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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique SAIDA-EL BAYADH du PK 29+000 au PK 55+000 avec aménagement de la gare de SIDI AHMED

Présenté par :

Mr BOULKHIOUT Bilal

Mr LALIOUI Ayoub

Encadré par :

Mme Khouas

Promotion 2019 /2020

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

REMERCIMENT

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la volonté de Dieu qui nous a offert santé, force, courage, et volonté jusqu'au dernier moment. Nous vous remercient Dieu pour ça et pour tout le reste.

On tient à témoigner nos remercîments à tous ceux qui nous ont aidées et encourager particulièrement à :

Madame Khouas, enseignante à ENSTP-Kouba et notre encadreur qui nous a guidés pour obtenir ce travail. Nous lui sommes très reconnaissants de nous avoir aidé, pour aboutir à ce travail.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

Le groupe de SETI-RAIL pour leur contribution pour acquisition les données de projet spécialement : HAMZA.

Nous remercions aussi tous nos amis formidables que nous avons eu la chance de rencontrer et nous leur souhaitons tous le bonheur du monde.

A tous ceux qui ont contribués de près et de loin à l'élaboration de ce mémoire

AYOUB et BILAL

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Puisse dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longueur vie et bonheur.

A mon cher père

Qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir, Je prie le dieu de te bénir, de veiller sur toi, en espérant que tu sois toujours fier de moi

A tous mes chers frères : Houssem, Achraf et Souhail

A ma chère sœur : Meriem

A tous mes amis et mes collègues : Spécialement mon binôme Bilel,

Yasser, Akram, Rabah, Nasro, Hichem, Aiemen, Hmimiche, Houssem, Yassine, Wassim, Salah, Hamza, Mohamed

Enfin, un grand merci à tous mes amis de l'ENSTP pour les bons moments passés. Et tous ceux qui m'ont apporté l'aide et soutien durant ces année de formation.

Lalioui Ayoub

DEDICACE

Je dédié ce travail :
A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, que dieu le tout puissant les protègent et les gardent.

A ma chère grande mère

A mes sœurs :Manal ,Hassina et Kholoud

A la famille Boulkhiout et Demidem

A Mon ami et binôme Lalioui Ayoub .

A tous mes amis et spécialement :Ghersi Abd El Halim et Seghir Yassine.

A toute la promotion 2020.

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Boulkhiout Bilal

ملخص

هذا المشروع يتمثل أساسا في دراسة التصميم التفصيلي من مقطع من خط السكة الحديدية الجديد المكهرب احادي الممر بين ولايتي سعيدة والبيض وهذا بين النقطة الكيلومترية 29+000 والنقطة الكيلومترية 55+000 بطول 26 كم بالإضافة الى تصميم محطة سيدي احمد.

صمم هذا المشروع بناءا على معايير وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية (SNTF) والاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج CIVIL 3D

Résumé

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée à voie unique Saida\El Bayadh, Du pk 29+000 au Pk 55+000, pour un linéaire de 26 Km, notre projet s'étale aussi à la conception de la gare de Sidi Ahmed.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les normes ainsi que les recommandations ainsi qui sont suivies par la société nationale des transports des chemins de fer (SNTF) et l'union internationale des chemins de fer (UIC). La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel CIVIL3D.

Abstract

The present project consists essentially of the detailed design study of a section of the new electrified railway line connecting Saida\El Bayadh, this section which is from pk29+000 to the pk 55 + 000, for a linear of 26 km, our project also extends to the design of Sidi Ahmed station.

The identification of the most appropriate technical characteristics of the proposed railway line will be based on the standards and the recommendations that are followed by the National Railway Transports System (SNTF) and the International Union of Railways (UIC). The geometric modelling of the project was executed using CIVIL 3D software

SOMMAIRE

Introduction générale……1

CHAPITRE I. Recherche bibliographique

I. Introduction ……..…….……..2
I.1. Historique des réseaux ferroviaire en Algérie…..…….…….2
I.2. La voie ferre……..……..……..2
I.2.1 L'armement ……..……...3
I.2.2 Le ballast…….……3
I.2.3 Infrastructure sous couche jusqu'à la plateforme……...…….4
I.3. Critère de maintenance de la voie ferre……5
I.3.1 Les défauts de la géométrie ……....……5
I.3.2 Les défauts d'armement…….....…….6
I.3.3 Les défauts de plateforme…….……..6
I.3.4. Synthèse……...…….……..7
I.4. La couche intermédiaire……...…….7
I.4.1 La création de la couche intermédiaire……7
I.4.2 Caractéristique physique de la couche intermédiaire…….....……..7
I.4.2.1 Mesure de la densité et de la teneur en eau naturel……..…..7
I.4.2.2 Estimation de la perméabilité de la couche intermédiaire……..…..…..8
I.4.2.3 Analyse granulométrique……...…...…..8
I.4.2.4 Limite d'Atterberg……...…...…8
I.4.2.5 Essai de compactage……..……...…..9
I.4.3 Comportement hydromécanique de la couche intermédiaire……...…...……10
I.4.3.1 Comportement hydraulique…….....10
I.4.3.2. Comportement mécanique……...…...…11
I.4.4. Influence de la circulation sur la couche intermédiaire…….……12
5.Synthèse…….……13
6. Conclusion…….……...14

CHAPITRE II. Présentation du projet

II. introduction……..……15
II.1. Description globale du projet……15
II.2. Localisation du projet……16
II.3. Présentation de la wilaya de Saida……17
II.3.1. Démographie……..17
II.3.2. Relief……...18
II.3.3. Climat……..18
II.3.4.Sismicité……...19
II.4. Caractéristiques de base du projet……..19
II.5. Conclusion……20

CHAPITRE III. Tracer en plan

III. Introduction…….……21
III.1. Règles à respecter dans le trace en plan……..21
III.2. Éléments de trace en plan……...21
III.2.1. Les alignements……..21
III.2.2 Les raccordements circulaire……..21
III.2.3. Les raccordements progressifs……...22

III.2.3.1. Conditions de raccordements……22
III.2.3.2. Longueur de raccordement……22
III.2.4. Les devers……..23
III.2.4.1. le devers théorique……...22
III.2.4.2 L'excès et l'insuffisance……22
III.2.4.3. Le devers pratique……23
III. 2.4.4. Variation de devers dd/dL……23
III. 2.4.5 Variation de l'insuffisance de devers dI/dt……24
III.3. Application au projet……24
III.3.1 Calcule de rayon minimal……25
IV.4. Calcule de l'axe……..……26
III.4.1. Cordonnés des sommets……27
III.4.2. Exemple de calcule de l'axe……28
III.5. Obstacles à traverser le long du tracé……30

CHAPITRE IV. Profil en long
IV. Introduction……31
IV.1. Elément géométrique de profil en long……31
IV.1.1. Déclivité maximale……31
IV.1.2. La longueur minimale des déclivités……..32
IV.1.3. Rayon admissible en profil en long……32
IV.2. Règle a respect dans le trace du profil en long……...33
IV.3. Coordination profil en long-trace en plan……34
IV.4. Paramètres cinématiques du profil en long……...34
IV.5. Exemple de calcul de profil en long……..35
IV.6. Conclusion……...36

CHAPITRE V. Etude géotechnique et géologique
V. Introduction…….....……....37
V.1. Eude géologique……37
V.1.1. Contexte géologique général de la région……37
V.1.2. Contexte géologique de notre tronçon…….……37
V.2. Etude géotechnique……...40
V.2.1. Campagne de reconnaissance géotechnique……40
V.2.1.1. Essais au laboratoire……40
V.2.2. Essais in situ……41
V.2.2.1. L'essai pénétromètre dynamique lourd (NF P 94-115)……41
V.2.2.2. Essai préssiometrique Menard (NF P 94-110-1)……42
V.2.2.3. Les Sondages Carottés……44
V.2.2.4. Les puits de reconnaissance……46
V.2.3. Essai au laboratoire……..……48
V.2.3.1. Essai d'identification……..49
V.2.3.2 Essai mécanique……...49
V.2.3.3 Essai physique……50
V.2.3.4 Essai chimique……50
V.2.4. Résultat des essais au laboratoire……..50
V.2.5 Classification des sols……...51
V.2.5.1 Application au projet……51
V.2.6 Conclusion……52

CHAPITRE VI. Etude hydrologique et assainissement

VI. Introduction……53
VI.1. Contexte hydrologique générale……..53
VI.1.1. Le climat……53
VI.1.2. Pluviométrie……..……53
VI.1.2.1. Pluies maximales annuelles……...54
VII.2.2.2. Précipitation journalière maximale……54
VI.2. Caractéristiques physiques des bassins versants……..54
VI.3. Calcule hydraulique……55
VI.3.1. Le temps de concentration d'eau Tc……55
VI.3.2. Intensité de pluie de durée (T)……55
VI.3.3. Coefficient de ruissellement……...56
VI.3.4. Calcule des débits des bassins versants……...56
VI.3.5. Application au projet……..57
VI.4. Etude d'assainissement……59
VI.4.1. Assainissement transversal……59
VI.4.1.1. Hauteur de remplissage……59
VI.4.1.2. Dimensions des ouvrages……..60
VI.4.1.3. Exemple d'application……..60
VI.4.2. Assainissement longitudinal……...61
VI.4.2.1. Le débit à évacuer……...62
VI.4.2.2. Le débit de saturation……...62
VI.4.2.3. Application au projet……...62
VI.6. Conclusion……...64

CHAPITRE VII. Dimensionnement de la structure d'assise et profil en travers

VII. Introduction……65
VII.1. Couche d'assise ferroviaire……65
VII.1.1. La plate-forme……...65
VII.1.1.1. Classification de sol pour plate-forme……..65
VII.1.1.2. Classe de portance de la plate-forme……66
VII.1.2. Epaisseur des couches d'assise……..67
VII.1.3. Application au projet……68
VII.1.3.1. Classification du sol de la plate-forme……68
VII.1.3.2. Détermination de l'épaisseur de la couche d'assise……..68
VII.1.4. SYNTHESE……..……69
VII.2. Profil en travers……..……69
VII.2.1. Les déférents types de profil en travers……..69
VII.2.1.1. Profil en travers type…….....69
VII.2.1.2. Profil en travers courant……...69
VII.2.2. Les éléments du profil en travers……...69
VII.2.2.1. La plateforme…….……..69
VII.2.2.2. L'Emprise……...…….……69
VII.2.2.3. Assiette……69
VII.2.2.4. La voie……69
VII.2.2.5. La berme……..70
VII.2.2.6. Le fossé……70
VII.2.3. Les profils en travers affectent au projet……70
VII.3. Conclusion……...……..71

CHAPITRE VIII. Terrassement et ouvrages d'art

VIII.1. Terrassement……..72
VIII. Introduction……72
VIII.1.2. Pente de talus……...72
VIII.1.3. Déblai……..72
VIII.1.3.1 La Sécurité dans les zones de déblais……..72
VIII.1.3.2. Application au projet……..73
VIII.1.3.3. Réutilisation des matériaux de déblais (déblais mise en remblais)……73
VIII.1.4. Remblai……...……73
VIII.1.4.1. Vérification de la stabilité des talus en remblais……....……74
VIII.1.4.2. Application au projet…….....…….....……74
VIII.1.5. Calcul des volumes de terrassements……..75
VIII.2. Ouvrage d'art……76
VIII. Introduction……76
VIII.2.1. Les ouvrages d'art du projet……76
VIII.3. Conclusion……...76

CHAPITRE IX. Aménagement de la gare Sidi Ahmed

IX. Introduction……77
IX.1. Type des gares……..77
IX.2. Installations d'une gare voyageurs……..77
IX.3. Caractéristiques géométriques de la gare……77
IX.3.1. Garage franc……...77
IX.3.2. La longueur utile d'une voie de stationnement……..78
IX.3.3. Les heurtoirs……...……..78
IX.3.4. La marge de glissement à l'aval des signaux……...78
IX.3.5. Quai……79
IX.3.5.1. La hauteur du quai……79
IX.3.5.2. Distance par rapport à l'axe de la voie……..79
IX.3.4.3. Entraxe entre les quais……...79
IX.4. Appareille de voie……79
IX.4.1. Implantation des appareils de voie……..80
IX.5. Application au projet……80
IX.5.1. Aménagement de la gare Sidi Ahmed……80
IX.5.1.1. Localisation de la gare……..80
IX.5.1.2. Caractéristique de la gare……..81
IX.5.2. Aménagement de la gare de croissement……83
IX.5.2.1. Localisation de la gare……..83
IX.5.2.2. Appareils de voies…….……83
IX.5.2.3. Schéma de La gare de croissement……83
IX.6. Assainissement de la gare……84
IX.6.1. Assainissement transversal……84
IX.6.2. Assainissement longitudinal……...84
IX.7. Conclusion……...84

CHAPITRE V. signalisation et électrification

X.1. Signalisation……85
X. Introduction……...……85
X.1.1. Les principaux risques ferroviaires……85
X.1.2. Principe de base……85

X.1.3. Type de signalisation……85
X.1.4. Différentes fonctions des signaux……..86
X.1.5. Implantation latérale……..86
X.1.6. La visibilité des signaux……86
X.1.7. Système de contrôle de la signalisation……..87
X.1.7.1 ETCS……87
X.1.7.1.1 L'ETCS niveau 1……..87
X.1.7.2. Transmission sol-machine (Les équipements au sol)……..88
X.2. Electrification……89
X. Introduction……89
X.2.1. Les avantages d'électrification……..……89
X.2.2. Les inconvénients d'électrification…….……....89
X.2.3. Type d'électrification…….……89
X.2.4. Application au projet…….……..89
X.2.4.1. Le système 1x25 KV /50Hz…….……89
X.2.4.2. Équipement d'électrification……..……90
X.2.5 LE Gabarit de la caténaire……...……..91

CHAPITRE XI. Etude d'impact sur l'environnement
XI. Introduction…….……92
XI.1. Contexte juridique…….……..92
XI.2. Effet positif du projet…….……...……92
XI.3. Description du site et son environnement……...…….……93
XI.3.1. Environnement physique……...……..93
XI.3.2. Environnement biologique……..……...……..93
XI.3.2.1. La faune……93
XI.3.2.2. La flore…….……93
XI.3.3. Environnement socioculturel……..94
XI.3.3.1. Population et habitat……..94
XI.4. Evaluation des impacts prévisibles et les mesures à prendre pour chaque phase de projet……94
XI.4.1. Impacts sonores……...……94
XI.4.2. Impacts sur la faune…….....……95
XI.4.3. Impacts sur la flore……..……95
XI.4.4. Risque d'accidents……..……95
XI.4.5. Impacts sur la qualité de l'air et de l'eau……96
XI.4.5.1. Impacts sur la qualité de l'air……96
XI.4.5.2. Impacts sur les eaux superficielle et les eaux souterraines……96
XI.5. Conclusion……..97

CHAPITRE XII. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF
XII.1 Devis quantitatif et estimatif……98

Conclusion générale……..101

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 :Résultats des limites d'Atterberg……8
Tableau I.2 : Comparaison de la densité et teneur en eau obtenue en laboratoire et en place..10

Tableau II.1 : Evaluation de Population à wilaya de Saida……17
Tableau II.2 : Précipitations moyennes mensuelles et moyenne annuelle à la station
De Saida, pour la période 1970-2009……19

Tableau III.1 : longueurs minimales des alignements……...21
Tableau III.2 : valeurs limites de l'insuffisance de devers……23
Tableau III.3 : valeurs limites d'excès de devers……...23
Tableau III.4 : valeurs limites de devers pratique……..23
Tableau III.5 : valeurs limites de la variation du devers……24
Tableau III.6 : valeurs limites de la variation de l'insuffisance……24
Tableau III.7 : valeurs normal et maximal des paramètres du tracé de la voie…….……25
Tableau III.8 : valeurs des paramètres de la voie pour chaque rayon……26

Tableau VI.1 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités……..32
Tableau IV.2 : Valeurs de rayon de raccordement en profil en long (courbe circulaire)…....33
Tableau IV.3 Valeurs standards des paramètres cinématiques……...34
TableauIV.4 : Coordonnes des points de profil en long……35

Tableau V.1 : différents types d'investigation géotechnique in situ……...40
Tableau V. 2: programme de reconnaissance géotechnique (Essais au laboratoire)…….…40
Tableau V. 3 : Récapitulation des résultats du PDL……...42
Tableau V. 4: Implantation et description des sondages préssiométrique……43
Tableau V. 5: Implantation et description des sondages carottés……...45
Tableau V. 6: Implantation et description des puits de reconnaissances……46
Tableau V.7 : classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1)……49
Tableau V.8 : Résultats des essais au laboratoire……..……50
Tableau V.9 : Résultats des essais au laboratoire……...51
Tableau V.10 : Résultats de classification des sols……52

Tableau VI.1: Pluies maximales annuelles……54
Tableau VI.2 : Pluies maximales journalière……...……..54
Tableau VI.3 : Caractéristiques des bassin versants……...……...54
Tableau VI.4 : Paramètres de Montana……...…..55
Tableau VI.5 : Coefficient de ruissellement pour une période de retour t = 10 ans…...…….56
Tableau VI.6. : Caractéristique du bassin……..……57
Tableau VI.7 :Débits des bassins versant……...……...59
Tableau VI.8 : Coefficient de MANNING-STRICKLER……...……..59
Tableau VI.9 : Dimensions des ouvrages hydrauliques……..……..61
Tableau VI :10. Estimation des débits pour remblai……...……...63
Tableau VI.11 : Estimation des débits pour déblai……...……63

Tableau VII.1.1 : La classe de portance de la plateforme (fiche 719R)……...66
Tableau VII.1.2. : Paramètre de dimensionnement de la sous-couche……68
Tableau VII.1.3 : Épaisseurs des couches……...……..68

Tableau VIII.1.1 : Utilisation de matériau en remblai……...73
Tableau VIII.1.2 : Principale zone de remblai……...74
Tableau VIII.1.3 : Paramètres des couches du remblai……74
Tableau VIII.1.4 : Facteur de sécurité cas d'un remblai……74
Tableau VIII.1.5. Epaisseur et le volume de la terre végétal……..75
Tableau VIII.1.6 : Récapitulatif des volumes de terrassement……..75
Tableau VIII.1.7 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise……...75
Tableau VIII.2.1 : Les ouvrages d'arts projetés du projet……76

Tableau IX.3 : Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1…….…..80
Tableau IX.2 :Installations en gare……81
Tableau IX.3 :Caractéristiques des appareils de voie de la gare de Sidi Ahmed…….…..83
Tableau IX.4 : Caractéristiques des appareils de voie de la gare de croissement……..……84

Tableau XI.1 : Environnement physique……..93
Tableau XI.2: Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sonores)…….……...94
Tableau XI.3 : Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la faune)……..95
Tableau XI.4. Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la Flore)……..95
Tableau XI.5 : Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Risque d'accidents)……95
Tableau XI.6 : Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la qualité de l'air).……96
Tableau XI.7 :Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines)……96

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : le rail et le système d'attache……...……3
Figure I.2 : traverse monobloc et bi-bloc……3
Figure I.3 : structure de ligne nouvelles……..4
Figure I.4 :structure des lignes classiques……...5
Figure I.5 :les défauts de la géométrie……6
Figure I.6 :remonté boueuse……...6
Figure I.7 :courbe granulométrique du sol de la couche intermédiaire……8
Figure I.8 : Diagramme de CASAGRANDE……..9
Figure I.9 :Courbe de compactage proctor modifié……9
Figure I.10 variation de la conductivité en fonction de la densité……..10
Figure I.11 : variation du module de Yong en fonction de la teneur en eau et le chargement..11
Figure I.12 : déformation permanente en fonction de la teneur en eau et le chargement….11
Figure I.15 variation de déformation en fonction de la vitesse des trains……13
Figure I.14 : déformation permanente en fonction de la teneur en fines et le chargement…12
Figure I.15 variation de déformation en fonction de la vitesse des trains……13
Figure I.16 : Comportement du sol sous chargement (contrainte/déformation) avec des vitesses……..13

Figure II.1 : Vue globale sur la position du projet……..16
Figure II.2 : Vue satellitaire de tracé……16
Figure II.3 : Vue satellitaire du secteur de tracé concerné par l'étude……17
Figure II.4 : Le relief en allant de Saida vers EL Bayadh……...18
Figure III. 5 : Carte de zonage sismique d'Algérie (RPOA 2008)……19

Figure III.11 :Eléments du raccordement circulaire avec clothoïde……..27

Figure IV.12: Eléments géométriques du profil en long……....31
Figure IV.2: Longueur maximale de rampe……...32
Figure IV.3 : les éléments d'un raccordement en long……35

Figure V.1 : Situation de la zone d'étude sur l'extrait de la carte géologique au 1/500000....39
Figure V. 2 : Profil d'essai au pénétromètre dynamique lourd (PK 32+000)……41
Figure V. 3: profil pressiométrique de l'essai SP06 PK 49+664…..……..44
Figure V. 4 : photos de sondage F-10-SB ……..45
Figure V. 5 : photos puit de reconnaissance PU-13……46

Figure.VI.1 :Situation du tronçon ferroviaire sur la carte des bassins versant de l'Algérie..53
Figure VI.2 : Section des fossés……..……62

Figure VII:13.1 :Structure d'assise ferroviaire……..…….……...…..65
Figure VII.1 : Structure du profil en travers du projet …..…...……70

Figure VIII.1 : Les cercles de rupture pour les déblais au PK 31+050. (Logiciel TALREN V5)……....75

Figure IX.1 : Garage franc……...……77
Figure IX.2 : La longueur utile de stationnement et garage franc……78
Figure IX. 3 :Un heurtoir……..78

Figure IX.14 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie……79
Figure IX.5 :Localisation de la gare Sidi Ahmed……..81
Figure IX.6 : Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12. [7]……...…...82
Figure IX.7. Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/9. [7]……82
Figure IX.8 : Schéma de la gare de Sidi Ahmed……...…….83
Figure IX.9 : Schéma de la gare de croissement……...…….83

Figure X.15 : Le système européen de contrôle de la signalisation (ERTMS) niveau 1……88
Figure X.2 : Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV…..…….90
Figure X.3 : Pantographe……...……...90
Figure X.4 : Un massif de la caténaire……..……91

INTRODUCTION GENERALE

Le transport est un service nécessaire pour de nombreuses activités de la vie courante c'est un élément important dans le développement d'un pays donc l'être humain a toujours chercher de le développer il est même devenue de plus en plus sa préoccupation majeur, il essaie toujours d'exploiter la totalité de l'espace par le transport routier, chemins de fer, transport aérien et maritimes.

En Algérie, les secteurs des transports connaissent une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés où sont en phase de réalisation, afin de rendre ces secteurs plus performant et plus efficace dans ses contributions dans le développement économique du pays.

Parmi ces secteurs on trouve le secteur du transport ferroviaire qui a connu un développement remarquable dans les dernières années.

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il fait son apparition à la fin du XIXe siècle, il sert au transport de personnes et de marchandises aussi pour un but de désenclaver les régions éloignées du pays et d'assurer une croissance économique et sociale équilibrée.

Parmi ces projets on compte la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique à trafic mixte « Voyageurs, Marchandises » électrifiée reliant la wilaya de Saida et El Bayadh desservant les villes de Saida, Ain El Hadjar, Sidi Ahmed, El Kheither, Bougtob, Toussemouline, Kef El Ahmar, El Bayadh, d'une longueur d'environ deux cent (200) km .

Notre présent projet de fin étude consiste à faire une étude avant-projet détaillé « APD » d'un tronçon de cette nouvelle ligne situé dans la wilaya de Saida sur linéaire de 26km allant de PK 29+000 jusqu'à PK 55+000 vers El Bayadh ; avec la conception de la nouvelle gare de voyageurs à Sidi Ahmed.

Ce travail est structuré on comme suit :

Dans le premier chapitre qui concerne le sujet de master nous avons élaboré une recherche bibliographique sur le rôle de la couche intermédiaire dans le potentiel de la voie ferrée.

Le cœur de ce travail « projet de fin d'étude » s'articule autour de ces axes principaux :

- Présentation du projet et objectifs.
- Etude géométrique : tracé en plan, profil en long, profils en travers.
- Les différents éléments qui constituent la superstructure de la voie ferrée.
- Terrassements et dimensionnement de la structure on se basant sur des études géotechnique, hydrologique et hydraulique.
- Aspects général sur les ouvrages d'arts rencontrés.
- Conception de la nouvelle gare de voyageurs de Sidi Ahmed.
- Un devis estimatifs et quantitatifs du projet.
- Et pour finir une conclusion générale sur le travail effectué.

CHAPITRE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Introduction

Aujourd'hui, le réseau ferroviaire en Algérie est constitué de 4498 km. [1] Les gestionnaires Ferroviaire doivent garantir un service efficace et parfaitement sûr de ce réseau tout en faisant face d'une part, a une demande croissante en capacité de charge (charge sur essieu et fréquence des trains) et d'autre part, a une exigence de maitrise des couts de fonctionnement.

Le réseau ferroviaire en Algérie a fait son apparition à la fin du XIX^{eme} siècle et par conséquence, l'augmentation de la capacité nécessite des travaux de renouvèlement qui présente des couts importants, pour optimiser la modernisation de ces lignes il faut connaitre l'état de la structure ancienne afin d'être en capacité de déterminer si les travaux de RVB (renouvèlement voie ballast) nécessitent la réfection des structures d'assise.

Notre thème master a pour objectif de faire une approche des études effectuer sur le rôle de la couche intermédiaire dans le potentiel de la voie ferrée pour une éventuelle modernisation de nos réseaux ferroviaire. Dans ce contexte on va :

Présenter le réseau ferroviaire en Algérie, avec les différents éléments constituants de la voie ferre. Dans un second temps, nous présenterons, à travers les travaux de recherche effectuer dans plusieurs centres universitaires, la constitution de la couche intermédiaire. La partie centrale de ce chapitre présentera le processus de formation de la couche intermédiaire, son fonctionnement hydromécanique, et enfin le comportement de celle-ci face à des sollicitations hétérogènes (masse et/ou vitesse), afin d'avoir une approche globale du problème.

I.1. Historique des réseaux ferroviaire en Algérie [2]

La concrétisation des projets de chemin de fer en Algérie, intervient le 8 avril 1857 par un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1 357 km.

Le 18 juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement est lancée pour renforcer les lignes « d'intérêt général » avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant. Dans les trente années qui suivent, 2 035 km de lignes chemin de fer s'ajoutent en constituant le réseau ferroviaire algérien.

Entre 1907 et 1946 une troisième campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau.

À la fin de la Seconde Guerre mondiale le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5 015 km.

En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouverts.

En 2015, sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

le 13 octobre 2019, mise en service d'une nouvelle ligne reliant Alger à Touggourt. Elle est desservie par un train de longues distances.

I.2. La voie ferre

Une voie ferrée est constituée d'un assemblage de composants, qui transmettent la charge dynamique à la plateforme. La voie supporte les efforts transversaux, longitudinaux et verticaux liés à la circulation. [3]

Sous l'appellation « voie », on trouve l'armement qui repose sur une ou plusieurs couches granulaires formant, avec le ballast, la structure d'assise.

I.2.1 L'armement

Il est constitué de :

- Les rails (1): Les rails sont de longues barres d'acier profilées, qui sont mises bout à bout, servent à former un chemin de fer. Les rails servent à la fois de guide et de support de roulement pour les trains.
- Le tir fond : Un tire-fond (2) est une grosse vis que l'on serre dans un trou percé la traverse et dont la tête vient en contact avec le patin du rail.
- Les attaches (3): elles permettent la fixation du rail sur la traverse. Elles assurent à la fois une élasticité dans les sens vertical et horizontal. Une semelle (4) d'élastomère de 9 mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse afin d'assurer l'absorption des vibrations dans le rail.
- Les travers sont des éléments qui se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails. Les traverses constituent, grâce à leur équilibre, la liaison entre le rail et le ballast, formant ainsi l'ossature de la voie. [4]

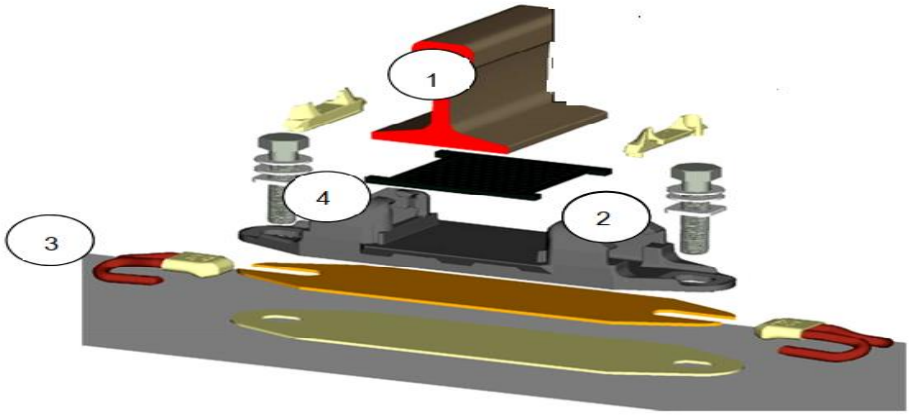


Figure I.1 : le rail et le système d'attache



Figure I.2 : traverse monobloc et bi-bloc

I.2.2 Le ballast

Le ballast est un granulat provenant du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granite, diorite, rhyolite, quartzite). Il constitue un élément support de la voie et fait partie de la superstructure. La notion de superstructure définit l'ensemble des composants reposant où se situant au-dessus de la sous-couche. Ce terme est en opposition a l'infrastructure qui intègre le sol support, la couche de forme et la sous-couche.

Le ballast a un rôle très important dans le comportement de la voie et il remplit les fonctions Suivantes :

- Transmettre et repartir les efforts à la plateforme dus aux charges statiques et dynamiques des circulations.
- Absorber les vibrations mécaniques et acoustiques ;
- Contenir grâce à la résistance au cisaillement les efforts latéraux (circulation en courbe, flambage consécutif de la dilatation des Longs Rails Soudes) et longitudinaux
- (Accélération, freinage).
- Drainer les eaux pluviales.
- Protéger le sol support vis-à-vis du gel.

L'armement et le ballast reposent sur des couches granulaires aux fonctions dédiées. Les structures ferroviaires reposent sur la Partie Supérieure des Terrassements, zone supérieure d'environ 1 m d'épaisseur (de terrains en place ou de matériaux rapportes) dont la surface est appelée arase des terrassements.

I.2.3 Infrastructure sous couche jusqu'à la plateforme [5]

- La sous-couche : c'est une couche de transition entre ballast et plateforme. Elle est constituée de matériaux grenus bien gradués permettant un compactage à q1 (100 % de l'Optimum Proctor) lors de sa mise en œuvre. Elle assure

- La protection de la partie supérieure de la plateforme contre l'érosion et l'action des eaux zénithales,

- La protection contre le gel

- La répartition des charges transmises.

Lors de sa mise en œuvre, la sous-couche est pentée transversalement (en toit ou pente unique) vers les dispositifs de drainage longitudinaux pour éviter les zones de rétention d'eau dans la plateforme, préjudiciables à sa portance.

- La couche de forme : elle a pour objectif de conférer à la plateforme une traficabilité compatible avec les besoins du chantier à court terme et d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques de l'arase. A long terme, la couche de forme permet de garantir le bon fonctionnement de la structure en service en assurant les rôles suivants : protection au gel, drainage des eaux zénithales infiltrées, répartition des contraintes sur le sol support.

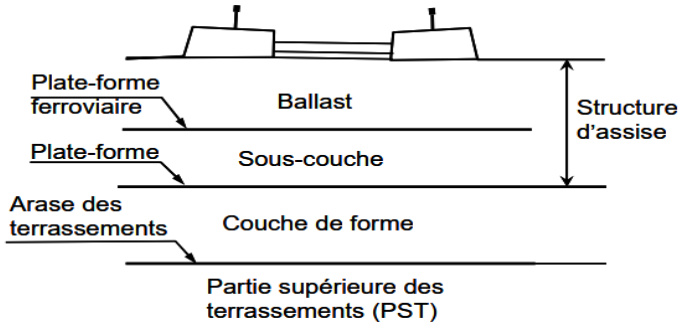


Figure I.3 : structure de ligne nouvelles

Sur les lignes classiques on trouve les structures suivantes :

- **Une couche de ballast pollué** qui se trouve entre la couche intermédiaire et le sol ballast.
- **Une couche intermédiaire** qui s'est créée depuis l'édification de la ligne sous l'action des trains.

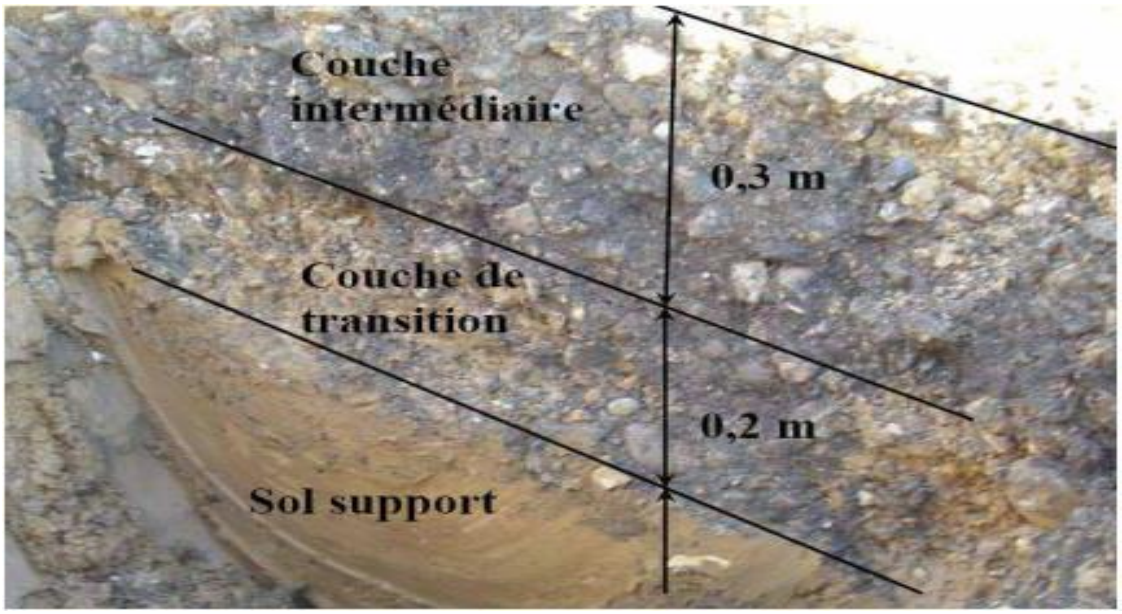


Figure I.4 :structure des lignes classiques[7]

I.3. Critère de maintenance de la voie ferre

L'objectif de ce paragraphe est de montrer l'impact que la dégradation de la voie ferrée peut avoir sur la sécurité et la régularité des circulations. Les anomalies peuvent être classées en deux catégories. La première est liée aux défauts d'armement ou défaut de voie, la seconde concerne les défauts lies à la plateforme. Dans ce qui suit nous allons revoir en bref l'ensemble de ces dégradations.

I.3.1 Les défauts de la géométrie [5]

La circulation des trains entraîne l'apparition de défauts de voie Ces défauts sont essentiellement de nature géométrique :

- **Les flèche** (1) par file de rail
- **L'écartement (2)** des faces internes des champignons.
- **La variation du dévers** (3) inclinaison du rail
- **Le gauchissement (4)** la torsion de la voie, qui représente le décalage vertical entre les deux files de rails
- **Le nivellement longitudinal (5)** de chaque file de rails

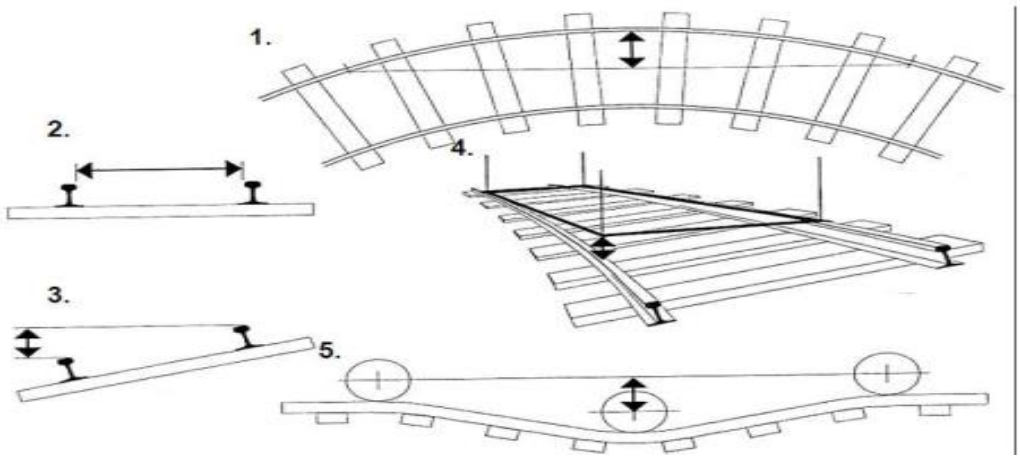


Figure I.5 :les défauts de la géométrie

Notons que les causes de dégradation de la géométrique de la voie peuvent être liés à des problèmes de superstructure, des couches d'assise et du sol support. [7]

I.3.2 Les défauts d'armement [5]

Ces défauts sont principalement dus à un vieillissement des constituants de la voie. Ainsi, un défaut sur les attaches (mal vissées) se répercutera sur la tenue latérale de la voie, un défaut de calage de la traverse va entraîner une danse, qui se caractérise par un déplacement vertical.

I.3.3 Les défauts de plateforme [9]

- Remontées boueuses : Les désordres dans les plateformes argileuses proviennent dans la généralité des cas de la présence d 'eau dans la zone où celles-ci sont en contact avec le ballast. Les mouvements verticaux de la traverse au passage des trains provoquent une action de pompage à la surface des moules, sous l'effet duquel l'argile sous-jacente, ramollie par l 'eau, remonte dans le ballast.
  Il faut donc empêcher le détrempage de l 'argile par les eaux.



Figure I.6 :remonté boueuse

- Défauts de portance : [5] Ils concernent les zones où les caractéristiques mécaniques du sol support sont faibles et ne permettent pas d'assurer une bonne tenue de la voie. Au passage des circulations, les vibrations transmises par le convoi se propagent dans la structure d'assise et provoquent la déstabilisation du ballast et donc des traverses. La tenue de la voie n'est alors plus assurée.

I.3.4. Synthèse

Dans la partie précédente on a présenté le contexte général de la voie ferrée. Pour cela on a revu l'historique de la construction du réseau et les différents types de structure ferroviaire, Dans un deuxième temps on a présenté les critères de maintenance des voies et les principales origines des problèmes qu'on rencontre en termes de tenue de la géométrie de la voie.

Les lignes classiques sont formé par interpénétration entre les fines du sol support et le ballast (couche intermédiaire). Il est donc nécessaire de caractériser la couche intermédiaire et de faire un parallèle avec la sous-couche qui constitue maintenant nos voies pour mieux comprendre le rôle de la CI dans le comportement de la voie ferré.

I.4. LA Couche intermédiaire

Cette couche est une couche hétérogène qui s'est créée au cours du temps sous l'action des trains, par l'interpénétration du sol support et des éventuelles couches de matériaux rapportés lors de la construction de la ligne ou de son entretien (ballast, pierres cassées, graviers, sables, produits d'usures, etc.). La densification au cours du temps et la nature géologique des terrains rencontrés confèrent une grande variabilité à cette structure on note aussi la présence d'une couche de transition située à l'interface entre la CI et le sol support. Cette couche se caractérise par une part plus importante d'éléments fins que celle contenue dans la couche intermédiaire. [7]

I.4.1 La création de la couche intermédiaire

D'après ces travaux sur La couche intermédiaire [7] Mr Trinh a montré que cette couche s'est créé par interpénétration entre le sol support et le ballast, cette hypothèse est confirmée à cause de la nature des fines constitutif de cette couche qui sont issu de la dégradation du ballast et les fines du sol support.

Ces travaux ont montré (analyse granulométries) que la couche intermédiaire est majoritairement constitué (42-48 %) de ballast, auquel s'ajoute entre 5-10 % de granulats supérieurs à 50mm.

Pour ce qui est du mécanisme d'interpénétration, celui-ci est conditionné par l'état hydrique de la plateforme, et les sollicitations dynamiques générées par les trains qui permettent la pénétration des granulats de ballast dans le sol support.

I.4.2 Caractéristique physique de la couche intermédiaire [7]

Pour caractériser la couche intermédiaire, on se base sur des travails réalisés par Trinh qui a effectué des prélèvements d'échantillons sur des lignes françaises.

Les matériaux utilisés pour ces essais ont été prélevés dans le déblai de Sénissiat sur le chantier ferroviaire Bourg-en-Bresse à Bellegarde. Au total, quatre prélèvements ont été réalisés à emplacements distincts.

Des essais ont permet de classer le sol de cette couche :

I.4.2.1 Mesure de la densité et de la teneur en eau naturel

Les valeurs obtenues sont :

- Masse volumique : **ρ** = 2,51 Mg/m3 ;
- Masse volumique sèche : **ρ**d = 2,39 Mg/m3 ;
- Teneur en eau massique : w = 5,13%.

I.4.2.2 Estimation de la perméabilité de la couche intermédiaire

Pour estimer la perméabilité, les excavations au niveau de la couche intermédiaire a été rempli par l'eau Après une demi-heure, le niveau d'eau dans le trou avait peu évolué montrant une faible perméabilité de la couche intermédiaire.

I.4.2.3 Analyse granulométrique

La figure I.7 présente les courbes granulométriques pour 4 échantillons du sol de la couche intermédiaire.

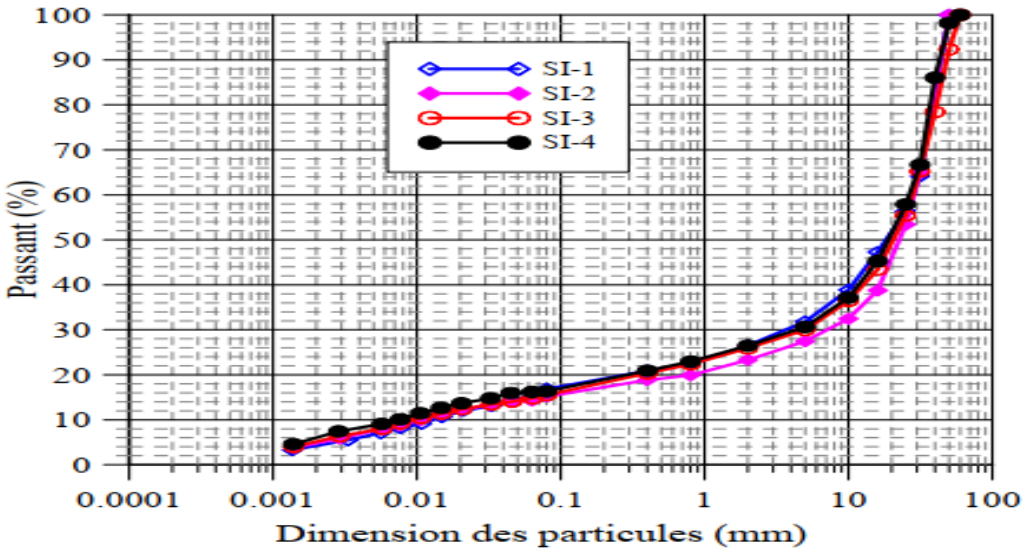


Figure I.7 :courbe granulométrique du sol de la couche intermédiaire [7]

A partir des courbes granulométriques, et après le calcul du coefficient d'uniformité Cu=3000 et de courbure Cc=83, on peut dire que la courbe granulométrique est bien étalée.

I.4.2.4 Limite d'Atterberg

Les résultats des essais sur le sol de la couche intermédiaire sont dans le tableau suivant :

Tableau I.1 :Résultats des limites d'Atterberg[7]

Limite de liquidité(%)	Limite de plasticité(%)	Indice de plasticité
40.2	28.9	11.3

Selon le diagramme de Casagrande, Les fines du sol de la couche intermédiaire correspondent à un limon peu plastique.

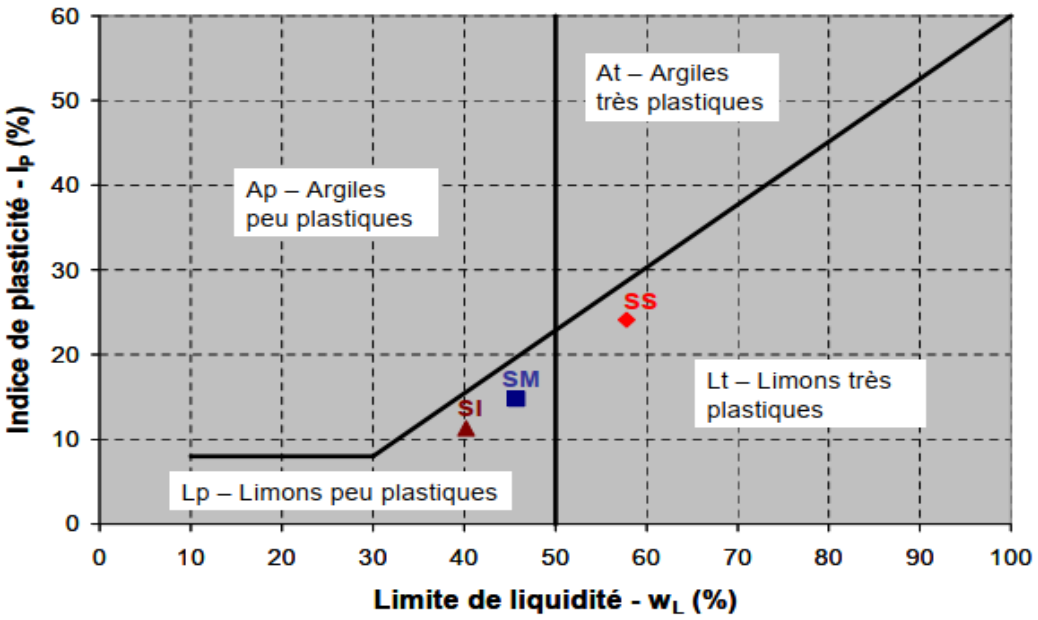


Figure I.8 : Diagramme de CASAGRANDE.[7]

I.4.2.5 Essai de compactage

Les propriétés de compactage du sol intermédiaire sont étudiées à l'aide de l'essai Proctor Modifié suivant la norme NF P94-093 (AFNOR, 1999). Le sol a été écrêté à 20 mm permettant ainsi de respecter les prescriptions de la norme. Les résultats obtenus sont tracés sur la Figure I.9.

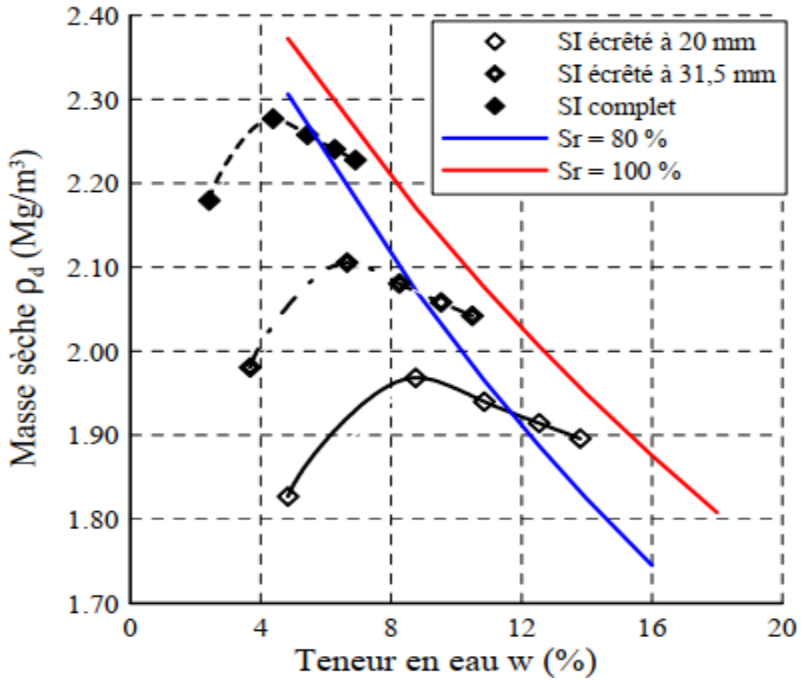


Figure I.9 :Courbe de compactage proctor modifié. [7]

Afin de mieux comparer les densités mesurées en place et au laboratoire, les densités de la fraction 0/20 mm et de la fraction 0/31,5 mm du sol intermédiaire en place sont estimées.

Tableau I.2 : Comparaison de la densité et teneur en eau obtenue en laboratoire et en place. [7]

Sol intermédiaire	En laboratoire		In situ		ρ_d / ρ_{dmax} (%)
	ρ_{dmax} (Mg/m3)	W_{OPM} (%)	ρ_d (Mg/m3)	w (%)	
Ecrêté à 20mm	1.97	8.8	2.16	10.3	109.6
Ecrêté à31,5mm	2.11	6.7	2.23	8.6	105.7
Complet	2.28	4.4	2.39	5.1	104.5

On observe que la densité en place est de 5 à 10 % plus élevée que la densité maximale obtenue en laboratoire.

I.4.3 Comportement hydromécanique de la couche intermédiaire [7]

La couche intermédiaire remplit une triple fonction. La première est de permettre le drainage d'eau en surface mais également celles infiltrées. La seconde est d'assurer la stabilité de la voie et enfin de jouer le rôle de séparation entre le sol support et le ballast. Afin de mieux appréhender ces deux premiers rôles, il est nécessaire d'en étudier le comportement hydraulique et mécanique de la couche intermédiaire.

I.4.3.1 Comportement hydraulique

La couche intermédiaire joue un rôle essentiel dans le drainage des eaux sur l'infrastructure ferroviaire. La nature et la constitution de la couche intermédiaire jouent un rôle important dans son comportement hydraulique. En effet, sa densité et sa teneur en fines évoluent dans le temps. Cette évolution influence sa capacité de drainage. Pour appréhender le comportement hydraulique de cette couche, il est nécessaire d'en déterminer sa conductivité hydraulique. Cette dernière est influencer par la densité du sol et la teneur en fine.

- Effet de la densité

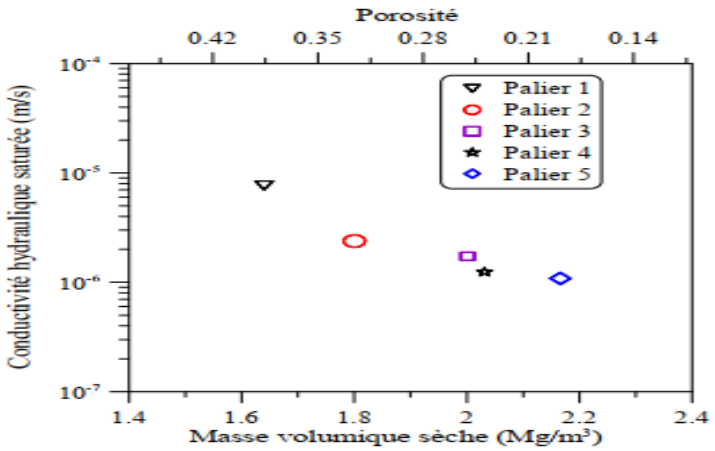


Figure I.10 variation de la conductivité en fonction de la densité. [7]

On constate que la conductivité du sol intermédiaire diminue lorsque la densité augmente.

- Effet des fines : les mesure de la conductivité hydraulique, en ajoutant des particules au sol intermédiaire, ont montré que l'augmentation des fines fait diminuer la conductivité hydraulique ainsi la nature minéralogique des fines a une influence sur la conductivité.

I.4.3.2. Comportement mécanique

- Effet de la teneur en eau sur le module réversible et la déformation permanente :

Des essais triaxiaux cyclique réalisées par MrTrinh sur le sol intermédiaire avec des teneurs en eau déférentes. la figure suintante montre la variation du module de Young on fonction de la charge appliqué en variant la teneur en eau.

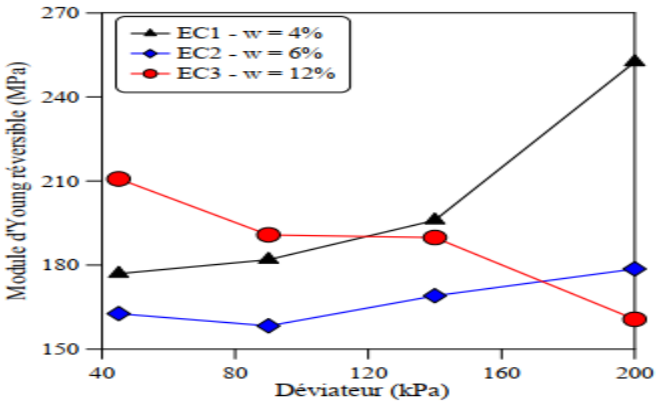


Figure I.11 : variation du module de Yong en fonction de la teneur en eau et le chargement.[7]

Il est constaté qu'avec l'augmentation du niveau de chargement, le module d'Young augmente pour **w** = 4 % et **w** = 6 %, tandis qu'il diminue pour **w** = 12 %. En conclusion, la teneur en eau influence le comportement réversible de la couche intermédiaire.

Pour les déformations permanentes on observe sur la figure suivante que l'augmentation de la teneur en eau a une influence importante sur l'augmentation de la déformation.et aussi l'augmentation du chargement a le même effet.

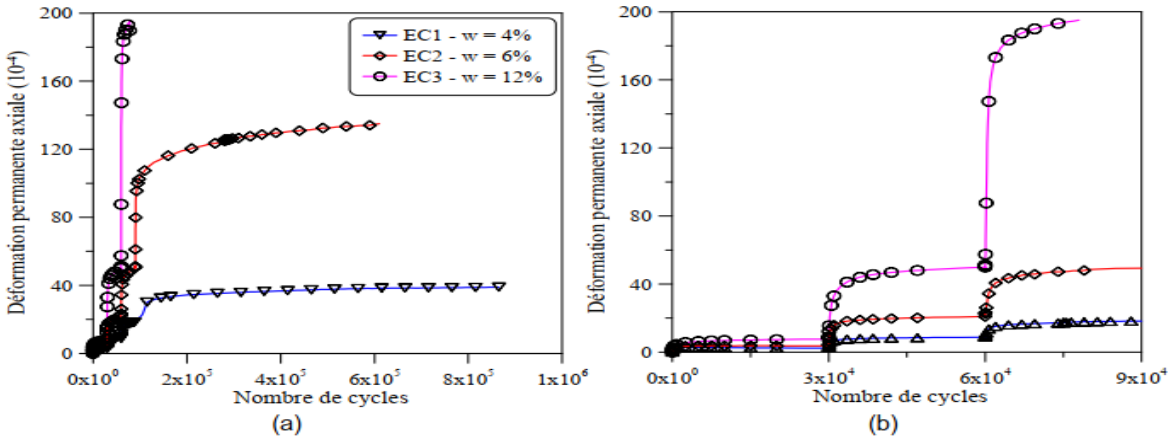


Figure I.12 : déformation permanente en fonction de la teneur en eau et le chargement. [7]

➢ Effet des fines sur le module réversible et la déformation permanente :

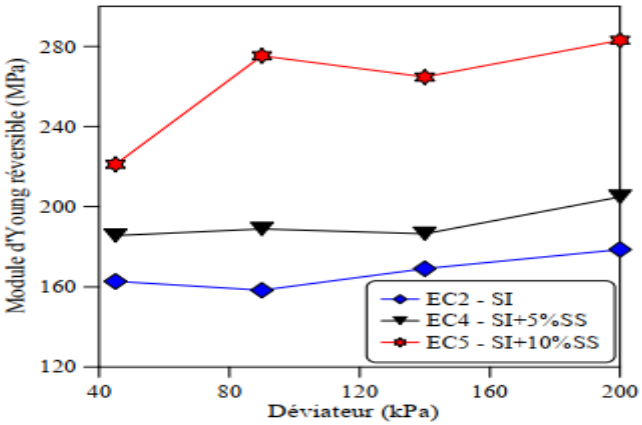


Figure I.13 : variation du module de Yong en fonction de la teneur en fine et le chargement. [7]

Des essais triaxiaux cyclique réalisées par Mr Trinh sur le sol intermédiaire avec variation du pourcentage des fines ont montré que pour le sol intermédiaire SI et SI+5% du sol support la valeur du module de Yong augmente de 165 MPa à 180 MPa et de 185 MPa à 205. L'impact du niveau de chargement est plus visible pour l'essai avec SI+10% de fines. Le module de Young pour cet essai croit de 220 MPa à 280 MPa.

Donc le module d'Young augmente lorsque la teneur en fines croît, mais que le niveau de chargement n'influence que peu le comportement réversible du sol contenant des pourcentages élevés des de fines.

Pour les déformations permanentes il est constaté qu'elles diminuent lorsque le pourcentage des fines augmente**.** Et elles augmentent avec l'augmentation de la charge appliquée.

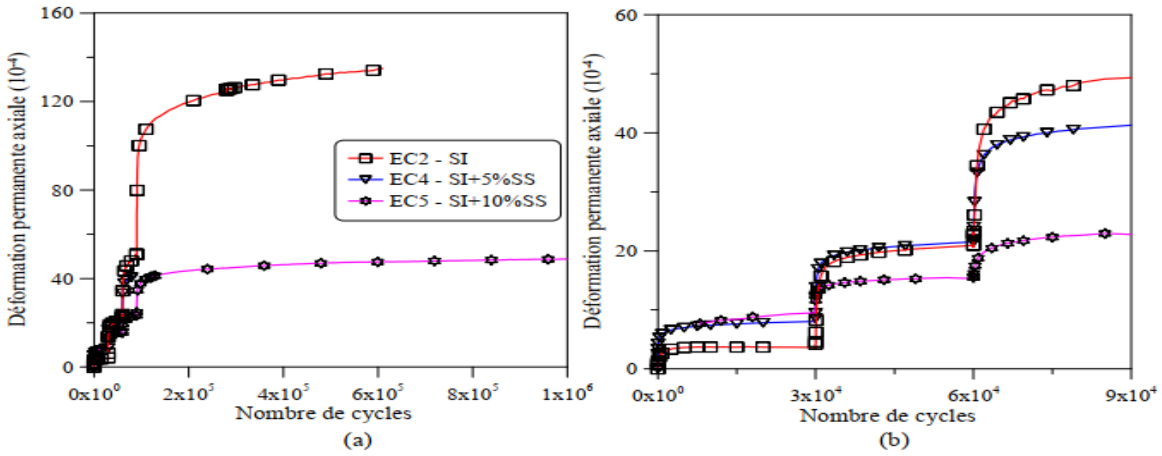


Figure I.14 : déformation permanente en fonction de la teneur en fines et le chargement. [7]

I.4.4. Influence de la circulation sur la couche intermédiaire [7]

La figure I.15 présente la déformation calculée dans la couche intermédiaire (-0,9 / 1,2 m) et dans le sol support (1,2 / 2,3m). Ce graphique montre une amplitude de déformation plus importante dans la couche intermédiaire que dans le sol support. Cela montre bien la capacité de la structure d'assise à absorber les déformations afin de diminuer les sollicitations appliquées au sol support.

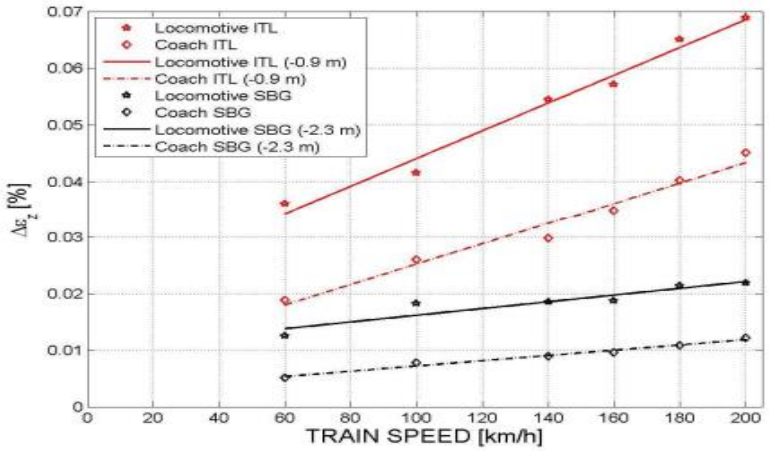


Figure I.15 variation de déformation en fonction de la vitesse des trains[7]

La figure I.16 montre que le module de Young décroit lorsque celui-ci est saturé en eau. Si l'on regarde plus précisément le résultat de ces essais en fonction de la vitesse, on remarque que la charge, pour les vitesses de 100 et 160 km/h n'ont pas d'influence sur le comportement mécanique du matériau, à l'inverse de la teneur en eau.

Mais pour une fréquence d'excitation équivalente à 200 km/h, l'effet de l'amplitude de chargement est visible pour l'échantillon saturé avec une augmentation des déformations permanentes plus importantes que pour les deux vitesses précédentes.

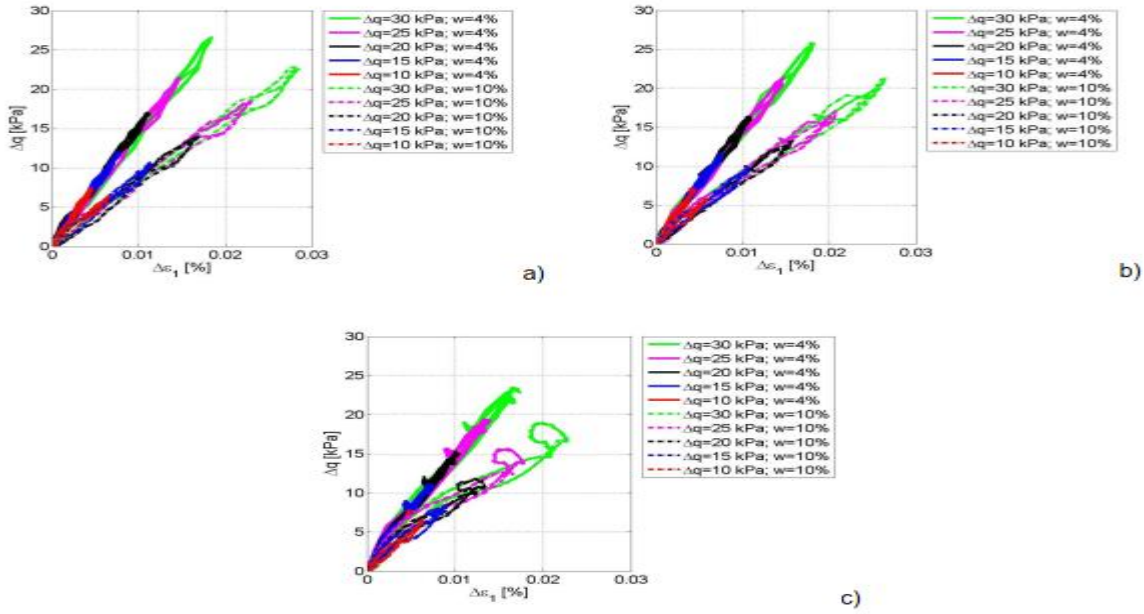


Figure I.16 : Comportement du sol sous chargement (contrainte/déformation) avec des vitesses : a) 100 km/h ; b) 160 km/h ; c) 200 km/h[7]

5.Synthèse

La présentation des travaux de Trinh (2011) a mis en évidence qu'une couche intermédiaire avait plus ou moins les mêmes caractéristiques qu'une sous couche de LGV, malgré un processus de création long (150ans). Ces deux matériaux ont un fuseau granulométrique et une densité d'OPM relativement proche. Ces premiers résultats peuvent donc être des prémices d'explication justifiant le bon fonctionnement de certaines de ces structures historiques.

Au cours du temps la densité et le pourcentage des fines de la couche intermédiaire évoluent cette évolution a un effet sur la diminution de la perméabilité, Cette diminution protège la structure des infiltrations qui augmentent la teneur en eau, aussi l'augmentation de la densité a un effet sur la diminution de la pression interstitielle. Ces deux facteur (teneur en eau et pression interstitielle) sont les causes principales des remontes boueuses.

De plus, la nature des fines (plasticité) joue un rôle prépondérant dans la dégradation du nivellement de la voie. Des fines plastiques, à faible pouvoir drainant, vont augmenter le phénomène de surpression interstitielle et remonter facilement de la boue dans le ballast.

Ainsi, ces essais montrent que les effets de la teneur en eau et de la part de fines sont liés. Un sol avec une forte teneur en fines présente un module réversible élevé. A l'inverse, quand le sol est à l'état saturé, les fines jouent le rôle d'une couche savon provoquant une diminution de ce module. Cette analyse met en évidence l'importance des conditions hydrique de la couche intermédiaire et donc celle des systèmes de drainage jalonnant la voie ferrée.

Le comportement mécanique de la couche intermédiaire dépend de son état (teneur en eau, teneur en fine, nombre de cycles), à partir de la connaissance du comportement du sol intermédiaire il est possible d'estimer la pérennité de la couche intermédiaire avant d'atteindre des déformations inadmissibles.

Pour l'influence de la vitesse et la charge, la couche intermédiaire joue un rôle important dans la dissipation des déformations ainsi l'augmentation de la vitesse et de la charge n'a pas d'influence sur le module réversible sauf à l'état saturé.

6. Conclusion

La couche intermédiaire qui est l'un des constituant de la structure ferroviaire ancienne a des performances très proche d'une sous couche sur les ligne LGV. Celle-ci permettent d'exploiter ces performances dans les opérations de renouvellement des voies pour diminuer les couts et rentabiliser ces opérations.

Pour les travaux de modernisation, Si la structure en place a une faible densité, assimilable à une faible portance, il n'est pas possible de construire une nouvelle structure. Dans ce cas, il est nécessaire de mettre en œuvre une sous-couche classique. Cette technique n'engendrera pas à proprement parlé la création de couche intermédiaire, mais la densité importante de la couche intermédiaire (100% de l'OPM) évitera la création de surpression interstitielle dans le massif de sol.

Pour les plateformes implantées en déblais il est important d'assurer un drainage longitudinal pour le maintien des propriétés de la couche intermédiaire. Ainsi, lorsque le drainage est mal calé où qu'il a disparu au cours du temps, il aura une dégradation de la couche intermédiaire qui se traduit par une perte de la géométrie de la voie. Cela nécessite une intervention sur la structure en y apposant un géotextile de séparation pour éviter la remontée de fines ou en recréant une sous couche.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] https://fr.wikipedia.org
- [2] www.sntf.dz
- [3] Jean Alea (la voie ferré)
- [4] https://repositorio-aberto.up.pt les matériaux de voie ferrée sur ligne grande vitesse (LGV).
- [5] Mémoire de doctorat de Nicolas Calon rôle de la couche intermédiaire dans le potentiel de la voie ferre.
- [6] Gerin 1996 Approche expérimentale et numérique du comportement du ballast des voies ferrées.
- [7] Mémoire de doctorat de Trinh Viet Nam : comportement hydromécanique des matériaux constitutifs des plates formes ferroviaires anciennes.

CHAPITRE II

PRESENTATION DU PROJET

II. Introduction

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires en Algérie, L'Agence Nationale d'Étude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) a adopté un programme de restructuration du réseau ferroviaire National par la modernisation des lignes existantes. Cette modernisation comprend l'augmentation des vitesses de circulation par la rectification du tracé des lignes, la remise en état des plateformes ferroviaire, l'électrification, le renouvellement de la voie et du ballast et la construction de nouvelles lignes moderne. Dans ce qui suit nous allons présenter notre projet.

II.1. Description globale du projet

Le projet a pour objet l'élaboration de l'étude d'avant-projet détaillée (APD) pour la réalisation d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée à 220km/h entre Saida et El Bayadh, d'une longueur d'environ deux cent (200) km pour une vitesse d'exploitation à 220Km/h.

L'ensemble de ces raccordements doit permettre de réduire de façon substantielle les temps de parcours entre ces villes, ce qui aura des incidences positives sur l'économie locale, régionale et même nationale. La prévision du temps de parcours pour les trains de voyageurs et marchandise souhaités de ces raccordements Saida – EL Bayadh est :

- Voyageurs : 1 h 17.
- Marchandises : 2 h 27.

Le tracé de la nouvelle ligne Saida / El Bayadh sur une longueur d'environ 200.60 kilomètres, il suit une direction Sud-Ouest traversant deux wilayas entre Saida et El Bayadh.

La répartition du linéaire est comme suit :

Il débutera dans la wilaya de Saida précisément à la ville de Saida sur 62km (31%),138.6km (69%) dans la wilaya de El Bayadh.

Le tracé relie sept « 07 » agglomérations importantes sont :

- La ville de Saida.
- La ville de Ain El Hadjar (Saida).
- La ville de Sidi Ahmed (Saida).
- La ville de El Kheither (El Bayadh).
- La ville de Bougtob (El Bayadh).
- La ville de Kef El Ahmar (El Bayadh).
- La ville de El Bayadh.
- 6 gare de croissement.

Il contient 40 pont de franchissement (Passage Supérieur), 5 Ouvrage d'Art type caisson en béton armée (Passage inférieur), Trois Pont ferroviaire (Pont Chott chergui PK 92+800 L=2400m, pont au PK 135+975 L=1125m, Pont au PK 140+240 L=850m), Un Tunnel au PK 191+550 sur une longueur 3200m.

II.2. Localisation du projet

La nouvelle ligne ferroviaire est située à l'ouest de l'Algérie comme la montre dans l'annexe A1

Le PK 0+000 origine de la nouvelle ligne ferroviaire se trouve à la sortie de La ville de Saida, Elle traverse la wilaya de Saida par trois (3) communes, ensuite la wilaya de El Bayadh où se situe le tronçon le plus le long du projet, (4) communes sont traversées dans cette wilaya (voir l'annexe A2).

Le tronçon concerné par notre étude est situé au sud de la ville de Saida, il débutera juste Avant la ville de Sidi Ahmed au PK 29+000 et s'étendra sur 26 km contenant une nouvelle gare de voyageurs à Sidi Ahmed et se terminera au PK 55+000 (voir l'annexe A3).

II.2.1. Description de couloir étudie

Pk	Obstacles
29+300	Piste
29+900	Route
30+200	Ligne électrique
30+300	Construction
30+700	Ligne électrique
31+330	Ligne ferroviaire
32+010	Piste
32+050	Piste
38+000	Piste
39+565	Piste
47+500	Piste
49+660	Piste
49+850	Piste
50+150	Ligne électrique
50+700	Ligne électrique
51+100	Ligne électrique
51+210 à 51+620	Ligne d'arbres
51+820	Piste
52+220	Poteau électrique
52+260	Ligne ferroviaire
52+280	Route
52+915	Ligne électrique
52+950	Construction
53+410	Ligne électrique
54+180	Piste

II.3. Présentation de la wilaya de Saida

La wilaya est située dans l'ouest algérien et elle s'étend sur une superficie de 6 613 km2.

La wilaya de Saïda est délimitée depuis le découpage administratif de 1985, comme suit :

- Au nord par la wilaya de Mascara
- À l'ouest par la wilaya de Sidi-Bel Abbés
- Au sud par la wilaya d'El-Bayadh
- À l'est par la wilaya de Tiaret

II.3.1. Démographie

Tableau II.1 : Evaluation de Population à wilaya de Saida

Wilaya	L'an 1987	L'an 1998	L'an 2008	L'an 2010
Saida	235.240	280.752	312.747	330.641

Une densité de population 200 hab/km^2

II.3.2. Relief

Saïda se situe dans les derniers contreforts tabulaires du versant sud de l'Atlas tellien qui est formé par les monts de Tlemcen, de Daya et de Saïda et au seuil des hautes plaines steppiques et des hauts plateaux. Elle est située entre l'extrémité des monts de Daya au nord et la région des hauts plateaux au sud. Elle s'étend au pied de ces deux massifs de l'Atlas tellien que traves l'oued de Saïda. Située au fond d'une vallée a une altitude moyenne de 800m, Saïda est entourée par les monts de Daya a l'ouest (Sidi Ahmed Zeggaï) au sud par le montage de Sidi Abdelkader et les fameux tétons d'Aicha, à l'Est par les monts de Saïda avec entre autre le Djebel de Tiffrit qui culmine à 1200m.

La vallée est couverte d'une vaste superficie forestière de 156 Ha soit 23.5% de la superficie globale de la wilaya.



Figure II.1 : Le relief en allant de Saida vers EL Bayadh

II.3.3. Climat

Semi-aride, le climat de la région est sec et chaud en été et très froid en hiver. Il est rude et sec.

- **Précipitation**

Le module moyen annuel des précipitations au niveau de la station de Saida est estimé à 326.41 mm pour la période allant de 1970 à 2009 avec un maximum de 41.43 mm enregistré au mois de novembre et un minimum en mois de juillet estimé à 4.83 mm.

Tableau II.2 : Précipitations moyennes mensuelles et moyenne annuelle à la station De Saida, pour la période 1970-2009.

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	an
Saida	20,03	34,35	41,43	39,43	37,43	35,83	30,03	33.13	29,73	10,63	4,83	9,53	326,4

II.3.4. Sismicité

D'après le Règlement Parasismique Algérien « RPOA 99 / version 2003 », la wilaya de Saida appartient à une zone sismique « **I** ».

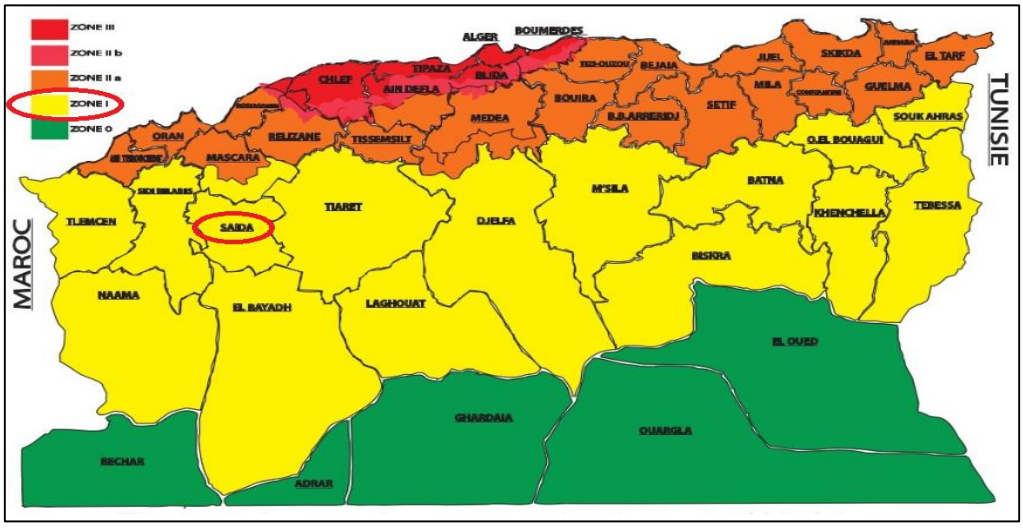


Figure III. 2 : Carte de zonage sismique d'Algérie (RPOA 2008). [3]

II.4. Caractéristiques de base du projet

Paramètres de tracé suivant les référentiels SNTF.

- Ligne à voie unique de 26 km.
- Ouvrages d'art prévus pour double voie.
- Ecartement standard (1435 mm en alignement).

- Entre axes : 4,20 m.
- Charge à l'essieu :
  - Infrastructure : 22,5 T
  - Ouvrage d'art : 25,0 T
- Gabarit d'obstacle : UIC (y compris caténaire en 25 kV).
- Voie équipée de rails UIC 60 posés sur traverses en béton armé (bi-bloc).
- Mode de traction : diesel / électrique.
- Vitesse de conception de la ligne :
  - Voyageurs : 220 km/h,
  - Marchandises : 100 km/h
- Signalisation de type ERTMS (European Rail Traffic Management System).
- Télétransmissions de type GSM-R (Global System for Mobile communication Railways) et fibre optique.
- Electrification en 25 kV/50Hz.

II.5. Conclusion

Ce projet a pour un but de désenclavement et développement des régions du sud, de régler le problème de transport entre Saida et El Bayadh à la fois des personnes et de marchandise aussi de diminuer le temps du parcours pour permettre aux voyageurs de gagner du temps de déplacement tout en respectant tous les normes ont plus les exigences environnementales.

CHAPITRE III

TRACE EN PLAN

III. Introduction

Le tracé en plan d'une ligne de chemin de fer est l'un des trois éléments essentiels qui permettent de caractériser la géométrie d'une voie ferrée, il se caractérise par une succession de courbes et d'alignements qui représentent la projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'axe de la voie.

III.1. Règles à respecter dans le tracé en plan

- L'adaptation du tracé en plan avec le terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants
- Eviter les zones agricoles et les forets
- Eviter les propriétés privées
- Eviter les oueds pour minimiser les ouvrages d'arts
- Essayer d'utiliser le maximum des alignements.
- Utiliser des grands rayons pour les arcs.
- Se raccorder au réseau existant

III.2. Éléments de trace en plan

III.2.1. Les alignements

Pour assurer les meilleures conditions de confort et de sécurité il est recommandé d'utiliser le plus possible d'alignements dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous permet.

Selon le référentiel SNTF les longueurs minimales des alignements sont :

Tableau III.1 : longueurs minimales des alignements.[4]

Valeur minimale normale(m)	**V/2=110**
Valeur minimale exceptionnelle(m)	**V/3=73.34 (en prend 75 m)**

III.2.2 Les raccordements circulaire

Le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires en respectant des valeurs minimales pour les rayons.

Ces valeurs des rayons sont limitées afin d'assurer le confort des usagers et la sécurité et minimiser les efforts latéraux sur la voie.

Selon le référentiel SNTF on détermine les rayons comme suit :

- Pour la vitesse minimale de circulation des trains lents, l'excès de dévers E devra être inférieur à la valeur maximum admissible.
- Pour la vitesse maximale de circulation des trains rapides, l'insuffisance de dévers I devra être inférieure à la valeur maximale admissible.

$$11.8 * \frac{V_{min}^2}{D_{max} - E} \geq R \geq 11.8 \frac{V_{max}^2}{D_{max} + I}$$

III.2.3. Les raccordements progressifs

Le raccordement entre l'alignement droit et le cercle doit être fait avec des courbes de raccordement progressives (la clothoïde), ce type de raccordement permettre d'introduire progressivement le devers dans le but respecter les conditions du confort et de sécurité.

III.2.3.1. Longueur de raccordement

C'est la longueur du clothoïde qui permettre le raccordement d'alignement avec la courbe circulaire en respectant les conditions sur les devers. . **[4]**

$$L \geq \max\left(\frac{dp}{\left(\frac{dd}{dl}\right)max} \; ; \; \frac{dp*V}{3.6*\left(\frac{dd}{dt}\right)max}; \; \frac{I*V}{3.6*\left(\frac{dI}{dt}\right)max}\right)$$

- L en (m)
- dd/Δt (variation de dévers en mm) est recommandé

le clothoïde est défini par un paramètre A avec $A = \sqrt{L * R}$

III.2.4. Les devers

Le devers est la différence d'altitudes entre les deux files de rail qui composent la voie.

III.2.4.1. Le devers théorique

Pour une vitesse V du train on établit un dévers telle que la résultante du poids du véhicule et de la force centrifuge est perpendiculaire au plan de roulement, dans ce cas l'accélération transversale est entièrement compensée. L'action de l'accélération transversale peut conduire au déraillement du train, la fatigue de la voie et du matériel roulant.

III.2.4.2 L'excès et l'insuffisance

Les voies mixtes doivent permettre la circulation des trains rapide et les trains lente en respectant les conditions de confort et de sécurité.

Pour le calcul du devers Si l'on prenait la valeur la vitesse maximale des trains de voyageurs, leur confort serait totalement compensé. Par contre les boudins des roues des trains de marchandises, plus lents, porteraient sur le flan du champignon des rails de la file basse, ce qui rendrait le démarrage des trains dans les courbes de petit rayon, difficile. La surcharge de ces rails entrainerait, en outre, l'écrasement du champignon et la formation de bavures transversale.

Si on se basait sur la vitesse des trains de marchandises, on ne peut pas compenser l'accélération transversale

On adopte donc pour une solution de compromis donnant une insuffisance **I** pour les trains les plus rapides, et un excès **E** pour les trains les plus lents avec :

$$I = \frac{11.8 * V_r^2}{R} - dp$$

Tableau III.2 : valeurs limites de l'insuffisance de devers.[4]

Valeur maximale normale(mm)	**150**
Valeur maximale exceptionnelle(mm)	**160**

$$E = dp - \frac{11.8 * V_I^2}{R}$$

Tableau III.3 : valeurs limites d'excès de devers.[4]

Valeur maximale normale(mm)	**110**
Valeur maximale exceptionnelle(mm)	**130**

III.2.4.3. Le devers pratique

Le dévers réel appliqué aux sur la voie est limité à une valeur inferieur à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapides, et un excès de dévers pour les trains lents.

Donc la valeur de ce dévers est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

La valeur du devers est (norme SNCF) : dp= $\frac{1000.C}{R}$ (mm).

Avec C coefficient de devers.

Le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers prescrit et la courbure.

En introduit le coefficient C afin de conserver l'homogénéité du confort sur la ligne.

Tableau III.4 : valeurs limites de devers pratique.[4]

Valeur maximale normale(mm)	**160**
Valeur maximale exceptionnelle(mm)	**180**

III. 2.4.4. Variation de devers dd/dL

C'est le taux variation de devers par unité de langueur exprimé en (mm/m).

Tableau III.5 : valeurs limites de la variation du devers.[4]

Valeur maximale normale(mm/m)	**180/V=0.82**
Valeur maximale exceptionnelle(mm/m)	**216/V=0.98**

III. 2.4.5 Variation de l'insuffisance de devers dI/dt

C'est le taux variation de l'insuffisance de devers par unité du temps exprimé en (mm/s) elle correspond à la vitesse de circulation.

On détermine cette variation à partir de la formule suivante :

- $\frac{dI}{dt} = \frac{I*V}{3.6*L}$ Entre alignement et courbe

Tableau III.6 : valeurs limites de la variation de l'insuffisance.[4]

Valeur maximale normale(mm/s)	75
Valeur maximale exceptionnelle(mm/s)	90

III.3. Application au projet

Pour les vitesses :

- **Vitesse des trains rapides 220 km/k**
- **Vitesse des trains lents 100 km/h**

Le tableau suivant résume les valeurs normale et maximale recommandés pour les différents paramètres

Tableau III.7 : valeurs normal et maximal des paramètres du tracé de la voie.

Paramètre	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
d (mm)	**160**	**180**
E (mm)	**110**	**130**
I (mm)	**150**	**160**
dd/dl (mm/m)	**180/V=0.82**	**216/V=0.98**
dd/dt (mm/s)	**50**	**60**
dI/dt (mm/s)	**75**	**90**

III.3.1 Calcule de rayon minimal

Selon le référentielle SNTF le rayon minimal est :

$$11.8 * \frac{V_{min}^2}{D_{max} - E} \geq Rmin \geq 11.8 * \frac{V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}$$

a=1.5 m
g=9.8 m/s^2
Dmax=160 mm
Vmax =220 km/h

$$11.8 * \frac{100^2}{160-110} = 2360\text{m} \geq \text{Rmin} \geq 11.8 * \frac{220^2}{160+150} = 1843m$$

En prend Rmin=1900 m.

Le devers pratique associé au rayon minimal est donné par :

$$\text{dp} = \frac{1000*\text{C}}{\text{R}} = \frac{1000*0.006*220^2}{1900} = 152{,}84\ \text{mm} < 160\text{mm}$$

Donc on peut retenir Rmin=1900m

III.3.2. Exemple d'application

On applique pour le premier rayon du tracé : R_1=2000 m

Calcul du coefficient du divers C

$$C = 0.006 * V_R^2 = 0.006 * 220^2 = 290.4$$

Calcul du devers pratique

$$\text{dp} = \frac{1000.\text{C}}{\text{R}} = \frac{1000*0.006*220^2}{2000} = 145\ \text{mm}.$$

En prend dp=150 mm<160mm.

Calcul du devers théorique

Pour les trains rapides :$D_{tr}=11.8*\frac{V^2}{R}=11.8 * \frac{220^2}{2000} = 285.56mm$

pour les trains lents : $D_{tl}=11.8*\frac{V^2}{R}=11.8 * \frac{100^2}{2000} = 59mm$

Calcul de l'insuffisance

$$\text{I} = \text{D}_{\text{tr}} - \text{d}_{\text{p}} = 285.56 - 150 = 135.56\text{mm} < 150\text{mm}.$$

Calcul de l'excès

$\text{E} = d_p - D_{tl} = 150 - 59 = 91mm$<110mm.

Calcul de la longueur du clothoïde « L » et paramètre du clothoïde « A »

$$\text{L} \geq \frac{\text{dp} * \text{Vmax}}{3.6 * \frac{\text{dd}}{\text{dt}}} = \frac{150 * 220}{3.6 * 50} = 183.33\text{m}$$

En prend L=190m

$$\text{A} = \sqrt{\text{L} * \text{R}} = \sqrt{2000 * 190} = 616.44$$

Vérification du devers

$$\frac{dd}{dL} = \frac{150}{190} = 0.79mm/m < 0.82mm/m$$

Vérification de variation de l'insuffisance

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I * V}{3.6 * L} = \frac{135.56 * 220}{3.6 * 190} = 43.6mm/s < 75mm/s$$

Tableau III.8 : valeurs des paramètres de la voie pour chaque rayon.

R (m)	c	Dp (mm)	dp retenu (mm)	E (mm)	I (mm)	Lmin (m)	L retenu (m)	A	dI/dt (mm/s)	dI/dL (mm/m)
2000	290,4	145,2	150	91	135,56	183,33	190	616,44	43,60	0.79
3500	290,4	82,97	90	56,28	73,17	110	120	648,07	37,26	0.750
2000	290,4	145,2	150	91	135,56	183,33	190	616,44	43,60	0.79

III.4. Calcule de l'axe

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées, et il doit suivre les étapes suivantes :

- Calcul de l'angle γ
- Calcul de l'angle τ,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la corde SL,
- Vérification de non chevauchement,
- Calcul de l'angle polaire σ,
- Calcul de α,
- Calcul de La longueur de l'arc,
- Calcul des coordonnées des points singuliers.
- Calcul de gisements

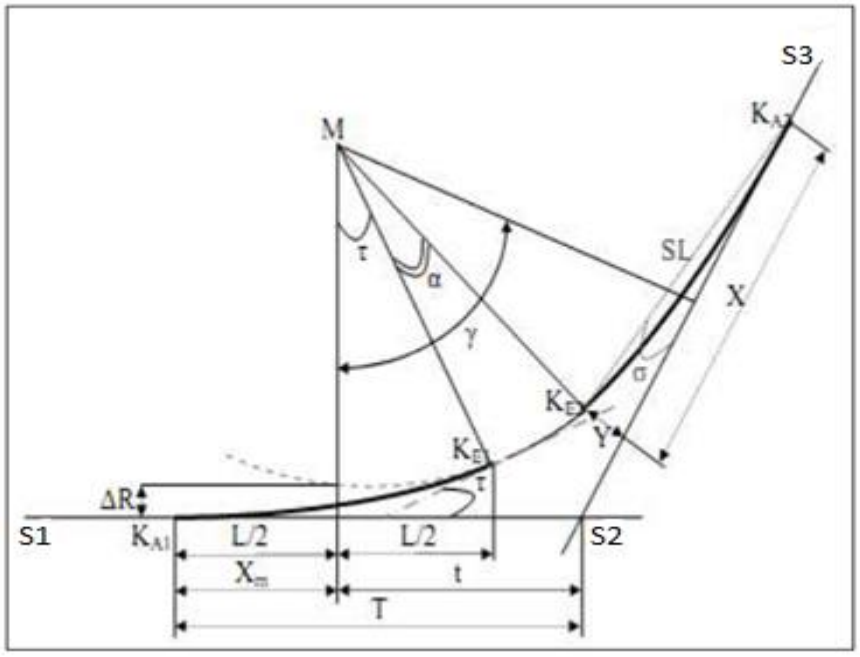


Figure III.1 : éléments du raccordement circulaire avec clothoïde

III.4.1. Cordonnés des sommets

- $S_1 \begin{bmatrix} X_{S1} = 247446.4809 \\ Y_{S1} = 3826907.1828 \end{bmatrix}$
- $S_2 \begin{bmatrix} X_{S2} = 248578{,}6795 \\ Y_{S2} + 3824318{,}2129 \end{bmatrix}$
- $S_3 \begin{bmatrix} X_{S3} = 246257.3863 \\ Y_{S3} = 3820050.3906 \end{bmatrix}$
- $S_4 \begin{bmatrix} X_{S4} = 231942.9656 \\ Y_{S4} = 3811092.9785 \end{bmatrix}$
- $S_5 \begin{bmatrix} X_{S5} = 231678.1791 \\ Y_{S5} = 3809486.0414 \end{bmatrix}$

III.4.2. Exemple de calcule de l'axe

On fait l'exemple de calcule de l'axe sur le premier virage (S1-S2-S3) dont :

R1=2000 m

A=616.44

L=190m

Calcule des gisements et des distances

- S_1-S_2 :

$|\Delta X_{1\text{-}2}|$= 1132.19m

$|\Delta Y_{1\text{-}2}|$= 2588.97

$G_{1\text{-}2}=100 + \text{arctang}\left(\frac{|\Delta Y1-2|}{|\Delta X1-2|}\right) = 100 + \text{arctang}\left(\frac{2588.97}{1132.19}\right) = 173.75\text{grad}$

$$S_1S_2 = \sqrt{(\Delta X_{1-2})^2 + (\Delta Y_{1-2})^2} = \sqrt{(1132.19)^2 + (2588.97)^2 = 2825.71\text{m}}$$

- S_2-S_3 :

$|\Delta X_{2\text{-}3}|$= 2321.29m

$|\Delta Y_{2\text{-}3}|$= 4267.82m

$G_{2\text{-}3}=300 - \text{arctang}\left(\frac{|\Delta Y2-3|}{|\Delta X2-3|}\right) = 300 - \text{arctang}\left(\frac{4267.82}{2321.29}\right) = 231.71\text{grad}$

$$S_2S_3 = \sqrt{(\Delta X_{2-3})^2 + (\Delta Y_{2-3})^2} = \sqrt{(2321.29)^2 + (4267.82)^2 = 4852.26}$$

Calcul de l'angle γ

$$\gamma = |G_{2-3} - G_{1-2}| = |231.71 - 173.75| = 57.95 \text{ grad}$$

Calcul de l'angle τ

$\tau=\frac{200*L}{2*\pi*R}=\frac{200*190}{2*\pi*2000}=3.02grad$

Calcule de ripage ΔR

$$\Delta R=\frac{L^2}{24*R}=\frac{190^2}{24*2000}=0.752\ m$$

Calcule de la tangente T

$$T=Xm+(R+\Delta R)*tag\frac{\gamma}{2}=95+(2000+0.752)*tag\frac{57.95}{2}=1074.34m$$

Avec Xm=L/2=190/2=95 m

Calcule de la distance S_1-K_{A1}

$$S_1K_{A1}=S_1S_2-1074.34=2825.71m-1074.34=1751.13m$$

Calcule de la corde SL

$$SL=\sqrt{X^2*Y^2}$$

Avec X=L=190m et $Y=L^2/6R=190^2/(6*2000)=3m$

D'où SL=190.02 m

Calcul de l'angle polaire σ

$$\sigma=arctang\frac{Y}{X}=arctang\frac{190}{3}=1.55\ grad$$

Coordonnés des points singuliers

- K_{A1}

$X_{KA1}=X_{S2}-T*\sin(G_{1-2})=248148.21$

$Y_{KA1}=Y_{S2}-T*\cos(G_{1-2})=3825302.55$

- K_{A2}

$X_{KA2}=X_{S2}-T*\sin(G_{2-3})=248065.35$

$Y_{KA2}=Y_{S2}+T*\cos(G_{2-3})=3823374.34$

- K_{E1}

$X_{KE1}=X_{KA1}+SL*\sin(\sigma+G_{1-2})=248224.35$

$Y_{KE1}=Y_{KA1}+SL*\cos(\sigma+G_{1-2})=3825127.26$

- K_{E2}

$X_{KE2}=X_{KA2}-SL*\cos(\sigma+G_{2-3})=248156.14$

$Y_{KE2} = Y_{KA2} - SL * \sin(\sigma + G_{2-3}) = 3823539.91$

NB : Pour les éléments géométriques du tracé en plan voire l'annexe B

III.5. Obstacles à traverser le long du tracé

Pk	Obstacles
29+300	Piste
30+300	Construction
31+330	Ligne ferroviaire désaffecté
32+075	Piste
37+950	Piste
49+650	Piste
52+300	Piste
52+260	Ligne ferroviaire désaffecté
52+950	Construction
53+645	Piste

CHAPITRE IV

PROFIL EN LONG

IV. Introduction

Le profil en long de la voie est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires. Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote des points P, correspond au-dessus de là sous couche des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

- Les points kilométriques PK et distances cumulées.
- La côte du point P.
- La côte du terrain naturel TN
- La valeur du remblai ou déblai.
- Les éléments du tracé en plan.
- Pentes, Rampes et courbes verticales.
- Les ouvrages d'art et les ouvrages hydraulique.
- La position des appareils de voie des voies de raccordement, gares.

IV.1. Elément géométrique de profil en long

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

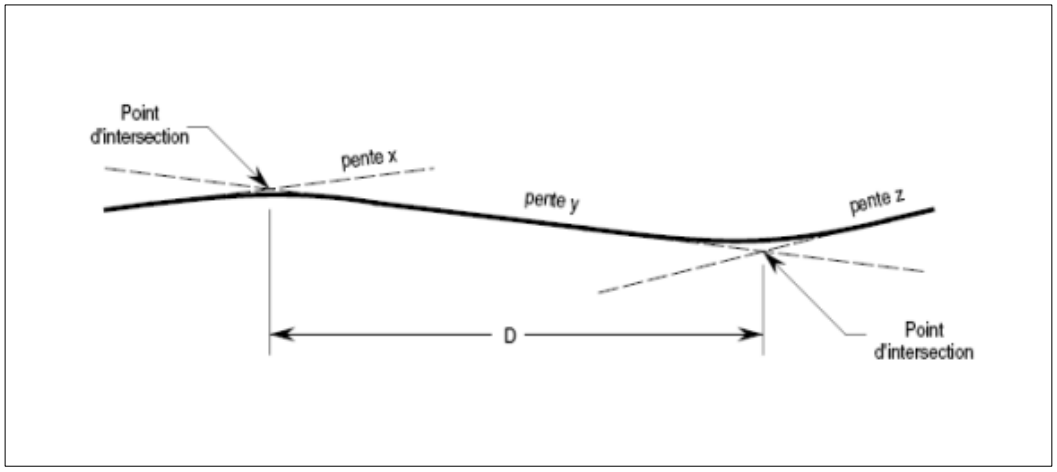


Figure IV.1:Eléments géométriques du profil en long.

IV.1.1. Déclivité maximale

La déclivité (rampe et pente) d'une ligne affecte les possibilités de freinage et de démarrage et pour éviter ces deux problématiques il est nécessaire de déterminer des valeurs de pentes et de rampes limites maximales à appliquer sachant que la déclivité admise varie en fonction de sa longueur selon le référentiel technique de la SNTF qui stipule :

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

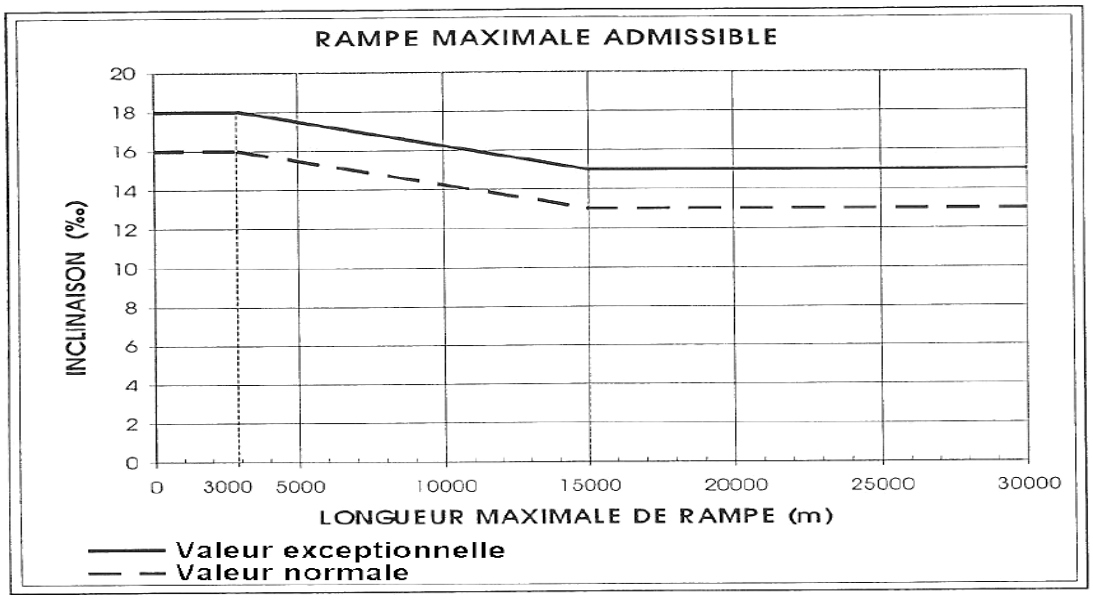


Figure IV.2: Longueur maximale de rampe. [4]

IV.1.2. La longueur minimale des déclivités

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir.

Selon le référentiel technique de la SNTF la longueur minimale des déclivités en profil de projet est dans le tableau suivant avec V=220 km /h :

Tableau VI.1 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités. [4]

Valeur limite normale (m)	V/2 = 110m
Valeur limite exceptionnelle(m)	V/2.5 = 88m
Limite minimum	30m

IV.1.3. Rayon admissible en profil en long

Les pentes constituantes le profil en long sont reliées entre elle par des courbes circulaires.

Les valeurs des rayons minimales admissibles en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :

- L'accélération centrifuge qui se présente Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse «V» un raccordement de profil en long de rayon Rv, doit être limité afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement. Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Les raccords de déclivité du profil en long doivent respecter la valeur de rayon minimum

décrit dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Valeurs de rayon de raccordement en profil en long (courbe circulaire) [4]

	Valeur de rayon vertical
Valeur normale	$0.35 \times V^2 = 0.35 \times (220)^2 = 16940m$
Valeur exceptionnelle	$0.25 \times V^2 = 0.25 \times (220)^2 = 12100m$
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h.	$0.15 \times V^2$

Remarque :

On utilise les valeurs des rayons vertical supérieur la valeur normale(R=17000m).

Au point de changement de pente lorsque la déférence algébrique des déclivités est inférieure à 2‰ (peut être portée à 4 ‰ quand V⩽ 60km/h) on ne fait pas le raccordement circulaire. (Norme IN 0272-SNCF)

IV.2. Règle a respect dans le trace du profil en long

Pour faire un bon tracé de projet on doit tenir en compte plusieurs conditions :

- Assurer la distance entre deux points de changement de déclivité (Distance minimale).
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements.
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la voie ferrée du paysage.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- Respecter les pentes nulles dans les gares, zones neutres.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

IV.3. Coordination profil en long-trace en plan

Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions suivantes :

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan (Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe)).
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.

IV.4. Paramètres cinématiques du profil en long

Les valeurs standards des différents paramètres cinématiques valables pour les lignes mixtes parcourues à 220 km/h selon le référentiel technique de la SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie, Version 2, 22/12/2005 sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau IV.3 Valeurs standards des paramètres cinématiques.

	Valeur Normale	Valeur exceptionnelle
Vitesse (km/h)	**220**	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	**17000**	**12100**
Longueurs minimales des pentes/rampes (m)	**110**	**88**
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie (‰)	**16‰**	**18‰**
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement (‰)	**0‰**	/

Pour notre projet on a utilisé rayon de raccordement $\geq$ **17000 m** et déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie $\leqslant$ **16‰**

IV.5. Exemple de calcul de profil en long

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, l'équation d'un cercle est : $X^2+ (y - R)^2 = R^2$ ou encore de la forme : X2 +y2– 2Ry =0.

Mais pour un grand rayon (R≥ 4000m) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X, surtout lorsqu'il s'agit d'un carré ($y^2 \rightarrow 0$) d'où on obtiendra une équation de parabole : $y = x^2/(2*R)$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

- A' et B' : Extrémités du raccordement.
- T : Tangente de part et d'autre du sommet.
- G : Milieu de raccordement situé sur la variante.
- A et B : deux points connus sur P1 et P2.
- F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche).
- X : Distance entre le sommet et un point A surP1.
  (α+β) : angle de variation, ou de changement de direction.
- O : Centre du cercle de rayon R.
- E : Sommet ou point de changement de déclivité.
- L : Distance entre les deux points A et B.

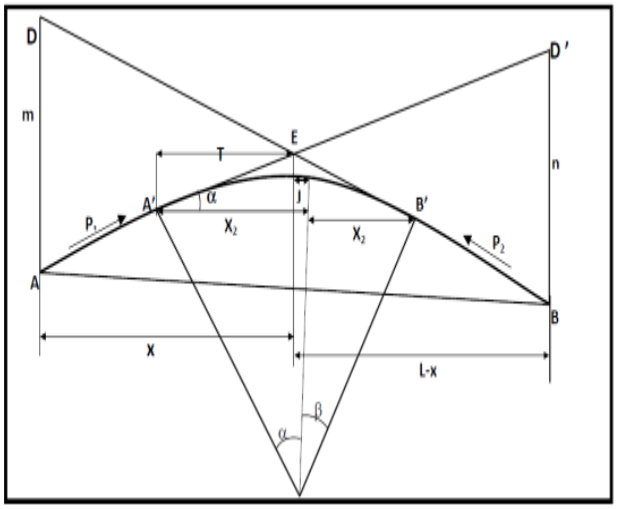


Figure IV.3 : les éléments d'un raccordement en long

Pour l'exemple de calcul on prend les coordonnées des points de profil en long suivantes :

TableauIV.4 : Coordonnes des points de profil en long

Points	S	Z	Rayon(m)
A	0	1137.61	20000
B	2000	1116.83	
E	1349.24	1121.80	

- **Calcule des pentes**

$$P1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1} = \frac{1137.61 - 1132.20}{1349.241 - 0} = 4\ ‰$$

$$P1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1} = \frac{1132.2 - 1116.83}{1349.24 - 2000} = -16‰$$

Calcule de T

$$T = |P1 - P2| * \frac{R}{2} = |0.004 - 0.016| * \frac{2000}{2} = 120\ m$$

- Calcul de la flèche F :

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{120^2}{2 * 20000} = 0.36m$$

- Point du milieu de raccordement G :

$Z_G = Z_E - F$=1121.80-0.36=1121.44m

$P_{KG} = P_{KE} = 1349.24$m

- Point de début et de fin du raccordement :

- Début de raccordement

$Z_{B'} = Z_{E-}(P_1 * T) = 1121.80 - (0.004 * 120) = 1121$m.

$P_{KB'} = (P_{KE} - T) = 1349.24 - 1201 = 1229.24$m

- Fin de raccordement

$Z_{B'} = Z_{E-}(P_2 * T) = 1121.80 - (0.016 * 120) = 1119$m.

$P_{KB'} = (P_{KE} + T) = 1349.24 + 120 = 1469.24$m

IV.6. Listing de profil en long

Elément	Caractéristique	Longueur	Abscisse	Altitude
			29+000	1,137.64
D1	Pente= - 4‰	1229.29		
			30+229.29	1,137.64
CERCLE1	S=30+349.28 Z=1,132.207'	239.96		
	R=20000			
			30+469.25	1,130.28'
D2	Pente=-16‰	1062.14		
			31+531.39	1,113.29
Cercle2	S=31+753.79 Z=1,109.73	444.83		
	R=30000			
			31+976.22	1,109.47'
D3	Pente=-1.2‰	935.27		
			32+911.49	1,108.38'
Cercle 3	S=33+052.05 Z=1,108.216	281.09		
	R=30000			
			33+192.59	1,106.73
D4	Pente= - 1.05‰	1058.92		
			34+251.51	1,095.573
Cercle 4	S=34+335.34 Z=1094.68	167.667'		
	R=20000			
			34+419.18	1,094.508'
D5	Pente= -2.2‰	3629.1		
			38+048.28	1,086.682
Cercle 5	S=38+052.06 Z=1,086.674'	7.571		
			38+055.85	1,086.667'
D6	Pente= -1.8‰	3471.17		
			41+527.02	1,080.495'
Cercle 6	S=41+557.52 Z=1,080.441'	61.009'		
	R=20000			
			41+588.03	1,080.495'
D7	Pente= -4.8‰	5386.31		
			46+974.34	1,054.286'

Cercle 7	S=47+033.04 Z=1,054.002	117.390'		
	R=20000			
			47+091.73	1,054.063'
D8	Pente= 1‰	2773.13		
			49+864.86	1,056.973
Cercle 8	S=49+886.41 Z=1,056.973'	43.106		
	R=20000			
			49+907.97	1,056.972'
D9	Pente=00‰	1447.2		
			51+355.17	1,056.919
Cercle 9	S=51+417.95 Z=1,056.917'	125.55		
	R=20000			
			51+480.73	1,057.309'
D10	Pente= 6.2‰	278.61		
			51+759.34	1,059.047'
Cercle 10	S=51+825.24 Z=1,059.459'	131,79		
	R=20000			
			51+891.13	1059.43
D11	Pente= -0.3‰	3108.87		
			55+000.00	

IV.7. Conclusion

D'après le profil en long du terrain naturel on remarque que le tronçon étudié du PK 29+000 au PK 34+500 passes par un terrain vallonné et du PK 34+500 au PK 55+000 passe par un terrain plat, Par conséquence des faibles déclivités.

La seule déclivité importante est de -16‰ entre le PK 30+300 et le PK31+600.

CHAPITRE V

ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

V. Introduction

L'étude géotechnique et géologique est des éléments clé dans toutes les activités de conception de projet construction. Elle intervient dans le choix du site, mais le plus souvent son objectif est de fournir les caractéristiques relevant du sol, sous-sol dont la prise en compte est nécessaire pour la stabilité de la construction, ainsi que pour l'éventuelle réutilisation des matériaux. Dans cette objective, on a recouru à la méthode de reconnaissance avec tous ces outils méthodologiques.

V.1. Eude géologique

V.1.1. Contexte géologique général de la région

La zone d'étude s'étale de la localité de Saida à El-Bayad, en passant par Bougtob sur un linéaire de 200km. Elle traverse la formation géologique :

l'Atlas tellien Plissé et l'atlas saharien, parcourt approximativement, du Nord au Sud, parcourt la zone de passage entre le tell et les hautes plaines, les Hautes plaines steppiques et les contreforts septentrionaux de l'Atlas Saharien.

V.1.2. Contexte géologique de notre tronçon

Notre projet de la nouvelle ligne ferroviaire entre la wilaya de Saida et El Bayadh dont sa partie située entre PK 29+000 et PK 55+000 s'inscrit presqu'entièrement dans les hautes plaines.

On y trouve les formations du haut plateau qui se caractérisent par :

- Jurassique (Lias, Dogger, moyen)
- Quartenaire récent.
- Pliocène-Quaternaire Supérieur.
- Trais.

1. Jurassique :

Lias : affleure sur la partie nord du horst avec un faciès carbonaté et un faciès marneux. Le premier faciès comporte des dolomies à passées de brèches sédimentaires, à ciment siliceux et des calcaires dolomitiques. Ces formations reposent en discordance sur celles au Trias ou directement sur celles du Primaire. Le faciès marneux est caractéristique d'un milieu profond.

Dogger : essentiellement dolomitique et se subdivise en trois (03) niveaux : un Aalénien-Bajocien entièrement dolomitique, un Bajocien moyen à calcaire, dolomies et marnes, enfin le Bajocien- Bathonien composé essentiellement de calcaires et de marnes.

Jurassique supérieur : occupe la plus grande partie du territoire avec des formations argileuses terrigènes au callovo-Oxfordien, des formations terrigènes-carbonatées de l'Oxfordien supérieur- Kimméridgien inferieur et enfin des formations franchement carbonatées du Kimméridgien- Portlandien.

2. Trias :

Il est composé de trois (03) types de formations :

- Continentales reposant directement sur le primaire du Horst de Tifrit (conglomérats et grès rouges).
- Dépôt dans les zones de subsidence, constitués d'argiles bigarrées, violacées, gypseuses avec débris de roches anciennes et de basalte.
- Enfin, les formations triasiques supérieures avec de haut en bas : des argiles intercalées par des dolomies, des calcaires et des brèches gypseuses, des roches effusives basiques, alternance de grès, gypses et calcaire.

3. Pliocène-Quaternaire Supérieur :

Dépôts continentaux de conglomérats détritiques grossiers ferrugineux, parfois calcaires pélito-morphiques et tufs calcaires. La puissance ne dépasse pas 20 mètres.

4. Quaternaire récent :

Éluvions, diluvions, sables et conglomérats visibles surtout le long des oueds. La puissance est de 10 mètres.

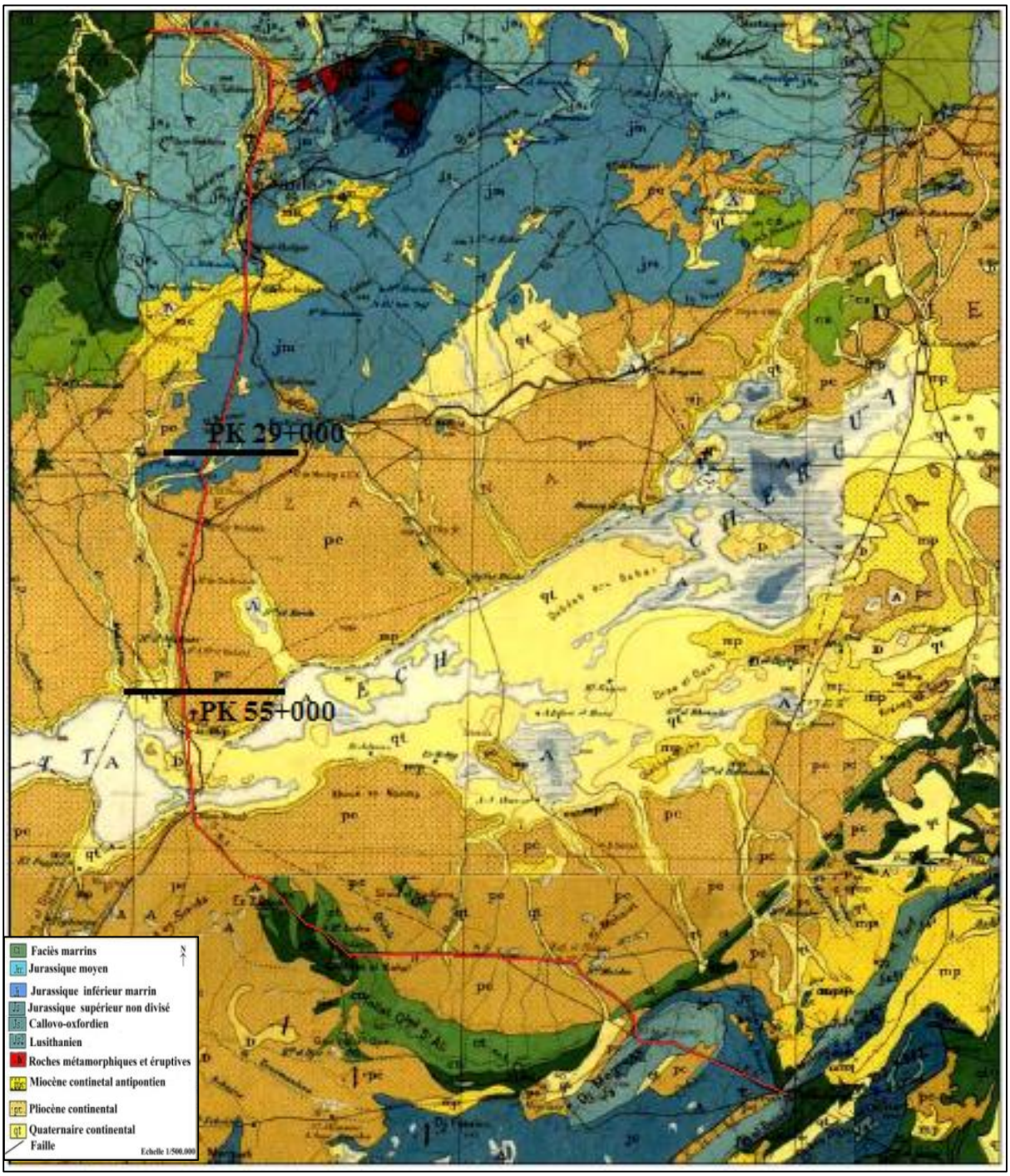


Figure V.1 : Situation de la zone d'étude sur l'extrait de la carte géologique au 1/500000 [6]

V.2. Etude géotechnique

L'étude géotechnique consiste à déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du sol devant accueillir le projet étudié. Pour cela on va faire une interprétation des résultats de campagne de reconnaissance géotechnique, afin d' arriver à classer les sols rencontrés le long du tracé.

V.2.1. Campagne de reconnaissance géotechnique

Cette campagne contient des essais d'identification classiques qui serviront à classer ou à identifier ranger le sol. Ce classement servira à dimensionnement la structure d'assise, ainsi que calcule des tassements des terrains et les pentes à donner aux talus de déblais et de remblais.

Le programme de la campagne géotechnique établi dans cette étude, prévoit pour le tronçon objet d'investigation géotechnique la réalisation de :

Tableau V. 1. Programme de reconnaissance géotechnique (essai in situ)

Essai in situ	Nombre d'essai	Localisation	Objectifs d'essai
Sondages carottés	**3**	PK 29+866	Permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols Et déterminer la description lithologique
		PK 49+664	
		PK 52+360	
Sondages pressiométriques	**2**	PK 49+664	Effectuer les calculs de fondation
		PK 52+360	
Essais au pénétromètre dynamique lourd	**8**	PK 029+600	Estimer une caractéristique de portance la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol
		PK 032+000	
		PK 034+580	
		2 en PK 037+440	
		2 en PK 041+120	
		PK 054+600	

Les puits de reconnaissance	**10**	PK 033+000	Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés .
		PK 034+580	
		PK 035+ 000	
		PK 037+440	
		PK 041+120	
		PK 043+950	
		PK 047+613	
		PK 053+ 000	
		PK 053+160	
		PK 054+600	

V.2.1.1. Essais au laboratoire

Tableau V. 1: programme de reconnaissance géotechnique (Essais au laboratoire)

Type d'essais	Norme
Détermination de la teneur en eau	NF P94-050
Limites d'Atterberg	NF P94-051
Densité apparente	NF EN1097-3
Analyse granulométrique	NF P94-056
Analyse sédimentométrique	NF P94-057
Valeur au bleu de méthylène	NF P94-068
Détermination de la teneur en carbonates	NF P94-048
Mesure de la teneur en matière organique	NF P94-055
Analyse chimique des sols : chlorure, sulfate et pH	NF P18-011, NF P18-660-1
Essai de cisaillement rectiligne à la boite	NF P94-071-1
Essai de compressibilité à l'oedomètre	NF P94-090-1
Essai CBR	NF P94-078
Essai Proctor	NF P94-093

V.2.2. Essais in situ

V.2.2.1. L'essai pénétromètre dynamique lourd (NF P 94-115)

L'essai consiste à enfoncer dans le sol, par battage de manière continue, un train de tige muni, en partie inférieure, d'une pointe débordante et à noter le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer dans le sol.

L'objet essentiel de ces essais au pénétromètre dynamique lourd effectués est de déterminer l'épaisseur de la couche de recouvrement et de déduire la résistance des différentes couches.

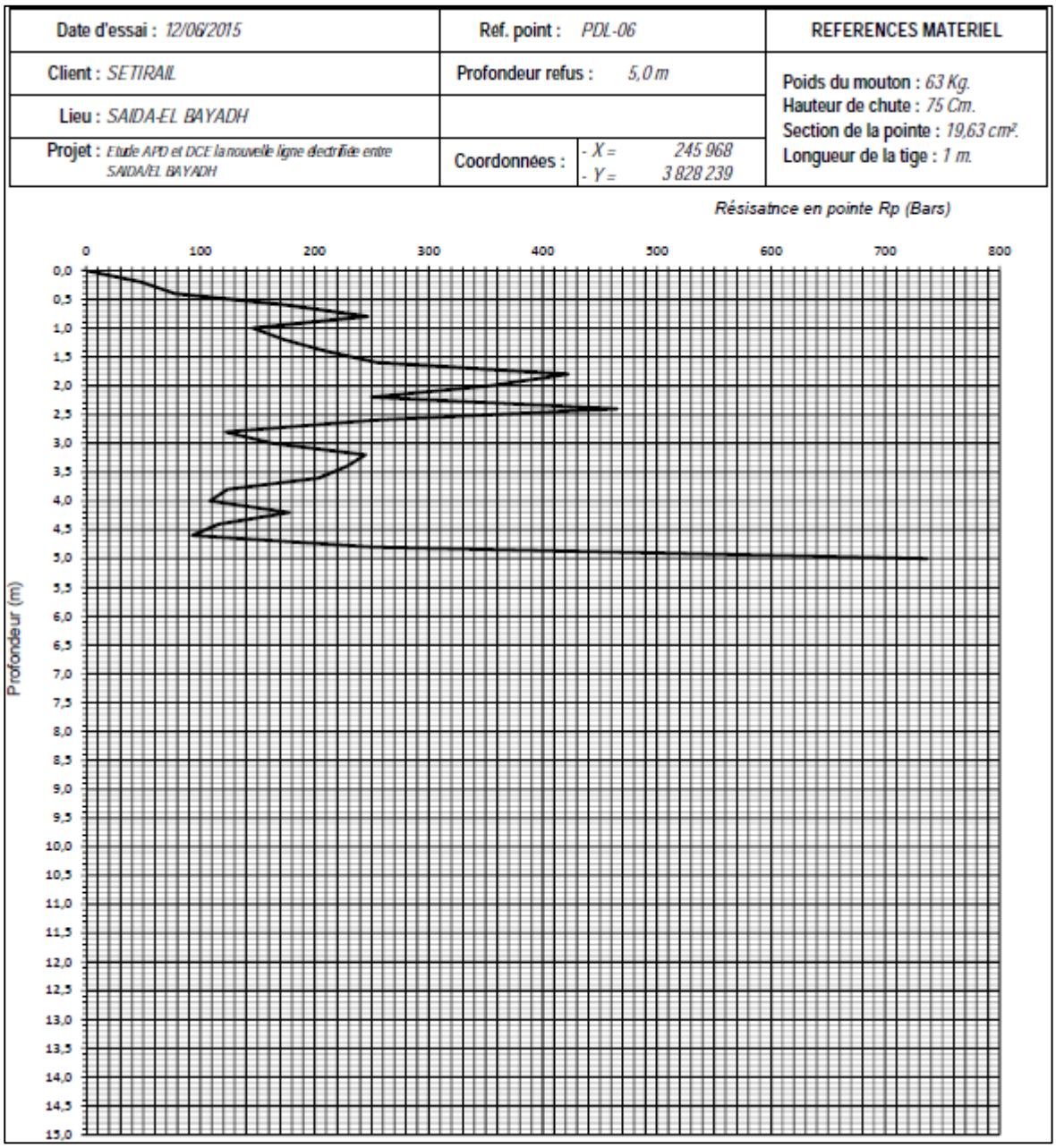


Figure V. 2 : Profil d'essai au pénétromètre dynamique lourd (PK 32+000).[6]

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V. 3 : Récapitulation des résultats du PDL [6]

Référence d'essai	Localisation	Profondeur refus(m)	Résistance de point R_P (bar)	
			R_P MIN	R_P MAX
PDL-05-SB	PK 29+600	0.4	20	800
PDL-06-SB	PK 32+000	5.0	20	738
PDL-07-SB	PK 34+580	0.4	30	800
PDL-08-SB	PK 37+440	0.6	30	800
PDL-08-SB BIS	PK 37+440	0.4	80	800
PDL-09-SB	PK 41+120	0.6	50	800
PDL-09-SB BIS	PK 41+120	0.4	60	800
PDL-11-SB	PK 54+600	0.8	30	800

V.2.2.2. Essai préssiometrique Menard (NF P 94-110-1)

Le pressiomètre Louis Ménard est composé d'une sonde cylindrique gonflable tri-cellulaire dilatable radialement : appelée cellule de mesure à laquelle sont adjointes deux cellule de garde permettant de respecter ou mieux des conditions de déformation plane. La cellule de mesure est reliée par un système de tubulures à contrôleur pression volume CPV situé à la surface du terrain.

L'essai permis de calculer :

- La capacité portante des fondations superficielle et profondes.
- Le tassement des fondations superficielle.
- La stabilité de toutes les fondations.
- La déformation des pieux chargés latéralement et des palplanches.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.4. Implantation et description des sondages pressiométrique. [6]

Localisation	Description	Profondeur (m)	E(bar)	PL(bar)	PF(bar)
PK 049+664	•0m-0.25m terre végétale. •0.25 m-1.7m Argile limoneuse beige à blanchâtre carbonatée, passage gréseux entre (1.1 et 1.7) m. •1.7m-15m Argile limoneuse marron à blanchâtre, compacte, passage grésifié entre (14.7 et 15) m.	2	1245.97	49.14	49.14
		4	1399.69	49.29	49.29
		6	1188.24	49.37	49.37
		8	1252.15	49.63	49.63
		10	1452.42	49.86	49.86
		12	1452.37	50.19	50.19
		14	1433.52	50.32	50.32
PK 052+360	•0m-0.25m terre végétale. •0.25m-3m Tuf beige à blanchâtre consolidé grésifié entre (0.7 et 1.2) m récupéré sous forme de fragments. •3m-15m Argile limoneuse brunâtre compacte, ferme vers la base, carbonatée, parfois cailloux consolidés.	2	328.88	22.15	14.12
		4	372.47	29.64	21.08
		6	1142.06	49.37	49.37
		8	1248.54	49.57	49.57
		10	1232.62	49.77	49.77
		12	1458.79	46.02	46.02
		14	1328.05	31.26	30.29

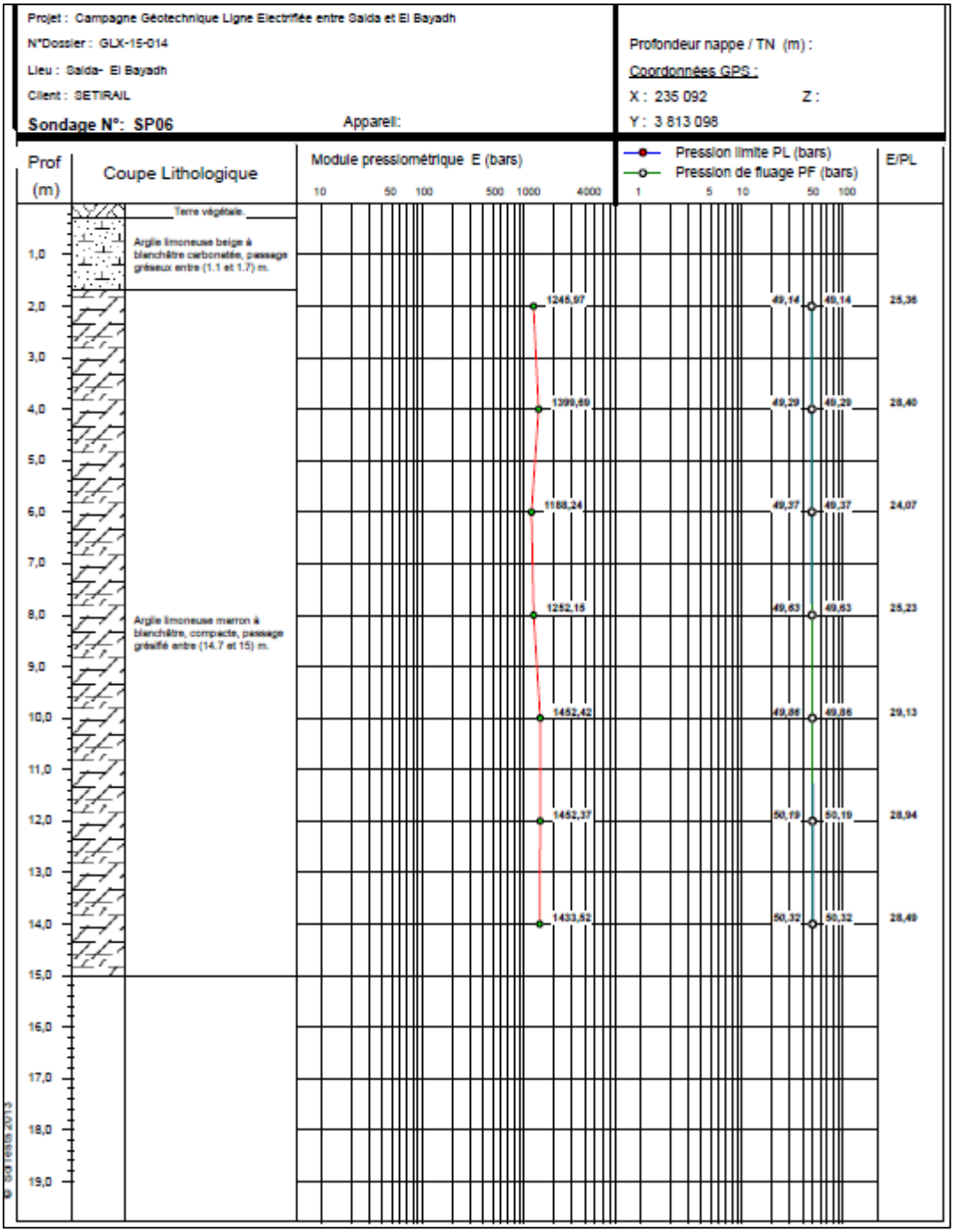


Figure V.3. Profil pressiométrique de l'essai SP06 PK 49+664. [6]

V.2.2.3. Les Sondages Carottés

Cet essai consiste à extraire des échantillons intacts pour observer la succession et la nature des couches du sol, et pour déterminer les caractéristiques physicomécaniques en laboratoire

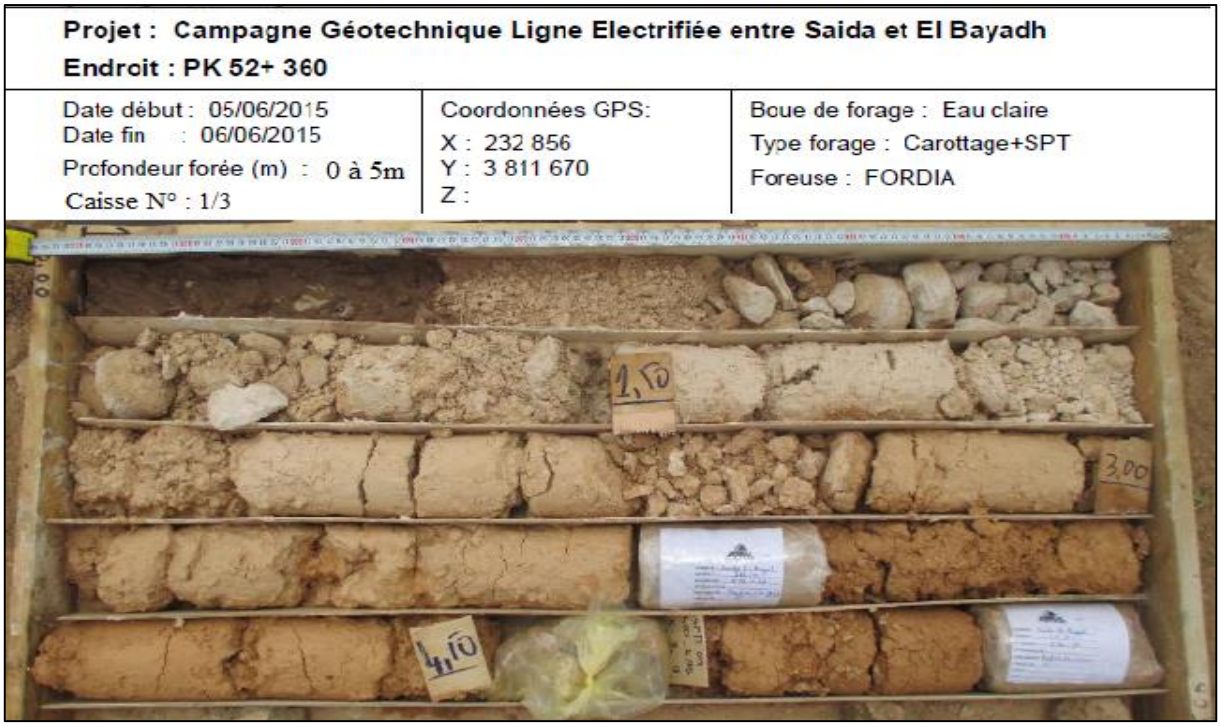


Figure V. 4 : photos de sondage F-10-SB .[6]

Le tableau suivant présente les résultats des sondages réalisés sur le tronçon étudié :

Tableau V. 5: Implantation et description des sondages carottés. [6]

Localisation	Profondeur(m)	Description lithologique
PK 29+886	0.0 - 0.2	Terre végétale.
	0.2 – 2.7	Argile limoneuse beige à blanchâtre compacte à ferme, carbonaté, passage de calcaire entre(0.2 et0.3) m.
	2.7 – 12	Grés carbonaté gris à rougeâtre dure récupéré sous forme de fragments entre (3.2 et3.5) m (4 et 4.5) m, argile limono-sableuse très compacte à dure carbonaté marron à rougeâtre entre (6 et 7.5)m.
PK 49+664	0.0 – 0.3	Terre végétale.
	0.3 – 1.7	Argile limoneuse beige à blanchâtre carbonatée, passage gréseux entre (1.1 et 1.7) m.
	1.7 – 15	Argile limoneuse marron à blanchâtre, compacte, passage grésifié entre (14.7 et 15) m.
PK 52+360	0.0 – 0.3	Terre végétale.
	0.3 – 3.0	Tuf beige à blanchâtre consolidé grésifié entre (0.7 et1.2) m récupéré sous forme de fragments
	3.0 - 15	Argile limoneuse brunâtre compacte, ferme vers la base, carbonatée, parfois cailloux consolidés.

V.2.2.4. Les puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance qui ont été réalisés sur le couloir à différentes profondeurs permettre de donner une description lithologique des terrains traversés et leurs épaisseurs, et une prise d'échantillons pour leurs analyses en laboratoire, ont été réalisés à l'aide d'une tractopelle tout au long du tracé (endroits accessibles) sur une profondeur refus entre 0.50 et 4.00 m.



Figure V. 5 : photos puit de reconnaissance PU-13[6]

Tableau V. 6: Implantation et description des puits de reconnaissances. [6]

Référence d'essai	Localisation	Description lithologique	Type d'échantillon	Degré de cimentation	Résistance à l'excavation	Degré de stabilité des parois	Filtrations
PU-11-SB	**PK 33+000**	• **0.0 - 0.5m :** terre végétale.					
		• **0.5 - 2.5m :** Sable fin limono-argileux caillouteux (avec blocs), jaune à rougeâtre moyennement consolidé.	ER	M	HT	S	S
PU-12-SB	**PK 34+580**	• **0.0 - 0.3m :** terre végétale					
		• **0.3 - 0.5m :** dalle gréseuse carbonaté blanchâtre consolidé.		H	TH		S
PU-03-ZE	**PK 35+000**	• **0.0 – 2.9m :** Argile limoneuse marron à blanchâtre compacte à ferme, carbonaté marron vers la base.					
PU-13-SB	**PK 37+440**	• **0.0 - 0.5m :** terre végétale.					
		• **0.5m-1.5m :** Argile sablo-caillouteuse marron à rougeâtre, compacte avec concrétions carbonatés et blocs calcaire.	ER	M	TH	S	S
PU-14-SB	**PK 41+120**	• **0.0 - 0.5m :** terre végétale.					
		• **0.5m-3.1m :** Argile limono-caillouteuse beige à rougeâtre compacte à ferme vers la base avec précipitations carbonatés et blocs de calcaire	ER	B	HT	S	S
PU-15-SB	**PK 43+950**	• **0m-0.2m :** terre végétale.					
		• **0.2m-0.8m :** Dalle gréseuse beige à blanchâtre, carbonaté dure récupéré sous forme de fragments.		M	TH	S	S
		• **0.8m-1.4m :** Tuf beige consolidé avec cailloux calcareux.	ER	M	TH	S	S
PU-16-SB	**PK 47+613**	• **0m-0.2m :** terre végétale					
		• **0.2m-1.5m :** Tuf consolidé (grésifié) beige à blanchâtre avec blocs calcaire, récupéré sous forme de fragments.	ER	H	TH	S	S
PU-04-ZE	**PK 53+000**	• **0.0 – 0.2m :** Terre végétale.					

		• **0.2 – 0.7m :** dalle grésifié carbonaté beige à blanchâtre dure.		H	TH	S	S
PU-17-SB	**PK 53+160**	• **0.0 - 0.2m :** Terre végétale.					
		• **0.2 – 0.6m : Dalle gréseuse blanchâtre carbonaté dure, récupéré sous forme de fragments.**		H	TH	S	S
		• **0.6 - 1.3m :** Tuf beige à blanchâtre sur consolidé récupéré sous forme de fragments.	ER	M	TH	S	S
PU-18-SB	**PK 54+600**	• **0.0 – 3.9m : Argile sablo-limoneuse brunâtre, ferme avec concrétions carbonaté et** cailloux consolidés.	ER	M	M	S	S

Légende :

- Type d'échantillon recueilli : (EI = échantillon intact, ER = échantillon remanié).
- Degré de cimentation : N= Nul ; B= Bas ; M= Moyen ; H= Haut.
- Résistance à l'excavation : B= Basse ; M= Moyenne ; Ht= Haute ; TH= Très Haute.
- Degré de stabilité des parois : S= Stable ; CM= Chute de matériau ; CB= Chute de blocs
- D= déchaussement ; RC= Rupture circulaire ; E= Ecroulement.

- Filtrations : S=Sec ; LH=légèrement Humide ; H=humide ; G=Gouttant ; E= Ecoulement d'eau

V.2.3. Essai au laboratoire

Les échantillons issus des puits de reconnaissance et des sondages carottés soit des échantillons remaniés ou intacts ont été soumis à différente essais mécaniques et d'identification des propriétés physique et chimique ce qui concerne notre projet les essais qui ont été réalisés sont :

✓ **Essai d'identification :**

- Les limites d'Atterberg.
- Essai Proctor.

✓ **Essai Mécanique :**

- Essai Oedomètrique .
- Essai de cisaillement rectiligne à la boite

✓ **Essai physique :**

- La teneur en eau.
- Analyse granulométrique.

.

✓ **Essai chimique :**

- Valeur au bleu de méthylène.

V.2.3.1. Essai d'identification

- **Analyse granulométrique (NF P.94 - 056) / (NF P94-057) :**

L'essai granulométrie s'applique à la description des sol en vue de leur classification, à la détermination des classes granulométrique et à la vérification de conditions granulométrique imposées. L'essai contribue à apprécier les qualités drainantes et la sensibilité à l'eau des matériaux ainsi que leur aptitude au compactage, Elle s'effectue au laboratoire par :

- Le tamisage : pour les particules à dimension supérieure à 80 **µm.**
- Analyse sédimentométrique : pour les particules a dimension inférieure 80 **µm.**

- **Essai Proctor (NF P94-093) :**

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

- **Essai limite d'Atterberg (NF P94-051) :**

Déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre ces différents états sont les :

- Limite de Liquidité : WL (frontière entre état plastique et liquide)
- Limite de Plasticité : WP (frontière entre état solide et plastique)

V.2.3.2 Essai mécanique

- **Essai oedométrique :**

Déterminer les caractéristiques de compressibilité d'un sol qui permettent d'estimer le tassement d'un massif de sol

Tableau V. 7 : classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1)

C_c	Compressibilité
< 0.02	Incompressible
0.02 à 0.05	Très peu compressible
0.05 à 0.10	Peu compressible
0.10 à 0.20	Moyenne compressible
0.20 à 0.30	Assez fort compressible
0.30 à 0.40	Très compressible
> 0.4	Extrêmement compressible

- **Essai cisaillement à la boite :**

Le but de l'essai est d'obtenir les paramètres (Cu ; φ) [cohésion et angle de frottement] pour traiter les problèmes d'instabilités (rupture et glissement) due à la réalisation des remblais sur sols compressibles.

V.2.3.3 Essai physique

- **Teneur en eau (NF P94-050) :**

La procédure pratique de détermination de la teneur en eau d'un sol consiste à déterminer la masse d'eau existe dans le sol a l'état naturel.

V.2.3.4 Essai chimique 50

Essai bleu de méthylène (NF P94-068) :

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber du bleu de méthylène. Cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. (Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, les matière organiques et hydroxydes de fer).

V.2.4. Résultat des essais au laboratoire

Les résultats des essais de laboratoire pour les échantillons prélevés des sondages carottés et des puits de reconnaissance (Analyse granulométrique, Essai Proctor modifié, Détermination de la teneur en eau, Limite d'Atterberg, Essais au bleu Méthylène).

Tableau V.8 : Résultats des essais au laboratoire. [6]

Puits de Reconnaissance	Profondeur (m)	Teneur en eau	Limite d'Atterberg		Valeur au bleu	Analyse granulométrique			Essai Proctor	
		W(%)	W_L (%)	I_P (%)	VBS	D_{max} (mm)	< 2mm (%)	<80µm (%)	ɣd (t/m^3)	W_{OPM} (%)
PU-11-SB	0.50 - 2.50	7.15	-	-	0.14	50	44	23	1.87	11.8
PU-12-SB	0.30 – 0.60	Refus sur dalle gréseuse n'ayant pas permis le prélèvement d'échantillons en quantités suffisantes pour essais								
PU-13-SB	0.70 – 1.60	7	25	8	-	63	33	13	1.87	11.0
PU-14-SB	0.50 – 3.10	10	40	18	-	31.5	56	30	1.75	15.0
PU-15-SB	0.80 - 1.40	7	45	13	-	63	40	16	1.81	14.5
PU-16-SB	0.20 - 1.50	12	-	-	0.14	40	42	13	1.68	17.1
PU-17-SB	0.60 – 1.30	9	-	-	0.16	63	50	19	-	-
PU-18-SB	0.00 – 3.90	28	48	24	-	20	76	41	1.69	16.7
PU-ZE3-SB	0.00 - 2.90	28	-	-	0.24	14	93	82	1.50	21.2

Légende :

ɣd : Densité sèche (t/m3) ; **W_{OPM}:** Teneur en eau optimale (%) ; **VBS :** valeur de bleu de00+ méthylène ; **D_{max}** diamètre maximale (mm) ; **< 2 mm (%)** : Pourcentage des passants inférieure à 2 mm ; **< 80µm (%)** : Pourcentage des passants inférieurs à **80 µm**.

Tableau V.9 : Résultats des essais au laboratoire. [6]

Sondage Carotté	Profondeur (m)	Cisaillement UU		Cisaillement CD		Essai Oedométrique		Compressibilité
		Cu (bar)	φ (degré)	Cu (bar)	φ (degré)	Cc (%)	Pc (bar)	
F-11-SB	4.00 - 4.20	0.17	29	-	-	30.9	6.38	Très compressible
	8.00 – 8.23	-	-	-	-	22.9	2.29	Assez fort compressible
	12.40-12.60	0.17	28	0.17	28	16.2	1.51	Moyenne compressible
F-12-SB	3.52 - 6.69	0.08	32	-	-	-	-	-
	9.55 – 9.71	0.21	22	-	-	81.4	4.52	Extrêmement compressible
	14.50-14.71	0.30	32	0.27	36	17.3	5.24	Moyenne compressible

Légende :

UU : Cisaillement direct non consolidé et non drainé.

CD : Cisaillement direct consolidé et drainé.

Cu: cohésion (état finale) **; φ :** angle de frottement interne (état finale) ; **C_C :** Indice de compression; **pc** : pression de consolidation

V. 2. 5 Classification des sols

V. 2. 5. 1 Application au projet

Tenant compte de l'essai in situ (PU-11-SB) PK 33+000 :

- **Classifications selon GTR :**
  - Classe des sols :

Dmax = 50 mm ⇨ donc sol normal de classe de ce sol est A ou B ou D.
Le passant à 80µm est de 23 % ⇨ alors la sous classe de sol sera: B5 ou B6 .
VBS = 0.14 < 0.2 ⇨ donc la sous classe sera B5.

  - Classification selon l'état hydrique :

$0.6\ W_{OPN} = 0.6 \times 11.8 = 7.08 < W_N = 7.15 < 0.9\ W_{OPN} = 0.9 \times 11.8 = 10.62$
Donc selon classifications GTR le sol est de classe : B5s

- **Classification selon UIC (719 R):**

Le pourcentage des fines est égal à 23 % ⇨ Sol comportant de 15 à 40 % de fines

⇨ Alors le sol est de classe Q_{S1} (Sols médiocres)

Résultats de classification des sols représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.10 : Résultats de classification des sols.

Essai in situ	PK	Nature de sols	Classification de la Norme NF P 11 300	Classe de Qualité des sols
PU-11-SB	PK 33+000	Sable limoneuse	B_5s	Qs1
PU-13-SB	PK 37+440	Sable limoneuse graveleuse	C_1B_5s	Qs2
PU-14-SB	PK 41+120	Argile limoneuse	B_6ts	Qs1
PU-15-SB	PK 43+950	Argile limoneuse graveleuse	C_1B_6ts	Qs1
PU-16-SB	PK 47+613	Sable limoneuse	B_5s	Qs1
PU-17-SB	PK 53+160	Sable limoneuse	B_5	Qs1
PU-18-SB	PK 54+600	Sable argileux	A2th	Qs1
PU-ZE03-SB	PK 35+000	Limon argilo sableux	A1th	Qs1

V.2.6 Conclusion

La réalisation des essais d'identifications et les essais mécaniques aux laboratoires sur plusieurs échantillons du sol prélevés de nombreuse profondeurs nous ont permis de faire deux classifications du sol :

- Selon la classification GTR :

En général le sol est Sable limoneuse (Sable limoneuse, Sable limoneuse graveleuse, Sable argileux)

- Selon la classification UIC719R :

Les classes des qualités des sols supports ce sont : du PK 29+000 au PK 37+000 QS1(Sol médiocre) et du PK 37+000 au PK 38+000 QS2(Sol moyenne) et du PK 38+000 au PK 55+000 QS1(Sol médiocre).

La classe de qualité du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS1 (Sols médiocres)

CHAPITRE VI

ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT

VI. Introduction

L'étude hydrologique a pour but de déterminer les bassins versants traversé par le tracé, et définir les caractéristiques des crues des différentes périodes de retour. Elle permettre de prévoir les dimensions des différent dispositifs et ouvrages de drainage et d'évacuation des eaux pluvial le long du tracé de la ligne ferroviaire.

VI.1. Contexte hydrologique générale

Le tronçon étudié passe par le bassin versant de chott chergui numérote 08 selon la nomenclature de l'ANRH.

Le bassin versant du chott Chergui fait partie des hautes plaines algériennes formées par une série de 15 sous bassins et caractérisées par un relief peu accusé. Sa superficie est de 36290 km2 et son périmètre est de 1111 km. **.[2]**

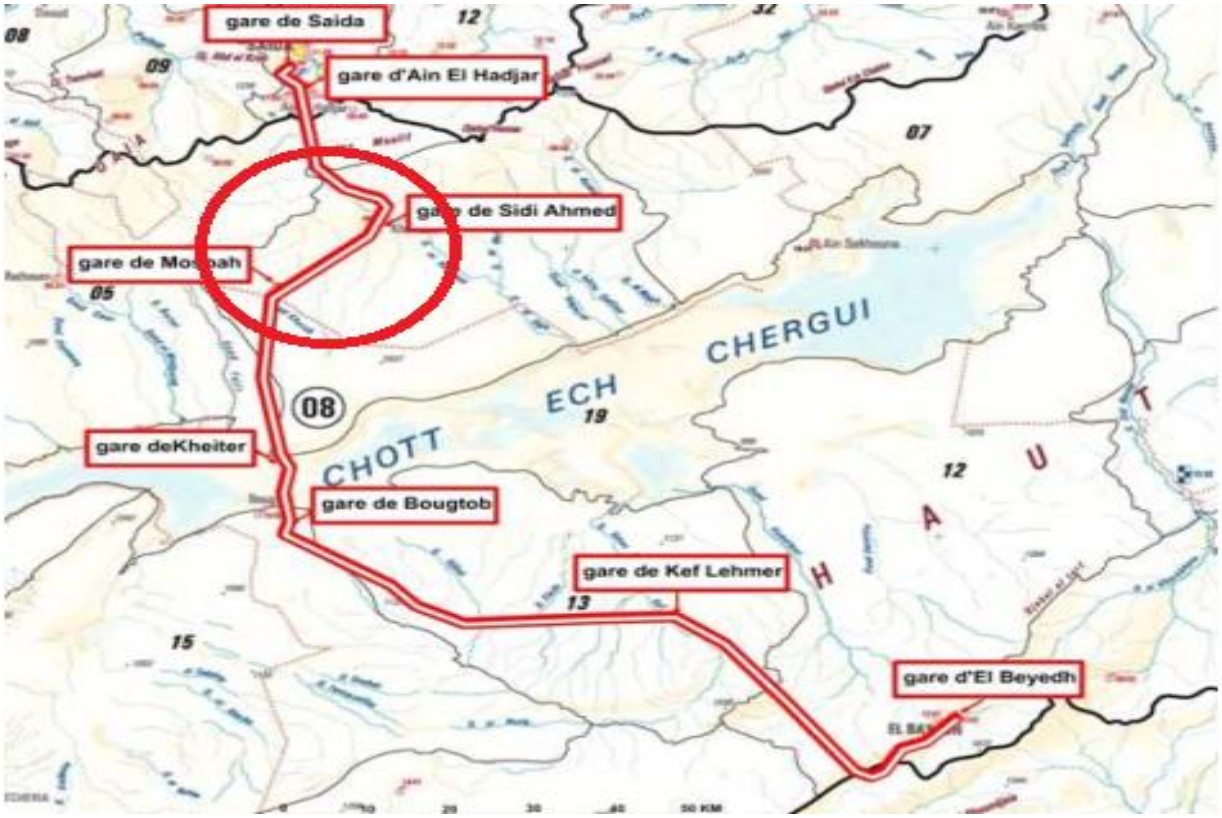


Figure.VI.1 : Situation du tronçon ferroviaire sur la carte des bassins versant de l'Algérie.[10]

VI.1.1. Le climat

La région de Saïda, soumise à l'influence d'un climat de type méditerranéen, est caractérisée par le contraste entre une longue saison estivale, sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide. Néanmoins les influences sahariennes sont prédominantes et déterminent un régime thermique qui traduit un climat semi-aride. **.[2]**

VI.1.2. Pluviométrie

Pour déterminer les précipitations maximales journalière et annuel on a exploité les donnes pluviométriques de la station 080502 enregistré par l'ANRH sur un période de 47 ans.

VI.1.2.1. Pluies maximales annuelles

L'ajustement à une loi racine-normale des pluies annuelles de la région nous donne les pluies annuelles pour des fréquences allant de 0.9 à 0.99 qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans.

Tableau VI.1. Pluies maximales annuelles.[10]

Période de retour(ans)	10	20	50	100
U. Gauss	1,282	1,645	2,054	2,327
Pluie max annuelle	461	556	687	791

VII.2.2.2. Précipitation journalière maximale

L'ajustement à la loi de Gumbel nous donne les pluies journalières maximales qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans.

Tableau VI.2. Pluies maximales journalière.[10]

Période de retour(ans)	10	20	50	100
U. Gumbel	2,3	3,0	3,9	4,6
Pluie max journalière	57.8	68.7	82.9	93.5

VI.2. Caractéristiques physiques des bassins versants

La détermination des caractéristiques des bassins versant a pour but de calculer les débits des crues.

La détermination des caractéristiques des bassins versants se fait sur la carte d'état-major, et à l'aide du logiciel autocad.

Les paramètres déterminés pour chaque bassin sont :

- La Surface
- La Longueur Du Cours D'eau Principal.
- L'altitude Max
- L'altitude Min
- L'altitude Moyenne
- L'indice De Pente

Tableau VI.3. Caractéristiques des bassin versants

Bassin	PK	A (km^2)	Périmètre (Km)	L(km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	KC	LR (km)	Lr (km)	Pente (m/m)
1	34+710	10,614	14,825	6,855	1158	1092	1125	1,28	5,47	1,93	0.0096
2	37+400	18,305	20,292	7,946	1180	1084	1132	1,33	7,79	2,34	0.0121
3	38+849	7,309	11,969	5,145	1125	1083	1104	1,24	4,27	1,70	0.0082
4	39+321	1,222	4,943	1,888	1196	1083	1139,5	1,26	1,78	0,68	0.0599

5	41+100	16.48	21.47	6,47	1215	1085	1150	1.47	8.82	1.90	0.020
6	43+890	0,682	3,808	1,129	1086	1066	1076	1,30	1,42	0,478	0.0177
7	48+650	18.49	19.11	6.99	1184	1058	1121	1.25	6.85	2.7	0.0180
8	49+500	34.45	30.16	6.00	1168	1057	1112.5	1.45	12.27	2.80	0.0185
9	51+789	96,55	56,819	33,319	1210	1057	1133,5	1,63	24,46	3,946	0.0046
10	54+600	0,033	0,733	0,198	1058	1056	1057	1,13	0,20	0,159	0.0101

VI.3. Calcule hydraulique

VI.3.1. Le temps de concentration d'eau Tc

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol en descendant du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

Pour le calcul des temps de concentration des bassins versants on a utilisé les formules suivantes :

- Formule de Ventura : (A <5 Km2) : $TC = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{P}}$.
  - Tc : temps de concentration en heure
  - A : surface du bassin versant en km²
  - P : pente moyenne (en m/m)
- Formule de Passini (5 km2 < a < 25 km2) : $TC = \frac{0.108\,(A \times L)^{1/3}}{\sqrt{i_m}}$.
  - Tc : en heure.
  - L : longueur du thalweg principal (km).
  - A : superficie de ruissellement (km2).
  - i_m : pente moyenne
- Formule De Giandotti (A >25 Km2) : $T_C = \frac{(4\sqrt{A})+(1.5\,L)}{0.8\sqrt{H}}$.
  - Tc : en heures
  - A : surface du bassin versant en km²
  - L : longueur de thalweg principal en km
  - H = hmoy - hmin (m)

VI.3.2. Intensité de pluie de durée (T)

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

$$I(t,T) = a(T)/t^b$$

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

Tableau VI.4. Paramètres de Montana.[10]

T	2	5	10	20	50	100
a(T)	14.1	20.9	25.4	29.8	35.4	39.6

b = 0.72

VI.3.3. Coefficient de ruissellement [11]

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité totale des eaux courantes, il dépend de :

La valeur des coefficients de ruissellement croît avec l'intensité de la précipitation mais cette variation diffère selon le degré de perméabilité et de rétention des sols constituant le bassin.

Ainsi un BVN très imperméable aura un coefficient C (10) élevé et celui-ci augmentera peu en fonction de la période de retour considérée.

A l'inverse, un BVN très perméable et offrant une grande capacité de rétention, aura un coefficient de ruissellement quasiment nul.

La variabilité du coefficient de ruissellement e fonction de la rétention initiale Po du BVN :

- Pour C (10) < 0,8 : Po = (1-(C10/0.8)) *P10
  - P10 = hauteur de la pluie journalière décennale en mm
- Pour C (10) ≥ 0,8 : P0 = 0 et C (T) = C (10)

Coefficient de ruissellement pour une période de retour t > 10 ans

$$Ct = 0.8\ (1-(P0/Pt))$$

- P(t) = pluie journalière de période de retour t.

Tableau VI.5. Coefficient de ruissellement pour une période de retour t = 10 ans.[11]

Couverture végétale	Morphologie	Pente (%)	Type de sol		
			Sable grossier	Limon	Argile
Bois	Presque plat	Pente < 5%	0,10	0,30	0,40
	Ondulé	5 ≤ pente < 10	0,25	0,35	0,50
	Montagneux	10 ≤ pente < 30	0,30	0,50	0,60
Pâturage	Presque plat	Pente < 5%	0,10	0,30	0,40
	Ondulé	5 ≤ pente < 10	0,15	0,36	0,55
	Montagneux	10 ≤ pente < 30	0,22	0,42	0,60
Culture	Presque plat	Pente < 5%	0,30	0,50	0,60
	Ondulé	5 ≤ pente < 10	0,40	0,60	0,70
	Montagneux	10 ≤ pente < 30	0,52	0,72	0,82

VI.3.4. Calcule des débits des bassins versants

A partir des paramètres des bassins on calcule les débits des crues pour dimensionner les ouvrages hydrauliques, ces ouvrages doivent rester fonctionnelle pour une période minimale de 100 ans, donc il est indispensable de prendre en compte des débits centennal.

Pour calculer le débit maximal centennal pour chaque bassin on utilise les formules suivantes :

- **Formule rationnelle :** (A <10 km2) **:** $\mathbf{Q_{max} = \frac{C \times I \times A}{3.6}}$

- Q_{max} : débit maximal de la crue de période de retour voulue (m^3/s).
- C : coefficient de ruissellement.
- I : intensité de pluie (mm /h).
- A : la surface du bassin versant (km^2).

- **Formule de transition : (10 Km2 < A < 50 Km2) :** $\mathbf{Q_T = \alpha\, Q_{(RT)} + \beta\, Q_{(CT)}}$

- Q_t : débit de projet de période de retour t.
- $Q_{(rt)}$: débit fourni par la formule rationnelle, période de retour t.
- $Q_{(ct)}$: débit fourni par la formule Crupedix, période de retour t.
- α, β : coefficients de pondération : $\alpha = (50\text{-}a)/40$. , $\beta = 1 - \alpha$.

- **Formule Crupedix :(A >50 Km2) :**

$$Q_{100} = b' \times Q_{10}$$

$$\mathbf{Q_{10} = A^{0.8} \times \left(\frac{P_J}{80}\right)^2 \times R}$$

- A [km2] : surface du bassin versant.
- P_j [mm / j] : précipitation journalière maximale décennal.
- R: coefficient régional :
  - R = 0,2 pour des terrains perméables.
  - R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
  - R = 1 pour des terrains intermédiaires.
- $1{,}4 \leq b' \leq 4$

Le paramètre « b' » dépend de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 km^2, b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q_{10} et Q_{100} comme si la formule rationnelle était applicable) $b'=Q_{R100}/Q_{R10}$.
- Au-delà de 20 km^2, b' est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet.

VI.3.5. APPLICATION AU PROJET

- Application pour le bassin 1 :

Les caractéristiques déterminées sur la carte topographique sont :

Tableau VI.6. Caractéristique du bassin

Bassins	A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Pente (m/m)
1	10,614	14,825	6,855	1158	1092	1125	0.0096

Le temps de concentration : 5 km^2 <A< 25 km^2

Formule de Passini **:** $TC = \frac{0.108\,(A \times L)^{1/3}}{\sqrt{i_m}} = \frac{0.108\,(10.414 \times 6.855)^{1/3}}{\sqrt{0.0096}} =$ **4.6 h**

Intensité de pluie

$$I(tc, 100) = \frac{a(100)}{tc^{-b}} = \frac{36.9}{4.6^{-0.72}} = 13.2\ mm/h$$

$$I(tc, 10) = \frac{a(10)}{tc^{-b}} = \frac{25.4}{4.6^{-0.72}} = 8.47\ mm/h$$

Coefficient de ruissellement pour T=10ans

- P=0.96≤ 5%
- Couverture végétale : culture
- Sol sable limoneuse

Donc C (10) = 0.4

Coefficient de ruissellement pour T=100ans

C (10) <0.8

$$P0 = 1 - \frac{C(10)}{0.8} * P(10) = 1 - \frac{0.4}{0.8} * 57.8 = 28.9\ mm$$

$$C = 0.8 * \left(1 - \frac{P0}{P100}\right) = 0.8 * \left(1 - \frac{28.9}{39.5}\right) = 0.55$$

Estimation du débit pour T=100 ans

10 km^2 <A< 50 km^2 formule de transition $Q_T = \alpha\, Q_{(RT)} + \beta\, Q_{(CT)}$

$$Q_{R100} = \frac{C * I(100) * A}{3.6} = \frac{0.55 * 13.2 * 10.614}{3.6} = 21.4 m^3/s$$

$$Q_{R10} = \frac{C * I(10) * A}{3.6} = \frac{0.55 * 8.47 * 10.614}{3.6} = 9.99 m^3/s$$

$$Q_{C10} = A^{0.8} * (\frac{Pj(10)}{80})^2 * R = 10.614^{0.8} * (\frac{57.8}{80})^2 * 1 = 3.45 m^3/s$$

$$b' = \frac{Q_{R100}}{Q_{R10}} = \frac{21.4}{9.99} = 2.14$$

$$Q_{100} = b' * Q_{10} = 7.38\ m^3/s$$

$$\alpha = \frac{50 - A}{40} = \frac{50 - 10.614}{40} = 0.948$$

β= 1 - α=1-0.98=**0.016**

$Q_T = \alpha\ Q_{(RT)} + \beta\ Q_{(CT)}$=0.984*21.4+0.016*7.38=**21.18 m³/s.**

- Application pour le bassin 6 :

Les caractéristiques déterminées sur la carte topographique sont :

Tableau VI.7. Caractéristique du bassin 6

Bassins	A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Pente (m/m)
6	0.682	3.808	1.129	1086	1066	1076	0.0177

Le temps de concentration : A< 5 km^2

Formule de Ventura : (A <5 Km2) : TC = 0.1272 $\sqrt{\frac{A}{P}}$ = 0.1272 $\sqrt{\frac{0.682}{0.017}}$=0.79 h

Intensité de pluie

$$I(tc, 100) = \frac{a(100)}{tc^{-b}} = \frac{36.9}{0.79^{-0.72}} = 46.92\ mm/h$$

$$I(tc, 10) = \frac{a(10)}{tc^{-b}} = \frac{25.4}{0.79^{-0.72}} = 30.1\ mm/h$$

Coefficient de ruissellement pour T=10ans

- P=0.0177≤ 5%
- Couverture végétale : culture
- Sol sable limoneuse

Donc C (10) = 0.4

Coefficient de ruissellement pour T=100ans

C (10) <0.8

$$P0 = 1 - \frac{C(10)}{0.8} * P(10) = 1 - \frac{0.4}{0.8} * 57.8 = 28.9\ mm$$

$$C = 0.8 * \left(1 - \frac{P0}{P100}\right) = 0.8 * \left(1 - \frac{28.9}{39.5}\right) = 0.55$$

Estimation du débit pour T=100 ans

A< 10 km^2 Formule rationnelle : $\mathbf{Q_R = \frac{C \times I \times A}{3.6}}$

$$Q_R = \frac{C * I(100) * A}{3.6} = \frac{0.55 * 46.92 * 0.618}{3.6} = 4.89 m^3/s$$

- Application pour le bassin 9 :

Les caractéristiques déterminées sur la carte topographique sont :

Tableau VI.8. Caractéristique du bassin 9

Bassins	A (km^2)	P (km)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Pente (m/m)
9	96,55	56,819	33,319	1210	1057	1133,5	0.0064

Le temps de concentration : 25 km^2 <A

Formule De Giandotti : $T_C = \frac{(4\sqrt{A}) + (1.5\,L)}{0.8\sqrt{H}} = T_C = \frac{(4\sqrt{96.55}) + (1.5\ 33.31)}{0.8\sqrt{153}} = 12.76$ h

Intensité de pluie

$$I(tc, 100) = \frac{a(100)}{12.76^{-b}} = \frac{36.9}{12.76^{-0.72}} = 114.09 mm/h$$

$$I(tc, 10) = \frac{a(10)}{tc^{-b}} = \frac{25.4}{12.76^{-0.72}} = 73.18 mm/h$$

Coefficient de ruissellement pour T=10ans

- P=0.0064≤ 5%
- Couverture végétale : culture
- Sol sable limoneuse

Donc C (10) = 0.4

Coefficient de ruissellement pour T=100ans

C (10) <0.8

$$P0 = 1 - \frac{C(10)}{0.8} * P(10) = 1 - \frac{0.4}{0.8} * 57.8 = 28.9 \text{ mm}$$

$$C = 0.8 * \left(1 - \frac{P0}{P100}\right) = 0.8 * \left(1 - \frac{28.9}{39.5}\right) = 0.55$$

Estimation du débit pour T=100 ans

50 km^2 <A Formule Crupedix $Q_{100} = b' \times Q_{10}$

$$\mathbf{Q_{10} = A^{0.8} \times (\frac{P_J}{80})^2 \times R}$$

$$Q_{10} = 96.55^{0.8} \times (\frac{57.8}{80})^2 \times 1 = 20.21 m^3/s$$

$$b' = 4$$

$$Q_{100} = b' * Q_{10} = 4 * 20.21 = 80.84 m^3/s$$

Le tableau suivant donne les calcule hydraulique des bassins versants le long du tronçon étudié :

Tableau VI.9. Débits des bassins versant

Bassin	Tc(h)	Intensité(mm/h)	Cr	Qa(m3/s)
1	4,6	13,2	0,55	21.18
2	5,16	12,15	0,55	29.31
3	4	14,6	0,55	16.3
4	0,57	59,36	0,55	11.08
5	3.64	15.62	0.55	35.15
6	0,79	46,92	0,55	4.89
7	4.07	14.41	0.55	34.52
8	5.45	11.68	0.55	45.56
9	12,76	6,33	0,55	80.84
10	0,23	114,09	0,55	0.58

VI.4. Etude d'assainissement

VI.4.1. Assainissement transversal

Le débit de saturation ou le débit capable est calculé par le biais de la formule de MANNING-STRICKLER.

$$\mathbf{Qs = K * S * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}}$$

I : Pente de pose de l'ouvrage (m.p.m)

S : Section mouillée (m2)

Rh : Rayon hydraulique moyen avec : $Rh = \frac{section\ mouillée}{périmetre\ mouillé}$

K : Coefficient de MANNING-STRICKLER

Tableau VI.0. Coefficient de MANNING-STRICKLER

Nature de la surface	Ks
Terre	30
Buses métalliques	40
Maçonneries	50
Bétons (dalots)	70
Bétons (Buses préfabriquées)	80

VI.4.1.1. Hauteur de remplissage

Dalot :

Hr = 0.80 H si H≤2.5 m ; Hr = H-0.5 si H>2.5 m

Buse :

Hr = 0.50 Ø si Ø >1 m ; Hr = 0.75 Ø si Ø ≤1 m

VI.4.1.2. Dimensions des ouvrages

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes :

- Qa < Qs
  - qa : débit d'apport (m^3/s).
  - qs : débit de saturation de l'ouvrage (m^3/s).
  - Selon le guide technique « assainissement routier » sera la vitesse doit respecter les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :
  - Ouvrage en béton inférieure ou égale 4 m/s.
  - Ouvrage métalliques inférieure ou égale 2.5 m/s

VI.4.1.3. Exemple d'application

Bassin 1 : Dalot

- qa=21.18 m^3/s
- Nombre de cellules n=3
- i=0.5%
- Coefficient de MANNING-STRIKLER k=70

En utilisant la formule de Manning –Strickler, sachant que :

$$Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{Hr * b}{2 * Hr + b}$$

- Hr : hauteur de remplissage

On a H≤2.5m donc Hr=0.8 H

En utilisant la formule de Manning –Strickler

Qa ≤Qs => $Qa \leq K * Sm * I^{\frac{1}{2}} * Rh^{\frac{2}{3}}$

On obtient $Hr = (\frac{Qa}{K*Sm*\sqrt{I}})^{3/5} * (1 + 2 * \frac{Hr}{b})^{2/5}$

Itération : H= 1.57 on prend H=2 donc Hr=0.8*2=1.6m

Sm=Hr*b

$$Rh = \frac{Hr * b}{2 * Hr + b} = 0.61m$$

$$Qs = K * Sm * I^{\frac{1}{2}} * Rh^{\frac{2}{3}} = 20.41\ m^3/s$$

$$Vps = \frac{Qs}{Sm} = 3.56\ m/s$$

Vérification :

- Vérification de la vitesse d'écoulement

Vps=3.56 m/s < 4m/s condition vérifiée.

- Vérification de l'écoulement fluvial

H critique $= \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2*g}} = \sqrt[3]{\frac{10.59^2}{2.5^2*10}} = 1.21m$<H=1.5m donc le régime est fluviale

- Vérification d'auto curage

1ere condition : Pour Qa /Qps= Rq=0.1 il faut Vécoulement > 0.6 m/s.

Rq = 0.1 => Rv = 0.638=V/Vps => V=Rv*Vps=0.638*3.56=2.27m/s > 0.6 m/s**.** Condition vérifiée.

1eme condition : Pour Qa /Qps= Rq=0.01 il faut Vécoulement > 0.3 m/s.

Rq = 0.01 => Rv = 0.315=V/Vps => V=Rv*Vps=0.315*3.56=1.12m/s > **0.3 m/s.** Condition vérifiée.

Le tableau suivant nous présente les dimensions des ouvrages d'assainissement transversal :

Tableau VI.11. Dimensions des ouvrages hydrauliques

Dalot	PK	B(m)	H(m)	I(m/m)	n. cellule	Qa (m3/s)	Qs (m3/s)	V (m/s)
1	34+710	2.5	1.6	0.005	2	21.18	23.33	3.56
2	37+400	2.5	2	0.005	2	29.31	31,27	3.9
3	38+849	2.5	1.5	0.005	2	16.3	21,41	3.56
4	39+321	2	1.5	0.005	2	11.08	15,86	3.3

5	41+100	2.5	2.5	0.004	2	35.15	37.16	3.71
6	43+890	1.5	1.5	0.005	1	4.89	5,32	2.95
7	48+650	2.5	2.5	0.004	2	34.52	37.16	3.71
8	49+500	3	2.5	0.004	2	45.65	47.93	3.99
9	51+789	3	2.5	0.004	4	80.84	95,87	3.99
10	54+600	1	1	0.005	1	0.58	1,8	2.25

VI.4.2. Assainissement longitudinal

On a également adopté, pour la conception générale du système de drainage longitudinal, les principes suivants :

Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai ou de remblai, pour évacuer les eux vers les exutoires naturels ou vers les ouvrages hydrauliques transversaux.

On utilise le cas le plus défavorable, où il y a un déblai ou un remblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante.

VI.4.2.1. Le débit à évacuer

Pour l'estimation des débits on prend en considération des périodes de retour de 10 ans.

Le débit à évacuer est obtenu par la méthode rationnelle :

$$\mathbf{Qev=C*I*A/3.6}$$

Qev est exprimé en m^3/s

C = coefficient de ruissellement

A = surface de l'impluvium en km^2

I = intensité moyenne de l'averse décennale en mm/h correspondant au temps de concentration au point de calcul et donné par la formule de MONTANA :

$$\mathbf{I = a * tc^{-b}\ (tc\ en\ h)}$$

VI.4.2.2. Le débit de saturation

L'ouvrage est saturé lorsqu'il coule à pleine section. La relation de MANNING STRICKLER donne le débit capable à pleine section Qc de l'ouvrage :

$$\mathbf{Qs=Kc*Sm*I^{1/2}*Rh^{2/3}}$$

Qs= Débit capable à pleine section en m^3/s

K = Coefficient de rugosité

Rh= Rayon hydraulique en m

Sm= Section mouillée en m^2

I = Pente en m/m

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux conditions suivantes : **Qev ≤Qs**

VI.4.2.3. Application au projet

On propose une fosse de section Trapézoïdal, avec Largeur totale 1,50 m, Talus 1H : 1V, Largeur au fond de 0.50 m et Profondeur totale de 0,50 m.

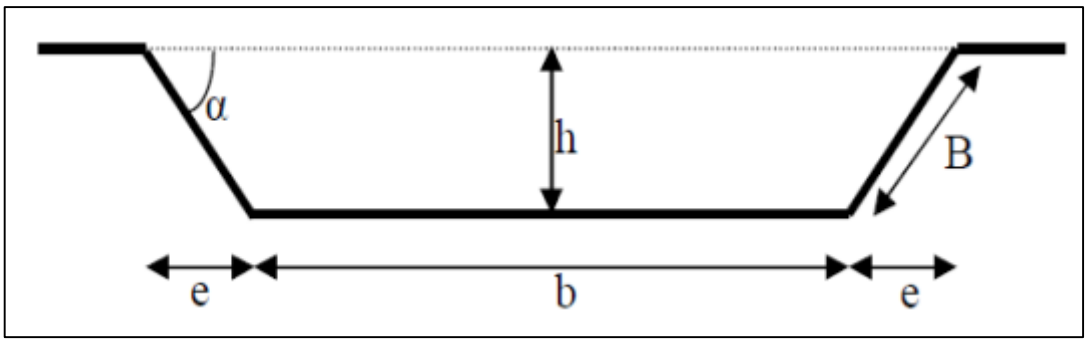


Figure VI.2. Section des fossés

Sm=b*h+2*e*h/2=b*h+n*h²=h(b+n*h)

$$Sm = b * h + \frac{2 * e * h}{2} = h(b + n * h)$$

Avec **tang(α)=tan(45°) => n=1**

$$Pm = \frac{bh + nh^2}{b + 2h * \sqrt{1 + n^2}}$$

Qs=K*I$^{1/2}$*Sm*Rh$^{2/3}$= $\left(K * I^{\frac{1}{2}}\right) * h(b + n * h) * \left(\frac{h*(b+n*h)}{2*h*\sqrt{1+n^2}}\right)^{2/3}$

Pour remblai

I=0.016

Qs=1.445 m^3/s

Calcule des débits d'apport

Tableau VI.12. Estimation des débits pour remblai

Cas plus défavorable pour remblai L= 1765m						
Bassin	Surface(km2)	Pente(m/m)	C	Tc1 (h)	I(mm/h)	Q(m^3/s)
Talus	0.0066	1.5	0.7	0.008	729.39	0.93
Berme	0.00053	0.04	0.7	0.014	529.6	0.05
Plateforme	0.007	0.04	0.95	0.053	203.08	0.37

Qev=1.35 m^3/s <Qs=1.445 m^3/s

Pour déblai

I=0.01

Qs=1.142 m^3/s

Calcule des débits d'apport

Tableau VI.13. Estimation des débits pour déblai

Cas plus défavorable pour déblai L= 1170m						
Bassin	Surface(km2)	Pente(m/m)	C	Tc1(h)	I(mm/h)	Q(m^3/s)
Talus	0.0014	1.5	0.7	0.0039	1329.2	0.36
Berme	0.00035	0.04	0.7	0.012	591.77	0.04
Plateforme	0.0047	0.04	0.95	0.043	236.08	0.3

Qev=0.7 m^3/s <Qs=1.142 m^3/s

Donc Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : h=0.5m, b=0.5m, **α=45º**

VI.6. Conclusion

A partir de l'étude hydrologique le trace comporte :

- 10 ouvrages hydrauliques
- Une fosse de h=0.5m, b=0.5m le long du tracé sur les deux côtes de la voie.

CHAPITRE VII

DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE ET PROFIL EN TRAVERS

VII. Introduction

Pour les infrastructures linéaires de transport de type ferroviaire, la structure supportant la voie ferrée est un des éléments les plus importants pour assurer la stabilité géométrique, le drainage des eaux, et le bon fonctionnement à long terme de la voie. Elle est constituée généralement de plusieurs couches de matériaux superposées : le ballast, la sous-couche, éventuellement une couche de forme et le sol support.

VII.1. Couche d'assise ferroviaire

La couche d'assise est composée de plusieurs couches chacune son rôle et son dimensionnement (la couche de ballast, la sous-couche et la plateforme) ; elle a pour but d'assurer le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

L'épaisseur minimale de la couche d'assise dépend des paramètres suivants :

– La classe de portance de la plateforme.
– L'armement de la voie (nature des traverses, profil des rails...).
– Les caractéristiques du trafic (tonnage, vitesses, charges)

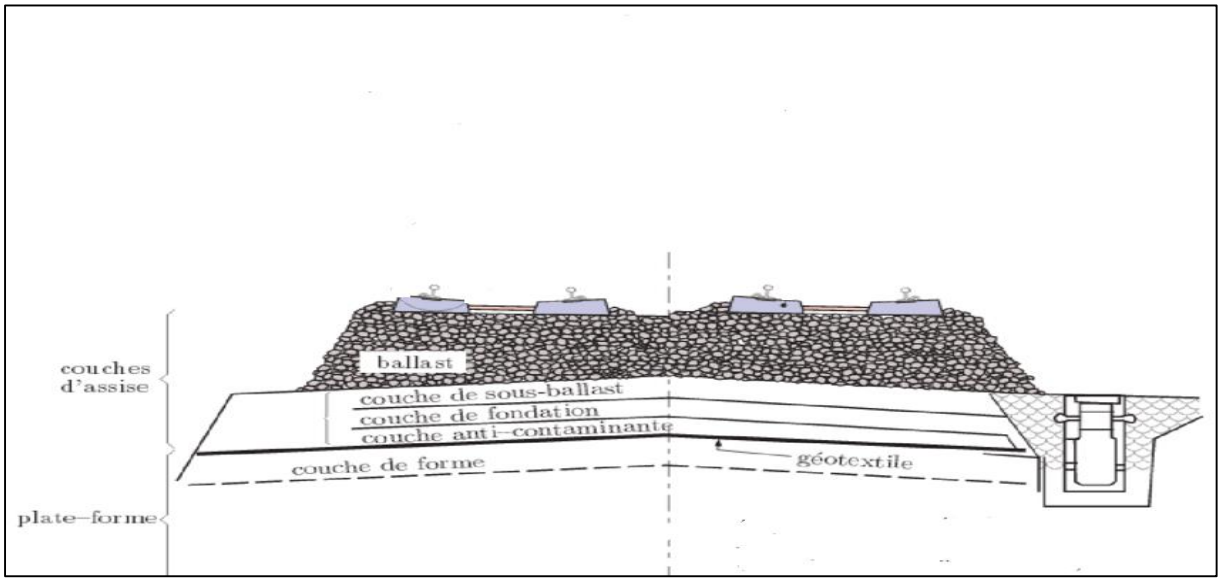


Figure VII.1.1. Structure d'assise ferroviaire

VII.1.1. La plate-forme

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche, elle est constituée de sol reporté dans le cas d'un remblai et du sol support dans le cas d'un déblai. La partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme, avec une pente transversale de 4%.

VII.1.1.1. Classification de sol pour plate-forme [12]

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

- La nature géotechnique du sol.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ; ces conditions, pour ce qui concerne l 'influence sur la portance des sols.

On distingue les quatre classes de qualité QSi de sols :

– QS0 : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)

– QS1 : Sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).

– QS2 : Sols moyens.

- QS3 : Bons sols.

VII.1.1.2. Classe de portance de la plate-forme [12]

La portance d'une plateforme dépend :

- De la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).
- De la qualité du sol constituant le corps de remblais ou du sol en place du fond du Déblai

On peut distinguer, en fonction des paramétrés ci-dessus les trois classes de portance de plateforme suivantes :

- P1 : plate –forme mauvaise.
- P2 : plate-forme moyenne.
- P3 : bonne plate – forme.

Le tableau suivant permet de déterminer la classe de portance de la plate-forme :

Tableau VII.1.1. La classe de portance de la plateforme [12]

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme mise en œuvre	
		Qualité	Epaisseur minimal en m
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

VII.1.2. Epaisseur des couches d'assise.[12]

L'épaisseur de la couche d'assise (e=épaisseur de ballast + épaisseur de la sous-couche) est donnée, selon la norme UIC 719R, par la formule suivante : **e**(m) = **E** + **a** + **b** + **c** + **d** + **f** + **g**

Valeurs de E selon UIC 719R :

- E = 0.70 m pour une plateforme de classe de portance P1.
- E = 0.55 m pour une plateforme de classe de portance P2.
- E = 0.45 m pour une plateforme de classe de portance P3.

Valeurs de « a » selon UIC 719R :

- a = 0 m : lignes de groupe UIC 1 et 2, V> 160 km/h.
- a = -0,05 m : lignes de groupe UIC 3.
- a = -0,1 m : lignes de groupe UIC 4, 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs.
- a = -0,15 m : lignes de groupe UIC 7, 8,9 sans voyageurs.

Valeurs de « b » selon UIC 719R :

- b = 0 m : traverses bois de longueur L=2.60 m.
- b= (2.5–L)/2 : traverses en béton de longueur L (b et L en (m), b< 0 si L> 2.5m).

Valeurs de « c » selon UIC 719R :

- c = 0 m: dimensionnement normal.
- c = -0.1 m: lignes de groupe UIC 7, 8,9 sans voyageurs, et pour les voies de service de catégorie B, C.
- -0.05 à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur lignes existants de groupe UIC 7 ,8,9 sans voyageur.

Valeurs de « d » selon UIC 719R :

- d = 0 m : si la charge nominale maximale d'essieu ≤ 200 KN.
- d = 0,05 m : si la charge nominale maximale d'essieu = 225 KN.
- d = 0,12 m : si la charge nominale maximale d'essieu = 250 KN.

Valeurs de « c » selon UIC 719R

- f = 0 m : pour toutes les lignes parcourues à une vitesse≤ 160km/h et pour la plateforme de classe de portance P3 des lignes quelles que soit la vitesse.
- f = 0,05 : pour toutes les plates-formes de classe de portance P2 ou bien des lignes parcourues à grande vitesse V>160km/h.
- f =0,10 m : pour toutes les plates-formes de classe de portance P1.

Valeurs de « g » selon UIC 719R :

- g =+ 0.01 présence de géotextiles lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
- g =0 pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VII.1.3. Application au projet

VII.1.3.1. Classification du sol de la plate-forme

D'après les résultats de l'étude géotechnique on constate que le sol est de classe QS1 (sol médiocre). La classe de portance envisagé pour le projet et la classe P2, donc il est nécessaire de réaliser une couche de forme pour augmenter la portance.

VII.1.3.2. Détermination de l'épaisseur de la couche d'assise

D'après la fiche UIC 719 on détermine les paramètres relatifs à notre projet et qui permettent de déterminer l'épaisseur de la couche d'assise (ballast + couche de forme). Le tableau suivant résume les valeurs des différents paramètres :

Tableau VII.1.2. Paramètre de dimensionnement de la sous-couche

Paramètre	Valeur (m)	Description
E	0.55	Plate-forme de classe de portance P2
a	0	Vitesse supérieure à 160 km/h
b	0.13	Traverse bibloc en béton L=2.24
c	0	Dimensionnement normal
d	0.05	Charge maximale d'essieu des véhicules remorqués et de 225 KN
f	0.05	Plate-forme de classe de portance P2
g	0	(Sans géotextile) couche de forme en sol QS3.

- L'épaisseur totale de la couche d'assise (ballast et sous couche) est :

  e = E + a + b + c + d + f + g =0.55+0+0.13+0+0.05+0.05+0=0.78 m.

  En prend **e=0.80 m.**
- L'épaisseur de la couche de ballast est de 30 cm.
- La couche de forme de classe de portance P2 réalisé sur un sol de classe QS1 nécessite une épaisseur de 35cm pour une qualité QS3 de couche de forme.

Alors la structure de la voie est comme suit :

Tableau VII.1.3. épaisseurs des couches.

Couche	Epaisseur (m)	Matériaux
Ballast	0.30	Ballast 25/50 mm
Sous-ballast	0.20	Grave bien gradué 0/31.5 mm
Couche de fondation	0.30	GC (grave concassée) 0/50 mm
Couche de forme	0.35	GNT

VII.1.4. Synthèse

Le dimensionnement nous a permis de mettre en évidence les épaisseurs et la structure des différentes couches devant être présentes pour supporter et diffuser la charge transmise par le matériel roulant, assurer le drainage des eaux, et protéger le sol support.

VII.2. Profil en travers

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie.

L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

VII.2.1. Les déférents types de profil en travers

Il existe deux types de profil en travers qui sont :

VII.2.1.1. Profil en travers type

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc.…).

VII.2.1.2. Profil en travers courant

S'applique au PK indiqué, prend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment la cote du terrain naturel, la cote de projet et le dévers de la plateforme.

VII.2.2. Les éléments du profil en travers

VII.2.2.1. La plateforme

Il est conseillé de réaliser une plateforme à partir d'une succession des couches des matériaux parfaitement compactés, sur laquelle reposera la voie, à savoir : les rails, les traverses le ballast ainsi que le train lui-même.

La plate-forme reçoit les charges transmises par l'intermédiaire du ballast, elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.

VII.2.2.2. L'Emprise

C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie ; limitée par le domaine public.

VII.2.2.3. Assiette

C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

VII.2.2.4. La voie

C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.

VII.2.2.5. La berme

Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations...). Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

VII.2.2.6. Le fossé

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

VII.2.3. Les profils en travers affectés au projet

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

- Type de ligne : Voie unique mixte électrifiée.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme :8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Largeurs de la berme : 0.30 m.
- Pente latérale de la berme : 4%.
- Entraxe : 4.2m.
- Pente latérale de la couche de ballast : 3/2, (3H et 2V).
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 30cm.
- Epaisseur Couche de fondation : 20 cm.
- Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
- Pente (déblai : 3H /2V et remblai : 3H / 2V).
- Fossé trapézoïdale (b= 0.5 m ; h= 0.5 m).

Remarques :

On utilise une pente de 3H/2V en déblai et en remblai à cause d'il n'y a pas des hauteurs importantes.

En cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le dévers exigé.

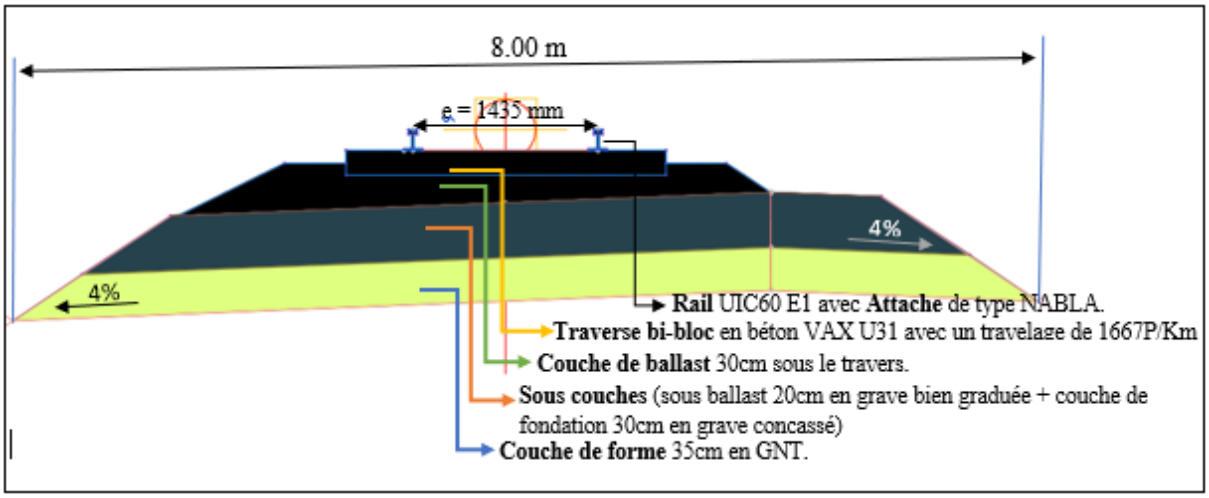


Figure VII.2.1. Structure du profil en travers du projet

VII.3. Conclusion

Le bon dimensionnement soit de différents éléments du profil en travers ou bien la couche d’assise tout en respectant les normes permettre à la voie de supporter et transmettre la charge provoquée par le matériel roulant, et garantir une longue durée de vie.

CHAPITRE VIII

TERRASSEMENT ET OUVRAGES D'ART

VIII.1. Terrassement

VIII. Introduction

L'infrastructure est la partie inférieure sur laquelle repose la voie, elle sert à répartir et à transmettre les charges induites par les trains au sol support. Dans ce chapitre, on va déterminer les différentes dispositions permettant de rendre les talus stables.

La performance d'une ligne dépend principalement de la qualité de sa fondation. Ce qui nécessite des aménagements spécifiques du terrain tels que déblais, remblais, talus conçus de manière adéquate pour répondre aux charges de trafic prévues et différents charges dynamique.

La succession des déblais et des remblais est caractérisée par des hauteurs pouvant être importantes (supérieure à 8m pour remblais ,12 m pour déblais).

VIII.1.2. Pente de talus

Les pentes de talus principalement utilisées selon référentiel technique de SNTF chapitre7.2.2 « ouvrages en terre », et exprimées en fraction base « H » sur hauteur « V », sont :

- En déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1
- En remblai : 3/2, 2/1.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité et la pérennité générale de l'ouvrage en fonction des caractéristiques géotechniques des terrains recoupés en déblais, ou du sol support et des matériaux mis en œuvre pour les remblais ; de la hauteur de l'ouvrage et de la topographie de site et des risques naturelles.

Les talus peuvent être réalisés avec certains aménagements tels que risberme intermédiaire en déblai et banquette latérale en remblai ou des dispositifs de drainage pour satisfaire les conditions de stabilité.

VIII.1.3. Déblai

La géométrie des talus en déblais choisie basée sur la géométrie de la plateforme ferroviaire, type de structure d'assise retenu et type de drainage. Tout en assurant la stabilité de l'ouvrage en respectant coefficient globale de sécurité F [8] :

- $F \geq 1.5$ pour la stabilité à court terme.
- $F \geq 1.3$ pour la stabilité à long terme.
- $F \geq 1$ pour la stabilité sous la sollicitation sismique.

Des dispositifs d'assainissements de drainage (fossé de crête, fossé en pied de talus et éventuellement des descentes d'eau) seront mis en œuvre pour capter et canaliser les eaux de ruissellement vers des exutoires appropriés, limitant ainsi le risque d'érosion des talus.

VIII.1.3.1 La Sécurité dans les zones de déblais

La prévention des instabilités locales, qui est détectée pendant l'excavation des déblais, il convient de prévoir des mesures de stabilisation et de soutènement des talus, tels que le traitement avec des boulons d'ancrage, des grilles à mailles hexagonales, le gunitage…etc. Comme critère général :

- Lorsque les déblais sont effectués dans des terrains rocheux, il peut être possible de disposer au pied des talus pour récupérer les possibles blocs qui pourraient se détacher.
- Pour la stabilisation des talus, il faudra disposer des fossés de crête de talus, ainsi que des tuyaux en descente en béton. De la même façon, la surface des talus sera traitée avec des plantations.
- Dans le cas où peuvent apparaitre des instabilités locales avec détachement des blocs, il est à envisager le rabotage localisé de blocs, la projection de béton, le boulonnage local, la disposition de grillage antichute...
- Il est recommandé de disposer des fossés revêtus dans les bermes pour contrôler l'eau d'écoulement et éviter son infiltration dans les déblais.

VIII.1.3.2. Application au projet

Dans notre projet la hauteur de déblai est : H = 5.49m, la hauteur n'est pas importante donc y a pas de nécessité de faire une étude sur les stabilités des talus.

VIII.1.3.3. Réutilisation des matériaux de déblais (déblais mise en remblais)

En raison des coûts énormes des travaux de terrassements, les constructeurs essaient d'utiliser le maximum des sols extraits en remblais pour réduire les coûts de transport et d'achat des matériaux conformes à l'utilisation pour remblais. Les conditions de réutilisation des matériaux sont définies par le GTR.

Dans les zones déblais on a un sol classifié par GTR **(B_5s)** au **Pk 47+613.**

D'après le GTR, ces sols sont très difficiles à compacter du fait de leur faible teneur en eau

Tableau VIII.1.1. Utilisation de matériau en remblai.

Pk	Classe GTR	Utilisation de matériau en remblai
47+613	B_5S	- Soit de compacter intensément avec un arrosage superficiel. - Soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le remanier en B_5m.

VIII.1.4. Remblai

Pour exécution des remblais il est toujours nécessaire de débarrasser le sol de tout ce qui pourrait nuire à la liaison du terrain en place avec les remblais tels que les racines, souche et débris de tout nature et la terre végétale sur une épaisseur suffisante.

La largeur de la partie supérieure du remblai (arase terrassements) est fonction :

- La géométrie de la plateforme ferroviaire.
- Type de structure d'assise retenu.

Pour la mise en place des remblais on remblaie d'abord les parties les plus basses ; on dispose les remblais par couches successives de 20cm d'épaisseur pour améliorer compactage et augmenter la cohésion des remblais.

VIII.1.4.1. Vérification de la stabilité des talus en remblais

Au-delà d'une certaine hauteur limite de remblai, il y'a risque de rupture, se présentant généralement sous forme de glissement de talus.

Les méthodes d'études de stabilité des pentes permettent de déterminer cette hauteur limite pour un coefficient de sécurité donné, connaissant :

- Les caractéristiques géométriques du remblai et des couches du sol de fondation.
- Les caractéristiques mécaniques du remblai et du sol de fondation.
- Le régime hydraulique (le plus souvent définition du niveau de la nappe).

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération sont les suivants :
- Fs ≥ 1,5 pour l'analyse en conditions statiques.
- Fs ≥ 1,0 pour l'analyse en conditions sismiques.

VIII.1.4.2. Application au projet

Dans notre projet la hauteur de remblai maximal est : H = 4.78 m, la hauteur n'est pas importante donc y a pas de nécessité de faire une étude sur les stabilités des talus.

VIII.1.5. Calcul des volumes de terrassements

Les cubatures des terrassements sont calculées après définition du terrain naturel, et du projet par : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

Le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau VIII.1.2. Récapitulatif des volumes de terrassement.

Terrassements	Volumes (m^3)
Déblai	414293
Remblai	103900

Tableau VIII.1.3. Epaisseur et le volume de la terre végétal.

PK		Epaisseur	Volume de la terre végétal (m^3)
Début	Fin		
29+000	55+000	0.3	118728

Tableau VIII.1.4. Récapitulatif des volumes des couches d'assise.

Terrassement	Volume (m^3)
Ballast	62400
Sous ballast (grave bien graduée)	41600
Couche de fondation (grave concassé)	62400
Couche de forme (GNT)	72800

VIII.2. Ouvrage d'art

VIII. Introduction

La conception d'un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire et le franchissement des différents obstacles et infrastructures existantes.

En général, le problème de croisement avec une route doit prendre en considération la nature et le débit de la voie afin d'analyse cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale.

On prévoit en effet, trois (03) solutions possibles :

- Passage supérieur : Si la vitesse de train est importante ≥100 km/h et si la topographie ne le permet pas.
- Passage à niveau : pour les routes de faible débit surtout.
- Passage inferieur de la route : lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

En ce qui concerne notre projet, la vitesse du train étant de 220 km/h donc on utilise les passages supérieurs.

VIII.2.1. Les ouvrages d'art du projet

Tableau VIII.2.1. Les ouvrages d'arts projetés du projet.

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage projeté	Type des ouvrages d'art	Longueur OA (m)
Piste	PK 29+972	Passage supérieur	Pont cadre	22.00
Piste	PK 32+075	Passage supérieur	Pont cadre	15.00
Piste	PK 37+950	Passage supérieur	Pont cadre	15.00
Piste	PK 49+650	Passage supérieur	Pont cadre	22.00
Piste	PK 52+300	Passage supérieur	Pont cadre	15.00
Piste	PK 53+645	Passage supérieur	Pont cadre	15.00

VIII.3. Conclusion

Ce chapitre a établi les stabilités des talus et les volumes de terrassement ainsi que les ouvrages nécessaires pour le franchissement du tracé ferroviaire et les spécifications technique associé à chaque ouvrage.

CHAPITRE IX

AMENAGEMENT DE LA GARE SIDI AHMED

IX. Introduction

Une gare est un lieu d'arrêt de trains ou on peut y affecter des manœuvres d'échanges de machine, elle a des fonctions multiples : permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises et se présente aussi comme un nœud de liaison entre la ville et son système de transport public.

Ce chapitre a pour objectif de présenté les différents constituants d'une gare voyageurs+gare de croissement, et de donner une conception des voies et des quais de la nouvelle gare Sidi Ahmed.

IX.1. Type des gares

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises Ferroviaire.
- Gare mixte.
- Gare de triage.

IX.2. Installations d'une gare voyageurs

- **Le bâtiment de voyageurs :** est un espace destiné à l'accueil des voyageurs, il comporte un hall des guichets (ou espace de vente) ainsi qu'une ou plusieurs salles d'attente.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** c'est un espace réservé aux agents de chemins de fer.
- **Quais :** une bande parallèle à la voie et permettant aux passagers d'accéder aux voitures de la rame.
- **Abris de quais :** c'est une installation sur le quai pour protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages sous terrain et les passerelles :** ils sont construits dans les gares pour permettre aux voyageurs le passage d'un quai à l'autre quai en pleine sécurité.

IX.3. Caractéristiques géométriques de la gare

IX.3.1. Garage franc

Une borne de garage franc est un signal qui indique la limite de stationnement permis du train à la voie de croisement. Théoriquement on pose ce signal à 3,57 m entre les deux voies. Compte tenu de la sécurité, il vaut mieux le poser un mètre plus loin par rapport à la position théorique.

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance de :

GF= 3.57*n+1 (1m pour sécurité) **; n :** varie selon l'ouverture

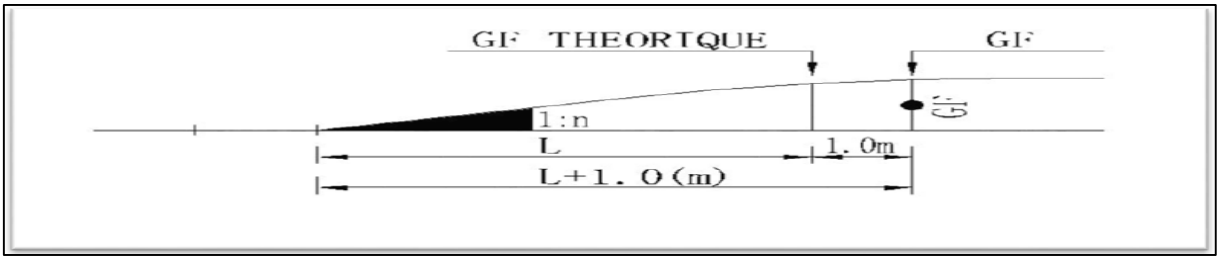


Figure IX.1. Garage franc

IX.3.2. La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

- 426 m : pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandise (pour la voie principale et la voie de service).

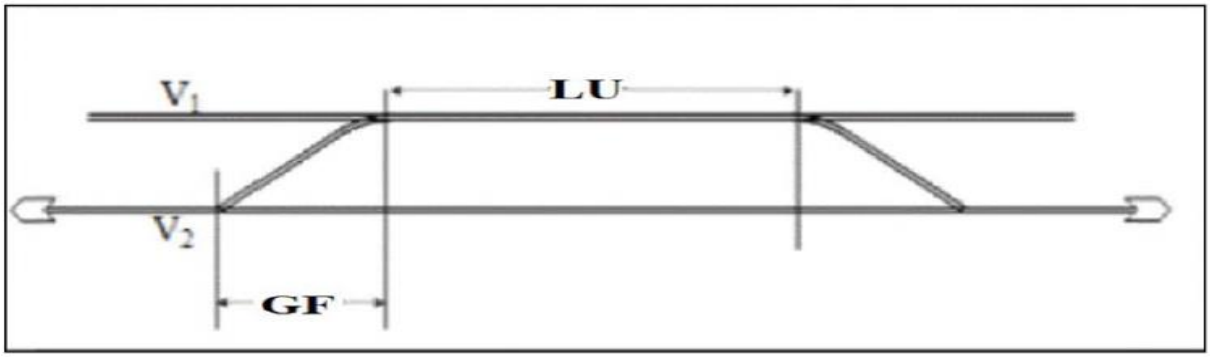


Figure IX.2. La longueur utile de stationnement et garage franc

IX.3.3. Les heurtoirs

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.

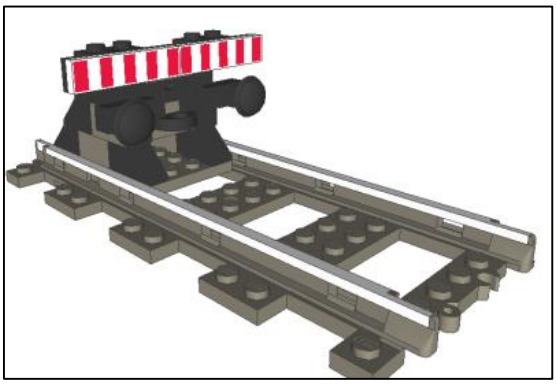


Figure IX. 3. Un heurtoir

IX.3.4. La marge de glissement à l'aval des signaux

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation n'est autorisée.

La marge de glissement a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Selon UIC741 Les longueurs de la marge de glissement sont définies comme suit :

50-200 m : selon la vitesse de la ligne, comme à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie :

- LG = 200 m pour $V \geq 60$ km/h
- LG = 100 m pour $40 \text{ km/h} \leq V \leq 60$ km/h
- LG = 50 m pour $V < 40$ km/h.
- 50 m : à l'aval des signaux de blocs.

IX.3.5. Quai

IX.3.5.1. La hauteur du quai

La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm ou de 760 mm au-dessus de la table de roulement selon le type de matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter à ce quai.

- Plus grand que 760 mm - quais dits hauts.
- Plus petit que 550 mm - quais dits bas.

IX.3.5.2. Distance par rapport à l'axe de la voie

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$\mathbf{L\ (mm) = 1\ 650 + S}$$

La valeur de S est donnée par la formule :

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

- R : étant le rayon de la voie en (m).
- I : étant l'écartement de la voie en (mm).

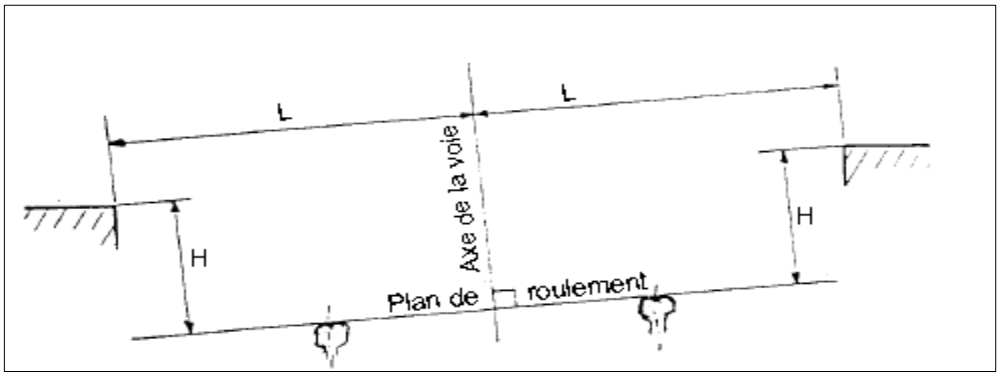


Figure IX.1. La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

IX.3.4.3. Entraxe entre les quais

Selon SNTF :

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

IX.4. Appareille de voie

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires que l'on désigne appareils de voie c'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension.

Le type de l'appareil est désigné par la valeur de tangente d'implantation exprimée sous la forme décimale.

L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement).

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions.

Les spécifications et les dimensions des appareils de voie type UIC 60E1 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IX.1. Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1. [7]

Appareil de voie	Type de rail	R (m)	LQ(m)	A(m)	B(m)	Vitesse (km/h)
1/12	UIC60 E1	500	43.481	20.797	22.684	65km/h
1/9	UIC60 E1	300	34.538	16.616	17.922	50km/h
	UIC60 E1	190	28.328	10.523	17.805	40km/h

IX.4.1. Implantation des appareils de voie

➢ **Cas normal sans contraintes**
- Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m.
- Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.

➢ **Cas avec contraintes**
- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥ 80 m.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.
- Distance appareil de voie / courbe ≥ 6 m ; il est prévu des rampes de dévers droites sans doucine.

IX.5. Application au projet

IX.5.1. Aménagement de la gare Sidi Ahmed

IX.5.1.1. Localisation de la gare

La gare de Sidi Ahmed est une gare voyageurs située entre le PK 29+000 et PK 30+000 du côté ouest de la ville.

L'emplacement de la nouvelle gare de voyageurs de Sidi Ahmed s'adapte au plan d'urbanisme de la ville. Le tracé insère la gare dans une zone vierge loin des constructions et activités industriels.

On a intégré dans la conception du tracé un alignement suffisant qui permettra d'implanter la totalité de la nouvelle gare en alignement droit

Tableau IX.2. Installations en gare

Type de Traffic	Bâtiment	Voies principales	Voies de service
Voyageurs	Construction au sol	2 Voies (V1, V2)	1 Voie (Impasse de sécurité) 1 Voie (Voie de tiroir)



Figure IX.5. Localisation de la gare Sidi Ahmed

IX.5.1.2. Caractéristique de la gare

Selon les référentiels de la SNTF, les caractéristiques géométriques recommandées des gares sont comme suit :

- **La marge de glissement à l'aval des signaux**

Pour notre projet **LG = 300 m.**

- **Longueur des quais**

Pour notre gare on prend **350m** comme longueur des quais, en considérant 5 wagons de 70m.

- **Hauteur des quais**

Pour notre projet un quai de hauteur **H = 550 mm.**

- **Largeur des quais**

Pour notre projet **L = 8m.**

- **Distance du quai par rapport à l'axe de la voie**

La gare de Sidi Ahmed est située en alignement droit donc R= ∞

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{(I-1435)}{2} = \frac{3750}{\infty} + \frac{(1435-1435)}{2} = 0$$

L (mm) = 1650 + S = 1650 + 0 = **1650 mm**

- **Entraxe entre les quais**

  Pour la gare de Sidi Ahmed e**=15.5m.**

- **Appareils de la voie**

  - 2 appareils 60 E1 500 1/12.

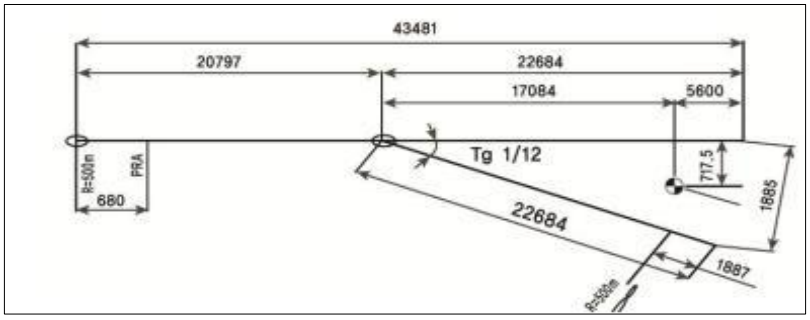


Figure IX.6. Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12. [7]

- **2** appareils 60 E1 300 1/9 (R= 190m).

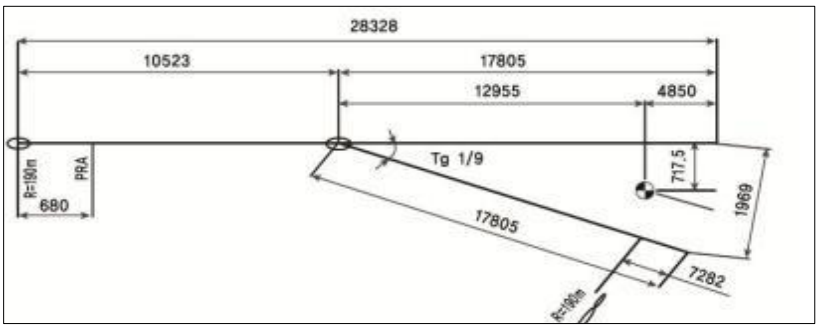


Figure IX.7. Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/9. [7]

- **Garage franc**

  Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF = 44 m.

IX.5.1.3. Schéma de la gare de Sidi Ahmed (Voir annexe)

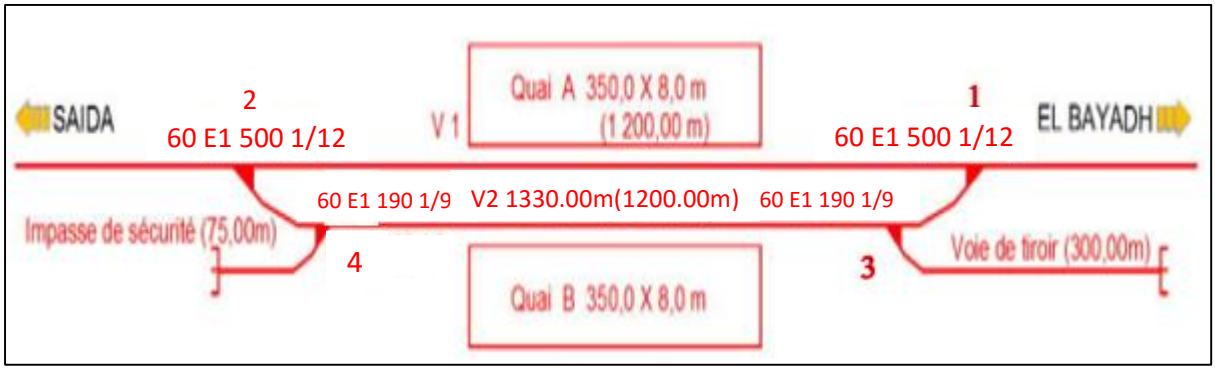


Figure IX.8. Schéma de la gare de Sidi Ahmed

Tableau IX.3. Caractéristiques des appareils de voie de la gare de Sidi Ahmed

N °	TYPE D'APPAREIL	DEVIATION
1	60 E1 500 1/12	Gauche DG
2	60 E1 500 1/12	Droite DD
3	60 E1 190 1/9	Droite DD
4	60 E1 190 1/9	Gauche DG

IX.5.2. Aménagement de la gare de croissement

IX.5.2.1. Localisation de la gare

La gare de croisement située au Pk 50+005 côté Sud de la ville, va desservir au futur d'autre ligne.

IX.5.2.2. Appareils de voies

- 2 Appareils de voies **60 E1 500 1/12**
- Garage franc **GF = 44m**
- Longueur utile **LU = 1200m**

IX.5.2.3. Schéma de La gare de croissement (Voir annexe)



Figure IX.9 Schéma de la gare de croissement

Tableau IX.4. Caractéristiques des appareils de voie de la gare de croissement.

N °	TYPE D'APPAREIL	DEVIATION
1	60 E1 500 1/12	Gauche DG
2	60 E1 500 1/12	Droite DD

IX.6. Assainissement de la gare

IX.6.1. Assainissement transversal

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit ou en V selon le cas de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

IX.6.2. Assainissement longitudinal

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

IX.8. Conclusion

L'aménagement de la gare de Sidi Ahmed a été fait d'une manière à satisfaire les besoins de la région et aussi les besoins commerciaux et économiques de cette région et du pays en termes de déplacement et communication avec d'autres régions

CHAPITRE X

SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION

X.1. Signalisation

X. Introduction

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire lui donnant, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverse, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité.

X.1.1. Les principaux risques ferroviaires

Ces sont au nombre cinq :

1) Collision nez à nez.
2) Collision par rattrapage.
3) La prise en écharpe.
4) La collision avec un obstacle.
5) Le déraillement.

X.1.2. Principe de base

La signalisation doit satisfaire aux principes de base suivants :

- Assurer la commande des itinéraires pour que les trains arrivent à leur destination prévue.
- Assurer la sécurité de chaque mouvement de trains en empêchant toute collision ou déraillement.
- Assurer les performances spécifie en termes d'écoulement du trafic et de performances à atteindre.

X.1.3. Type de signalisation

- **Signalisation mécanique :** il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur.

- **Signalisation lumineuse :** il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire.

Qu'elle soit mécanique ou lumineuse, la signalisation peut comporter en outre :

- Des tableaux lumineux,
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables,
- Des tableaux ou pancartes réflectorisés,
- Des guidons d'arrêt.

Exceptionnellement à certains signaux amovibles par nature (signaux à main), les signaux sont implantés à demeure soit à titre permanent, soit à titre temporaire (signaux de chantier…).

Les signaux implantés à demeure sont dits :

- Fixes, lorsqu'ils présentent un aspect invariable.
- Mobiles, lorsqu'ils présentent aux moins un aspect distinct.

X.1.4. Différentes fonctions des signaux

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

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

X.1.5. Implantation latérale

Les signaux implantés sous forme des feux le long de la voie sont nécessaires lors d'une circulation anormale des trains (en mode dégradé) ou lorsqu'un train non équipé du système ETCS Niveau 1 circule sur la ligne Saïda / El-Bayadh. Les signaux sont implantés dans les zones de gare afin d'assurer la sécurité ferroviaire : un signal d'entrée et un signal de sortie.

Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

- Transmission du signal d'autorisation de circulation et de l'annonce sonore de l'autorisation de circulation (signal d'avertissement)
- Des divers signaux et ses normes sont configurés sur la base du système de signalisation au sol de la SNTF
- Assurer la visibilité /lisibilité des feux de signalisation (Haute luminosité diode électroluminescente).
- Les signaux implantés sous forme de panneaux sont nécessaires pour le mode ERTMS niveau 1 et en mode dégradé.

X.1.6. La visibilité des signaux

La visibilité d'un signal est dite « normale » lorsque ses indications peuvent être vues depuis le poste de conduite d'une cabine frontale dans les conditions suivantes :

- De jour,
- Par temps clair,
- D'une façon continue (sans masque, ni éclipse),
- Sur une distance minimale

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite :

- **Visibilité des signaux hauts :**

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2,42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou à 10 m du plan de front des tampons.

- **Visibilité des signaux bas :**

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au- dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles jusqu'à une du front des tampons.

X.1.7. Système de contrôle de la signalisation

Application au projet

Dans la nouvelle ligne Saida/ El Bayadh Le type de système de signalisation choisi par le maitre d'ouvrage est ERTMS/ETCS Niveau 1 (European Rail Traffic Management System/European Train Control System) pour contrôler et surveiller la sécurité de la circulation des trains.

X.1.7.1 ETCS

L'ETCS est un sous-système (une composante) de l'ERTMS, système composé de matériel informatique (hardware) et de logiciel (software) de haute performance permettant de surveiller en continu le déplacement du train en accordant le système de signalisation selon les conditions exigées normalisée.

- Assurant le fonctionnement en mode dégradé, l'ETCS s'applique aux différents types de train, de force de traction, l'extrados de roue, la tension d'alimentation et le système de freinage. La conception du système est basée sur la méthodologie proposée par la norme de CENELEC.

- Les informations (télégramme) relatives à l'affichage de signalisation, à la vitesse admissible et aux autres conditions de la voie ferrée (permission de déplacement, profil de vitesse, déclivité, etc.) sont transmises à bord (en cabine) par le dispositif de transmission dit « balise ». Par conséquent, étant donné que ce système offre les données suffisantes nécessaires à la surveillance de train en continu, on peut dire que c'est un « système de contrôle de trains automatique » de type contrôle ponctuel.

- Les informations exactes de très haut niveaux traités par le système offrent une protection stable aux trains se déplaçant sur la voie à grande vitesse. Les avantages du système sont comme suit :

  - Haute capacité de transmission des données et performances.
  - Surveillance de train successive basée sur l'intégrité de haut niveau.
  - Réduction du compliqué du diagnostic et de maintenance.
  - Compatibilité avec le système de signalisation existant
  - Possibilité d'exploitation sur le système standard futur dit Trans-European-Network.

X.1.7.1.1 L'ETCS niveau 1

L'ETCS niveau 1 est basé sur le système de commande de train installé en système de signalisation existant, l'autorisation de déplacement se produit au sol et se transmet au bord par la balise. Il est un système de commande de vitesse successive par la transmission des informations discontinue de sorte qu'il protège de quitter l'autorisation de déplacement du train.

La détection de train et la commande synthétique de matériel roulant accomplie par le système existant (dispositif d'enclenchement, circuit de voie, etc.) sont classifiées à part dans le domaine de l'ETCS. La transmission des informations sol-cabine du niveau 1 de l'ETCS accomplie en base sur la balise. La balise supplémentaire peut être installée entre les appareils de signalisation principaux pour transmettre des informations de IN-FILL, par ceci, avant d'arriver à la balise installée vers l'appareil de signalisation, le train peut recevoir les nouvelles informations par la balise de IN-Fill.

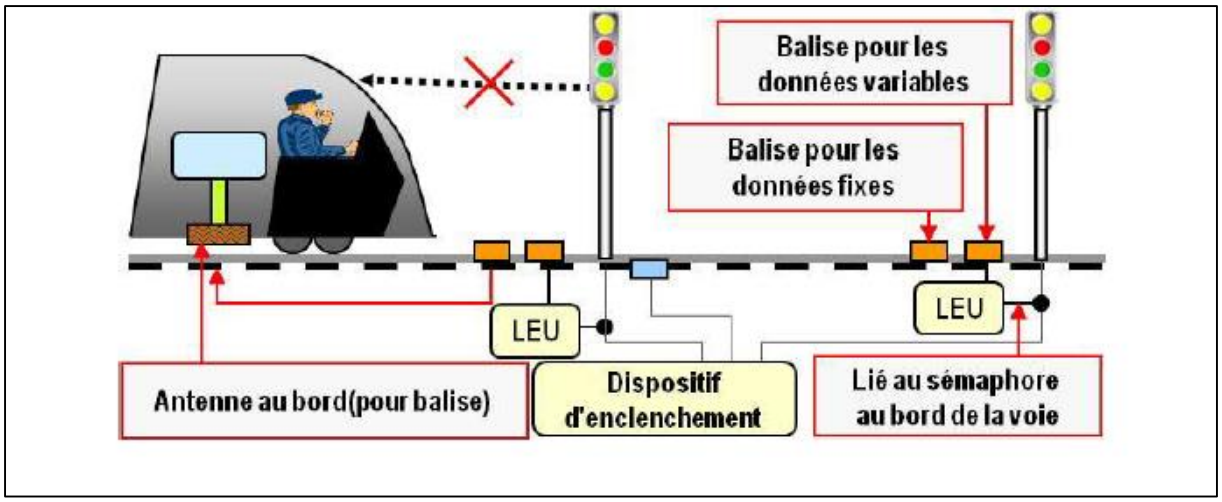


Figure X.1. Le système européen de contrôle de la signalisation (ERTMS) niveau 1

X.1.7.2. Transmission sol-machine (Les équipements au sol)

Ce niveau utilise une transmission ponctuelle à l'aide de balises placées au pied des signaux et en amont. Ces balises (euro-balises) communiquent les données de signalisation au train.

Le système de transmission ponctuel est constitué de la façon suivante :

- **Balise :**

La balise est un appareil destiné à transmettre les télégrammes au sous-système du sol. Elle offre les informations fixes et celles modifiables en cas de connexion à l'unité électronique de voie et assure la transmission des messages en liaison montante et entre les systèmes au sol et au train.

- **Un codeur appelé LINE–SIDE ELECTRONIC UNIT (LEU) :**

LEU est composé du tableau d'entrée de signaux, de l'appareil de transmission d'informations, du tableau de commande (drive board) de la balise pour la transmission des informations et du tableau électrique assurant l'alimentation électrique du système.

Le tableau d'entrée de signaux et le tableau de commande de la balise sont capables de déterminer et d'afficher les signaux appropriés selon les conditions de l'appareil de signalisation et facilement extensibles en fonctions des conditions de signalisation comme le choix de l'itinéraire.

- **Euro Loop :**

Elle offre à l'avance les informations relatives à la signalisation au signal principal (prochaine signalisation latérale) en amont dans le sens de la marche du train. Euroloop est constituée d'une fonction embarquée à bord et de plusieurs fonctions au sol.

X.2. Electrification

X. Introduction

Les trains qui vont circuler sur la ligne Saida/El Bayadh seront alimentés avec l'énergie électrique. Le système d'électrification fait l'objet d'une étude pour décrire les critères de base pour la conception avec les critères mécaniques et électriques appropriées.

X.2.1. Les avantages d'électrification

- Rendement élevé du moteur électrique avec possibilité de surcharge temporaire.
- Augmentation des charges remorquées et de la vitesse.
- Aptitude particulière pour le trafic banlieue (accélération et souplesse d'exploitation).
- Conditions de travail moins pénibles pour le personnel de conduite et de maintenance.
- Absence de nuisance pour les voyageurs et les riverains.

X.2.2. Les inconvénients d'électrification

- Infrastructure importante de postes et lignes caténaires.
- Cout important.

X.2.3. Type d'électrification

Elle existe deux types d'électrification ces sont :

- Electrification en 3000 V CC (courant continu).
- Electrification en 25 KV CA (courant alternatif).

X.2.4. Application au projet

Dans le cadre de projet Saida/El Bayadh sur 200 km, Le système d'électrification recommandée pour ce projet et Le système 1X25 KV /50Hz.

X.2.4.1. Le système 1x25 KV /50Hz

Dans le système 1X25Kv, l'alimentation est faite par l'intermédiaire de transformateurs monophasés (ou plusieurs), le courant industrielle HT (Haute Tension) est reçu coté primaire, donnant coté secondaire une tension de 25 KV-50Hz.

L'énergie est donc transportée par les caténaires jusqu'à son point d'utilisation pour être captée par le pantographe ensuite transmettre sur la machine pour alimenter les moteurs de traction.

Il rejoint les rails par l'intermédiaire des essieux et des roues et retourne à la sous-station, à la fois par le sol et par les rails qui eux même sont reliés à là sous station par des câbles constituant l'arrière de retour.

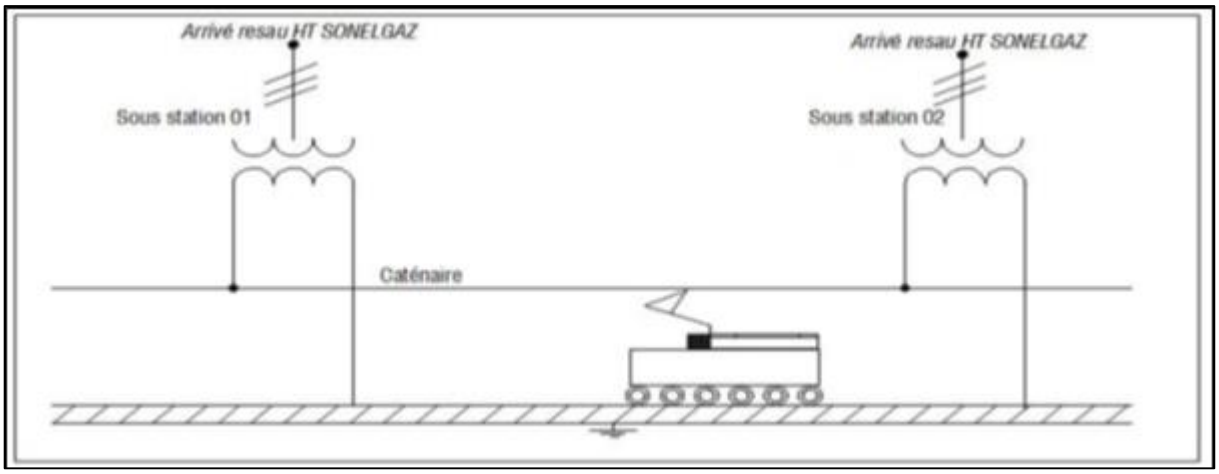


Figure X.2. Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV

X.2.4.2. Équipement d'électrification

1. **Les Supports :** le support est fréquemment en H en acier galvanisé, l'ancrage au sol est réalisé par une fouille bétonnée par des tiges. Généralement les supports utilisés pour la caténaire 25Kv sont de type HE-A, HE-B ou parfois jumelés (JHE-A, JHEB).

2. **Le fil de contact :** le fil de contact rainuré fait partie du sous-système caténaire pour pouvoir transmettre l'énergie électrique aux locomotives, sur lesquels frotte le pantographe qui alimente l'engin moteur Pour le système d'alimentation 1X25 KV, le fil du contact recommandé est de 107mm² de section en cuivre dur électrolytique de 98% de conductibilité, sa masse est de 0.950 kg et sa charge de rupture a la traction de 3831daN.



Figure X.3. Pantographe

3. **Circuit de retour :** Le circuit de retour du courant de la traction est composé du câble CDPA (câble de protection aérien) et les rails, des connexions rail – poteaux sont établies afin de mettre la liaison équipotentielle de l'ensemble du système. Les types de câbles à utiliser peuvent être en Al ou Al-acier.

4. **Le Câble porteur :** Le porteur peut être en cuivre Cu, bronze, ou en Al-acier, en fonction des critères dynamiques et des résultats du dimensionnement électrique.

5. **Le feeder :** (AC Sr 228 ou 288mm2 à définir), qui participe à l'alimentation et à la distribution du courant de traction.

1. **Les pendules :** Le fil de contact est suspendu au câble porteur par les pendules, ils reliant de leur part un cavalier sur le câble porteur et d'autre part une griffe sur le fil du contact.

2. **Les consoles :** Les consoles sont de type triangulaire.

3. **Équipement par portique rigide :** Dans les zones où les entrevoies ne permettent pas l'implantation des supports indépendants (gares), les portiques rigides sont utilisés. Ils sont constitués de 2 pieds droits réunis par une poutre en profilés assemblés (poutre autoporteuse).

4. **Massif :** Un poteau repose sur un massif qui transmet au sol les sollicitations de poteaux et armement. Il est fixé au massif par l'intermédiaire d'une plaque de fixation et de 4 tiges filetées.



Figure X.4. Un massif de la caténaire

X.2.5 LE GABARIT DE LA CATENAIRE :

La hauteur de la caténaire, mesurée entre le plan supérieur des rails et le fil de contact est variable et dépend de la présence d'obstacles (ponts, tunnels) ou de points singuliers comme les passages à niveaux. Elle est normalement de 5,50 m, peut descendre à 4,64 m sous tunnel et monter à 6,20 m aux passages à niveaux (pour permettre le passage des véhicules routiers à grand gabarit). Dans le cas des passages sous obstacle, la hauteur du fil de contact s'abaisse progressivement pour dégager le gabarit électrique de l'ouvrage (de même pour le franchissement des passages à niveaux avec une élévation de cette hauteur).

CHAPITRE XI

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI. Introduction

L'étude d'impact sur l'environnement est une étude d'évaluation des incidences directes ou indirectes d'un projet sur l'équilibre écologique, la qualité et le cadre de vie des populations vivant dans la zone d'implantation du projet et dans les zones adjacentes.

Ce chapitre consiste à évaluer l'effet du projet de la réalisation de la ligne ferroviaire Saida el Bayadh sur l'environnement en vue de prévoir les mesures nécessaires pour supprimer, diminuer ou compenser les impacts négatifs et améliorer les effets positifs du projet.

XI.1. Contexte juridique

Le projet est assujetti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu des dispositions de la réglementation nationale en vigueur, notamment :

- **Loi 03-10** du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Décret exécutif nº 06-198** du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif nº 07-144** du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif n° 07-145** du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- **Loi n° 2002-02 du 22 Dhou El Kaada 1422** correspondant au 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- **Décret exécutif n°09-88 du 21 Safar 1430** correspondant au 17 février 2009 relatif au classement des zones critiques du littoral.

XI.2. Effet positif du projet

L'objectif général de ce projet est de moderniser l'axe ferroviaire actuel et d'améliorer sensiblement les services offerts (trains voyageurs et trains marchandises).

Une liaison ferroviaire à grande vitesse permettra une évolution positive du contexte socio-économique, tant au niveau des communes desservies que des wilayas.

Les effets positifs du projet sont nombreux :

- **Sur le plan économique :**

De nombreux emplois directs et indirects seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction et durablement après leur achèvement.

- **Pour les usagers du mode ferroviaire**

Les principaux avantages sont les gains de temps (diminution des temps de parcours combinée à l'augmentation de la fréquence des trains) la sécurité et l'amélioration des transports ferroviaires inter urbains.

- **Pour l'environnement**

La circulation du matériel électrique entraîne une diminution des bruits et de la pollution atmosphérique, avec un gain de sécurité des circulations.

- **Pour la SNTF**

Pour la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), ce projet permettra notamment la réduction des coûts d'exploitation, résultant du passage de la traction thermique à la traction électrique, les gains de temps procurés par l'électrification, mais aussi une meilleure attractivité et une meilleure rentabilité de la ligne.

XI.3. Description du site et son environnement

XI.3.1. Environnement physique

L'environnement physique est l'ensemble des éléments (Climat, relief, insolation ...) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins.

Température	T max (°C) : 29°. T min (°C) : 6.7°.
Climat	La zone d'étude appartient à la zone climatique C
Sismologie	La région étudiée est classée dans la zone sismique I, à Sismicité faible.
Relief	Notre traçons traverse un relief plat.
Insolation	La quantité d'heures d'ensoleillement dans la région est assez élevée ; la moyenne annuelle est de 7,9 heures par jour.

XI.3.2. Environnement biologique

XI.3.2.1. La faune

La région étudiée est connue pour la variété de ses biotopes, Notre étude sert aussi à protéger l'habitat de la faune sauvage commune qui existe dans la région. Parmi Les espèces les plus remarquables :

- Le fuligule nyroca,
- La sarcelle marbrée (deux espèces classées vulnérables sur la liste rouge de l'UICN),
- La glaréole à collier,
- L'échasse blanche,
- L'oedicnème.

XI.3.2.2. La flore

Trois groupements végétaux sont rencontrés dans la région, ceci en plus de la végétation caractéristique des zones humides (typha, roselière, scirpes, et autres potamots, ceratophylum et myriophylum) : le Groupement des hautes plaines, celui des daïas, celui du littoral du chott.

La flore remarquable de la région est représentée par les espèces endémiques suivantes :

Euphorbia guyoniana (endémique au Sahara), Holenackeria polyodon (endémique à l'Afrique du Nord), Carum foetidum (endémique), Frankenia thymifolia (endémique à l'Afrique du Nord), Thymus ciliatus (endémique à l'Afrique du Nord), Anacyclus cyrtolepidioides (endémique),

De plus, il est à signaler la présence de quatre espèces indigènes qui sont : Tamarix Boveana, Tamarix gallica, Pyrus gharbiana, Ziziphus lotus.

XI.3.3. Environnement socioculturel

XI.3.3.1. Population et habitat

La population totale de la wilaya de Saida est estimée à 350 766 habitants, soit une densité de 200 habitants par Km².

La population ayant un âge inférieur à 15ans représentant 25% du total de la population, constitue dans les années à venir une importante ressource humaine.

XI.4. Evaluation des impacts prévisibles et les mesures à prendre pour chaque phase de projet

XI.4.1. Impacts sur les habitants

Tableau XI.1. Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts Sur les habitants)

Impact	Localisation	Mesure
➢ **Destructions des constructions**	PK 30+300	▪ Compensation financière aux habitants touchée
	PK 52+915	

XI.4.2. Impacts sonores

Tableau XI.2. Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sonores)

Impact	Localisation		Distance entre la voie et les habitations	Mesure
Les nuisances générées par les travaux sont : ▪ **Présence d'engins de terrassements** ▪ **Trafic des camions transportant les, matériaux et équipements de construction.**	49+320 - 50+682	Un patelin	20ene de mètres	▪ Engins et matériels conformes aux normes en vigueur ▪ Limitation de la vitesse de circulation des engins de chantier sur les pistes ▪ Travail de nuit et jours fériés interdit, sauf situation exceptionnelle et sous réserve d'une autorisation préfectorale
	52+425 - 52+ 800	Ville	Une 100ene de mètres	

Les nuisances générées par le passage des trains	53+000 - 53+400	Un patelin	50ene de mètres	▪ Conception des mures acoustique et des merlons afin de minimiser l'impact du bruit dans la phase exploitation.

XI.4.3. Impacts sur la faune

Tableau XI.3. Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la faune)

Impact	Type de passage /Localisation		Mesure
➢ Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistiques ➢ Risque de perturbation liée au bruit et à la vibration	Passage inferieur	PK 29+972	➢ La pose des barrières pour la faune le long des passages des forêts ou des zones de colonisation faunistiques. ➢ Impact de vibration sera modéré dans le temps. ➢ Création des passages pour animaux
	Passage inferieur	PK 32+075	
	Passage inferieur	PK 37+950	
	Passage inferieur	PK 49+650	
	Passage inferieur	PK 52+300	
	Passage inferieur	PK 53+645	

XI.4.4. Impacts sur la flore

Tableau XI.4. Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la Flore)

Impact	Mesure
➢ Les déboisements ➢ La circulation des engins le long du projet en construction, ➢ Le dépôt temporaire de matériaux (matériaux extraits lors des terrassements, ou nécessaires à la construction du canal…),	➢ Les arbres de la ceinture verte doivent être déplacé et non pas déboisé, car elle contribue au freinage de l'érosion éolienne pour les agglomérations ainsi que pour la future voie ferrée. ➢ Eviter les dépôts de matériaux dans la Zone Humides. ➢ La propagation de la poussière sera limitée par l'arrosage des voies de circulation sur le chantier par temps sec.

XI.4.5. Risque d'accidents

Tableau XI.5. Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Risque d'accidents)

Impact	Mesure
➢ La présence d'engins de chantiers accroît les risques d'accident pour les travailleurs et même pour les habitants situés à proximité des voies d'accès au chantier.	➢ Des signalisations claires des chantiers et pistes d'accès seront mises en place afin de limiter les risques d'accident.

XI.4.5. Impacts sur la qualité de l'air et de l'eau

XI.4.5.1. Impacts sur la qualité de l'air

Tableau XI.6. Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la qualité de l'air)

Impact	Mesure
➢ L'émission de poussières et de particules de taille variable Lors des terrassements	➢ Arrosage des pistes, notamment par vent fort et temps sec pour limiter les envols de poussières. ➢ Eviter les opérations de chargement et de déchargement de matériaux par vent fort. ➢ Vitesse de circulation des engins limitée à 30 km/h dans les zones sensibles à la poussière. ➢ Couverture ou protection contre le vent des stockages temporaires de matériaux pulvérulents.
➢ D'épandage et le malaxage liants hydrauliques	➢ Pas d'épandage par vent supérieur à 40 km/h. ➢ Pas de circulation sur des surfaces venant d'être traitées. ➢ Etanchéité des épandeurs, afin d'éviter toute fuite lors du transport des produits.

XI.4.5.2. Impacts sur les eaux superficielle et les eaux souterraines

Tableau XI.7 Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines)

Impact	Mesure
1) Impacts sur la qualité des eaux souterraines : En phase travaux, les impacts vis-à-vis de la ressource en eau sont essentiellement liés : ➢ Aux risques de pollution par rejets directs d'eaux de lavage, d'eaux usées. ➢ Au risque de pollution par une mauvaise gestion des déchets. ➢ Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines.	➢ La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable ➢ Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/ filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles. ➢ Le rejet à l'aval des captages, au-delà de leur aire d'alimentation après décantation. ➢ En cas de dépôts de fines après un orage, le nettoyage immédiat du chantier.
2) Impact sur les eaux superficielles : ➢ Dérivations des écoulements durant la construction de l'ouvrage. ➢ La pollution des eaux. ➢ L'érosion des talus en cours de création	➢ Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau ; ➢ Stockage du carburant, confinement et maintenance du matériel sur des aires aménagées à cet effet ➢ Mise en œuvre d'une toile ou grille de protection dans les secteurs sensibles à l'érosion ;

XI.5. Conclusion

Ce projet vient de renforcer le réseau ferroviaire sur le plan socio-économique national et régional, comme il sera une source de soulagement du réseau routier et des utilisateurs de la route par absorption d'un taux important du poids lourd dédié au transport des marchandises, et des voyageurs qui vont exploiter cette ligne. Le projet servira aussi à la diminution du temps de parcours, taux d'accidents de la circulation, diminution des émissions de polluants (ligne électrifiée), réduction des niveaux de bruit généré par les lignes traditionnelles.

Pour un projet qui s'insère dans son environnement, on s'y focalisé sur l'analyse des impacts du projet sur l'environnement naturel, social et socio-économique, avec une préoccupation des terres agricoles et des reboisements affectés par le projet.et on a proposé des mesures à prendre pour minimiser le maximum de ces impactes.

CHAPITRE XII

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	PU (DA)	Montant (DA)
1	**INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION**				
1-a	Amenée du matériel et installation générale du chantier	F	1	45 600 000.00	45 600 000.00
1-b	Repliement du chantier	F	1	22 800 000,00	22 800 000,00
1-c	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	20 800 000,00	20 800 000,00
1-d	Etudes d'exécution	F	1	35 500 000,00	35 500 000,00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DA)					**124 700 000,00**
2	**TERRASSEMENT**				
2-a	Décapage de terre végétale	M3	118727.64	400,00	47 491 056,00
2-b	Remblais d'apport	M3	141900.91	1800,00	255 421 638,00
2-c	Déblai mis en dépôt	M3	346239.04	600,00	207 743 424,00
2-d	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,35 m ep	M3	72800	1 700,00	123 760 000,00
2-e	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation de 0,20 m ep	M3	41600	3 800,00	1 580 080 000,00
2-f	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0,30 m ep	M3	62400	3 800,00	2 371 200 000,00
Coût total des terrassements (DA)					**4 585 696 118,00**
3	**TRAVAUX DE LA VOIE**				
3-a	Fourniture et pose ballast (30 cm)	M3	72800	6 800,00	495 040 000,00
3-b	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 E (60,21 kg/m)	T	14 777.217	121 000,00	1 788 043 257,00
3-c	Pose de voie UIC 60	ML	122 450	6 300,00	771 435 000,00
3-d	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	43 342	5 700,00	247 049 400,00
3-e	Fourniture des attachés (Type Nabla) pour rails UIC 60	U	173 368	850 ,00	147 362 800,00
Coût total de Travaux de la voie (DA)					**2 988 094 457,00**
4	**ASSAINISSEMENT TRANSVERSAL ET LONGITUDINAL**				
4-a	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	53804	6 200,00	333 584 800,00
4-b	Dalot en béton armé 4(2.5 x 1.5)	M3	163.5	47 000,00	7 684500,00
4-c	Dalot en béton armé 2(2.5 x 2.5)	M3	103.125	47000.00	4846875.00
4-d	Dalot en béton armé 2(2.5 x 2.5)	M3	93.125	47000.00	4376875.00

4-e	Dalot en béton armé 2(3 2.5)	M3	111.75	47000.00	5 252 250.00
4-f	Dalot en béton armé 2(2.5 x 2)	M3	157.8	47 000.00	7 416 600,00
4-g	Dalot en béton armé 1(1.5 x 1.5)	M3	30.15	47 000,00	1 417 050,00
4-h	Dalot en béton armé 4(3 x 2.5)	M3	424.5	47 000,00	19 951 500,00
4-i	Dalot en béton armé 1(1x1)	M3	12	47 000.00	564 000,00
4-j	Dalot en béton armé 2(2 x 1.5)	M3	84	47 000.00	3 948 000,00
Coût Total De l'Assainissement Transversal et Longitudinal (DA)				**389 042 450**	
5	**OUVRAGES D'ARTS ET GARE**				
5-a	Les Passages Supérieur	M^2	6	15000000,00	90 000 000,00
5-b	Pose d'un appareil de voie simple type 60 E1 500 1/12	U	4	620 000,00	2 480 000,00
5-c	Pose d'un appareil de voie simple type 60 E1 190 1/9	U	2	540 000,00	1 080 000,00
5-d	Fourniture d'un branchement simple type 60 E1 500 1/12	U	4	14 200 000,00	56 800 000,00
5-e	Fourniture d'un branchement simple type 60 E1 190 1/9	U	2	13 800 000,00	27 600 000,00
5-f	Fourniture et pose heurtoir	U	2	540 300,00	1 080 600,00
5-g	Bâtiment de Voyageurs	F	1	20 000 000,00	200 000 000,00
5-h	Quais	M2	5 600	20 000,00	112 000 000,00
5-i	Abris de quais	M2	559,20	92 000,00	51 446 400,00
Coût total des ouvrages d'art et gare (DA)				**542 487 000,00**	
6	**SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION 25 KV/50 HZ**				
6-a	SIGNALISATION				236 392 567,00
6-b	ELECTRIFICATION 25 KV/50 HZ	Km	26	42 605 840	1 107 751 840,00
Coût total signalisation et électrification				**1 344 144 407,00**	

Récapitulation		
N° Lot	**Désignations des lots**	**Montants (DA)**
Lot N°01	Installation de chantier et études d'exécution	**124 700 000,00**
Lot N°02	Terrassement	**4 585 696 118,00**
Lot N°03	Travaux de la voie	**2 988 094 457,00**
Lot N°04	Assainissement transversal et longitudinal	**389 042 450**
Lot N°05	Ouvrages d'arts et gare	**542 487 000,00**
Lot N°06	Signalisation et électrification 25 kV/50 Hz	**1 344 144 407,00**
Montant total du projet HT		**9 989 464 432**
Montant de la T.V.A (19%)		**1 897 998 242.08**
Montant totale du projet en TTC		**11 887 462 674.08**

LE COUT TOTALE DU PROJET

Onze milliards huit cent soixante-dix million deux cent trente-six mille deux cent trente-quatre Dinars Algérien (11 870 236 234 DA)

CONCLUSION GENERALE

De nos jours, les infrastructures de transport symbolisent le degré du développement de pays, du fait qu'elles permettent les échanges commerciaux et facilitent les déplacements et les communications.

Pour cela, l'état a investi dans le domaine ferroviaire en lançant un programme de modernisation des anciennes lignes et création de nouvelles lignes.

Le tronçon étudié fait partie du projet de la ligne électrifie à trafic mixte entre Saida et El Bayadh du PK 29+000 au PK 55+000.

Notre travail est basé sur la réglementation en vigueur (UIC, SNTF), pour réaliser une ligne à une vitesse de 220km/h pour train passagers et 100km/h pour les trains de marchandise toute en respectant les exigences et les conditions de confort et la sécurité.

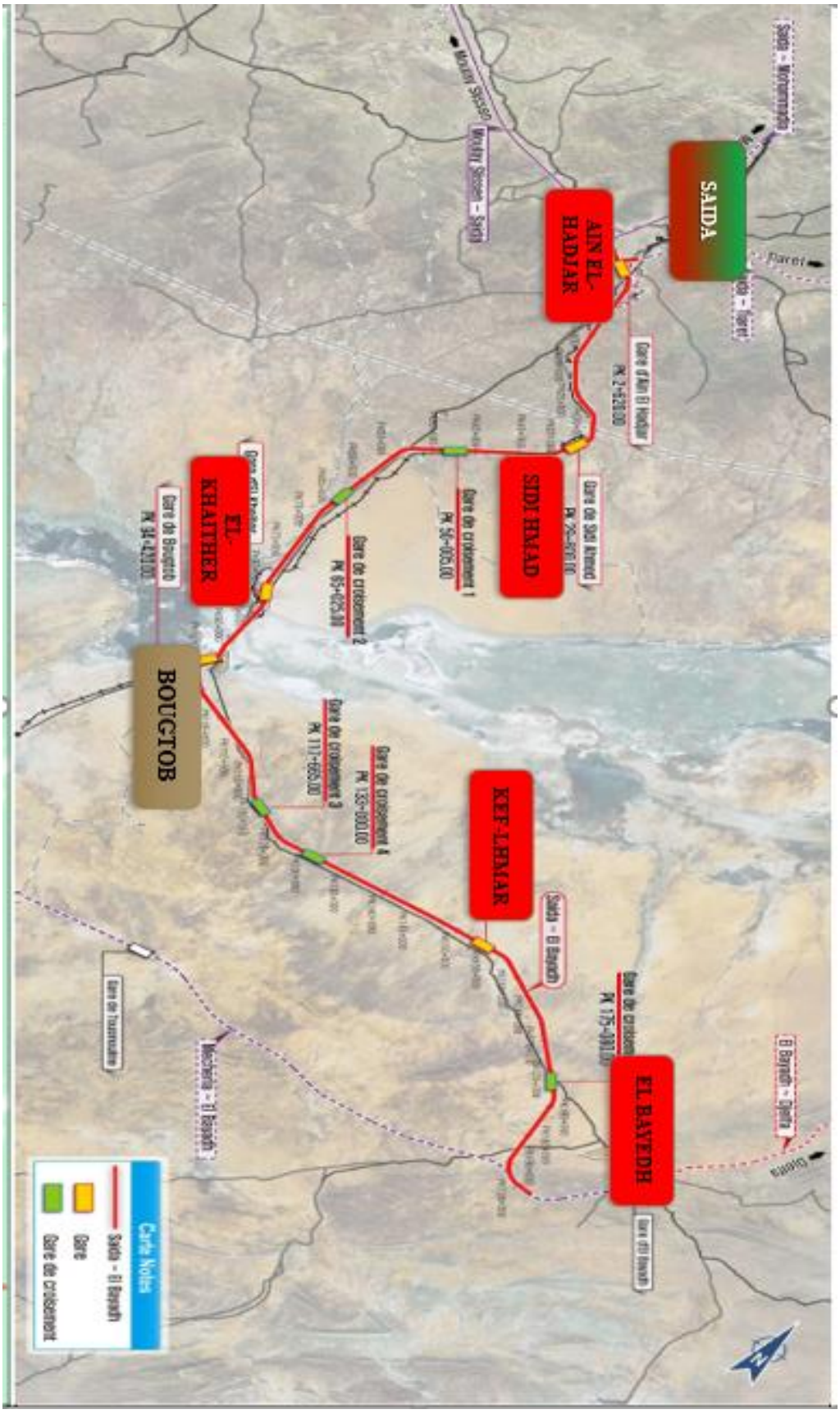
La réalisation de ce travail nous a permis de mieux maitriser les logiciels AUTOCAD, CIVIL 3D 2018, GLOBAL MAPER, TALREN V5, et aussi de bien maitriser les différents problèmes qu'on a rencontré le long de tracé surtout les problèmes géotechniques et Hydrauliques, ainsi que la conception des gares.

Notre formation à l'ENSTP nous a permis à mettre en pratique le bagage théorique pour établir plusieurs taches sur l'étude d'avant-projet détaillé d'une part et de préparer à l'intégration à la vie professionnelle d'une autre part.

La bibliographie

- [1] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : https://www.sntf.dz/ , consulté en ligne le 02 Avril 2017.
- [2] SETIRAIL, « Rapport de l'étude préliminaire ».
- [3] RPOA 2008.
- [4] Référentiel SNTF, Chapitre 6 Géométrie de la voie, Version 2, 22/12/2005.
- [5] SNTF 2003, IN 2547.
- [6] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géotechnique ».
- [7] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
- [8] Chapitre 7.2.2 – Ouvrages en Terre pour plateformes ferroviaires.
- [9] Kara Benchohra, Cours 4éme année PGC.
- [10] SETIRAIL, « Rapport de drainage ».
- [11] SETRA, « Guide technique de l'assainissement routier ».
- [12] Fiche UIC 719R

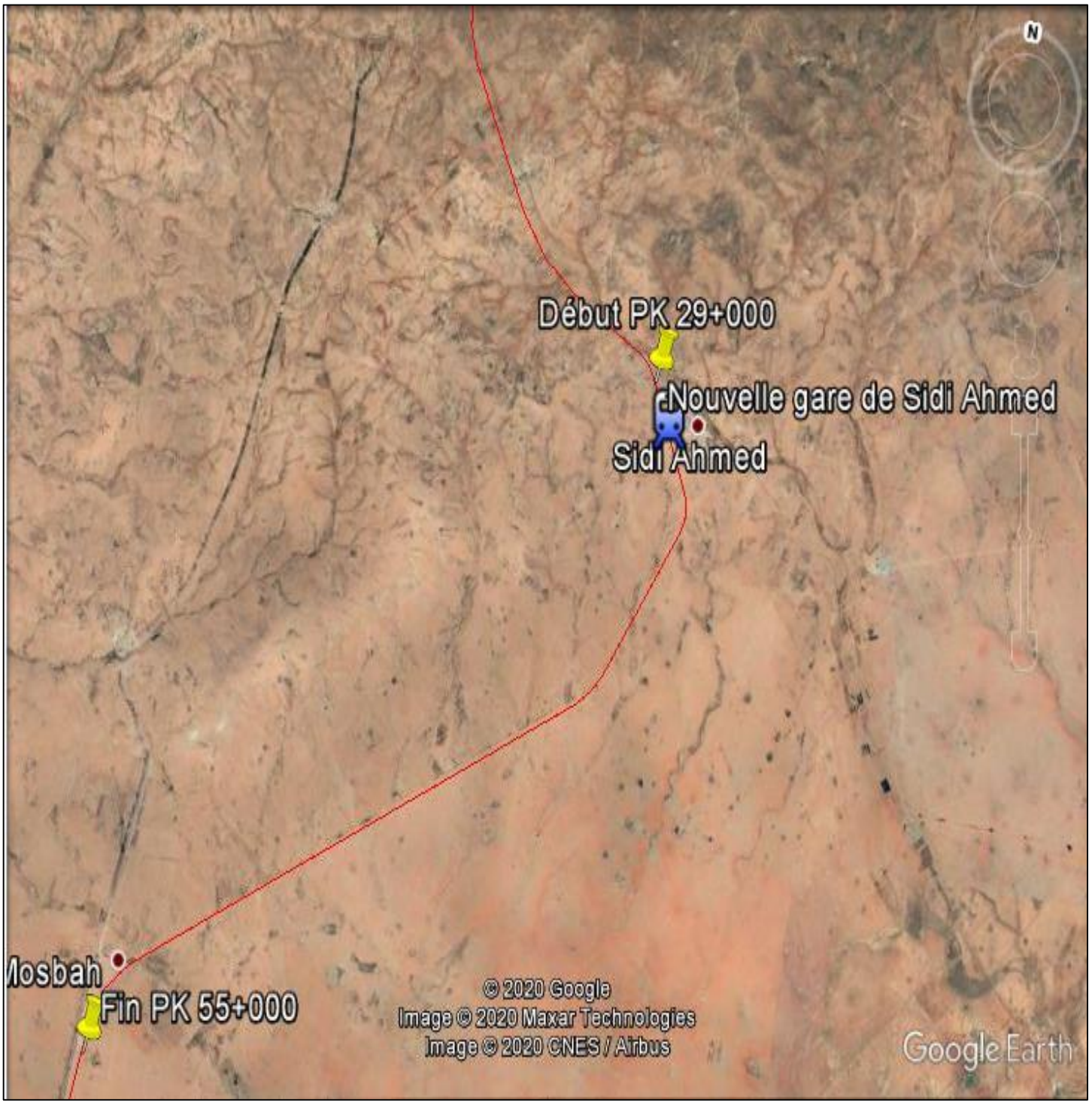
ANNEXE A1 : Vue globale sur la position du projet



ANNEXE A2 : Vue satellitaire du projet Saida-El Bayadh



ANNEXE A3 : Vue satellitaire du secteur de tracé concerné par l'étude



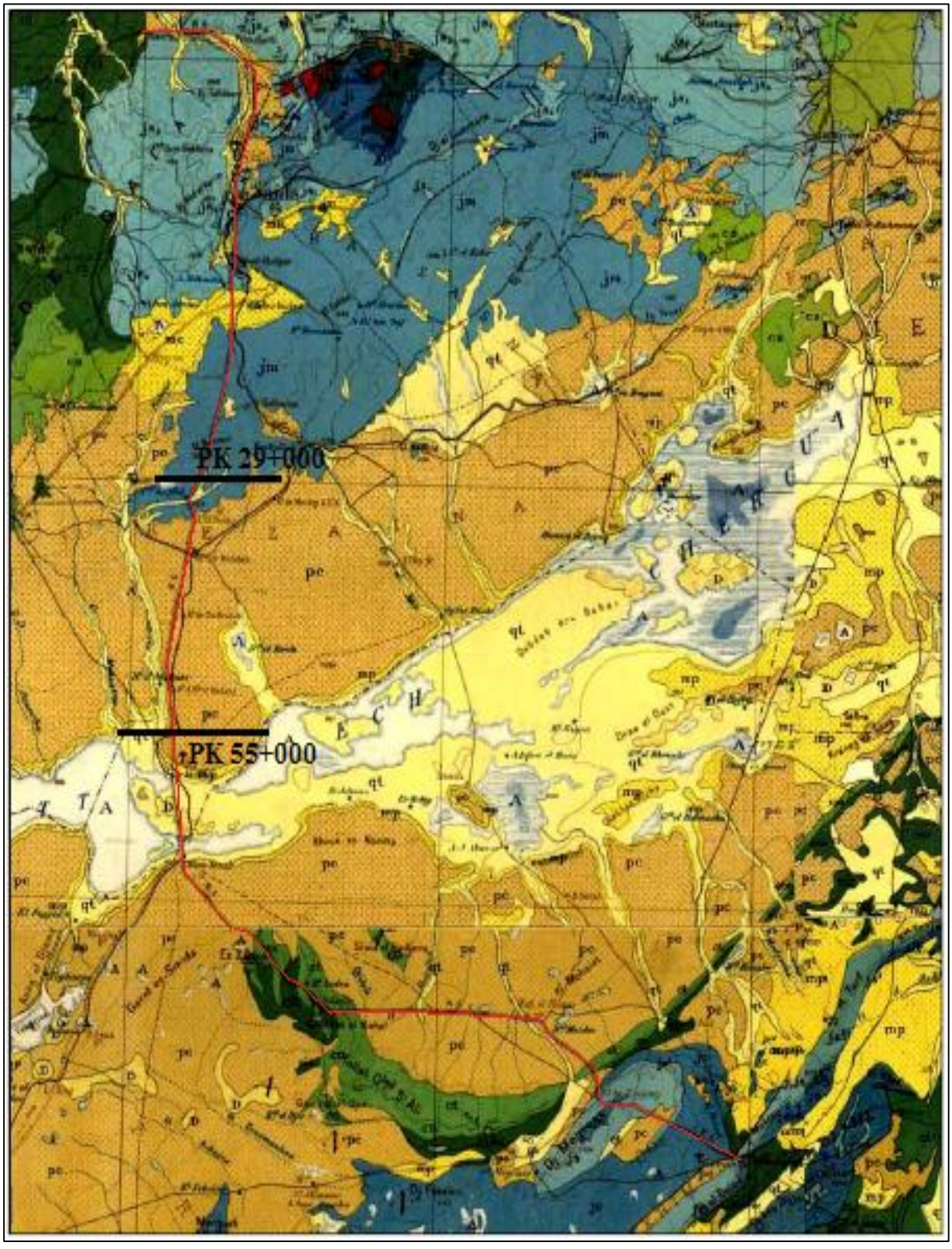
ANNEXE B : Listing tracé en plan

Éléments	Pk	Y	X	Paramètres
	29+000.000	3826907.183	247446.481	
Alignement				L=1751.370m G=157°
	30+751.370	3825302.544	248148.215	
Clothoïde				L=190.000m ΔR=0.752m X=616.441m Y=3.008m Corde=189.981m
	30+941.369	3825127.297	248221.571	
Arc				R=2000m L=1630.818m
	32+572.187	3823542.748	248153.476	
Clothoïde				L=190.000m ΔR=0.752m X=616.441m Y=3.008m Corde=189.981m
	32+762.186	3823374.440	248065.356	
Alignement				L=2804.976m G=208°
	35+567.162	3820910.362	246725.130	
Clothoïde				L=120.000m ΔR=0.171m X=119.966m Y=0.686m Corde=119.998m
	35+687.162	3820805.276	246667.192	
Arc				R=3500m L=1677.241m
	37+364.403	3819595.331	245528.885	
Clothoïde				L=1200.000m ΔR=0.171m X=119.996m Y=0.686m Corde=119.998m
	37+484.403	3819531.096	245427.526	
Alignement				L=14908.581m 237°
	52+392.984	3811622.646	232789.402	
Clothoïde				L=190.000m ΔR=0.752m X=616.441m Y=3.008m Corde=189.981m
	52+582.984	3811519.331	232629.969	
Arc				R=2000 L=1506.68m
	54+089.664	3810294.705	231814.477	

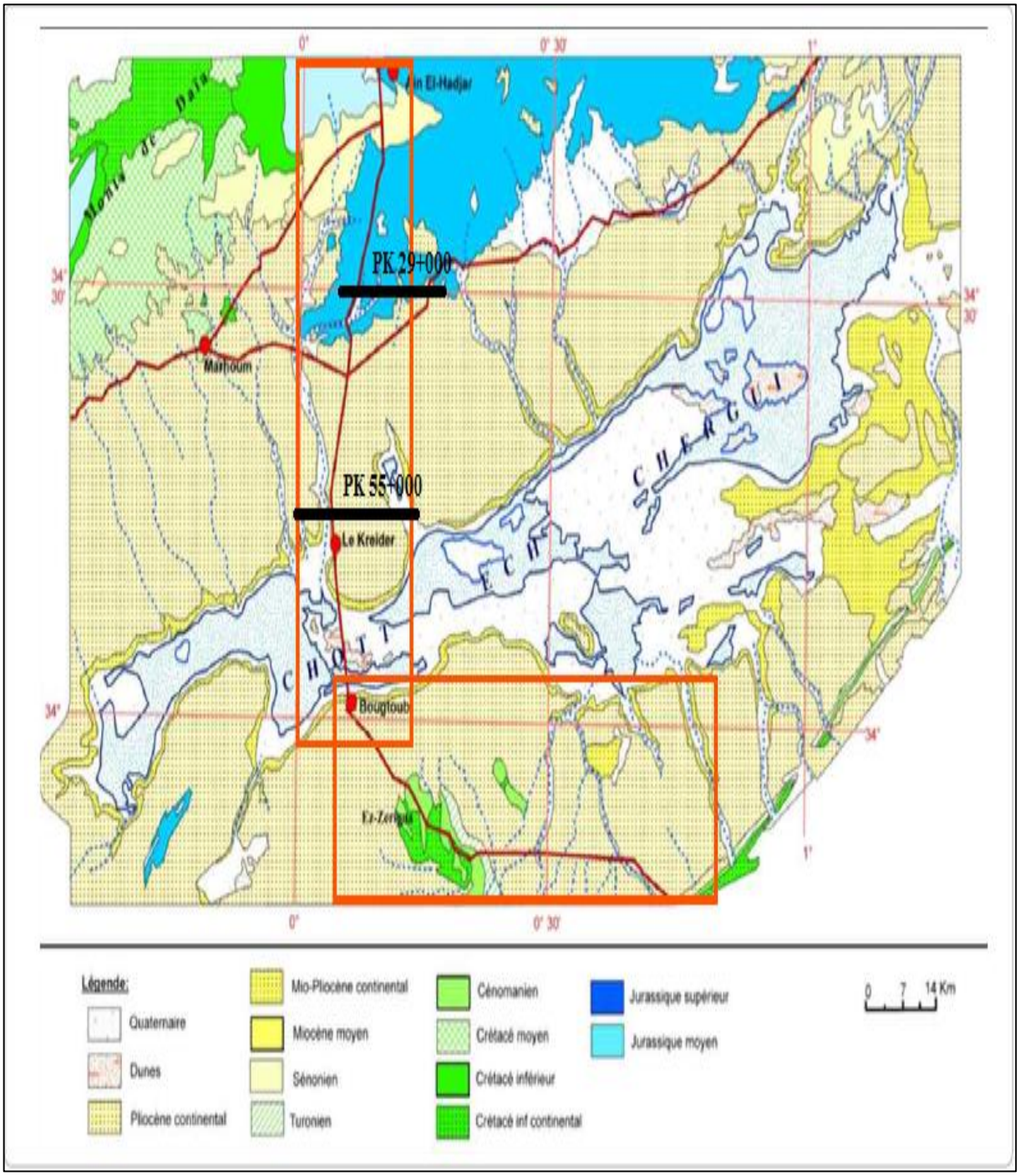
Clothoïde				L=190.000m ΔR=0.752m X=616.441m Y=3.008m Corde=189.981m
	54+279.664	3810107.764	231780.625	
Alignement				L=603.107m 189°
	55+000.000	3809486.041	231678.179	

ANNEXE C1 : les cartes géologiques du tronçon étudié

La carte géologique du Saida au 1/500000

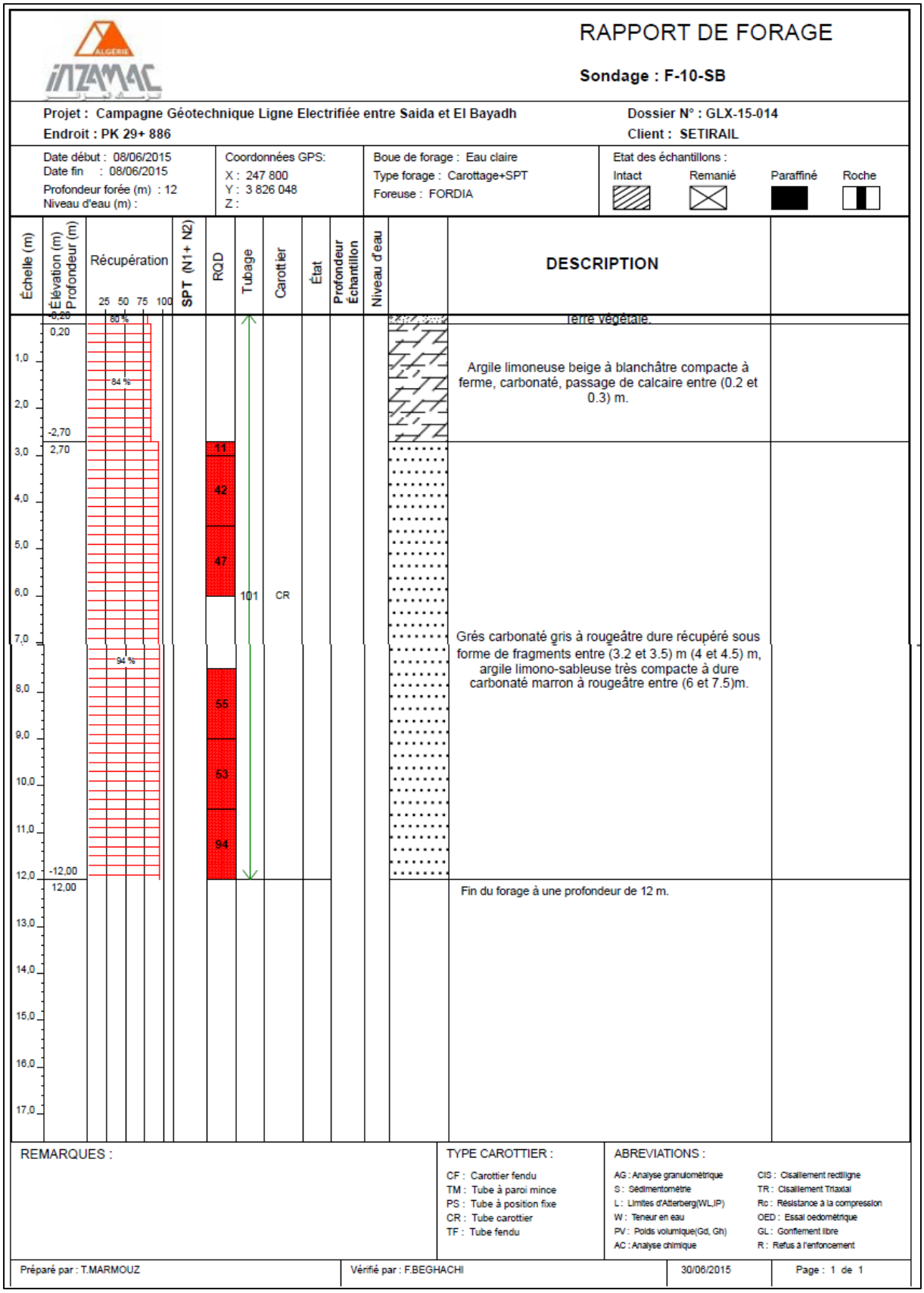


Situation de la zone d'étude sur l'extrait de la carte géologique au 1/500000



ANNEXE C2 : fiches de laboratoires des sondages carottées

Sondage carottées 29+886





Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-10-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-10-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-10-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 10,00 à 12,00 m

Sondage carottées 49+664

RAPPORT DE FORAGE

Sondage : F-11-SB

Projet : Campagne Géotechnique Ligne Electrifiée entre Saida et El Bayadh — **Dossier N° : GLX-15-014**

Endroit : PK 49+ 664 — **Client : SETIRAIL**

Date début : 06/06/2015
Date fin : 06/06/2015
Profondeur forée (m) : 15
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:
X : 235 122
Y : 3 813 088
Z :

Boue de forage : Eau claire
Type forage : Carottage+SPT
Foreuse : FORDIA

Etat des échantillons :
Intact — Remanié — Paraffiné — Roche

Échelle (m)	Élévation (m) Profondeur (m)	Récupération (25 50 75 100)	SPT (N1+ N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION
1,0	-0,30 / 0,30	60 %								Terre végétale.
	85 %									Argile limoneuse beige à blanchâtre carbonatée, passage gréseux entre (1.1 et 1.7) m.
2,0	-1,70 / 1,70									
3,0										
4,0								4,00 4,20		
5,0			20			SPT		4,50 4,95		
6,0										
7,0								6,59 6,74		
8,0		93 %	25		101	CR SPT		7,50 8,23		Argile limoneuse marron à blanchâtre, compacte, passage grésifié entre (14.7 et 15) m.
9,0										
10,0								9,34 9,46		
11,0								10,77 11,00		
12,0			42			SPT		12,00 12,50		
13,0										
14,0										
15,0	-15,00 / 15,00									Fin du forage à une profondeur de 15 m.
16,0										
17,0										

REMARQUES :

TYPE CAROTTIER :
- CF : Carottier fendu
- TM : Tube à paroi mince
- PS : Tube à position fixe
- CR : Tube carottier
- TF : Tube fendu

ABREVIATIONS :
- AG : Analyse granulométrique
- S : Sédimentométrie
- L : Limites d'Atterberg(WL,IP)
- W : Teneur en eau
- PV : Poids volumique(Gd, Gh)
- AC : Analyse chimique
- CIS : Cisaillement rectiligne
- TR : Cisaillement Triaxial
- Rc : Résistance à la compression
- OED : Essai oedométrique
- GL : Gonflement libre
- R : Refus à l'enfoncement

Préparé par : T.MARMOUZ | Vérifié par : F.BEGHACHI | 30/06/2015 | Page : 1 de 1



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-11-SB - Caisse n° : 1/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-11-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



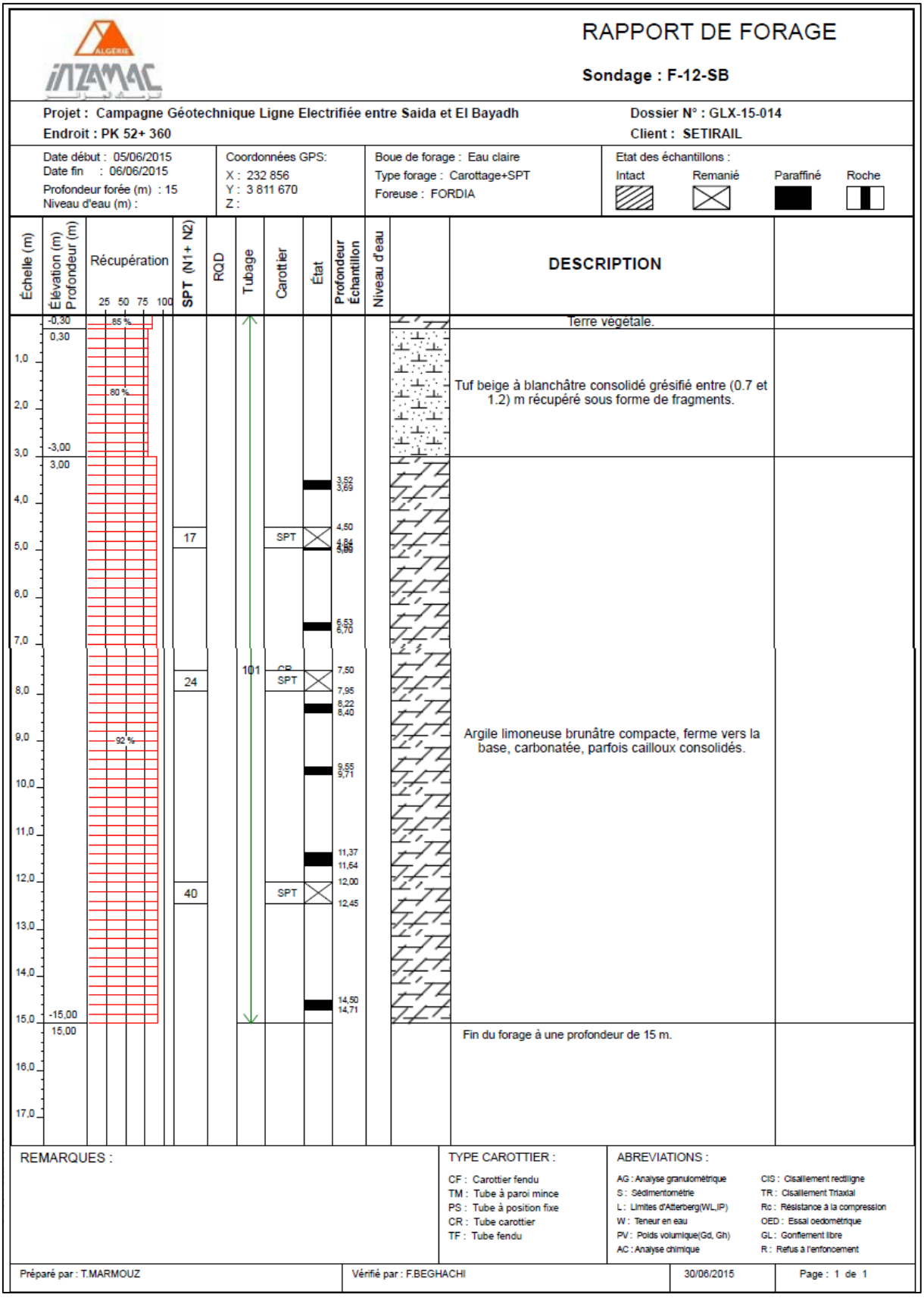
Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-11-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 10,00 à 15,00 m

Sondage carottées 52+360



RAPPORT DE FORAGE

Sondage : F-12-SB

Projet : Campagne Géotechnique Ligne Electrifiée entre Saida et El Bayadh — Dossier N° : GLX-15-014

Endroit : PK 52+ 360 — Client : SETIRAIL

Date début : 05/06/2015
Date fin : 06/06/2015
Profondeur forée (m) : 15
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:
X : 232 856
Y : 3 811 670
Z :

Boue de forage : Eau claire
Type forage : Carottage+SPT
Foreuse : FORDIA

Etat des échantillons : Intact, Remanié, Paraffiné, Roche

Échelle (m)	Élévation (m) / Profondeur (m)	Récupération (25 50 75 100)	SPT (N1+ N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION
	-0,30	85 %								Terre végétale.
	0,30									Tuf beige à blanchâtre consolidé grésifié entre (0.7 et 1.2) m récupéré sous forme de fragments.
	-3,00	80 %								
	3,00							3,52 3,69		
			17			SPT		4,50		
								6,53 6,70		
			24		101	SPT		7,50 7,95		Argile limoneuse brunâtre compacte, ferme vers la base, carbonatée, parfois cailloux consolidés.
		92 %						8,22 8,40		
								9,55 9,71		
								11,37 11,64		
			40			SPT		12,00 12,45		
								14,50 14,71		
	-15,00									
	15,00									Fin du forage à une profondeur de 15 m.

REMARQUES :

TYPE CAROTTIER :
CF : Carottier fendu
TM : Tube à paroi mince
PS : Tube à position fixe
CR : Tube carottier
TF : Tube fendu

ABREVIATIONS :
AG : Analyse granulométrique
S : Sédimentométrie
L : Limites d'Atterberg(WL,IP)
W : Teneur en eau
PV : Poids volumique(Gd, Gh)
AC : Analyse chimique
CIS : Cisaillement rectiligne
TR : Cisaillement Triaxial
Rc : Résistance à la compression
OED : Essai oedométrique
GL : Gonflement libre
R : Refus à l'enfoncement

Préparé par : T.MARMOUZ — Vérifié par : F.BEGHACHI — 30/06/2015 — Page : 1 de 1

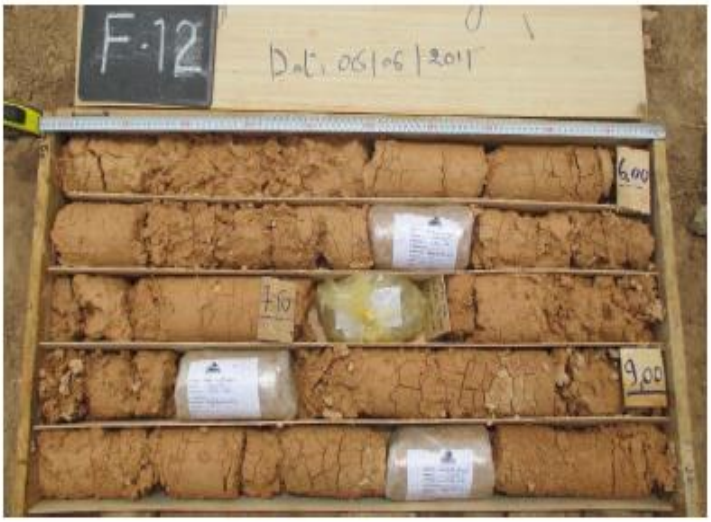


Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 1/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



Client : SETIRAIL

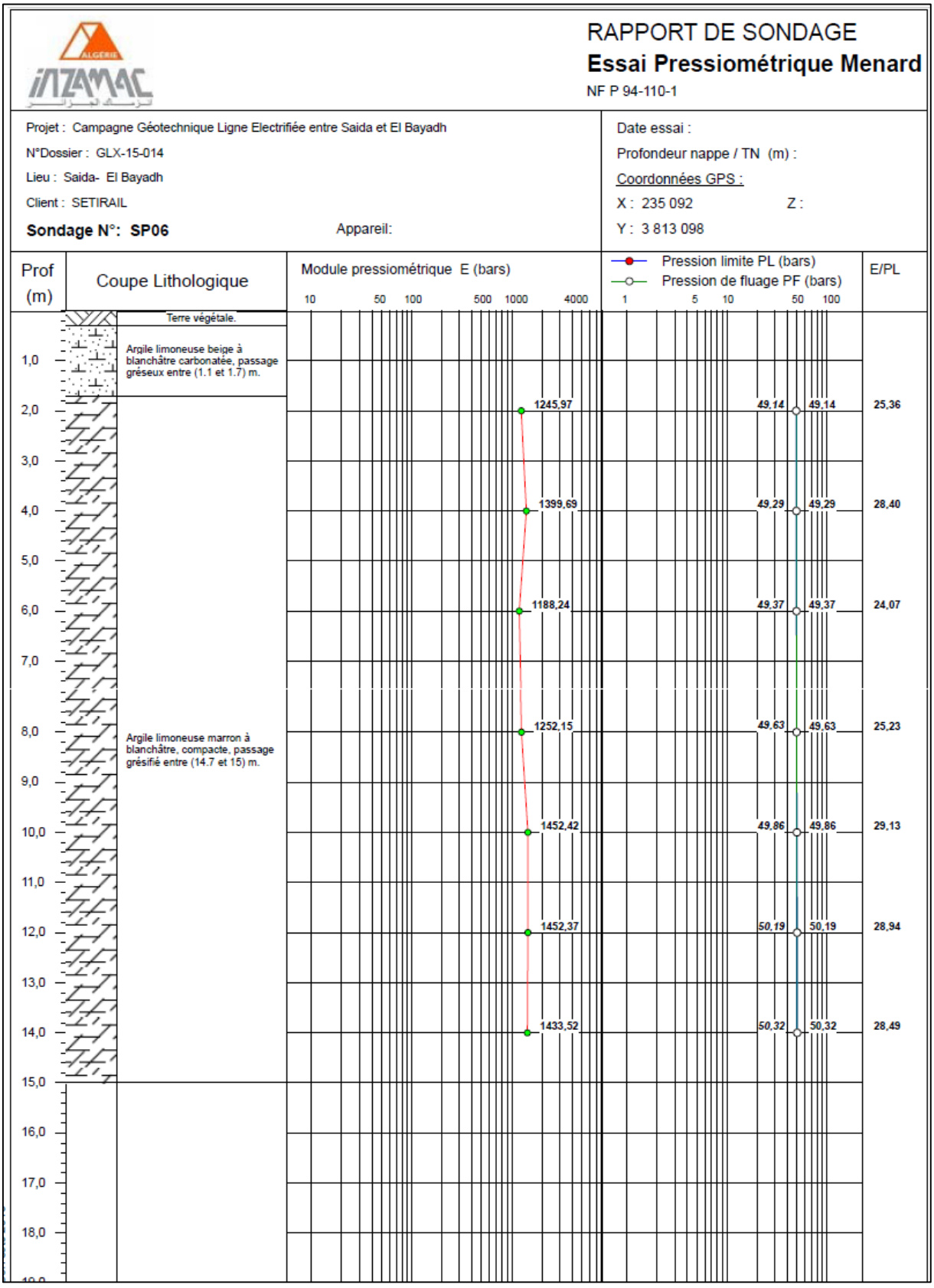
Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 3/3

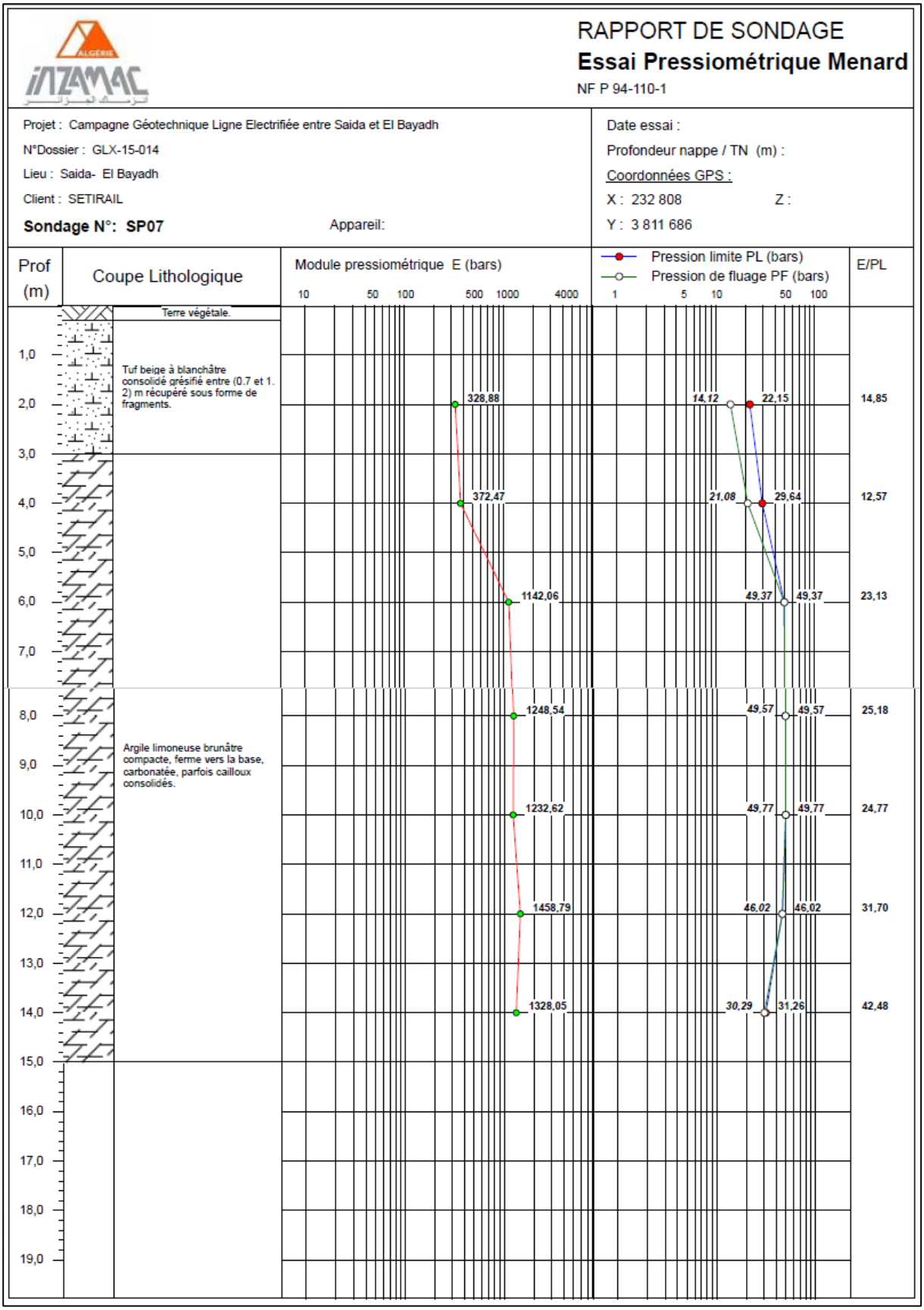
Profondeur : 10,00 à 15,00 m

ANNEXE C3 : Fiches des essais pressiométrique.

L'essai pressiométrique PK 49+664



L'essai pressiométrique PK 52+360

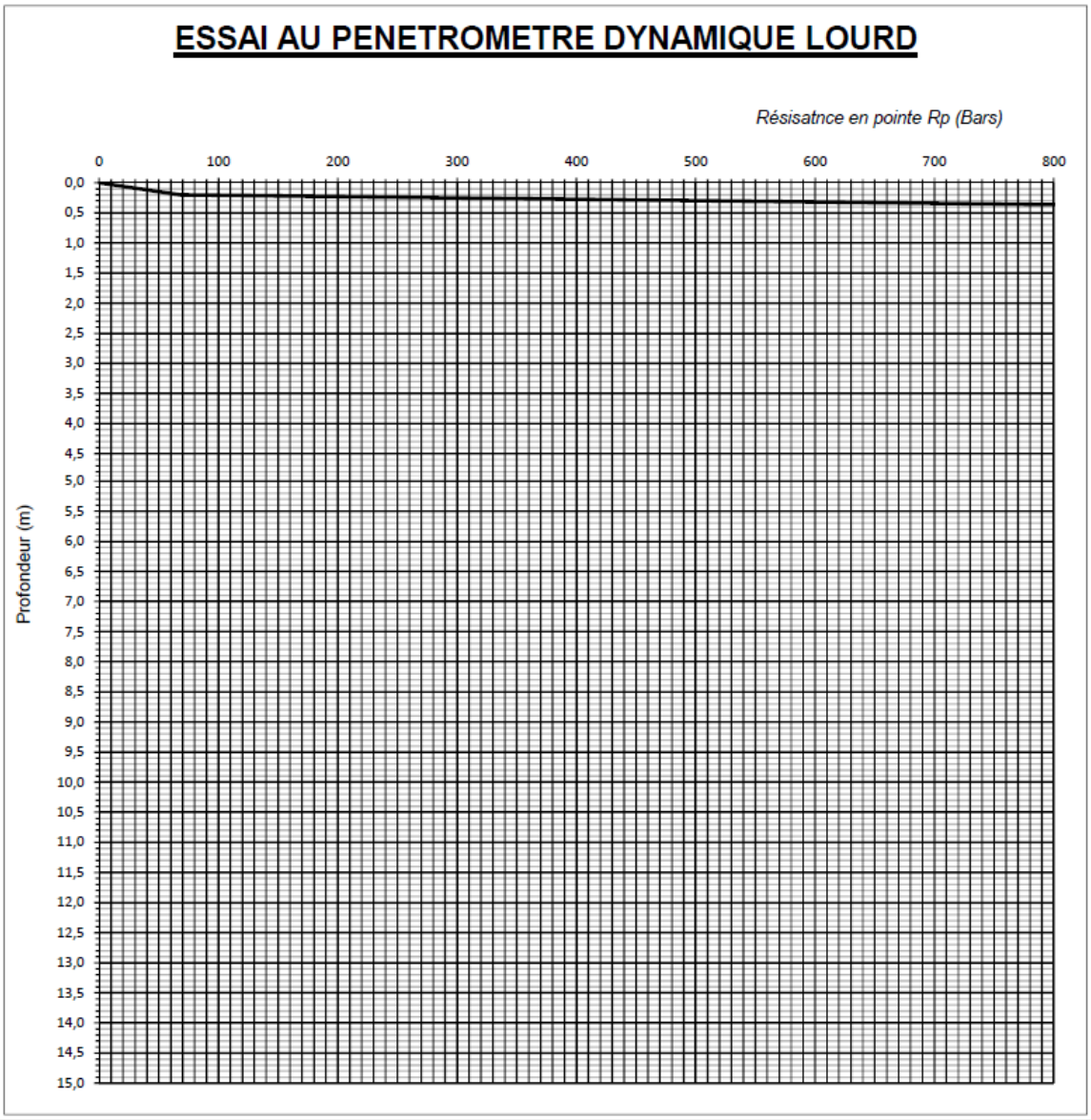


ANNEXE C4 : Fiches des essais Pénétromètre dynamique lourds

PK 29+600

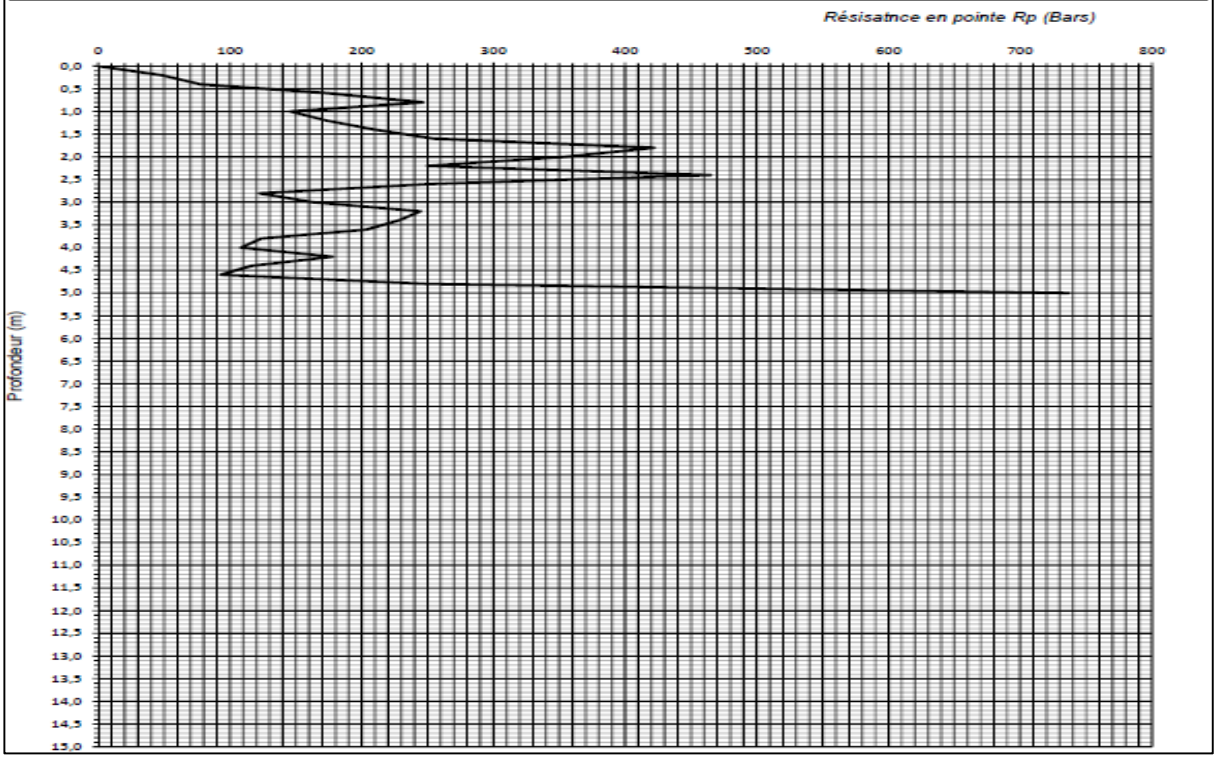
	ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD *Selon la norme NF P 94-115*	Ref : GLX-15-014

Date d'essai : *12/06/2015*	Réf. point : *PDL-05*		REFERENCES MATERIEL	
Client : *SETIRAIL*	Profondeur refus : *0,4 m*		Poids du mouton : *63 Kg.*	
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	Opérateur : *Amara*		Hauteur de chute : *75 Cm.*	
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	Coordonnées :	- X = *245 237* - Y = *3 828 618*	Section de la pointe : *19,63 cm².* Longueur de la tige : *1 m.*	



PK 32+000

Date d'essai : *12/06/2015*	**Ref. point :** *PDL-06*	**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur refus :** *5,0 m*	**Poids du mouton :** *63 Kg.* **Hauteur de chute :** *75 Cm.* **Section de la pointe :** *19,63 cm².* **Longueur de la tige :** *1 m.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*		
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	**Coordonnées :** - X = *245 968* - Y = *3 828 239*	

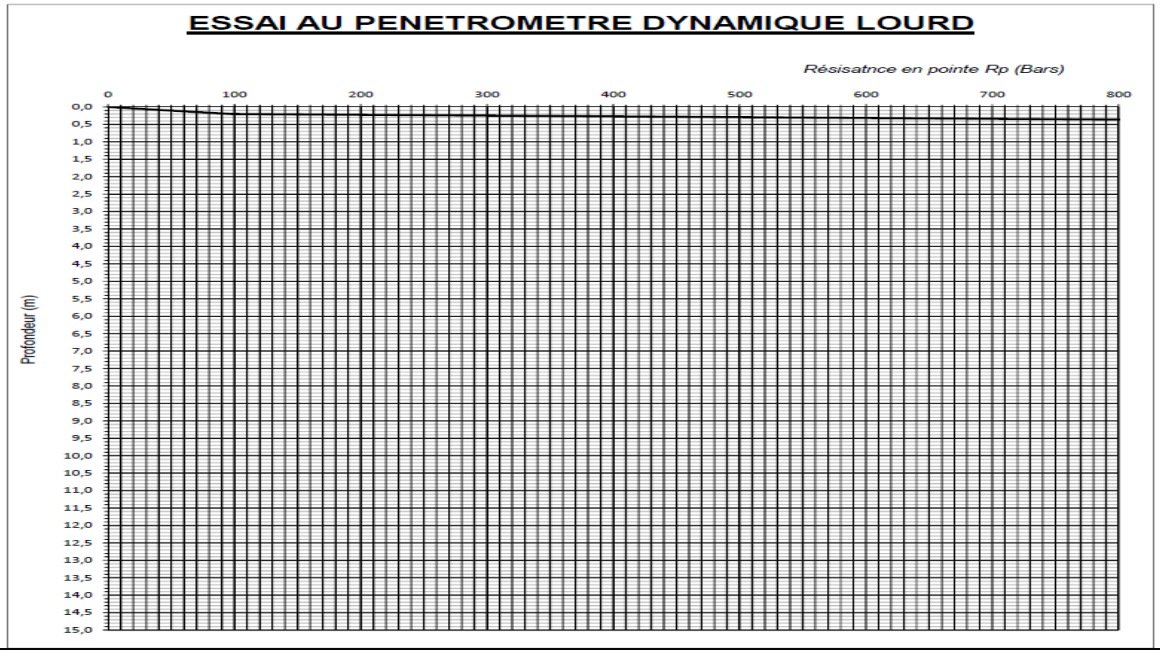


PK 34+580

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref :
GLX-15-014

Date d'essai : *12/06/2015*	**Réf. point :** *PDL-07*	**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur refus :** *0,4 m*	**Poids du mouton :** *63 Kg.* **Hauteur de chute :** *75 Cm.* **Section de la pointe :** *19,63 cm².* **Longueur de la tige :** *1 m.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	**Opérateur :** *Amara*	
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	**Coordonnées :** - X = *247 272* - Y = *3 827 088*	

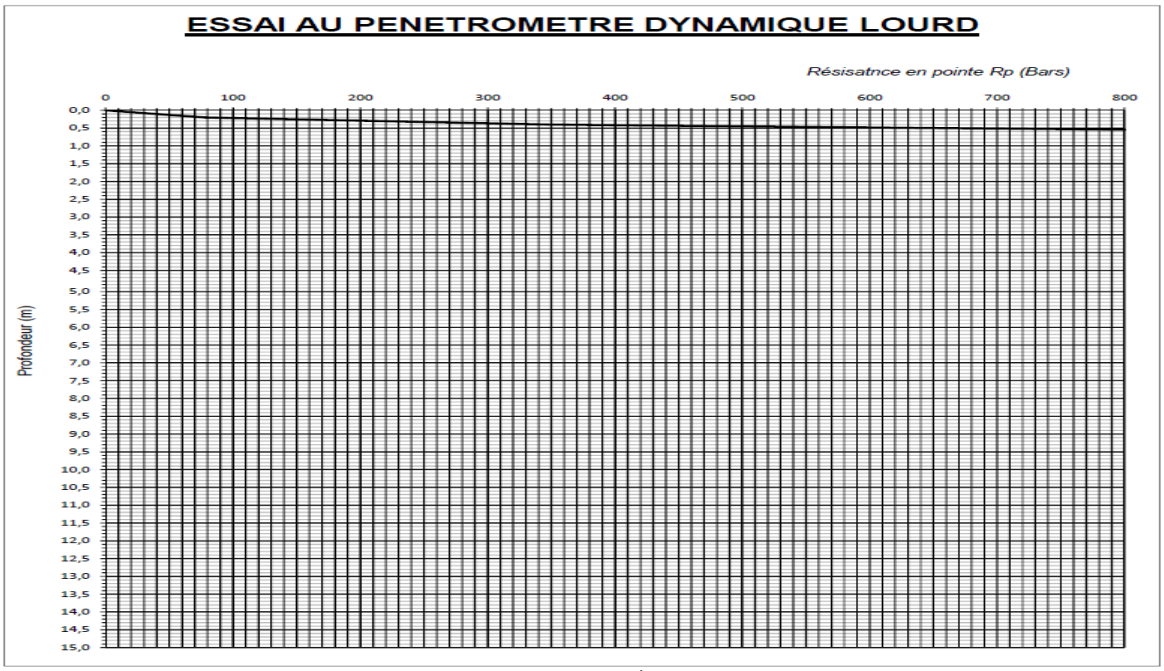


Pk 37+440

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-08	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,6 m	Poids du mouton : 63 Kg.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	Hauteur de chute : 75 Cm.
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 247 687 - Y = 3 826 336	Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.

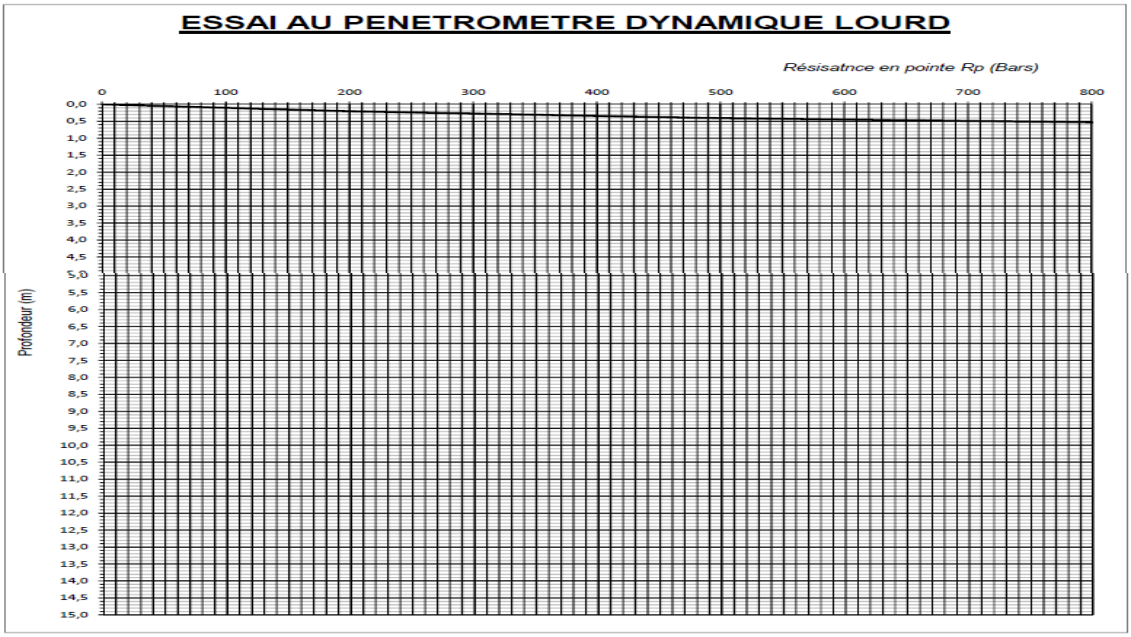


Pk 41+120

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-09	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,6 m	Poids du mouton : 63 Kg.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	Hauteur de chute : 75 Cm.
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 248 317 - Y = 3 824 073	Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.

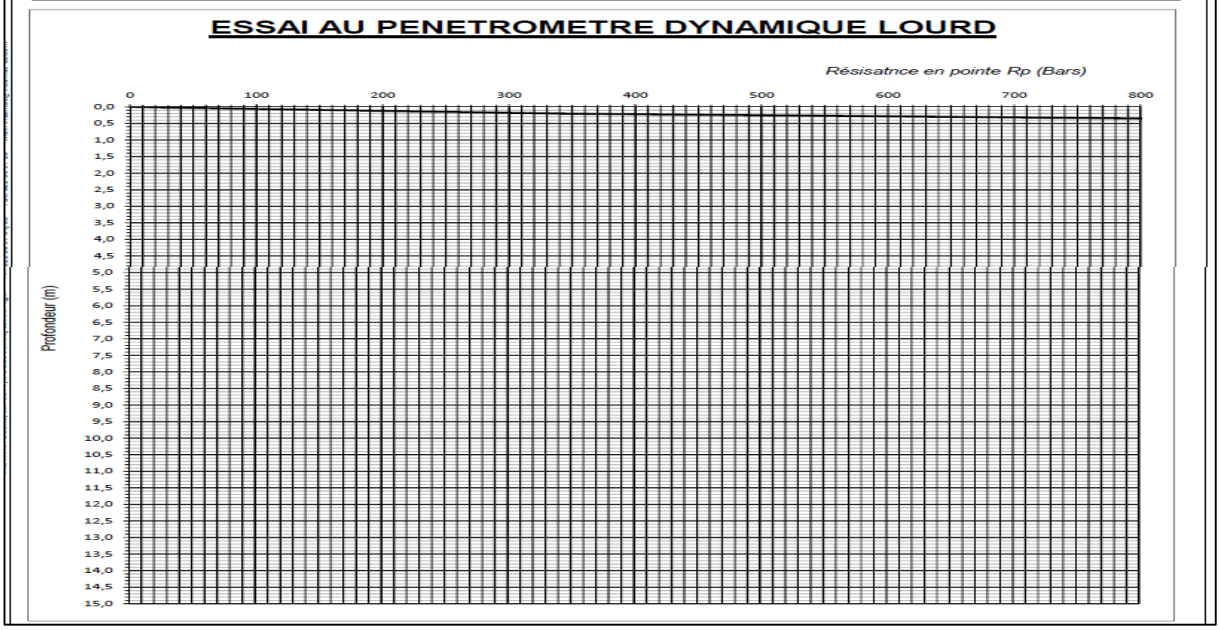


PK 37+440

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-8 Bis	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,4 m	Poids du mouton : 63 Kg.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	Hauteur de chute : 75 Cm.
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 247 687 - Y = 3 826 336	Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.

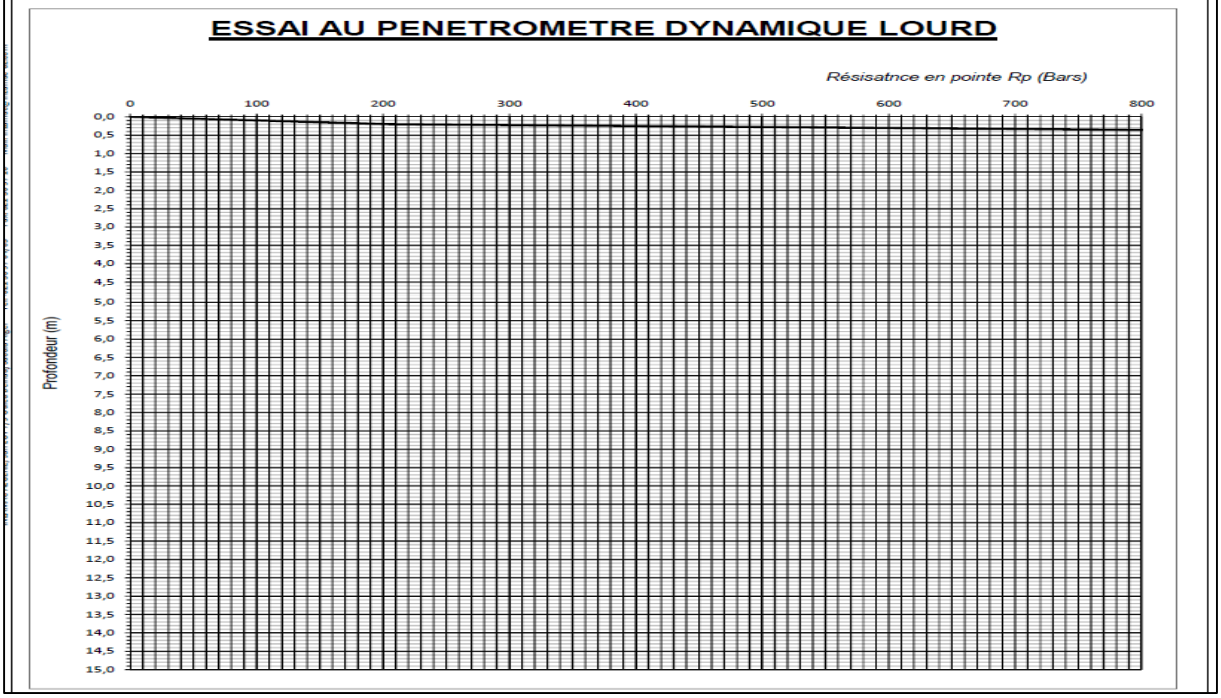


PK 41+120

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-09 Bis	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,4 m	Poids du mouton : 63 Kg.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	Hauteur de chute : 75 Cm.
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 248 317 - Y = 3 824 073	Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.

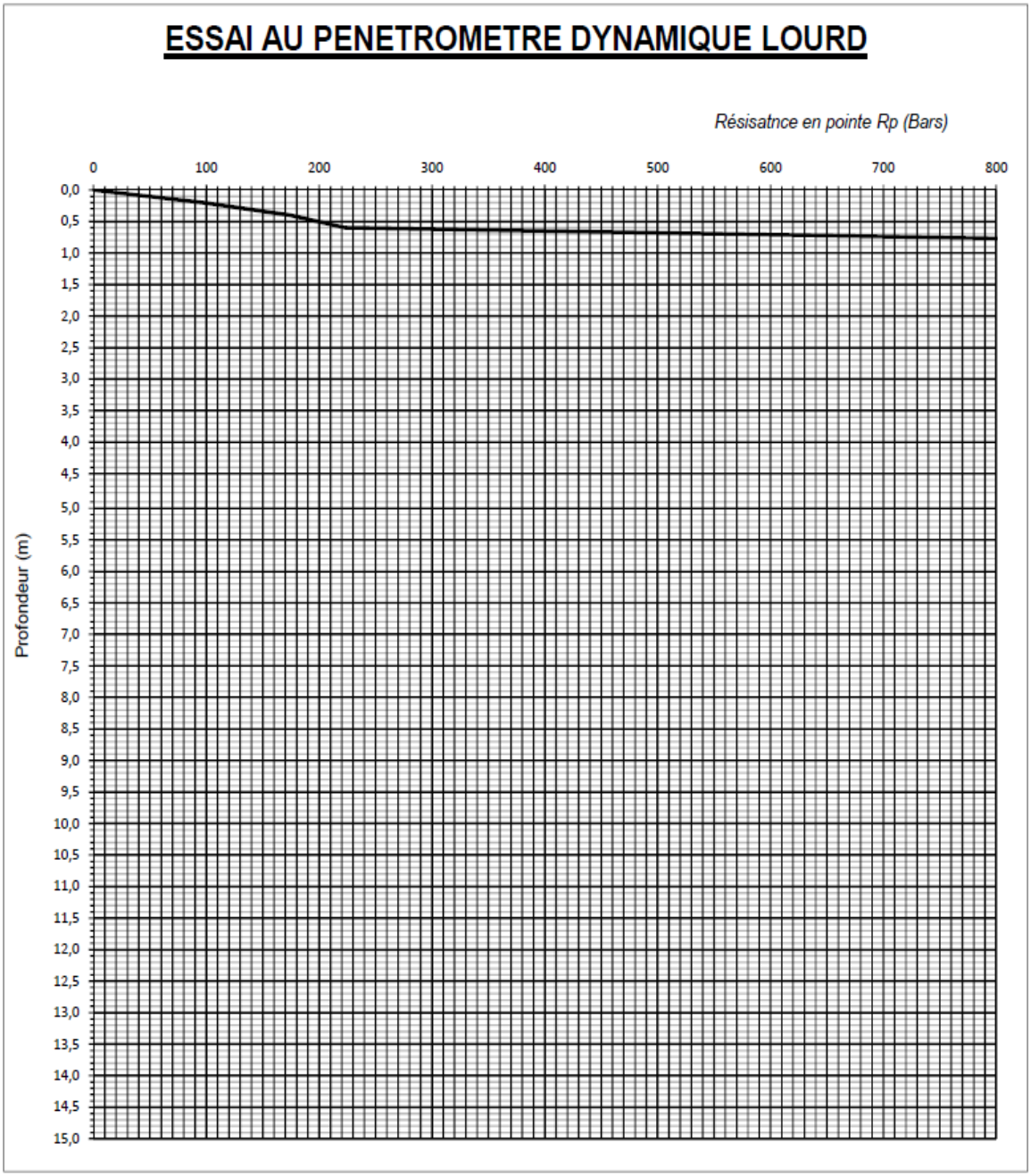


PK 54+600

	ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD ***Selon la norme NF P 94-115***	Ref : **GLX-15-014**

Date d'essai : *13/06/2015*	Réf. point : *PDL-11*		REFERENCES MATERIEL
Client : *SETIRAIL*	Profondeur refus : *0,8 m*		Poids du mouton : *63 Kg.* Hauteur de chute : *75 Cm.* Section de la pointe : *19,63 cm².* Longueur de la tige : *1 m.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	Opérateur : *Amara*		
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	Coordonnées :	- X = *247 132* - Y = *3 821 657*	

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD

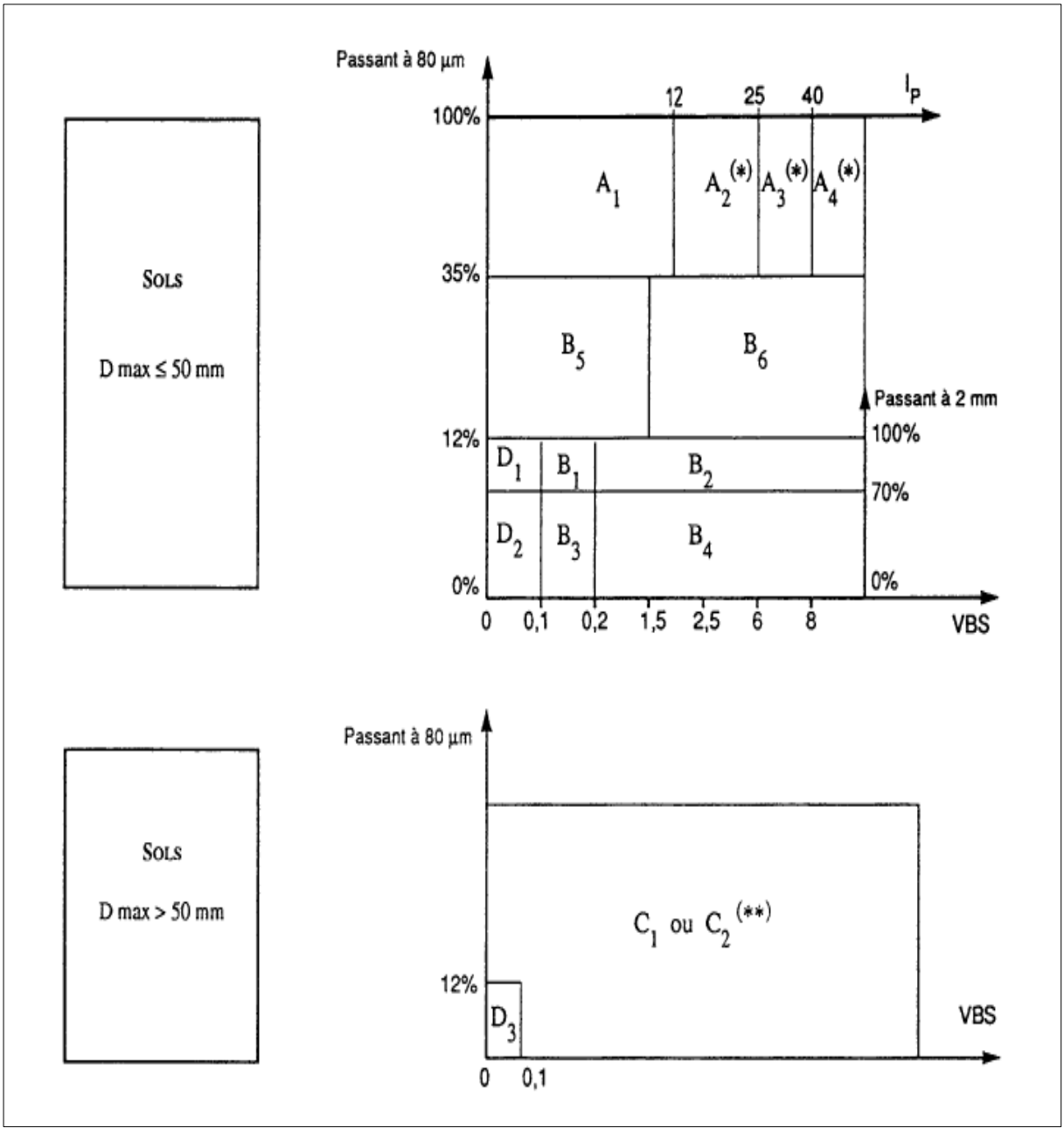


ANNEXE C5 : Résultat des essais au laboratoire

Réference	Profondeur	Matériaux	Paramètres physiques				Limites d'Atterberg		Analyse granulométrique			Valeur au bleu	Cisaillement UU		Cisaillement CD		Essai Oedomètrique			Compre. simple	Analyses chimiques des sols			
Sondage	(m)		W (%)	Gd (t/m3)	Gh (t/m3)	Sr (%)	WL (%)	Ip (%)	< 2mm (%)	< 80µ (%)	< 2µ (%)	VBS	Cu (bars)	φ (°)	Cu (bar)	φ (°)	Cc (%)	Pc (bar)	Cg (%)	Rc (bars)	pH	Sulfates (%)	Carbonates (%)	Chlorures (%)
F-10-SB	à 02.00	Argile blanchâtre	1	1,90	1,92	6	21	4	64	49	18										8,2	0,27	32,12	0,11
	14.70-14.90	Grès			2,44															153,30				
F-11-SB	04.00-04.20	Argile limoneuse	24	1,43	1,78	75			82	77	25	0,83	0,17	29			30,9	6,38	3,2		8,7	0,42	17,16	0,07
	08.00-08.23	Argile limoneuse	24	1,42	1,76	73			91	83	47	0,92					22,9	2,29	5,2	0,10				
	12.40-12.60	Argile limoneuse	29	1,35	1,74	79			86	77	45	1,60	0,17	28	0,17	28	16,2	1,51	2,4					
F-12-SB	03.52-06.69	Argile limoneuse	45	0,96	1,39	68			76	52	33	0,67	0,08	32							8,9	0,28	15,84	0,11
	09.55-09.71	Argile limoneuse	29	1,44	1,86	92			81	71	39	1,29	0,21	22			81,4	4,52	5,7					
	14.50-14.71	Argile limoneuse	17	1,62	1,90	72			93	82	49	0,98	0,30	32	0,27	36	17,3	5,24	1,7		8,8	0,20	13,20	0,07

ANNEXE C6 : CLASSIFICATIONS DES SOLS

Classifications selon GTR



Classifications des sols selon UIC (POUR LA PLATEFORME) :

La qualité de sol pour la plateforme dépend des deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol, à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales.

On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple).
QS1 Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd<1.7 t/m3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd<1.7 t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés
QS2 Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple :
QS3 Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

ANNAXE D : étude hydrologique et assainissement

Caractéristiques des bassins versant

Bassin	PK	A (km^2)	Périmètre (Km)	L(km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	KC	LR (km)	Lr (km)	Pente (m/m)
1	34+710	10,614	14,825	6,855	1158	1092	1125	1,28	5,47	1,93	0.0096
2	37+400	18,305	20,292	7,946	1180	1084	1132	1,33	7,79	2,34	0.0121
3	38+849	7,309	11,969	5,145	1125	1083	1104	1,24	4,27	1,70	0.0082
4	39+321	1,222	4,943	1,888	1196	1083	1139,5	1,26	1,78	0,68	0.0599
5	41+100	16.48	21.47	6,47	1215	1085	1150	1.47	8.82	1.90	0.020
6	43+890	0,682	3,808	1,129	1086	1066	1076	1,30	1,42	0,478	0.0177
7	48+650	18.49	19.11	6.99	1184	1058	1121	1.25	6.85	2.7	0.0180
8	49+500	34.45	30.16	6.00	1168	1057	1112.5	1.45	12.27	2.80	0.0185
9	51+789	96,55	56,819	33,319	1210	1057	1133,5	1,63	24,46	3,946	0.0046
10	54+600	0,033	0,733	0,198	1058	1056	1057	1,13	0,20	0,159	0.0101

Débit des bassins versant

Bassin	Tc(h)	Intensité(mm/h)	Cr	Qa(m3/s)
1	4,6	13,2	0,55	21.18
2	5,16	12,15	0,55	29.31
3	4	14,6	0,55	16.3
4	0,57	59,36	0,55	11.08
5	3.64	15.62	0.55	35.15
6	0,79	46,92	0,55	4.89
7	4.07	14.41	0.55	34.52
8	5.45	11.68	0.55	45.56
9	12,76	6,33	0,55	80.84
10	0,23	114,09	0,55	0.58

Dimensionnement des dalots

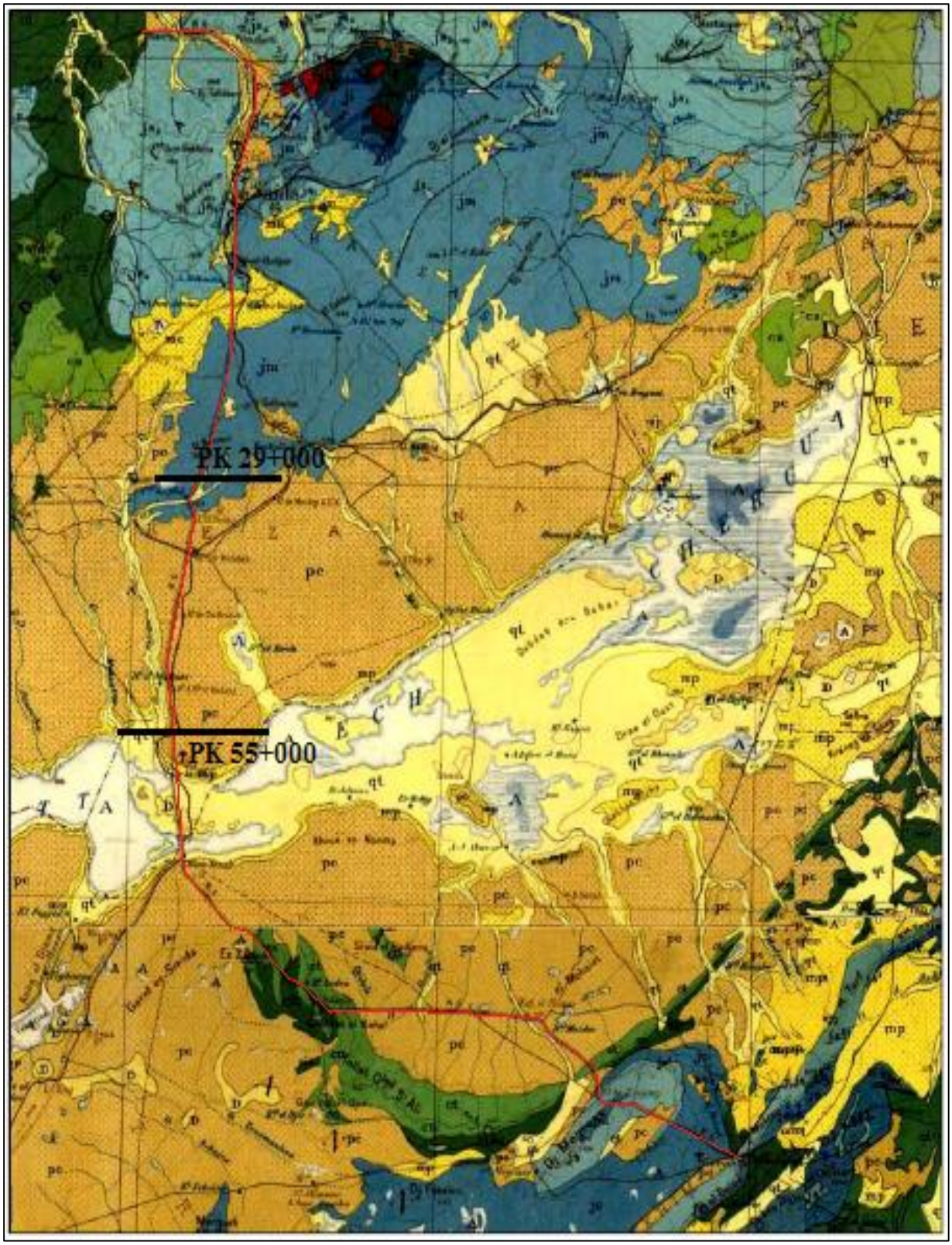
Dalot	PK	B(m)	H(m)	I(m/m)	n. cellule	Qa (m3/s)	Qs (m3/s)	V (m/s)
1	34+710	2.5	1.6	0.005	2	21.18	23.33	3.56
2	37+400	2.5	2	0.005	2	29.31	31,27	3.9
3	38+849	2.5	1.5	0.005	2	16.3	21,41	3.56
4	39+321	2	1.5	0.005	2	11.08	15,86	3.3
5	41+100	2.5	2.5	0.004	2	35.15	37.16	3.71
6	43+890	1.5	1.5	0.005	1	4.89	5,32	2.95
7	48+650	2.5	2.5	0.004	2	34.52	37.16	3.71
8	49+500	3	2.5	0.004	2	45.65	47.93	3.99
9	51+789	3	2.5	0.004	4	80.84	95,87	3.99
10	54+600	1	1	0.005	1	0.58	1,8	2.25

Vérification de dimensionnement des dalots

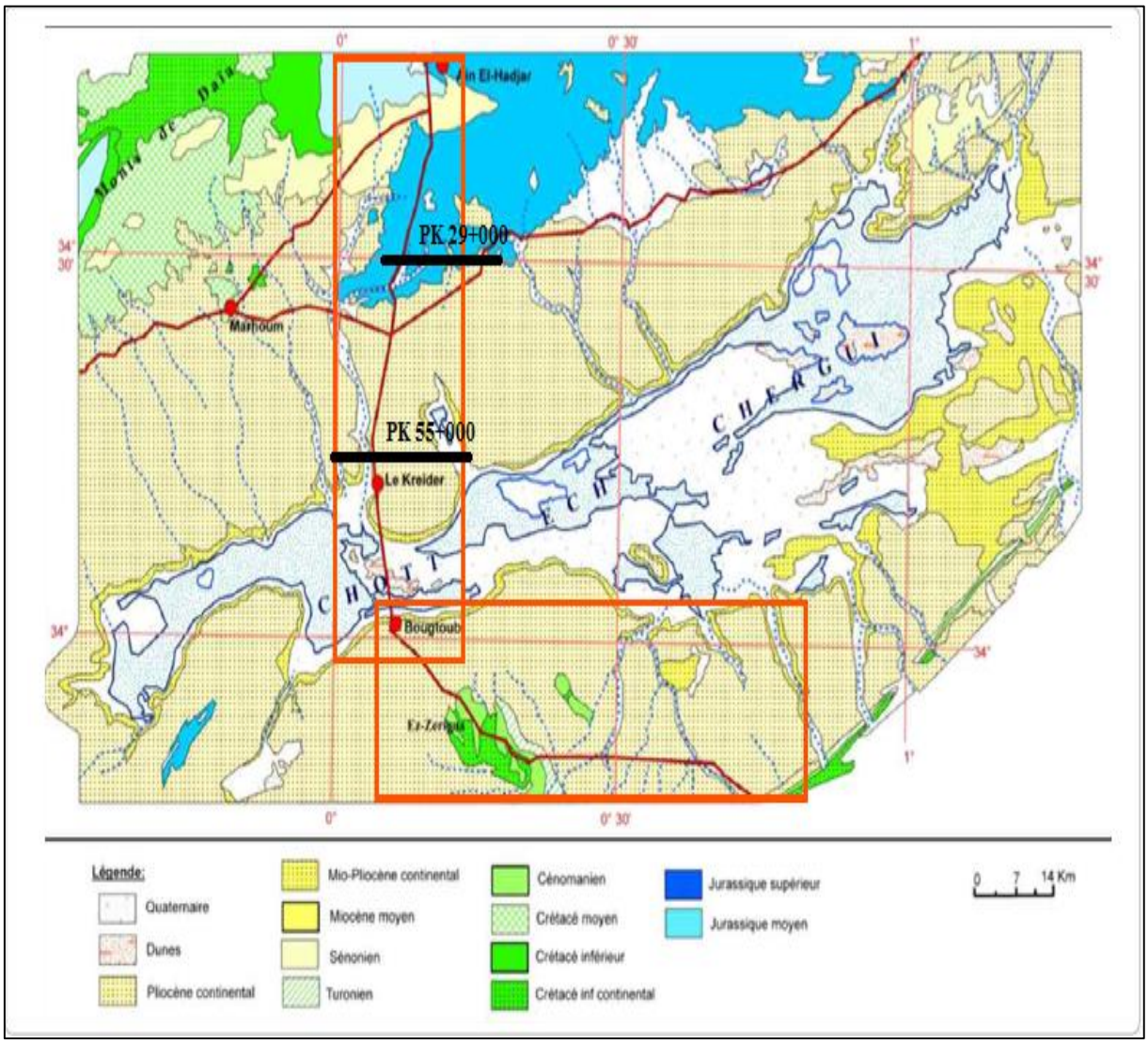
Vps (m/s)	Vps<4 (m/s)	1ere condition d'autocurage		2ere condition d'autocurage		Ecoulement Fluviale	
		Rv*Vps	Vérification	Rv*Vps	Vérification	Hc	Vérification
3,56	vérifiée	2,27	vérifiée	1,12	vérifiée	1,21	vérifiée
3,9	vérifiée	2,48	vérifiée	1,22	vérifiée	1,52	vérifiée
3,56	vérifiée	2,27	vérifiée	1,12	vérifiée	1,16	vérifiée
3,3	vérifiée	2,10	vérifiée	1,03	vérifiée	1,04	vérifiée
2.92	vérifiée	2.36	vérifiée	1.16	vérifiée	1.7	vérifiée
2,95	vérifiée	1,88	vérifiée	0,92	vérifiée	1,26	vérifiée
3.71	vérifiée	2.36	vérifiée	1.16	vérifiée	1.68	vérifiée
3.99	vérifiée	2.54	vérifiée	1.25	vérifiée	1.79	vérifiée
3,99	vérifiée	2,54	vérifiée	1,25	vérifiée	1,70	vérifiée
2,25	vérifiée	1,43	vérifiée	0,70	vérifiée	0,50	vérifiée

ANNEXE B1 : les cartes géologiques du tronçon étudie

la carte géologique du Saida au 1/500000

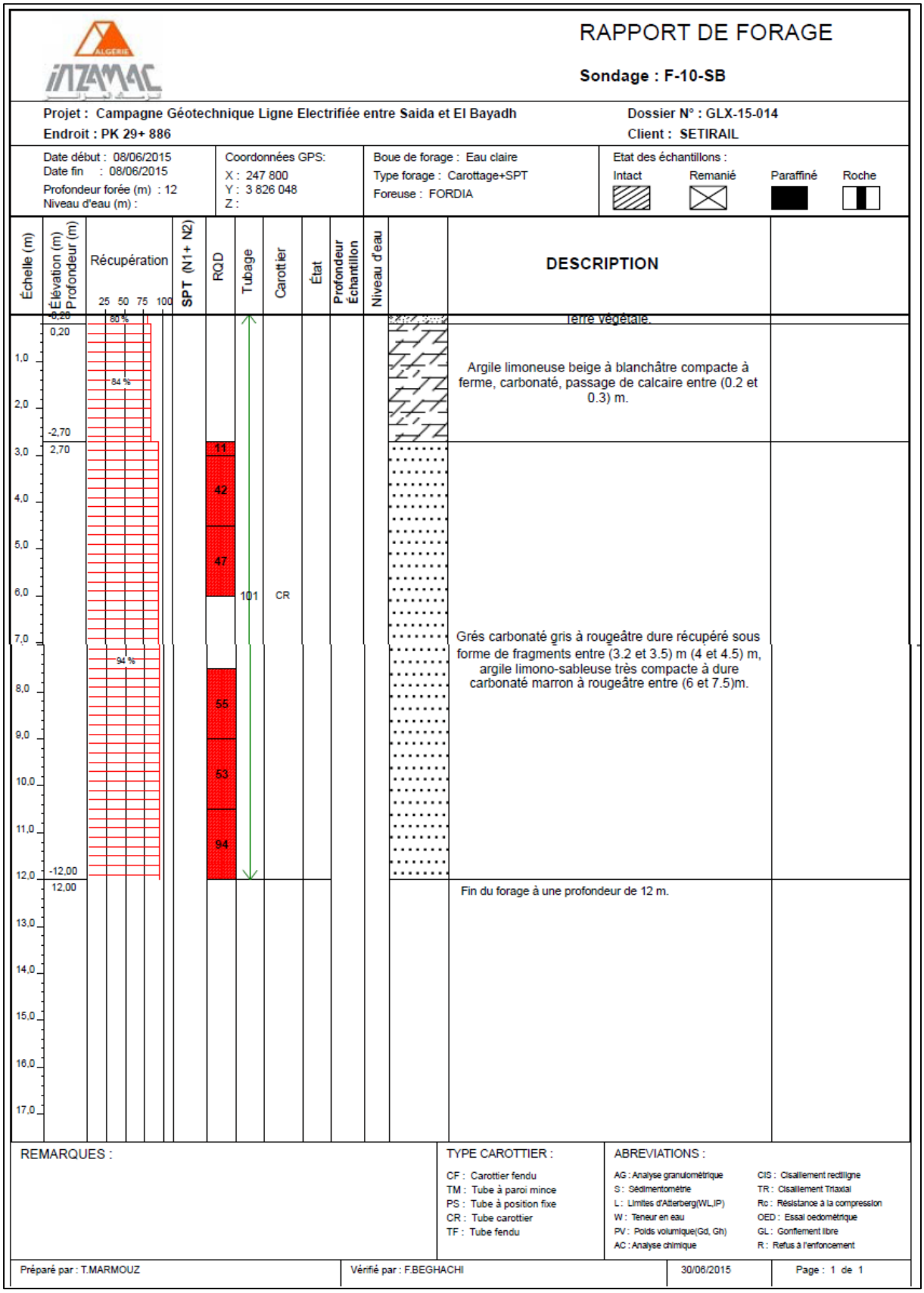


Situation de la zone d'étude sur l'extrait de la carte géologique au 1/500000



ANNEXE B2 : fiches de laboratoires des sondages carottées

Sondage carottées 29+886



RAPPORT DE FORAGE

Sondage : F-10-SB

Projet : Campagne Géotechnique Ligne Electrifiée entre Saida et El Bayadh — Dossier N° : GLX-15-014

Endroit : PK 29+ 886 — Client : SETIRAIL

Date début : 08/06/2015
Date fin : 08/06/2015
Profondeur forée (m) : 12
Niveau d'eau (m) :

Coordonnées GPS:
X : 247 800
Y : 3 826 048
Z :

Boue de forage : Eau claire
Type forage : Carottage+SPT
Foreuse : FORDIA

Etat des échantillons : Intact — Remanié — Paraffiné — Roche

Échelle (m)	Élévation (m) Profondeur (m)	Récupération (25 50 75 100)	SPT (N1+ N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION
0	0,20	80 %								Terre végétale.
1,0	0,20									Argile limoneuse beige à blanchâtre compacte à ferme, carbonaté, passage de calcaire entre (0.2 et 0.3) m.
2,0		84 %								
	-2,70									
3,0	2,70			11						
4,0				42						
5,0				47						
6,0					101	CR				Grés carbonaté gris à rougeâtre dure récupéré sous forme de fragments entre (3.2 et 3.5) m (4 et 4.5) m, argile limono-sableuse très compacte à dure carbonaté marron à rougeâtre entre (6 et 7.5)m.
7,0		94 %								
8,0				55						
9,0										
10,0				53						
11,0				94						
12,0	-12,00									
	12,00									Fin du forage à une profondeur de 12 m.
13,0										
14,0										
15,0										
16,0										
17,0										

REMARQUES :

TYPE CAROTTIER :
CF : Carottier fendu
TM : Tube à paroi mince
PS : Tube à position fixe
CR : Tube carottier
TF : Tube fendu

ABREVIATIONS :
AG : Analyse granulométrique
S : Sédimentométrie
L : Limites d'Atterberg(WL,IP)
W : Teneur en eau
PV : Poids volumique(Gd, Gh)
AC : Analyse chimique
CIS : Cisaillement rectiligne
TR : Cisaillement Triaxial
Rc : Résistance à la compression
OED : Essai oedométrique
GL : Gonflement libre
R : Refus à l'enfoncement

Préparé par : T.MARMOUZ — Vérifié par : F.BEGHACHI — 30/06/2015 — Page : 1 de 1



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-10-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-10-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



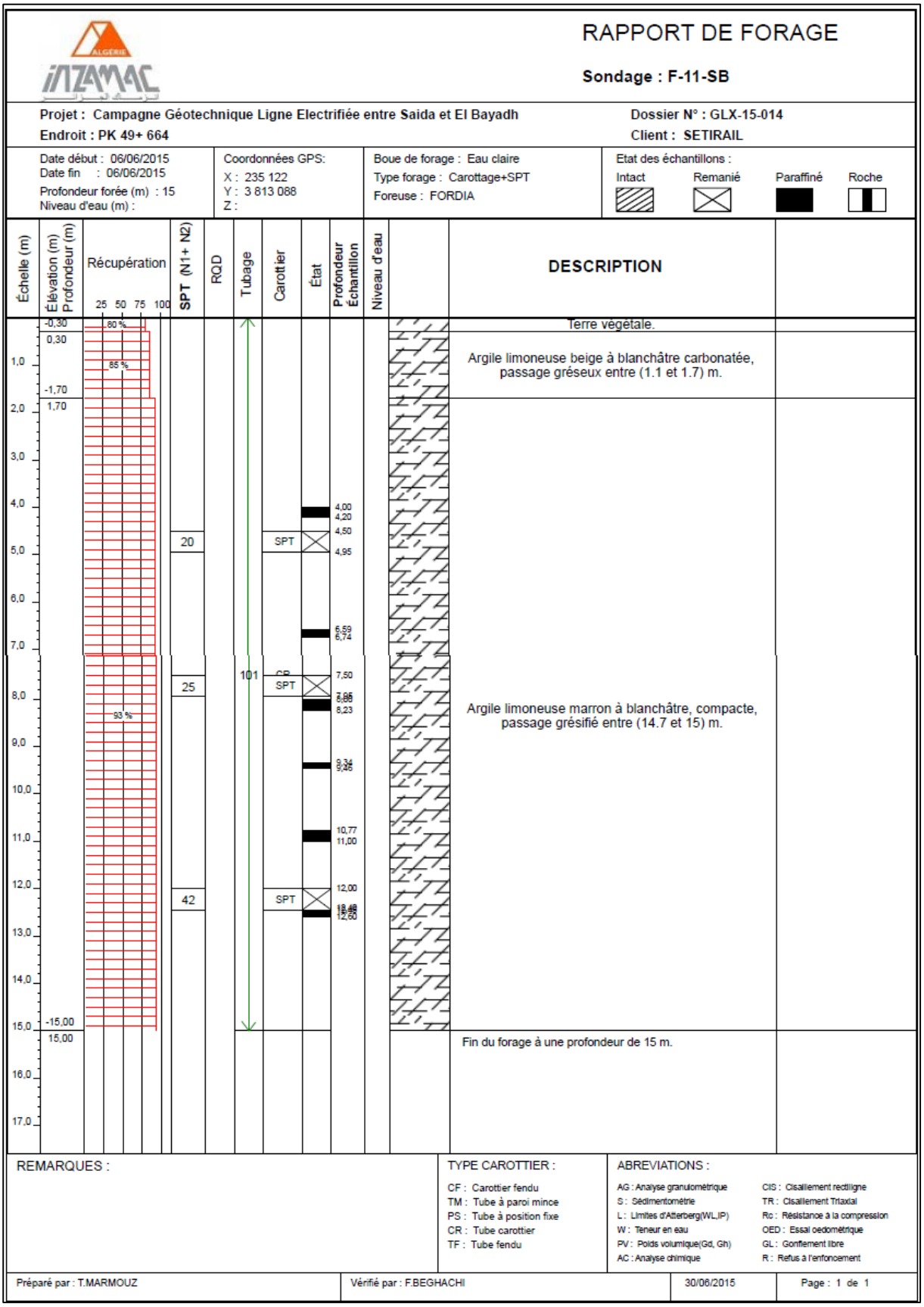
Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-10-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 10,00 à 12,00 m

Sondage carottées 49+664





Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-11-SB - Caisse n° : 1/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-11-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



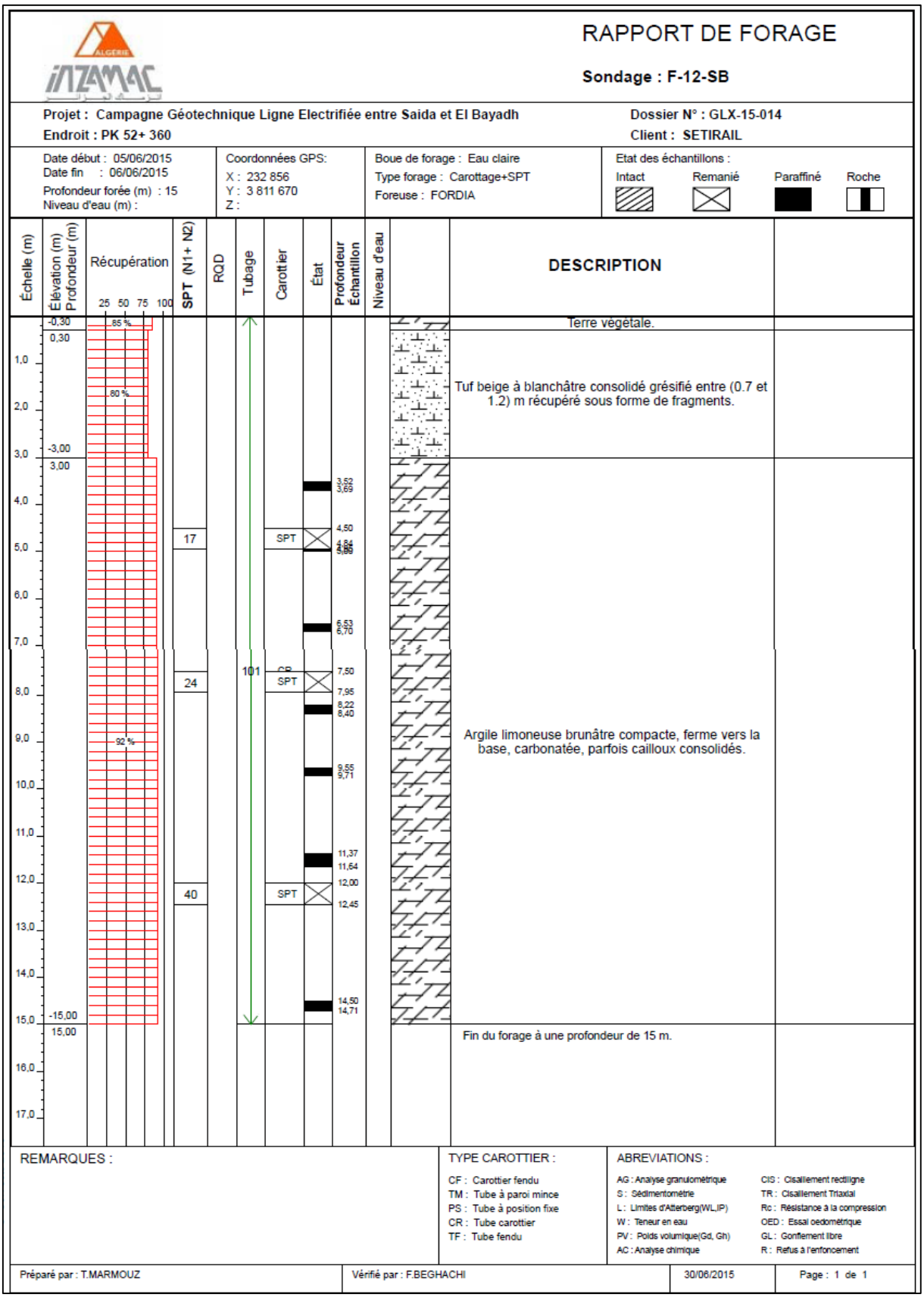
Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-11-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 10,00 à 15,00 m

Sondage carottées 52+360



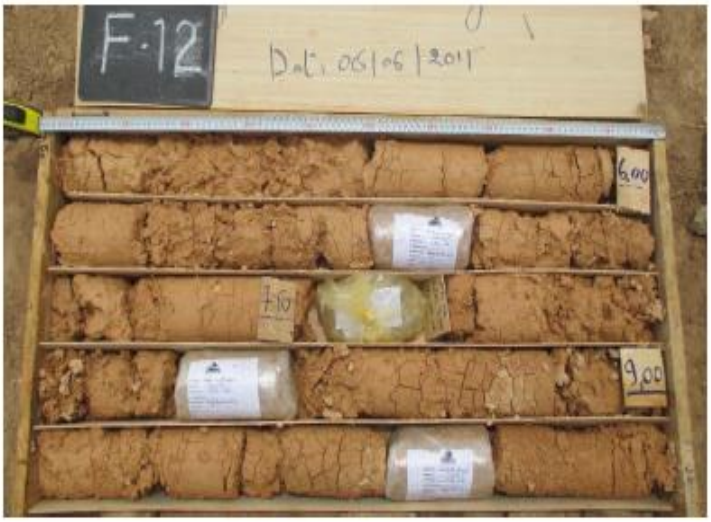


Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 1/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



Client : SETIRAIL

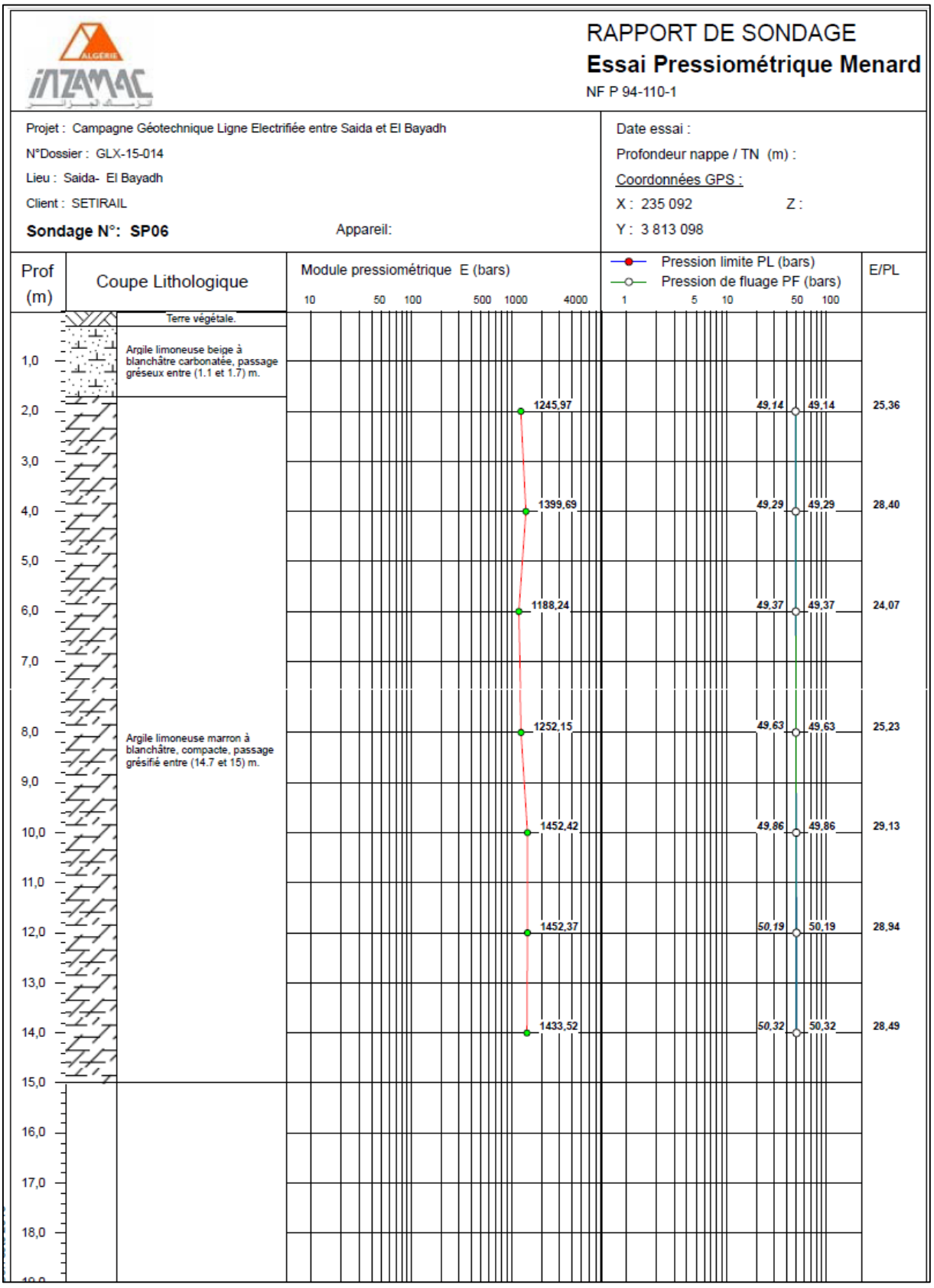
Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne électrifiée entre Saida et El-Bayadh (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 3/3

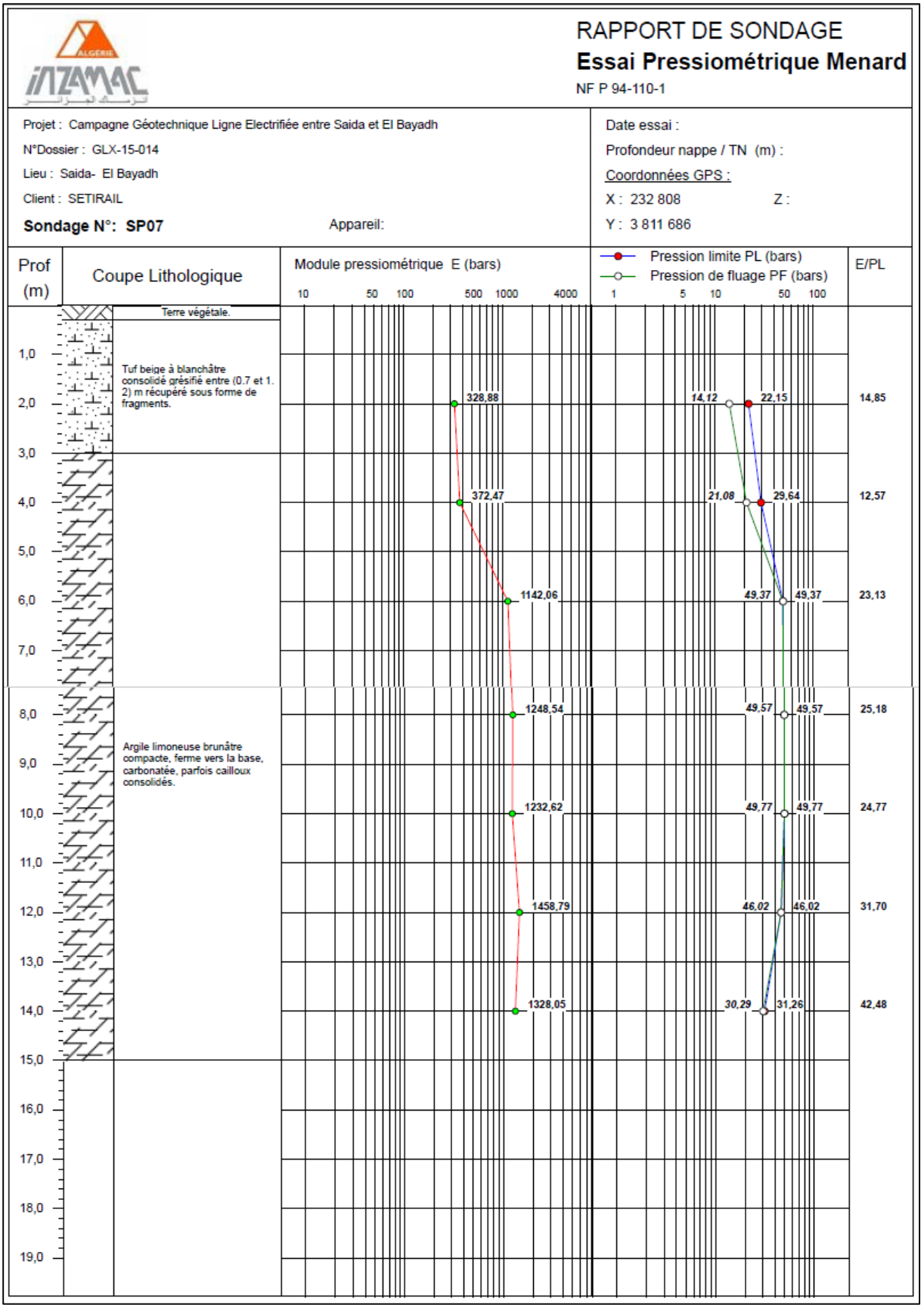
Profondeur : 10,00 à 15,00 m

ANNEXE B3 : Fiches des essais préssiométrique.

L'essai pressiométrique PK 49+664



L'essai préssiométrique PK 52+360

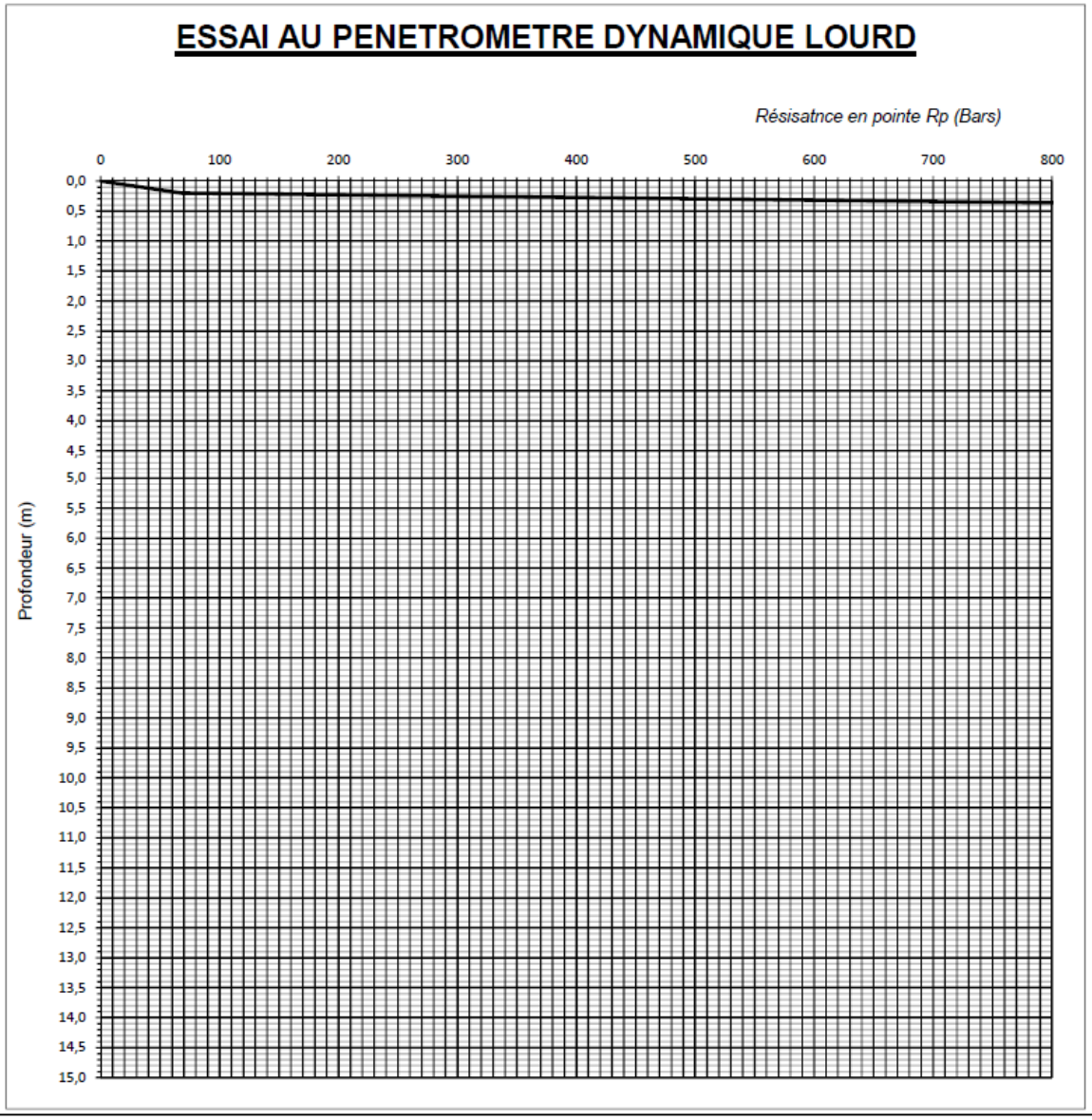


ANNEXE B4 : Fiches des essais Pénétromètre dynamique lourds

PK 29+600

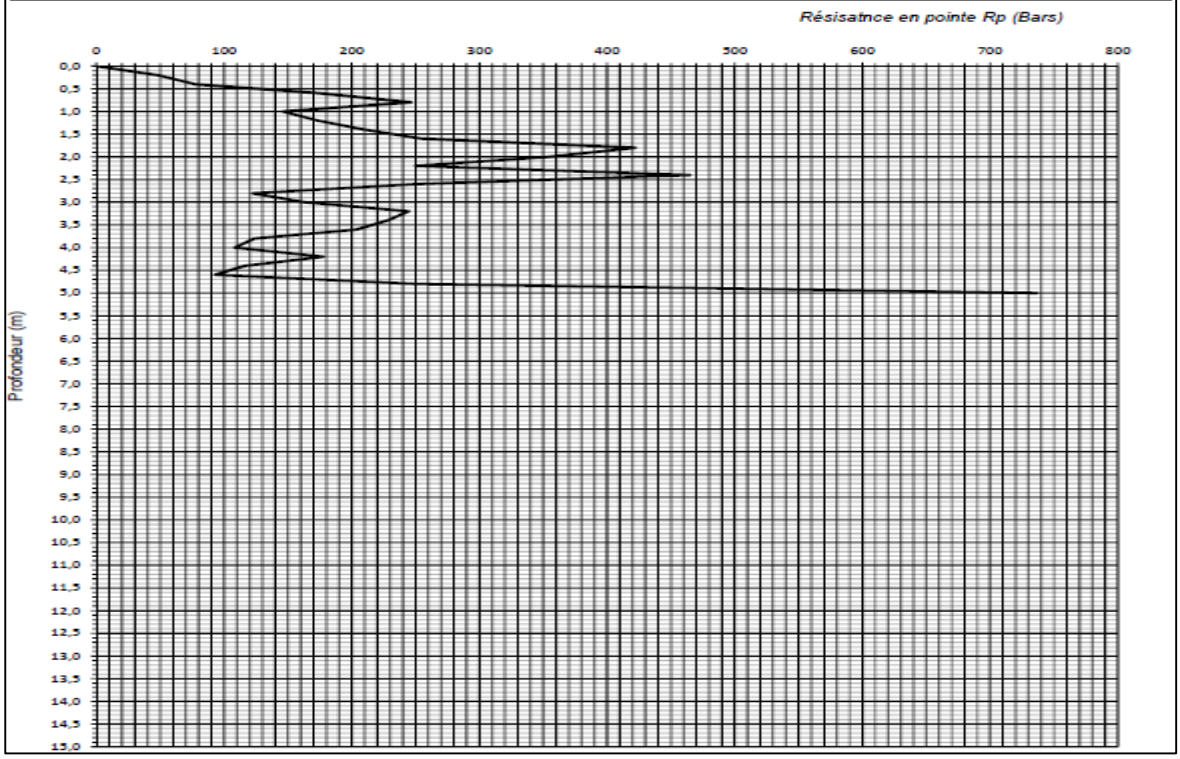
IANZAMAC	**ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD** *Selon la norme NF P 94-115*	Ref : **GLX-15-014**

Date d'essai : *12/06/2015*	Réf. point : *PDL-05*	**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	Profondeur refus : *0,4 m*	Poids du mouton : *63 Kg.* Hauteur de chute : *75 Cm.* Section de la pointe : *19,63 cm².* Longueur de la tige : *1 m.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	Opérateur : *Amara*	
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	Coordonnées : - X = *245 237* - Y = *3 828 618*	



PK 32+000

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-06	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 5,0 m	Poids du mouton : 63 Kg. Hauteur de chute : 75 Cm. Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH		
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 245 968 ; - Y = 3 828 239	

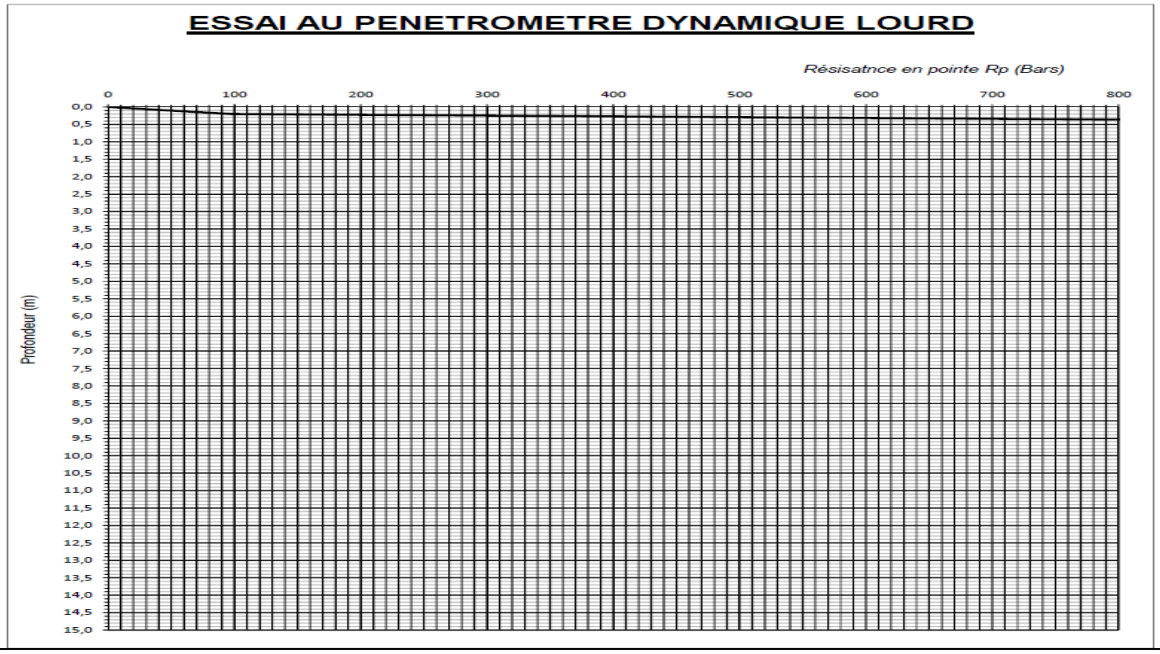


PK 34+580

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-07	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,4 m	Poids du mouton : 63 Kg. Hauteur de chute : 75 Cm. Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 247 272 ; - Y = 3 827 088	

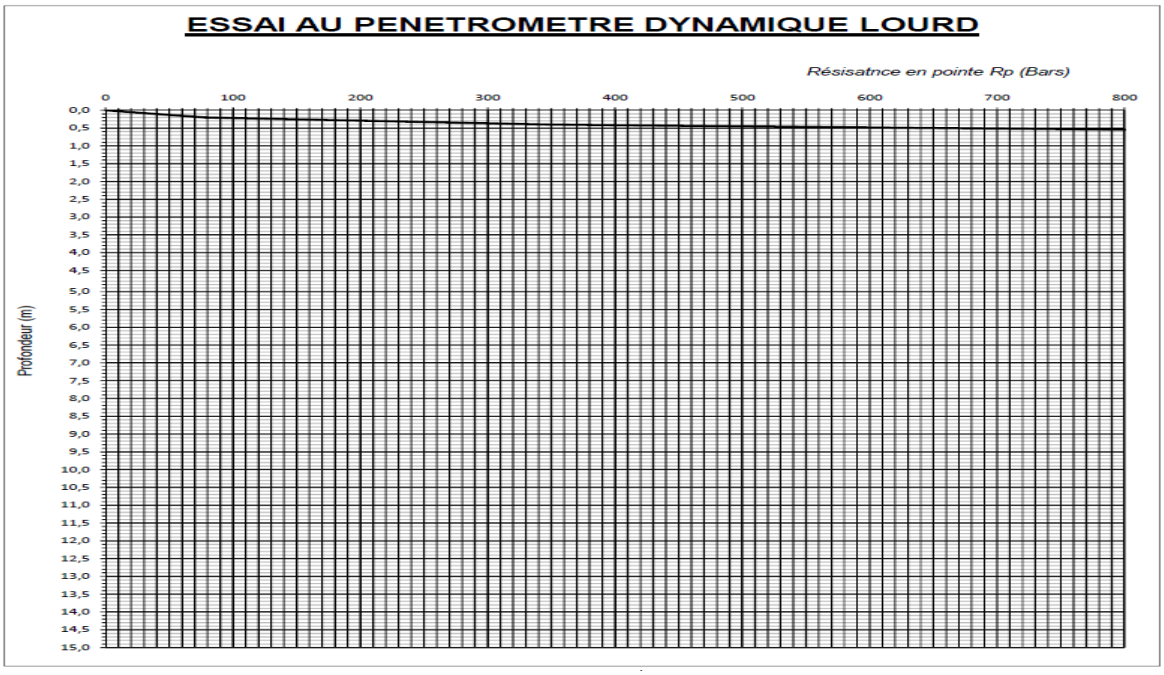


Pk 37+440

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-08	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,6 m	Poids du mouton : 63 Kg.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	Hauteur de chute : 75 Cm.
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 247 687 - Y = 3 826 336	Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.

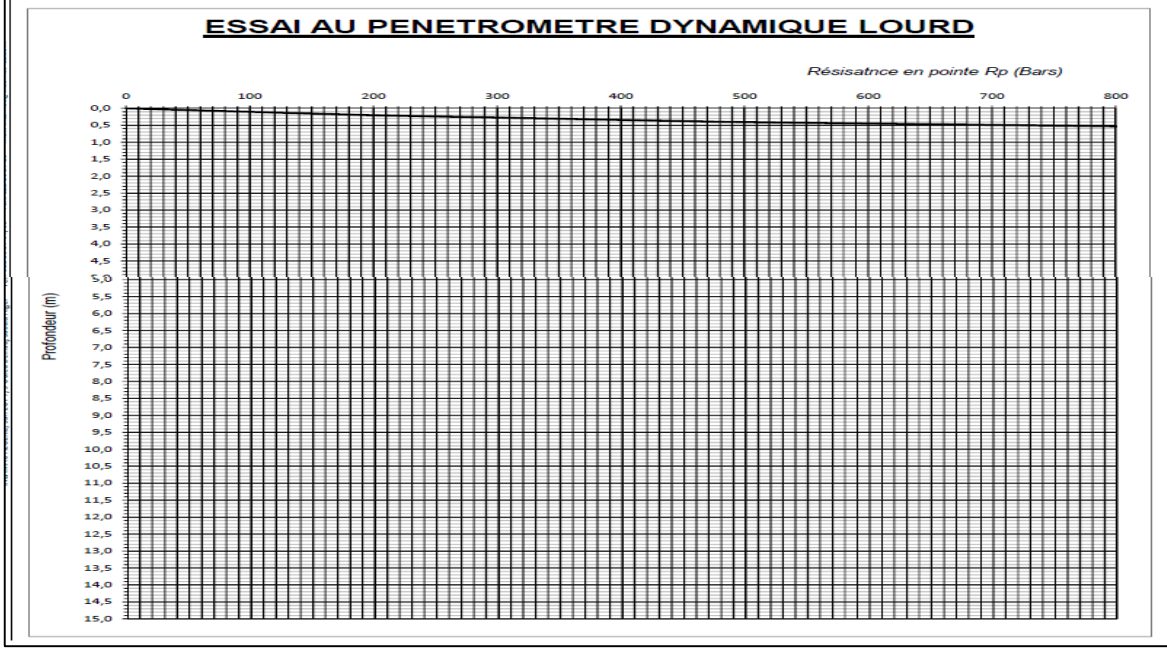


Pk 37+440

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : 12/06/2015	Réf. point : PDL-09	REFERENCES MATERIEL
Client : SETIRAIL	Profondeur refus : 0,6 m	Poids du mouton : 63 Kg.
Lieu : SAIDA-EL BAYADH	Opérateur : Amara	Hauteur de chute : 75 Cm.
Projet : Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH	Coordonnées : - X = 248 317 - Y = 3 824 073	Section de la pointe : 19,63 cm². Longueur de la tige : 1 m.

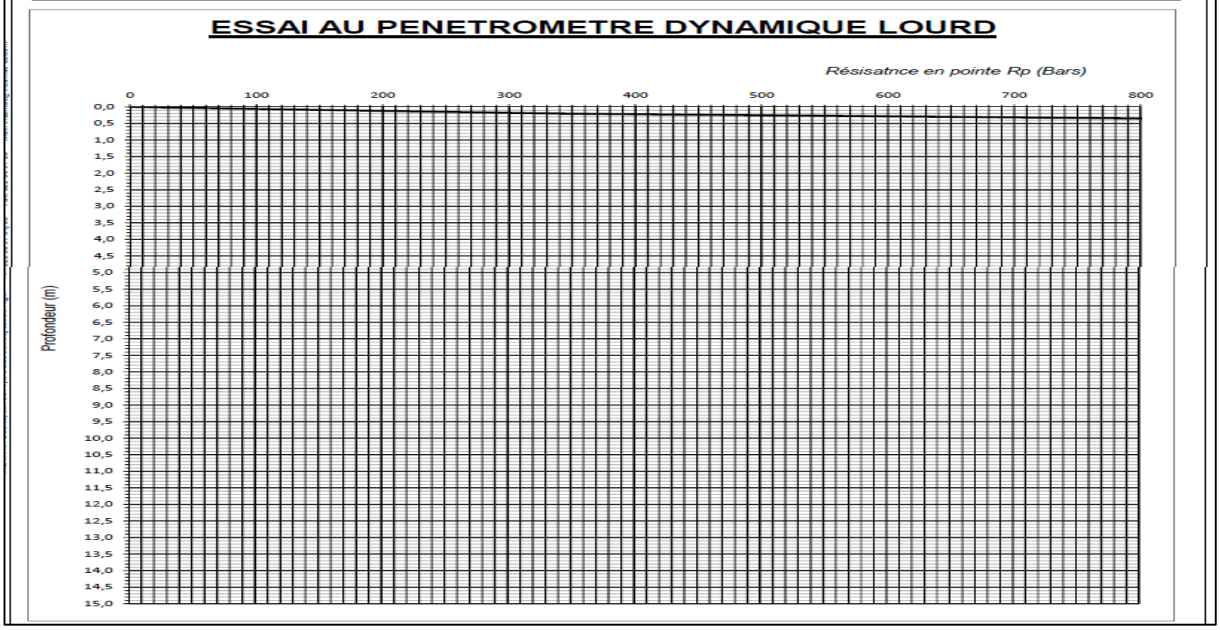


PK 41+120

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : *12/06/2015*	**Réf. point :** *PDL-8 Bis*		**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur refus :** *0,4 m*		**Poids du mouton :** *63 Kg.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	**Opérateur :** *Amara*		**Hauteur de chute :** *75 Cm.*
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	**Coordonnées :**	*- X = 247 687*	**Section de la pointe :** *19,63 cm².*
		- Y = 3 826 336	**Longueur de la tige :** *1 m.*

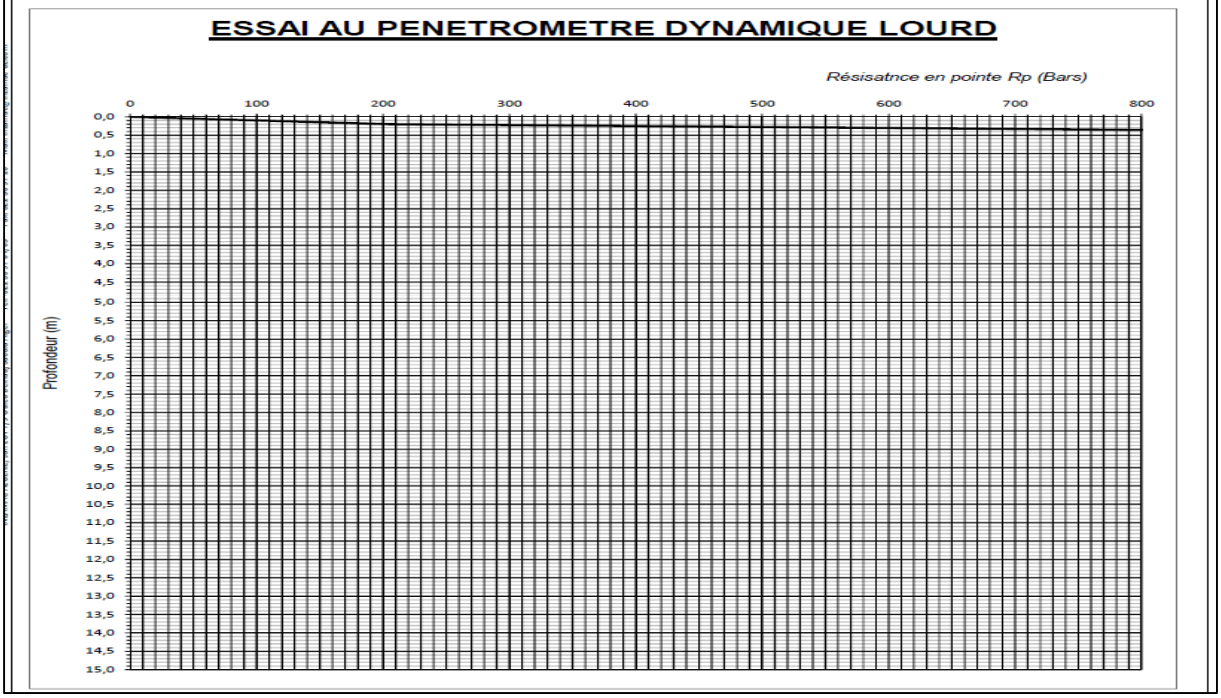


PK 41+120

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Selon la norme NF P 94-115

Ref : GLX-15-014

Date d'essai : *12/06/2015*	**Réf. point :** *PDL-09 Bis*		**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur refus :** *0,4 m*		**Poids du mouton :** *63 Kg.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	**Opérateur :** *Amara*		**Hauteur de chute :** *75 Cm.*
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	**Coordonnées :**	*- X = 248 317*	**Section de la pointe :** *19,63 cm².*
		- Y = 3 824 073	**Longueur de la tige :** *1 m.*

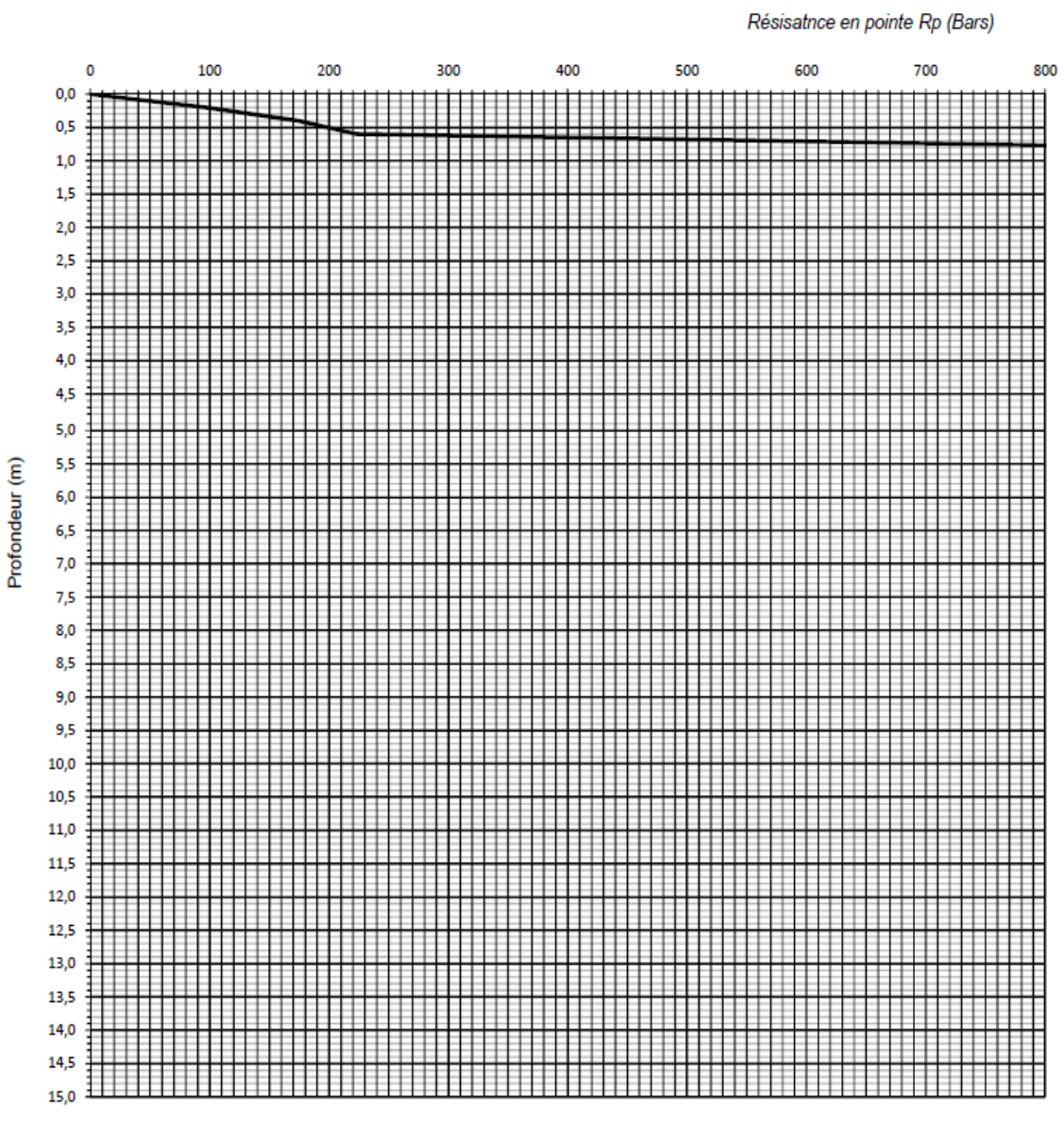


PK 54+600

INZAMAC	**ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD** ***Selon la norme NF P 94-115***	Ref : **GLX-15-014**

Date d'essai : *13/06/2015*	Réf. point : *PDL-11*	REFERENCES MATERIEL
Client : *SETIRAIL*	Profondeur refus : *0,8 m*	Poids du mouton : *63 Kg.* Hauteur de chute : *75 Cm.* Section de la pointe : *19,63 cm².* Longueur de la tige : *1 m.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	Opérateur : *Amara*	
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	Coordonnées : - X = *247 132* - Y = *3 821 657*	

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD

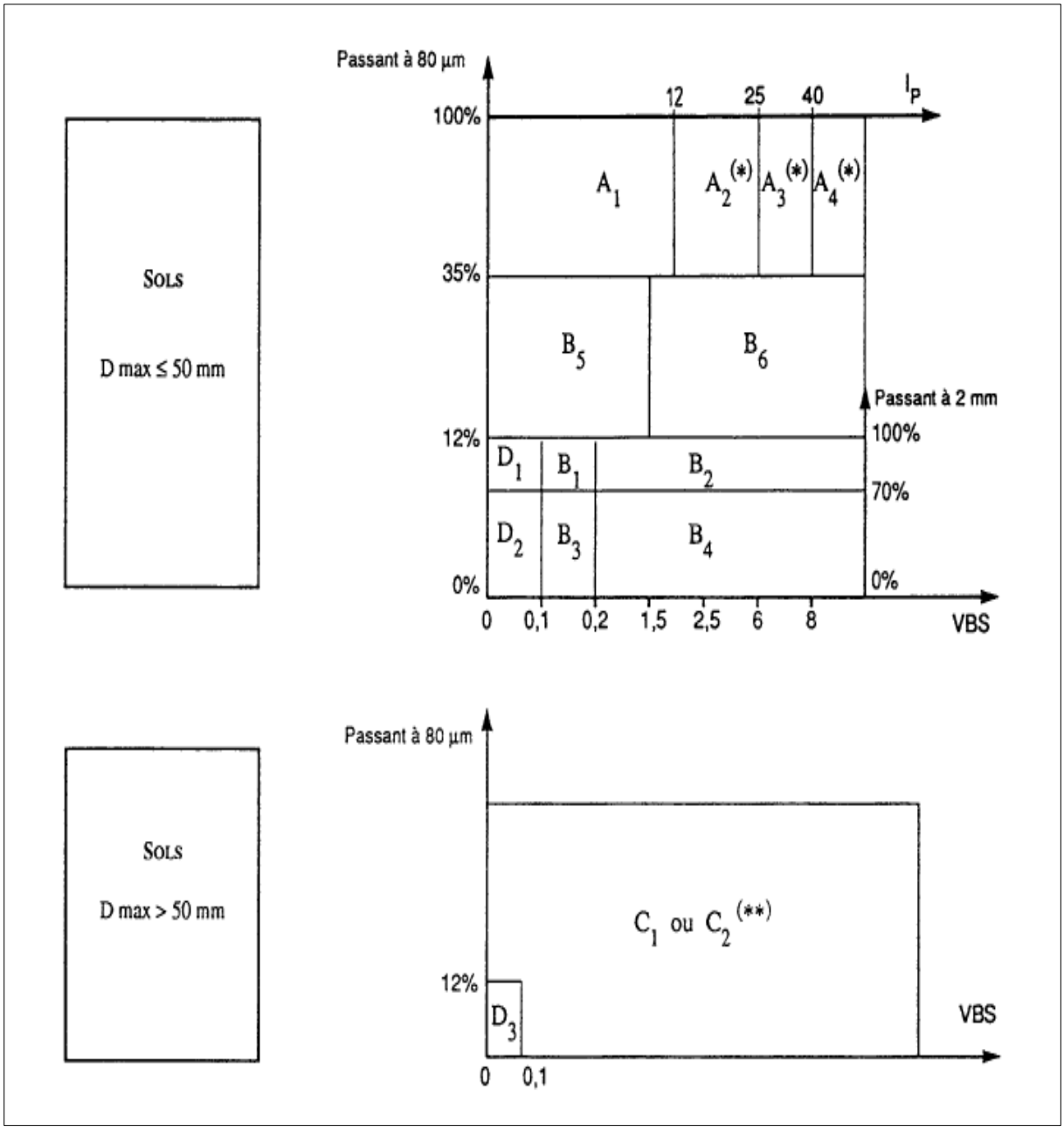


ANNEXE B5 : Résultat des essais au laboratoire

Réference Sondage	Profondeur (m)	Matériaux	Paramètres physiques				Limites d'Atterberg		Analyse granulométrique			Valeur au bleu	Cisaillement UU		Cisaillement CD		Essai Oedomètrique			Compre. simple	Analyses chimiques des sols			
			W (%)	Gd (t/m3)	Gh (t/m3)	Sr (%)	WL (%)	Ip (%)	< 2mm (%)	< 80µ (%)	< 2µ (%)	VBS	Cu (bars)	φ (°)	Cu (bar)	φ (°)	Cc (%)	Pc (bar)	Cg (%)	Rc (bars)	pH	Sulfates (%)	Carbonates (%)	Chlorures (%)
F-10-SB	à 02.00	Argile blanchâtre	1	1,90	1,92	6	21	4	64	49	18										8,2	0,27	32,12	0,11
	14.70-14.90	Grès			2,44															153,30				
F-11-SB	04.00-04.20	Argile limoneuse	24	1,43	1,78	75			82	77	25	0,83	0,17	29			30,9	6,38	3,2		8,7	0,42	17,16	0,07
	08.00-08.23	Argile limoneuse	24	1,42	1,76	73			91	83	47	0,92					22,9	2,29	5,2	0,10				
	12.40-12.60	Argile limoneuse	29	1,35	1,74	79			86	77	45	1,60	0,17	28	0,17	28	16,2	1,51	2,4					
F-12-SB	03.52-06.69	Argile limoneuse	45	0,96	1,39	68			76	52	33	0,67	0,08	32							8,9	0,28	15,84	0,11
	09.55-09.71	Argile limoneuse	29	1,44	1,86	92			81	71	39	1,29	0,21	22			81,4	4,52	5,7					
	14.50-14.71	Argile limoneuse	17	1,62	1,90	72			93	82	49	0,98	0,30	32	0,27	36	17,3	5,24	1,7		8,8	0,20	13,20	0,07

ANNEXE B6 : CLASSIFICATIONS DES SOLS

Classifications selon GTR



Classifications des sols selon UIC (POUR LA PLATEFORME) :

La qualité de sol pour la plateforme dépend des deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales.

On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

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