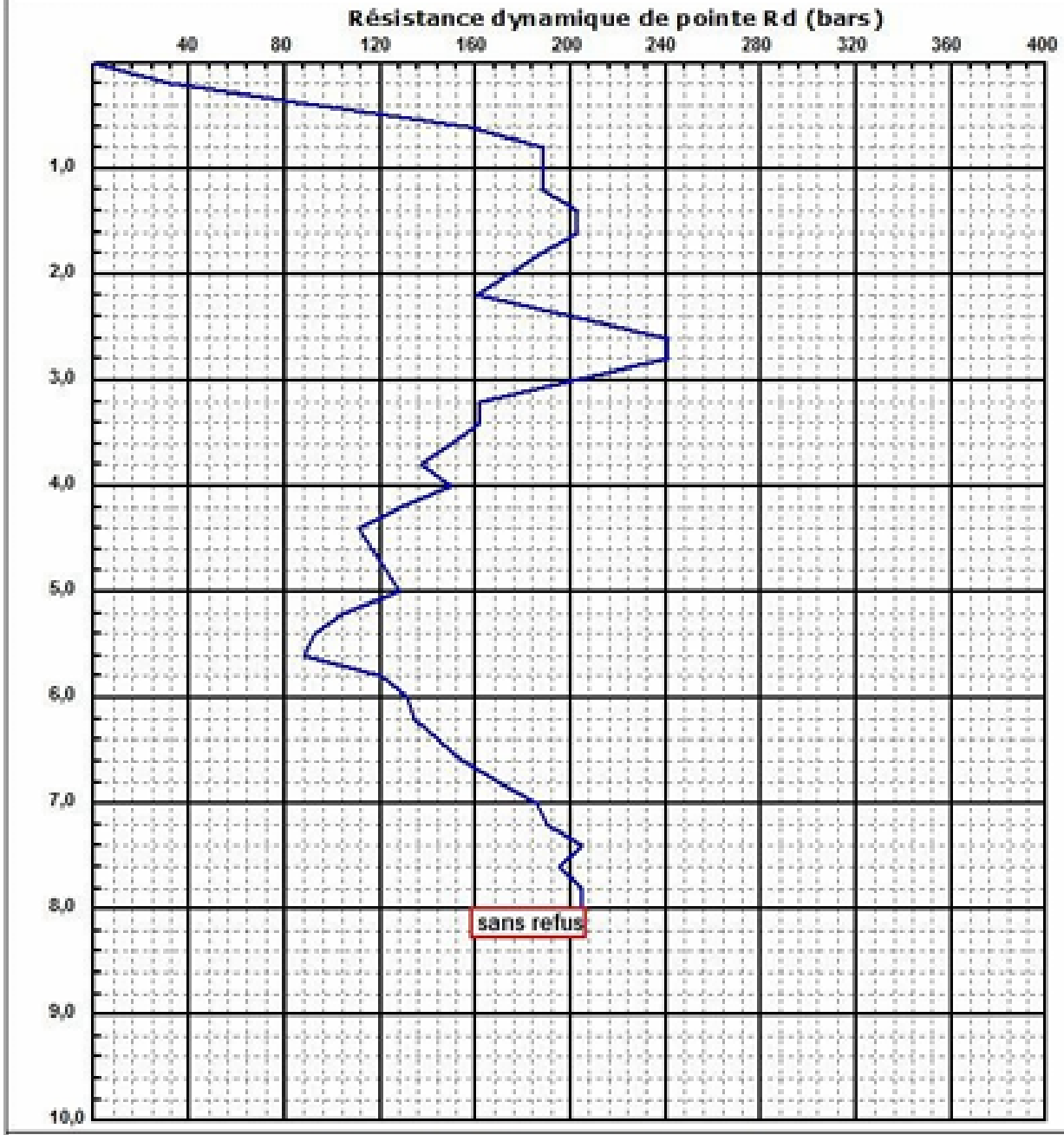
Référence de l'essai : PDL 12 - PK 67+500

Localisation :

Coordonnées GPS :

X : Z :

Y :



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Mouton (m') : 25 kg

Masse du Mouton (m) : 64 kg

Hauteur de chute (H) : 0.75 m

Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m

Masse d'une tige (m') : 8,5 kg

Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Battage :

$$Rd = \frac{m^2 \times H}{A \times e/N \times (m + \sum m')}$$

© Sol Tests 2013

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
NF P 94-093

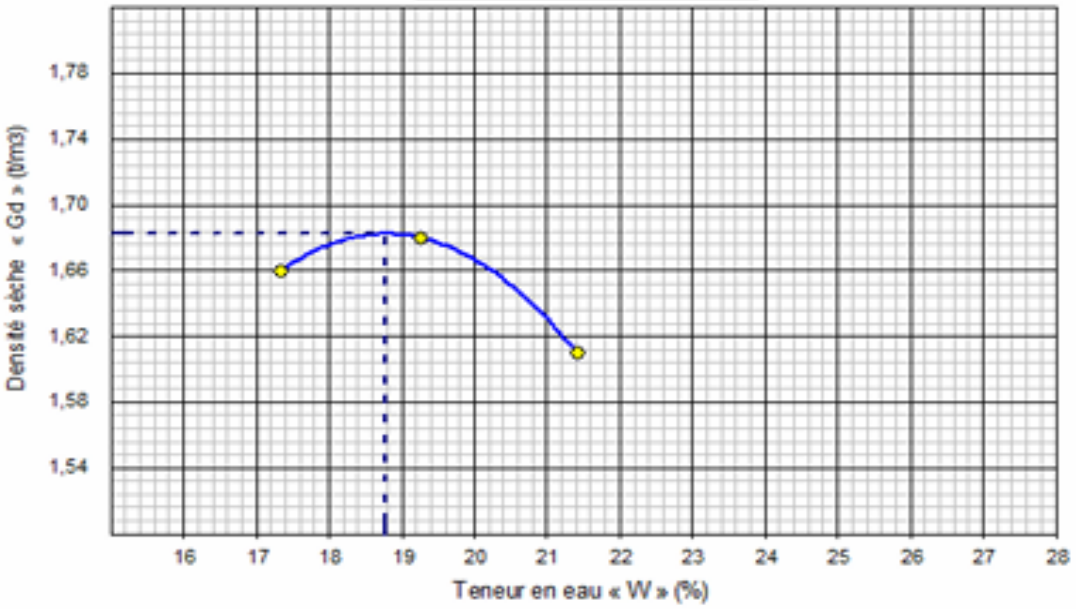
Client : BET FLICHMAN
Projet : Ligne Minière Drea Oued Kbarit section PK62 Pk76
Endroit : Souk Ahras

N° Projet : 68-25-4

Sondage n° : PUIT N 01
Profondeur : PK 62+300
Nature : ARGILE
Date essais : 24/03/2025

Densité des grains : 2,65
Refus à 20mm (%) :

γ_d max = 1,68 (t/m3)
Wopn = 18,78 (%)



MOULE
Proctor ☒
CBR ☐

ENERGIE
Normal ☒
Modifié ☐

Densité des grains
Estimée ☒
Mesurée ☐

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	*17,3*	*19,3*	*21,4*					
Densité (T/m3)	*1,66*	*1,68*	*1,61*					

Remarque :

Préparé par :

Approuvé par :

Date :

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
NF P 94-093

Client : BET FLICHMAN
Projet : Ligne Minière Drea Oued Kbarit section PK62 Pk76
Endroit : Souk Ahras

N° Projet : 68-25-4

Sondage n° : PUIT N 02 **PK 63+000**
Profondeur :
Nature : ARGILE
Date essais : 27/03/2025

Densité des grains : 2,65
Refus à 20mm (%) :

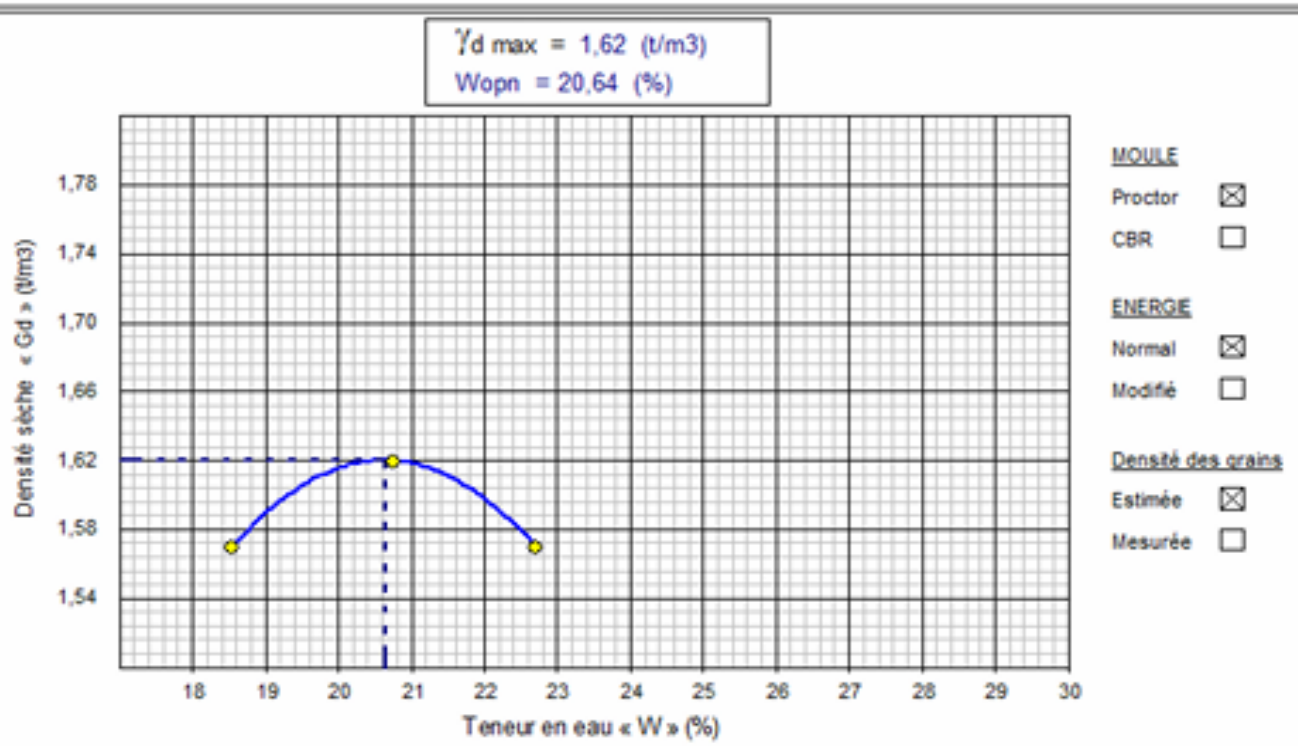


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	*18,5*	*20,7*	*22,7*					
Densité (T/m3)	*1,57*	*1,62*	*1,57*					

Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :

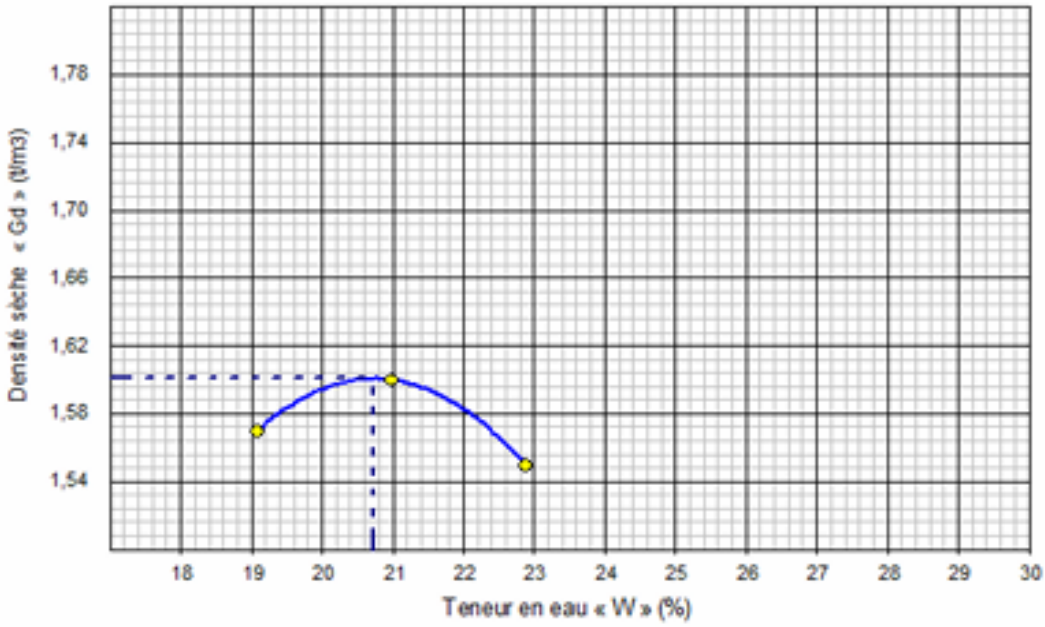
Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
NF P 94-093

Client : BET FLICHMAN
N° Projet : 68-25-4
Projet : Ligne Minière Drea Oued Kbarit section PK62 Pk76
Endroit : Souk Ahras

Sondage n° : PUIT N 03 **PK 63+325**
Densité des grains : 2,65
Profondeur :
Refus à 20mm (%) :
Nature : ARGILE
Date essais : 07/04/2025

γ_d max = 1,60 (t/m3)
Wopn = 20,73 (%)



MOULE
Proctor ☒
CBR ☐

ENERGIE
Normal ☒
Modifié ☐

Densité des grains
Estimée ☒
Mesurée ☐

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	*19,1*	*21,0*	*22,9*					
Densité (T/m3)	*1,57*	*1,60*	*1,55*					

Remarque :

Préparé par :
Approuvé par :
Date :

MINISTÈRE DEL'HABITAT, DE L'URBANISMEET ET DE LA VILLE
المخبـــر الوطنـــي للسكـــن والبنـــاء
LABORATOIRE NATIONAL DE l'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION
Direction Régionale EST

RAPPORT D'ESSAI
Limites d'Atterberg
NF P 94-078

Client : FLEISCHMANN **N° Projet : DE-25-31**

Projet : Déboulement LMF Est Tracé Dréa – Oued El Kberit Section Pk 62 Au Pk 76

Endroit : DREA- OUED EL KBERIT

Sondage n° : PUIT 008 PK 62+600 Date essais :

Profondeur : 00.00 - 04.00

Nature :

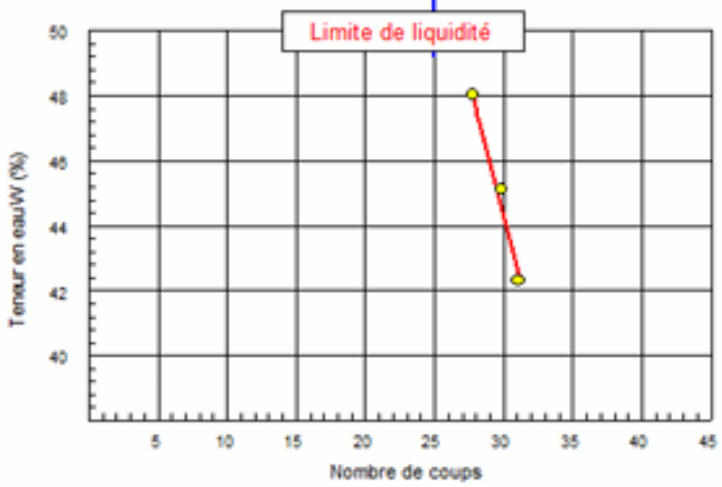
Limite de Liquidité (%) : WL = 52,69

Limite de Plasticité (%) : WP = 29,88

Indice de Plasticité (%) : IP = 22,81

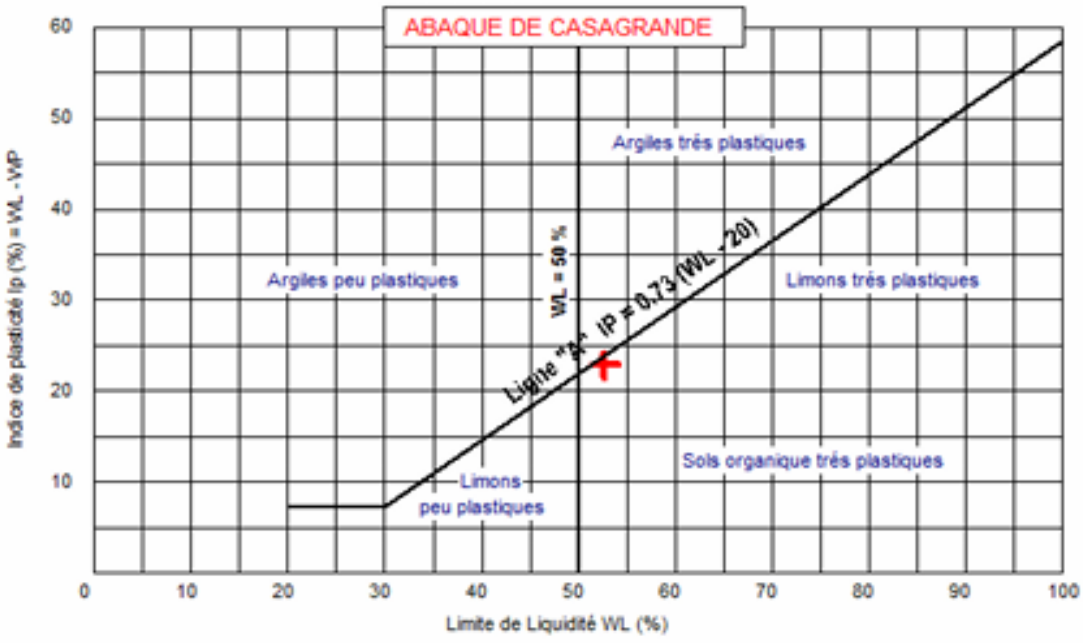
Teneur en eau naturelle (%) : Weau =

Indice de consistance : Ic = 2,31



Limite de plasticité

Ech N°	W (%)
1	29,88



Softests 2013

Remarque :

Préparé par : Approuvé par : Date :

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI
Limites d'Atterberg
NF P 94-078

Client : BET FLICHMAN **N° Projet : 68-25-4**

Projet : Dédoublement modernisation et-ou rectificationde tracé pour augmenter la capacité de la Ligne Minière est tracé Dre

Endroit : Drea Oued Kibrit

Sondage n° : PUIT N 01 Date essais : 06/04/2025

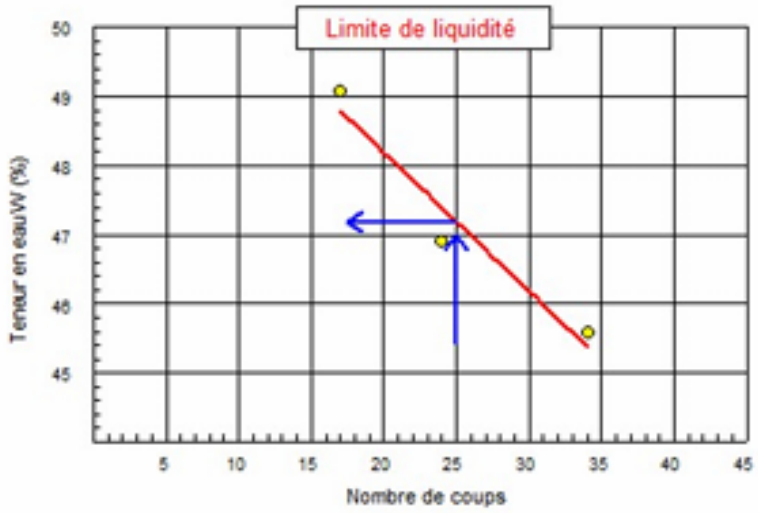
Profondeur : PK 62+300

Nature :

Limite de Liquidité (%) : WL = 47,19 **Teneur en eau naturelle (%) : Weau = 6.14**

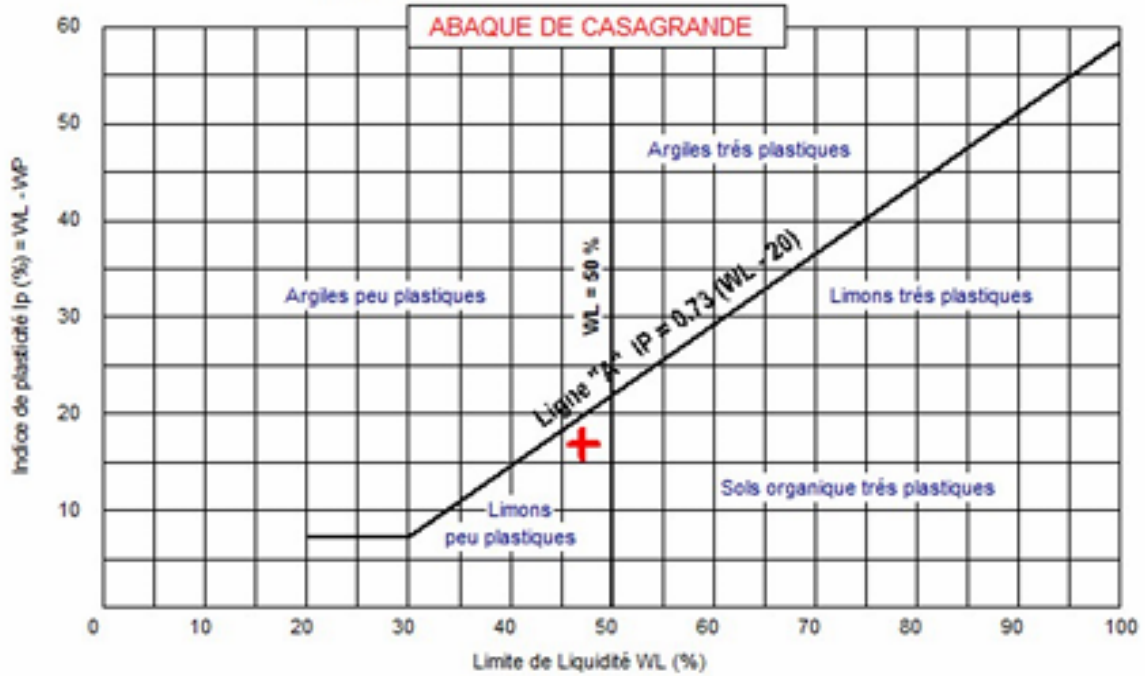
Limite de Plasticité (%) : WP = 30,32

Indice de Plasticité (%) : IP = 16,87



Limite de plasticité

Ech N°	W (%)
1	30,09
2	30,55



Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :

Soltests 2013

Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 800 000 000 DA
DIRECTION REGIONALE EST

RAPPORT D'ESSAI
Limites d'Atterberg
NF P 94-078

Client : BET FLICHMAN **N° Projet : 68-25-4**

Projet : Dédoublement modernisation et-ou rectificationde tracé pour augmenter la capacité de la Ligne Minière est tracé Drea

Endroit : Drea Oued Kibrit

Sondage n° : PUIT N 03 **PK 63+325** Date essais : 03/04/2025

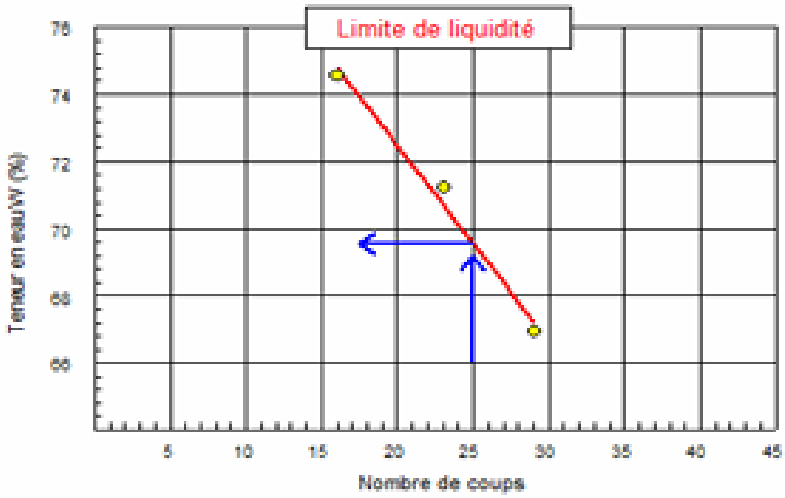
Profondeur :

Nature :

Limite de Liquidité (%) : WL = 69,56 **Teneur en eau naturelle (%) : Weau = 9.98**

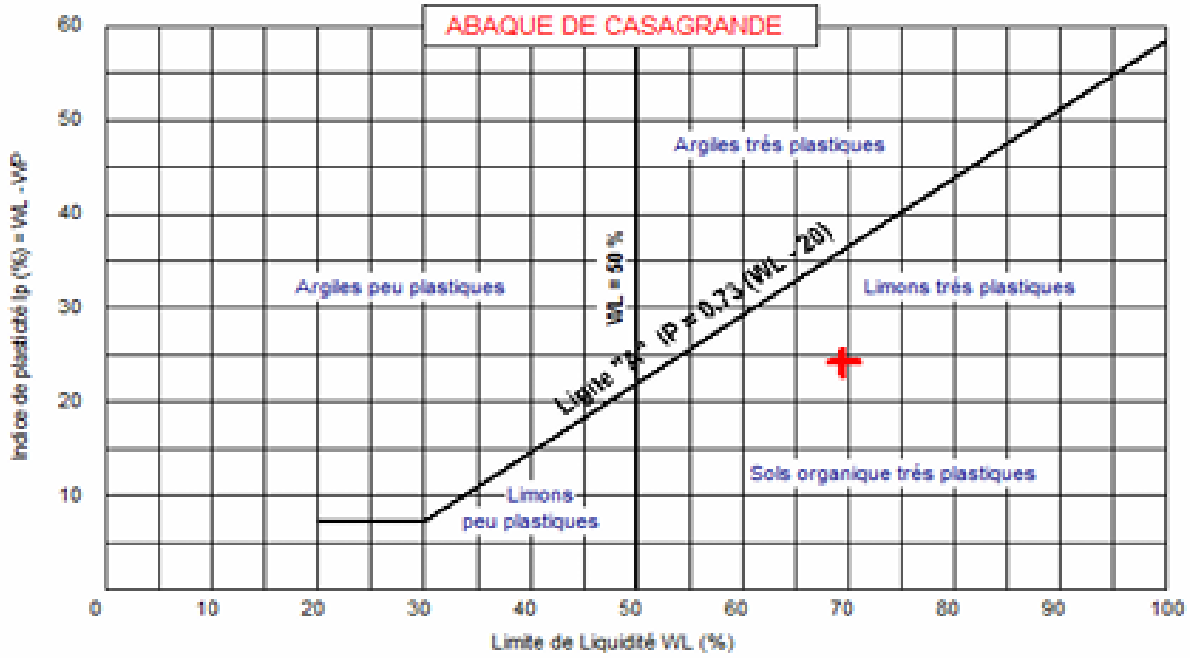
Limite de Plasticité (%) : WP = 45,40

Indice de Plasticité (%) : IP = 24,16



Limite de plasticité

Ech N°	W (%)
1	46,76
2	44,04



Remarque :

Préparé par : Approuvé par : Date :

RAPPORT D'ESSAI

COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE

XP P 94-090-1

Client : Reishman

N° Projet : 31-06-25

Projet : DEDOUBLEMENT LMF EST TRACE DREA_OUED EL KEBERIT

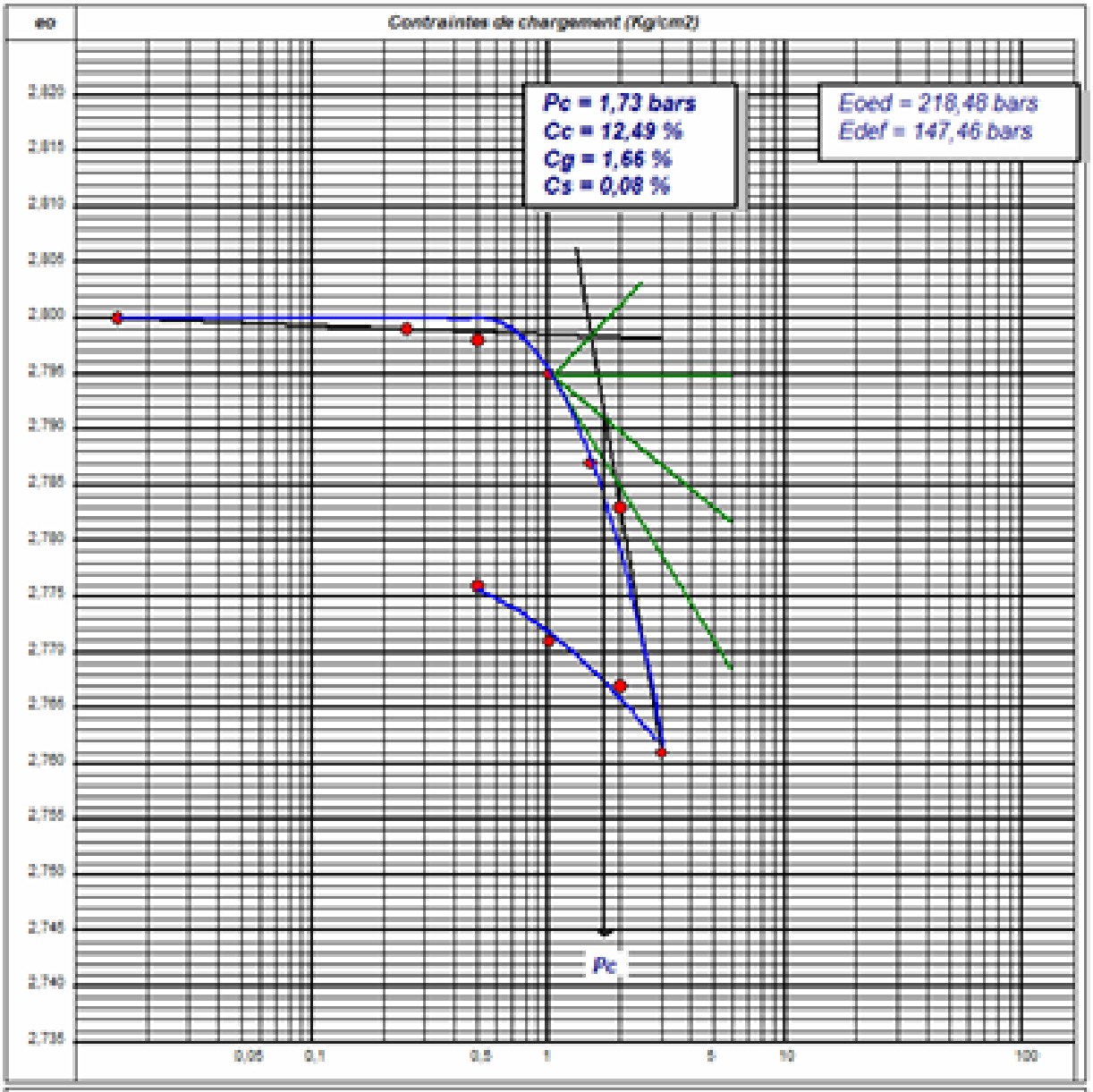
Endroit : SOUK-AHARAS

Sondage n° : SC 001 PK 63+270

Profondeur : 2,5-3

Nature :

Date essais :



Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :

RAPPORT D'ESSAI

COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE

XP P 94-090-1

Client : FLEISCHMANN — **N° Projet : 31-25-0**

Projet : Déboulement LMF Est Tracé Dréa – Oued El Kberit tronçon Pk (

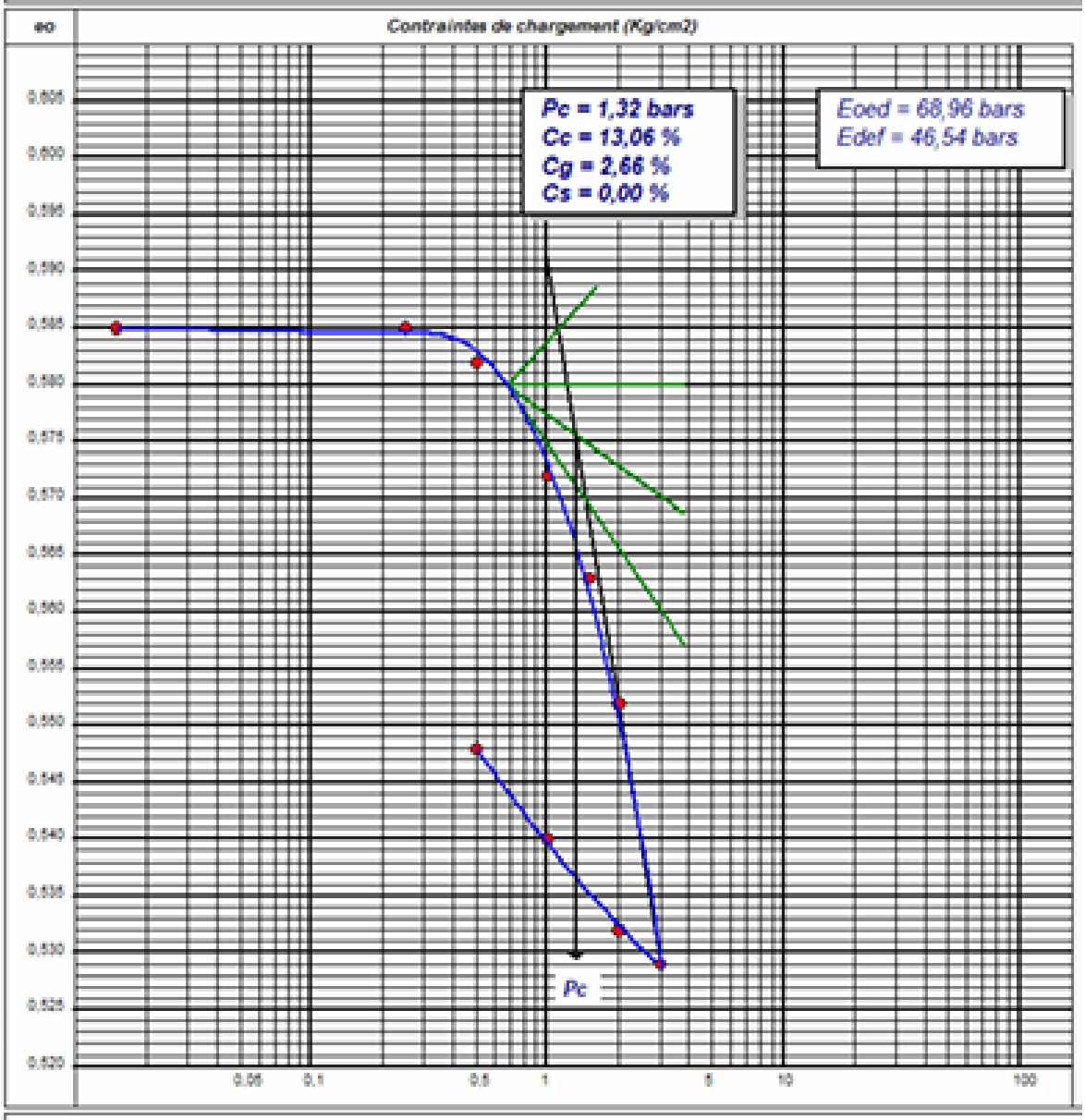
Endroit : Dréa – Oued El Kberit

Sondage n° : SC GARE F DAMOUS

Profondeur : 2,6-2,9

Nature :

Date essais :



Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :

RAPPORT D'ESSAI

COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE

XP P 94-090-1

Client : Beishman

N° Projet : 31-06-25

Projet : DEDOUBLEMENT LMF EST TRACE DREA_OUED EL KEBERIT

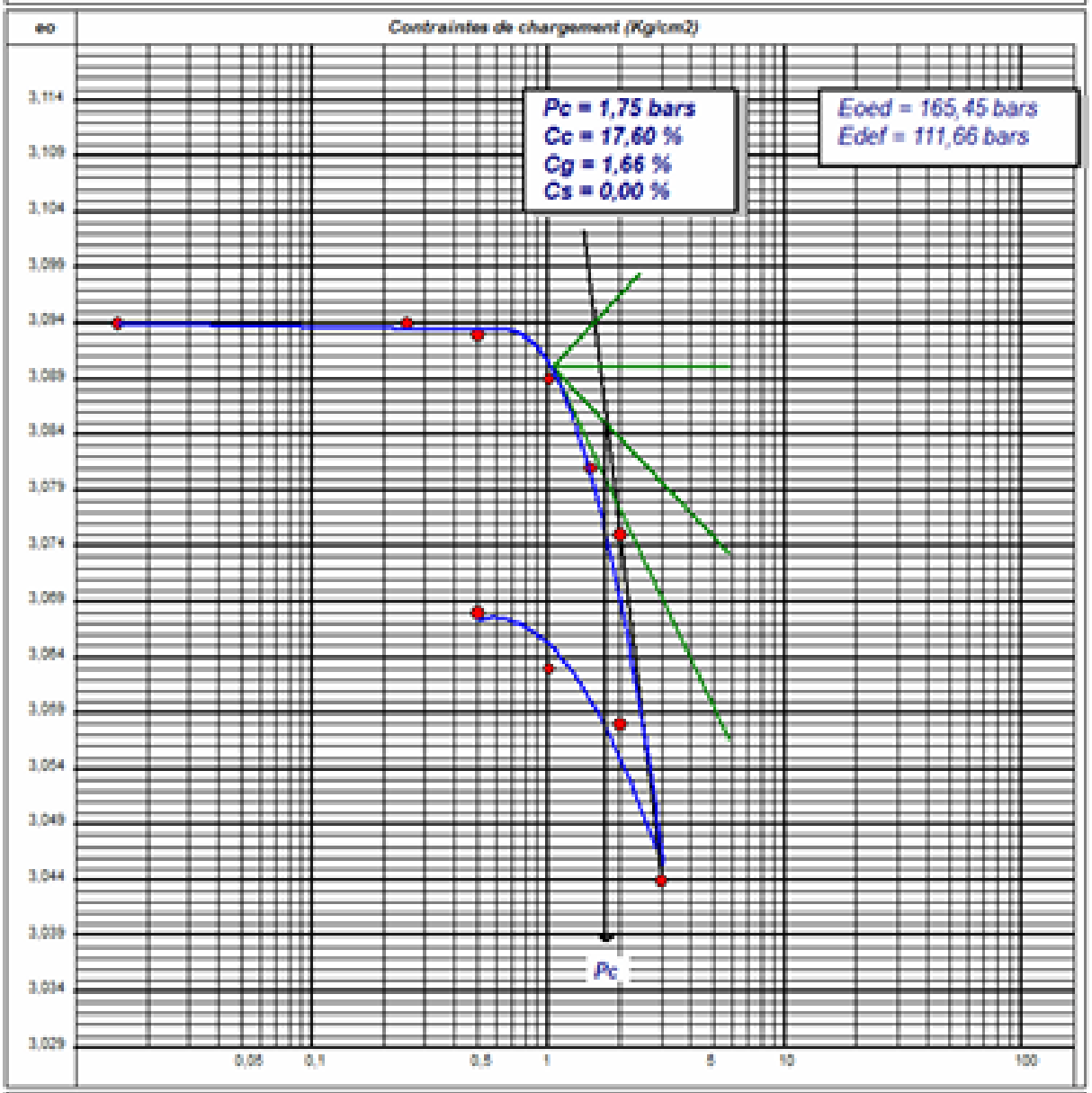
Endroit : SOUK-AHARAS

Sondage n° : SC 002 PK 71+000

Profondeur : 3,6-4,00

Nature :

Date essais :



© SolTests 2013

Remarque :

Préparé par :

Approuvé par :

Date :

Tableau V-1 : Sondage carottier

Sondage	PK	Profondeur (m)
SC 001	63+270	15,00
SC GARE OUED DAMOUS	63+775	10,00
F-63-B-OK	62+956	20.00
F-63-B-OK	65+725	15,00
F-64-B-OK	70+872	15,00
SC 002	71+000	15,00
F-65-B-OK	74+171	20,00

Tableau V-20 : Sondages des puits de reconnaissance

PK	Profondeur
61+100	**4.00**
62+600	**4.00**
62+300	**4.00**
63+00	**4.00**
63+325	**4.00**
64+500	**4.00**
65+325	**4.00**
66+000	**4.00**
66+350	**4.00**
67+550	**4.00**
67+950	**4.00**
69+850	**4.00**
70+425	**4.00**
71+725	**4.00**
72+225	**4.00**
72+825	**4.00**
73+000	**4.00**
73+878	**4.00**
74+575	**4.00**
75+225	**4.00**

SC-001PK 63+270 Caisse n°01 : 00.00 – 05.00m



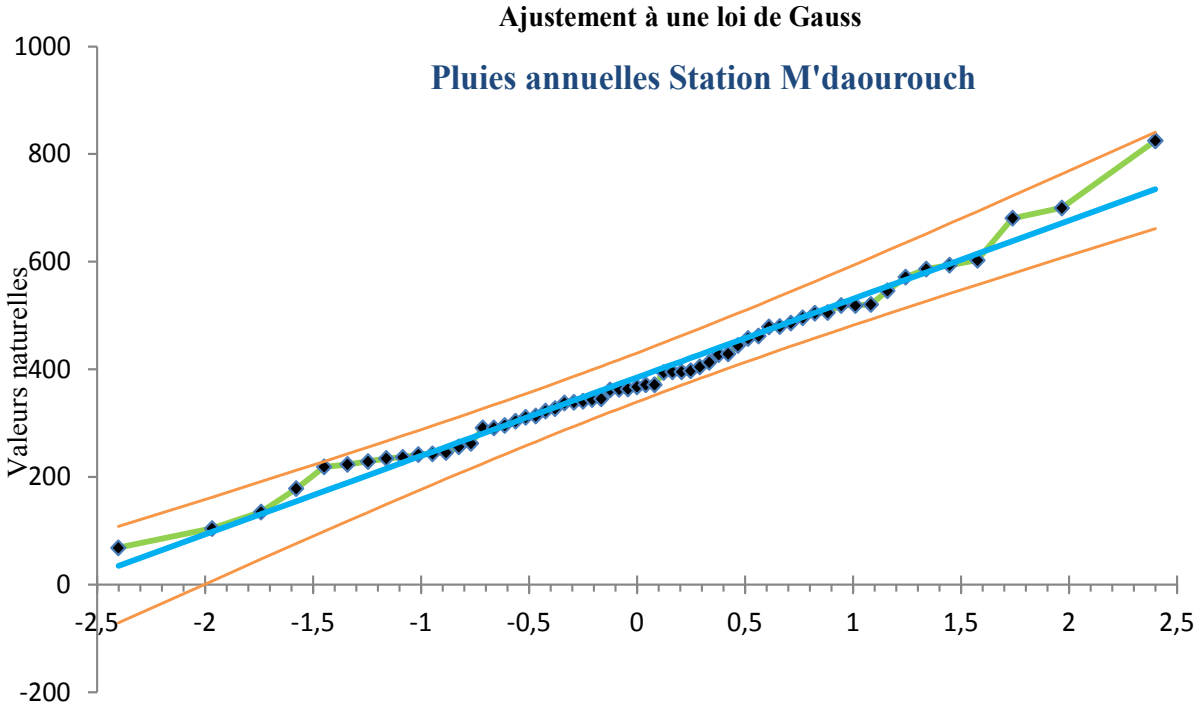


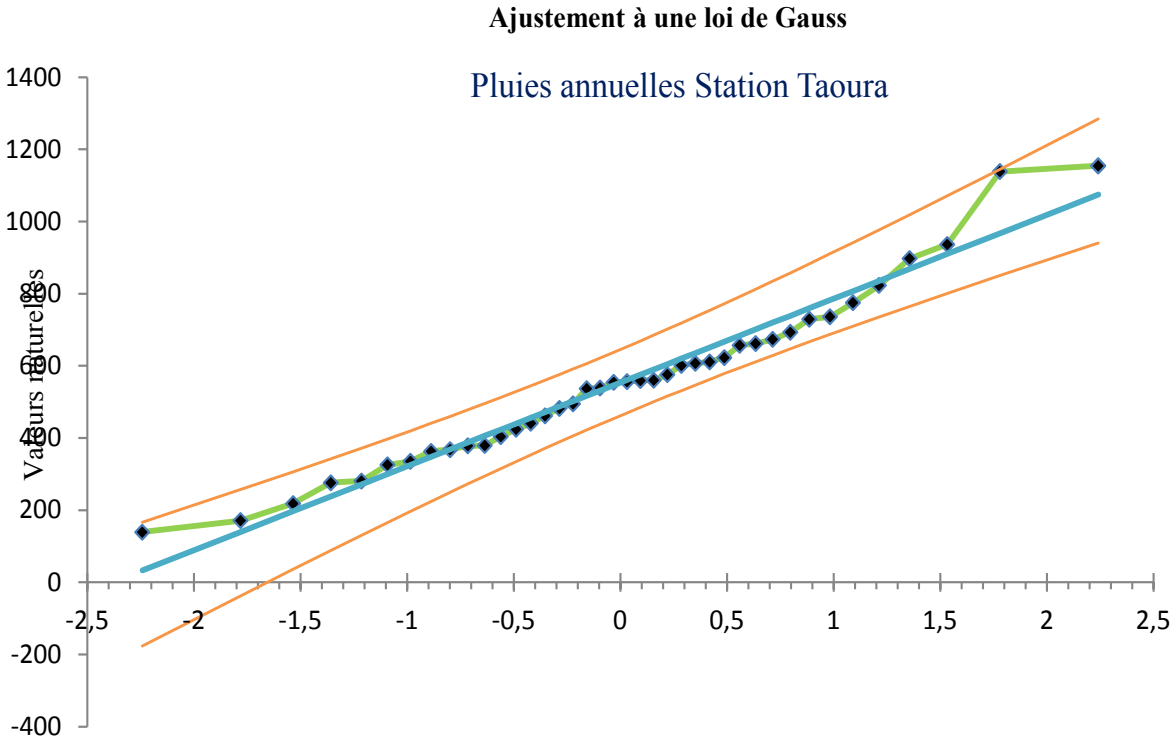
SC-002 PK 71+000 Caisse n°01 : 00.00 – 05.00m



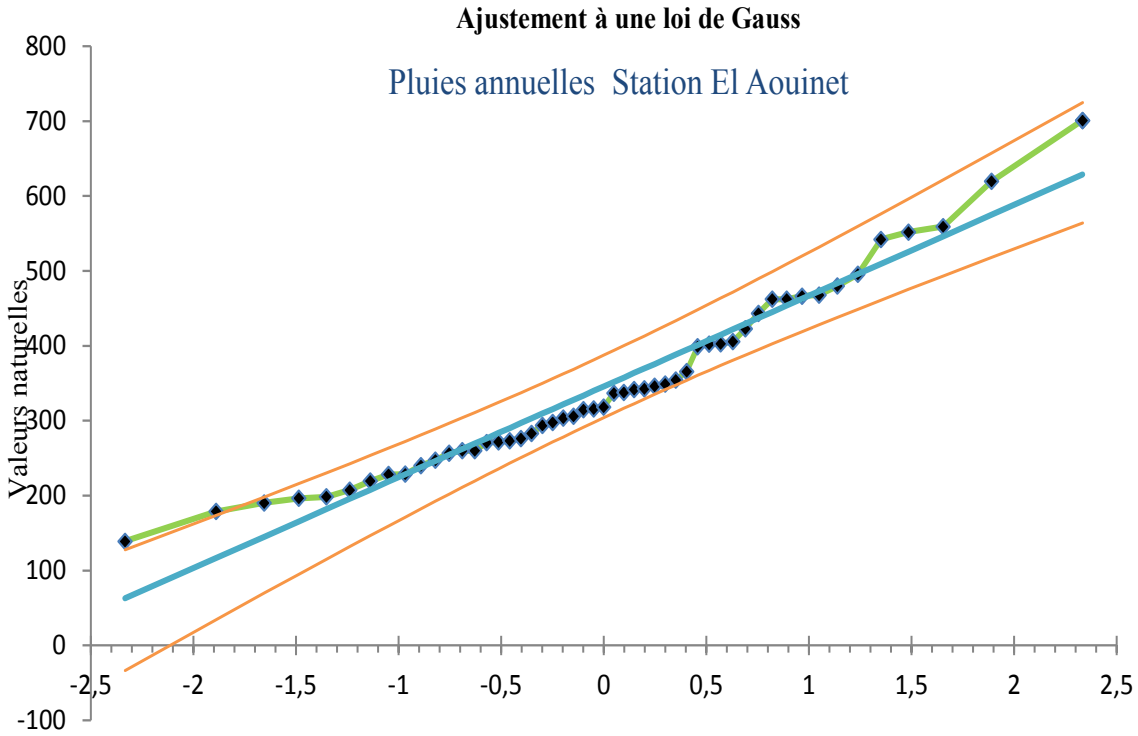
Annexe étude hydraulique

Ajustement à une loi normale des pluies annuelles (en mm)



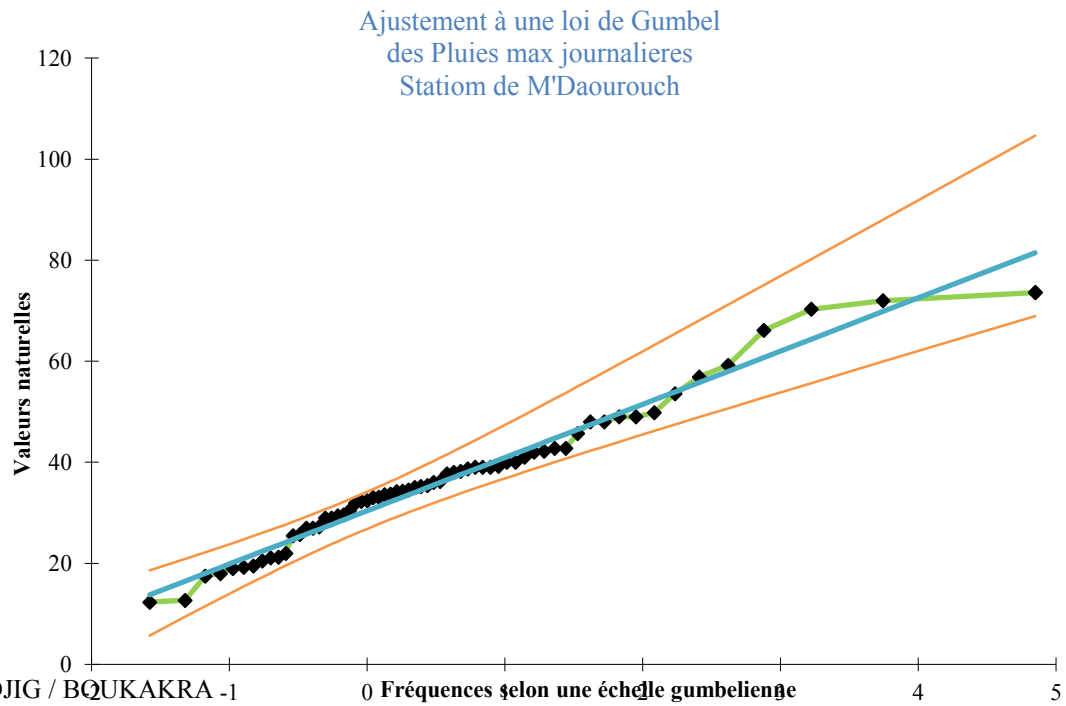


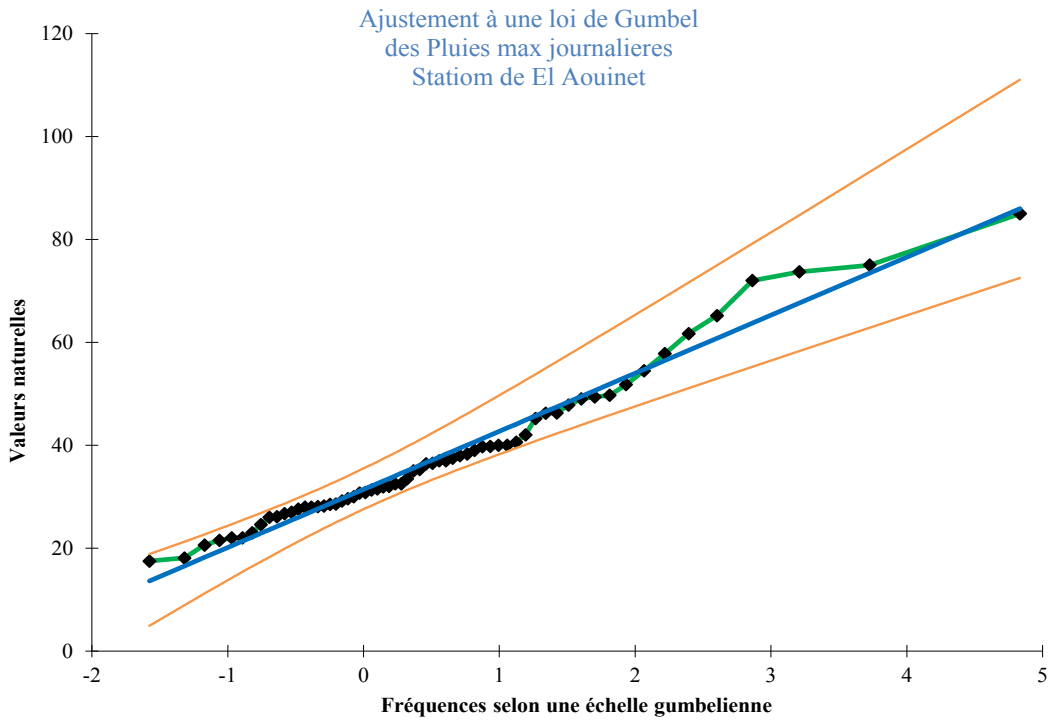
Fréquences selon une échelle gaussienne

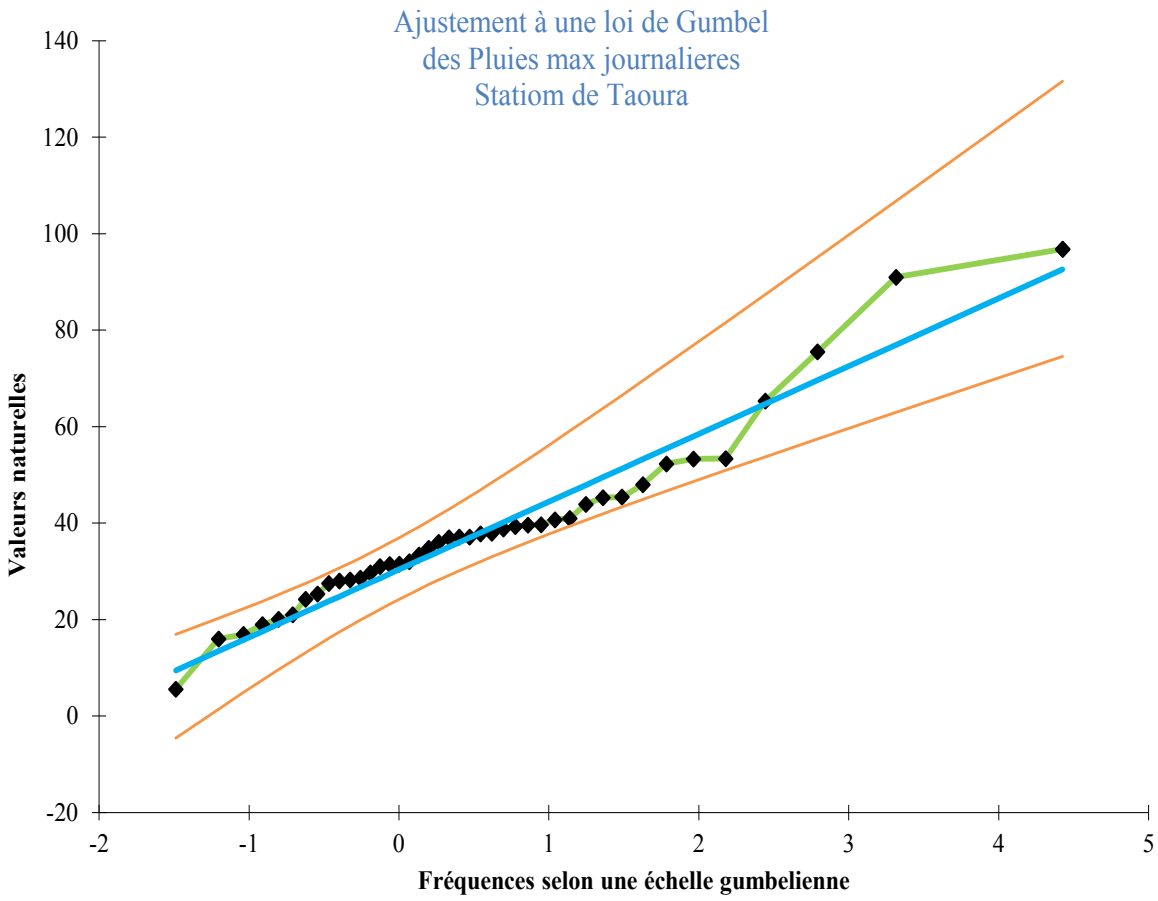


Fréquences selon une échelle gaussienne

Ajustement à la loi de Gumbel des pluies max journalières en mm




Ajustement à une loi de Gumbel
des Pluies max journalieres
Statiom de El Aouinet
Valeurs naturelles
Fréquences selon une échelle gumbelienne
120
100
80
60
40
20
0
-2
-1
0
1
2
3
4
5


Ajustement à une loi de Gumbel
des Pluies max journalieres
Statiom de Taoura
Valeurs naturelles
Fréquences selon une échelle gumbelienne
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-2
-1
0
1
2
3
4
5



Les bassins versants