

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية  
فرنسيس جاتسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics  
National School of Built and Ground Works Engineering  
Francis Jeanson

## Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

## Thème

Etude en APD de dédoublement de la voie avec  
rectification de tracé entre El Afroun et Khmis  
Meliana entre PK 82+420 et PK 100+510 avec  
aménagement des gares de Boumadfaa et El Hosainia

Présenté par :

**KHAMMOUM Salah**  
**MERAKECH Ahmed Belhadj**

Encadré par :

**Mr. A TIGHIOUARTH**

Promotion 2017/2018

# REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour, Mr Tighioarth, d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.

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

Nous remercions aussi le groupe SYSTRA pour leurs contribution pour acquisition les données de projet, spécialement Mlle Amina.

Le groupe de SETI-RAIL spécialement pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage.

Nous tenons à remercier aussi toute l'équipe de la bibliothèque pour leurs patiences, leurs soutiens et pour les nombreux ouvrages qu'ils ont mis à notre disposition, Comme nous tenons à remercier tous ceux qui de loin ou près ont contribué à finaliser ce modeste travail.

KHAMMOUM -MERAKECH

## **DEDICACE**

Je dédie ce modeste travail

### **À ma très chère mère.**

Pour moi tu es la source de tout le courage que j'ai eu pour compléter mon parcours jusqu'ici, et tu le seras toujours. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

### **À mon cher père.**

Grâce à ton tendre encouragement et ton grand sacrifice, tu as pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments pour toi. Je prie le bon Dieu de te bénir, de veiller sur toi, en espérant que tu sois toujours fier de moi.

### **À mon frère et mes sœurs**

À mes oncles, mes tantes, cousins et cousines  
ainsi qu'à toute ma famille  
sans exception

### **À mon amie intime Abd Assalam.**

À mes chers amis : Hamza, Boumediene, Nassim, Chafik  
À toute la promotion 2015 de l'Ecole Préparatoire des Sciences et Technique  
de Tlemcen

### **À mon amie Saïd**

Je dédie ce travaille aussi aux Ingénieurs de Ait Ourtilane : Lyes, Idir, Samir  
Aux futur Ingénieurs de Ait Ourtilane : Ridha, Fouzi, Samir

### **À mon binôme**

Ahmed

Et à toute la promo 2018

À tous qui mérite mes respects

*SALAH KHAMMOUM*

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHPITRE I : LES CHEMINS DE FER EN ALGERIE</b>	
I.1. INTRODUCTION .....	2
I.2. HISTORIQUE .....	2
I.3. LES PLUS IMPORTANTS PLANS D'INVESTISSEMENT AU XXI <sup>ÈME</sup> SIÈCLE .....	7
I.4. CONCLUSION .....	10
<b>CHPITRE II : PRESENTATION DE PROJET</b>	
II.1. INTRODUCTION .....	11
II.2. CONTEXTE GENERALE .....	11
II.3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	12
II.4. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC .....	13
II.5. OBJECTIFS DE PROJET .....	13
II.6. DONNEES GENERALE DE PROJET .....	14
II.7. CONCLUSION .....	14
<b>CHPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE</b>	
III.1. INTRODUCTION .....	15
III.2. LES INSTALATIONS FIXES DE LA VOIE .....	15
III.2.1. Le rail .....	15
II.2.1.1. Les caractéristiques du rail Vignole UIC 60 E1 .....	15
III.2.2. Les traverses .....	15
III.2.3. Les semelles .....	16
III.2.4. Les attaches .....	17
III.2.5. Assemblage des constituants .....	17
III.3. TRACÉ EN PLAN .....	18
III.3.1. Définition .....	18
III.3.2. Les éléments du tracé en plan .....	18
III.3.3. Conditions de raccordement .....	18
III.3.4. Paramètres significatifs .....	19
II.3.4.1. Le dévers .....	19
II.3.4.2. Dévers théorique ( $d_{th}$ ) .....	19
II.3.4.3. Dévers pratique $d_p$ (SNCF IN 0272) .....	19
II.3.4.4. Coefficient de dévers C .....	20
II.3.4.5. longueur de raccordement 'L' de dévers .....	20
II.3.4.6. variation de dévers dans les courbes de transition .....	20
II.3.4.7. Variation temporaire de dévers .....	21
II.3.4.8. Insuffisance de dévers I .....	21
II.3.4.9. Excès de dévers .....	21
II.3.4.10. Variation de l'insuffisance de dévers .....	22
III.3.5. Application au projet .....	22
III.3.6. Calcul de l'axe en plan .....	25
II.3.6.1. La méthodologie de calcul .....	25
III.4. PROFIL EN LONG .....	29

III.4.1. Les éléments de profil en long .....	29
III.4.2. Pentés maximales .....	29
III.4.3. Rayon minimale en profil en long.....	29
III.4.4. Longueur minimale des éléments du profil en long.....	29
III.4.5. Coordination profil en long-tracé en plan.....	30
III.4.6. Exemple de calcul de profil en long.....	30
<b>III.5. PROFIL EN TRAVERS</b> .....	<b>32</b>
III.5.1. Constituants du profil en travers type .....	32
III.5.2. Profil en trévière type de notre projet .....	32
<b>III.6. CONCLUSION</b> .....	<b>33</b>

## CHPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

<b>IV.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>34</b>
<b>IV.2. ETUDE HYDROLOGIQUE</b> .....	<b>34</b>
IV.2.1. Contexte hydrologique général.....	34
IV.2.4. Caractéristiques des sous bassins versants(BV) .....	35
V.2.5.1. Intensité de pluie.....	36
V.2.5.2. Coefficient de ruissellement .....	38
V.2.5.3. Application au Projet .....	39
<b>IV.3. CLCUL D'ASSINISSEMENT</b> .....	<b>40</b>
IV.3.1. Calcul hydraulique des ouvrages de traversée.....	40
V.3.1.1. Calcul de débit des ouvrages de traverse .....	40
a.3.1.1. Règles à respecter .....	41
IV.3.2. Exemple de calcul des ouvrages de traverse.....	41
V.3.2.1. Buse .....	41
V.3.2.2. Dalot .....	42
IV.3.3. Calcul hydraulique des ouvrages longitudinaux.....	44
V.3.3.1. Calcul de la surface du bassin versant .....	44
V.3.3.2. Application au projet .....	45
IV.3.4. Calcul hydraulique des ponts.....	45
V.3.4.1. Application au projet .....	46
<b>IV.4. Conclusion</b> .....	<b>46</b>

## CHPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

<b>V.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>47</b>
<b>V.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE</b> .....	<b>47</b>
<b>V.3. RECONAISSANCE GEOTECHNIQUE</b> .....	<b>49</b>
V.3.1. Essai in situ .....	49
V.3.1.1. Les puits de reconnaissance .....	49
V.3.1.2. Essai au pénétromètre dynamique lourd .....	51
V.3.1.3. Essai pressiometrique menard (NF P 94-110-1) .....	52
V.3.2. Essai au laboratoire.....	55
V.3.2.1. Essai d'identification.....	55
<b>V.4. CONCLUSION</b> .....	<b>62</b>

## CHPITRE VI : TERRASSEMENTS ET STRUCTURE D'ASSISE

<b>VI.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>63</b>
<b>VI.2. DEBLAIS</b> .....	<b>63</b>
VI.2.1. Géométrie .....	63
VI.2.2. Stabilité des talus en déblais .....	63
VI.2.3. Réutilisation des matériaux en remblais .....	64
<b>VI.3. REMBLAIS</b> .....	<b>66</b>
VI.3.1. Gîtes d'emprunts .....	66
VI.3.2. Géométrie .....	67
VI.3.3. Stabilité des talus en remblais .....	69
VI.3.4. Tassements .....	70
<b>VI.4. STRUCTURE D'ASSISE FERROVIAIRE</b> .....	<b>70</b>
VI.4.1. La couche de ballast .....	70
VI.4.2. Caractéristiques du ballast .....	71
VI.4.3. Profil du ballast .....	71
VI.4.4. La sous-couche .....	72
VI.4.5. Composants de la sous-couche .....	72
VI.4.6. Profil de la sous-couche .....	72
VI.4.7. La plateforme .....	72
VI.4.7.1. Classe de portance des plateformes .....	73
VI.4.7.2. Sensibilité au gel des sols .....	73
VI.4.8. Type de structure d'assise .....	73
VI.4.8.1. Structures d'assise normales .....	74
VI.4.8.2. Structures d'assise avec couche de forme rapportée .....	74
VI.4.9. Classement de la ligne en groupe UIC .....	75
VI.4.10. Choix et dimensionnement de la structure d'assise .....	75

## CHPITRE VII : AMENAGEMENT DES GARES DE BOUMADFAA ET EL HOCEINIA

<b>VII.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>76</b>
<b>VII.2. TYPES DES GARES</b> .....	<b>76</b>
<b>VII.3. AMÉNAGEMENT DES GARES</b> .....	<b>76</b>
VII.3.1. La marge de glissement à l'aval des signaux .....	76
VII.3.2. Garage franc .....	76
VII.3.2. Garage franc .....	76
VII.3.3. La longueur utile d'une voie de stationnement .....	77
VII.3.4. Le heurtoir .....	77
VII.3.5. Les appareils de voie .....	77
VII.3.6. Distance de freinage .....	77
<b>VII.4. APPLICATION AU PROJET</b> .....	<b>77</b>
<b>VII.5. L'ASSAINISSEMENT DE LA GARE</b> .....	<b>80</b>
<b>VII.6. CONCLUSION</b> .....	<b>80</b>

**CHPITRE VIII : SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION**

VIII.1. INTRODUCTION.....	81
VIII.2. PRÉSENTATION LE SYSTÈME ERTMS/ETCS NIVEAU 2 .....	81
VIII.2.1. Le sous-système GSM-R.....	81
VIII.2.2. Les balises .....	82
VIII.2.3. RBC (Radio Block Centre : cabine de signalisation informatisée).....	82
VIII.2.4. Les équipements ERTMS à bord des locomotives .....	82
VIII.2.5. Avantages de l'ERTMS .....	83
VIII.3. ELECTRIFICATION.....	83
VIII.3.1. Le Système 1X25 KV .....	83
VIII.3.2. Le système 2X25 KV /50Hz .....	84
VIII.3.3. Analyse comparatifs des deux systèmes .....	85
VIII.4. ÉQUIPEMENT D'ÉLECTRIFICATION .....	86
VIII.5. CONCLUSION .....	87

**CHPITRE IX : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT**

IX.1. INTRODUCTION .....	88
IX.2. CONTEXTE LÉGAL .....	88
IX.3. DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	88
IX.4. DESCRIPTION DE L'ÉTAT INITIAL .....	89
IX.4.1. Description du milieu physique .....	89
IX.4.2. Description de milieu naturel .....	89
IX.4.3. Description du milieu socio-économique .....	89
IX.5. ÉVALUATION DES IMPACTS POUR CHAQUE PHASE DU PROJET .....	90
IX.6. MESURES D'INSERTION ET D'ATTÉNUATION PROPOSÉES .....	92
IX.6.1. Milieu physique .....	92
IX.6.2. Milieu biologique .....	92
IX.6.3. Milieu humain.....	93
IX.6.4. Milieu sonore .....	93
IX.6.5. Milieu visuel .....	93
IX.7. SURVEILLANCE ET SUIVI ENVIRONNEMENTAUX.....	95
IX.7.1. Exemple de surveillance et suivi environnementale.....	95
IX.8. CONCLUSION .....	96
DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF .....	97
CONCLUSION GENERALE .....	99

**BIBLIOGRAPHIE****ANNEXE**

**Liste des figures**

Figure I- 1: Carte du chemin de fer d'Arzew à Saïda et prolongements et de la concession des terrains à ALFA. 1881 .....	3
Figure I- 2 : Réseaux ferroviaire dans le territoire Algérienne au 19 <sup>ème</sup> siècle.....	4
Figure I- 3 : Ponts sur des lignes de chemins construits au 19 <sup>ème</sup> siècle.....	4
Figure I- 4 : Quais d'Alger avec tramway et la gare au fond à droite (vers 1900) .....	5
Figure I- 5 : Le réseau ferroviaire sur le territoire algérienne jusqu' au 1942.....	6
Figure I- 6 : La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes.....	7
Figure I- 7 : La rocade des Hauts Plateaux.....	8
Figure I- 8 : Ligne Minière .....	8
Figure I- 9 : Pénétrante Est .....	9
Figure I- 10 : Pénétrante Ouest.....	9
Figure I- 11 : Pénétrante Centre.....	9
Figure I- 12 : Boucle Sud-Est .....	10
Figure I- 13 : Boucle Sud-Ouest.....	10
Figure II- 1 : localisation de projet .....	11
Figure II- 2 : zonage sismique de l'Algérie .....	13
Figure III- 1: Section du rail Vignole 60E1 .....	15
Figure III- 2 : Traverse monobloc .....	16
Figure III- 3 : Traverse bi-bloc .....	16
Figure III- 4 : Semelles en élastomère.....	16
Figure III- 5 : Type des attaches .....	17
Figure III- 6 : Attache type NABLA .....	17
Figure III- 7 : Écartement de la voie.....	17
Figure III- 8 : Assemblage des constituants .....	17
Figure III- 9 : Les éléments de tracé en plan .....	18
Figure III- 10 :Les forces agisses sur le train en courbure .....	19
Figure III- 11: Raccordement avec clotoïde .....	25
Figure III- 12 : les éléments d'un raccordement en long .....	30
Figure III- 13 : les constituants de profil en travers.....	32
Figure III- 14 : Plate-forme à double voie selon SNTF .....	33
Figure IV- 1 : Les principales bassins versants en Algérie .....	34
Figure IV- 2 : Exemple de buse.....	42
Figure IV- 3 : Schéma représentatif d'un dalot .....	43
Figure IV- 4 : Schéma représentatif de talus .....	44
Figure V-1 : Extrait de la carte géologique du DJBEL GONTAS au 1/50000 <sup>ème</sup> .....	48
Figure V-2 : Extrait de la carte géologique de la zone Bou Medfa au 1/50000 <sup>ème</sup> .....	48
Figure V- 3 : Puits de reconnaissance.....	51
Figure V- 4 : Schéma de principe d'un préssiomètre .....	52
Figure V- 5 : Schéma de principe d'un piézomètre ouvert .....	54
Figure V-6 : Cellule œdométrique.....	57
Figure V-7 : Exemple d'une courbe de consolidation.....	58
Figure V- 8 : Courbe de compressibilité œdométrique .....	58
Figure V- 9: Principe de l'essai de cisaillement direct.....	60
Figure V-10 : Résultats d'un essai de cisaillement direct dans le plan de Mohr .....	60
Figure VI - 1 : Localisation du gite d'emprunt par rapport la ligne ferroviaire.....	68
Figure VI - 2 : Structure d'un remblai courant.....	69
Figure VI - 3 : Structure d'un remblai en zone inondable.....	70
Figure VI - 4 : Profil en travers schématique des couches d'assises.....	72
Figure VI - 5 : Schéma d'une structure d'assise normale.....	76
Figure VI - 6 : Schéma d'une structure d'assise avec une couche de forme rapportée .....	76
Figure VII- 1: Garage franc .....	81
Figure VII- 2 : Un heurtoir .....	82
Figure VII- 3 : Coupe transversale de la gare de Boumadfaa.....	84
Figure VII- 4: Coupe transversale de la gare d'El Houceinia .....	84

Figure VII- 5 :L'appareil de voie UIC 60-1:12-500.....	85
Figure VIII- 1 : Niveau 2 du système de signalisation.....	81
Figure VIII- 2: Une balise installée sur la voie.....	82
Figure VIII- 3 :L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap 10).....	82
Figure VIII- 4: Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV.....	84
Figure VIII-5: Schéma exemplaire du système d'alimentation 2X25 avec poste autotransformateurs.....	85
Figure VIII- 6: Pantographe.....	86
Figure VIII- 7: Portique rigide.....	87
Figure VIII- 8 : Un massif.....	87
Figure IX- 2: Passage à faune.....	92
Figure IX- 1: Écran acoustique.....	92

**Liste des tableaux**

Tableau III- 1: Valeur minimale de l'alignement recommandé par l'UIC (fiche 703 R).....	18
Tableau III- 2 : Valeurs limite de dévers.....	20
Tableau III- 3 : Valeurs limite de variation temporaire de dévers.....	21
Tableau III- 4 : valeur limite de l'insuffisance(mm).....	21
Tableau III- 5 : Valeur de l'excès de dévers admissible(SNTF).....	22
Tableau III- 6 : Valeurs de variation de l'insuffisance de dévers(SNTF).....	22
Tableau III- 7 : les paramètres significatifs de l'axe en plan entre pk 82+420 et 102+112.....	24
Tableau III- 8 : les données de l'arc choisi pour l'exemple.....	26
Tableau III- 9 : les rayons minimale de profil en long.....	29
Tableau III- 10 : Longueur minimale d'éléments du profil en long.....	29
Tableau IV- 1 : Précipitations annuelles.....	35
Tableau IV- 2 : Précipitation journaliers maximale.....	37
Tableau IV- 3: Valeurs de $K_s$ selon SETRA.....	41
Tableau IV- 4 : Dimensions des ouvrages de traverse de projet.....	44
Tableau IV- 5 : Les caractéristiques du talus.....	45
Tableau IV- 6 :Calcul hydraulique des ponts de tracé étudié.....	46
Tableau V- 1 : coordonnées et descriptions des puits.....	50
Tableau V- 2 : Récapitulation des résultats du PDL.....	52
Tableau V- 3 : Description des sondages.....	53
Tableau V- 4 : Niveaux piézométriques des sondages.....	54
Tableau V-5 : Tableau récapitulatif des résultats d'identifications des sols.....	56
Tableau V- 6 : Qualificatif du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1).....	59
Tableau V- 7 : Tableau récapitulatif des résultats des essais mécaniques.....	61
Tableau VI - 1 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais.....	68
Tableau VI - 2 : Résultats des essais d'identification des matériaux réutilisés.....	69
Tableau VI - 3 : Récapitulatif des essais mécaniques.....	69
Tableau VI - 4 : Tableau de classification selon GTR.....	70
Tableau VI - 5 : Tableau de classification selon UIC719.....	70
Tableau VI - 6 : Localisation des zones de remblais.....	70
Tableau VI - 7 : Résultats des essais au laboratoire pour les matériaux des gisements.....	71
Tableau VI - 8 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité d'un talus en remblais.....	74
Tableau VI - 9 : Coefficient de dureté globale exigé pour le ballast.....	76
Tableau VI - 10 : Résultat de calcul du coefficient de dureté globale pour le gite N° 4.....	76
Tableau VI- 11 : Classification de portance des plateformes selon UIC719.....	78

# Résumé

Le présent mémoire est consacré à l'étude d'un tronçon de dédoublement de la ligne ferroviaire reliant El Afroun et Khemis Miliana en phase d'avant-projet détaillé (APD), ce tronçon qui débute du pk 82+420 ver pk 100+510 est établis en tenant compte de l'aspect géologique, géotechnique et hydraulique de la région. En plus du tracé, un aménagement des gares de BOUMADFAA et d'EL HOCEINIA est proposé. La totalité de cette étude est menée suivant les normes UIC et en respectent les recommandations de la SNTF et en utilisant le logiciels COVADIS (Autopiste) , SLID 6.0 et GEO 5.

**Mots clés :** dédoublement, ligne ferroviaire, APD, aménagement, tracé, gare.

## Abstract

This project is mainly to the study of section of the double railway line connecting El Afroun and Khemis in the step of detailed design, this section which is from the pk 82+420 to pk 100+510 is established by geological, geotechnical and hydrological studies of the area, plus the line design, a construction of a passengers stations of BOUMADFAA et EL HOCEINIA is proposed. This project was designed according to UIC standards and respecting the recommendations of SNTF and using software like COVADIS (Autopiste) ,SLID 6.0 and GEO 5.

**Key words:** double line, railway design, station.

## ملخص

هذه المذكرة تتعلق بدراسة شطر من مشروع تثنية خط السكة الحديدية الرابط بين العفرون وخميس مليانة في مرحلة التصميم التفصيلي. هذا الشطر الممتد من النقطة الكيلومترية رقم 420+82 الى النقطة الكيلومترية رقم 510+100 تمت دراسته آخذين بعين الاعتبار الخصائص الجيولوجية و الجيوتقنية و الهيدرولوجية للمنطقة. بالإضافة الى دراسة خط السكة، اقترحنا تهيئة محطتي بومدفع و الحسينية. تمت دراسة هذا المشروع وفقا لمعايير الإتحاد الدولي للسكك الحديدية UIC وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية SNTF و استخدام البرمجيات و SLID 6.0.

GEO 5 و COVADIS (Autopiste)

كلمات مفتاحية: تثنية، سكة حديدية، تهيئة، محطة.

## INTRODUCTION GENERALE

L'infrastructure de transport est un facteur principal pour le développement économique et social pour n'importe quelle société, dans les pays leader de ce monde, la densification des différents réseaux de communication (routes, chemin de fer, transport aérienne, fibre optique ...) est l'un des principales phénomènes observé dans l'analyse de tissu économique. Le transport joue un rôle prépondérant, non seulement il facilite les échanges entre les agents économiques, mais également améliore la circulation des personnes et des biens, des idées et des services, ainsi que le raffermissement des liens d'amitié et de fraternité entre les peuples.

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique avec près de 2,5 millions de km<sup>2</sup>. Sa croissance démographique ne cesse de progresser : il comptait 37 millions d'habitants en 2011 et en totalisera 50 en 2030. Son PIB est le plus élevé d'Afrique du Nord et le quatrième au plan continental, avec 189 milliards de dollars en 2011. Ses réserves de change culminent à 183 milliards de dollars et il est le quatrième exportateur mondial de gaz.

À l'échelle continentale, l'Algérie apparaît comme le maillon fort. Mais si ses indicateurs de croissance sont en hausse (de l'ordre de 3,4 % pour l'année 2012), le pays n'en demeure pas moins vulnérable.

De ce fait, l'Algérie a lancé plusieurs programmes de développement de son réseau de transport notamment dans le transport ferroviaire (marchandise et voyageur), on compte plus 2445 milliards de dinar d'investissement répartie sur 44 projet sur le territoire nationale, qui contient 49 tunnels de longueur cumulé de 57 km et 222 ouvrage de longueur cumulé de 62 km. Les effets de ces investissements sont donc indiscutables, les chiffres montre la réduction de temps de parcours entre Alger et les wilayas de l'Est de pays de 9 heures à 2 heures au plus, et entre Alger et ver Oran à 1heure 25 minute seulement au lieu de 4 heures. C'est ainsi notre sujet de fin d'étude est inscrit, celle de dédoublement et de modernisation de la ligne entre El Affroun et Khemis Miliana entre pk 82+420 et pk 100+510.

Le mémoire s'articule sur les aspects suivant :

- Histoire des chemins de fer en Algérie
- Présentation du projet et objectifs.
- Étude géométrique : tracé en plan, profils en long et en travers.
- Dimensionnement des ouvrages hydrauliques issus de l'étude hydrologique et hydraulique.
- Étude géotechnique et leur application dans la stabilité des pentes, calcul des tassements et dimensionnement de la structure d'assise.
- Aménagement des gares de Boumadfaa et El Hoceinia

À la fin de notre travail, nous donnerons une estimation du coût global du notre rançon.

# CHAPITRE I :

## LES CHEMINS DE FER EN ALGERIE

## I.1. INTRODUCTION

Le transport été toujours ;au fil des années ; la préocopation majeur de l'etre humain ,l'humanité a developpé beaucoup des techniques et de transport a traver les ciecles ,il essay toujours d'exploiter le toute l'espace (terrestre , aeriene et maritime ).

Le chemin ferrée est l'un des inventions de l'homme la plus spectaculaire qui fait leur présence dans la civilisme humaine,on parle surtout de la révolution industrielle qui a caracterisé l'europe dans le IX<sup>ème</sup> siècle.

## I.2. HISTORIQUE

L'histoire des chemins de fer algériens commence en 1857 durant la colonisation française de l'Algérie avec la construction de 5 014 km de voies ferrées. Ce dernier plan été fait en trois étapes principales :

### ✓ 1857-1878

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 de voies ferrées dans sa colonie d'Algérie. Le premier chantier débute le 12 décembre 1859, il porte sur la construction de la ligne d'Alger à Blida. Sa gestion est confiée à la société privée dénommée Compagnie des chemins de fer algériens.

Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-Denis-du-Sig ainsi qu'une liaison entre le port de Philippeville (auj. Skikda) et Constantine, mais les problèmes financiers poussent la compagnie à en interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger à Blida, qui sera ouverte le 8 septembre 1862.

Cinq autres compagnies sont créées pour construire les lignes restantes :

- ✓ la Compagnie des chemins de fer Bône-Guelma (BG),
- ✓ la Compagnie de l'Est Algérien (EA),
- ✓ la PLM réseau d'Algérie (PLM),
- ✓ la Compagnie de l'Ouest Algérien (OA)
- ✓ la Compagnie Franco-Algérienne.

L'objectif des 1 357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1 365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

### ✓ 1879-1906

Le 18 juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelon national pour renforcer les lignes « d'intérêt général » avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites « d'intérêt local » est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales. Dans les trente années qui suivent, 2 035 km de lignes chemin de fer s'ajoutent en constituant le réseau ferroviaire algérien.

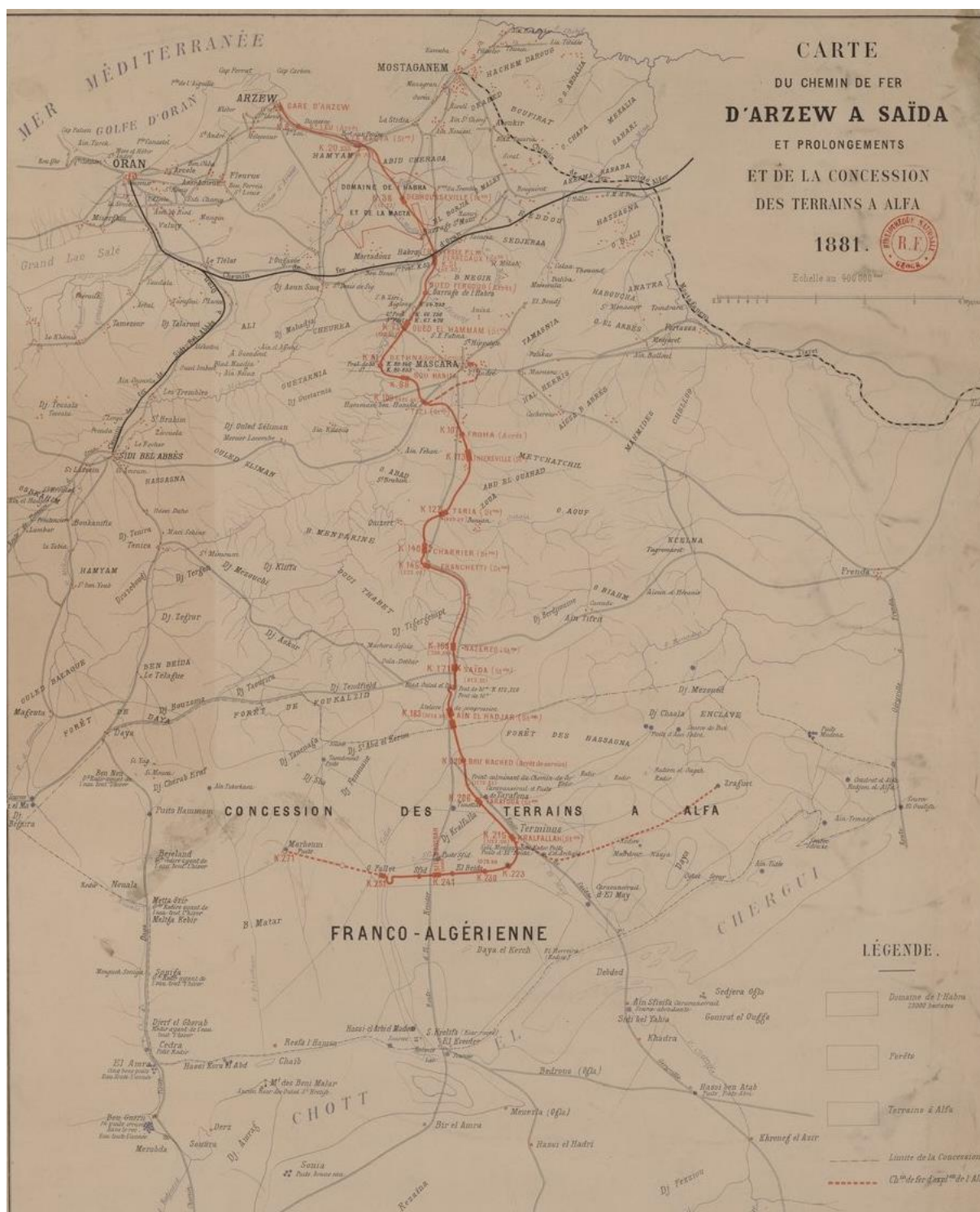


Figure I- 1: Carte du chemin de fer d'Arzew à Saïda et prolongements et de la concession des terrains à ALFA. 1881

En 1900, la Compagnie franco-algérienne, endettée, perd sa concession. Le même sort touche la Compagnie des chemins de fer Bône-Guelma en 1905 puis celle de l'Est Algérien en 1908.



Figure I- 2 : Réseaux ferroviaire dans le territoire Algérienne au 19<sup>ème</sup> siècle

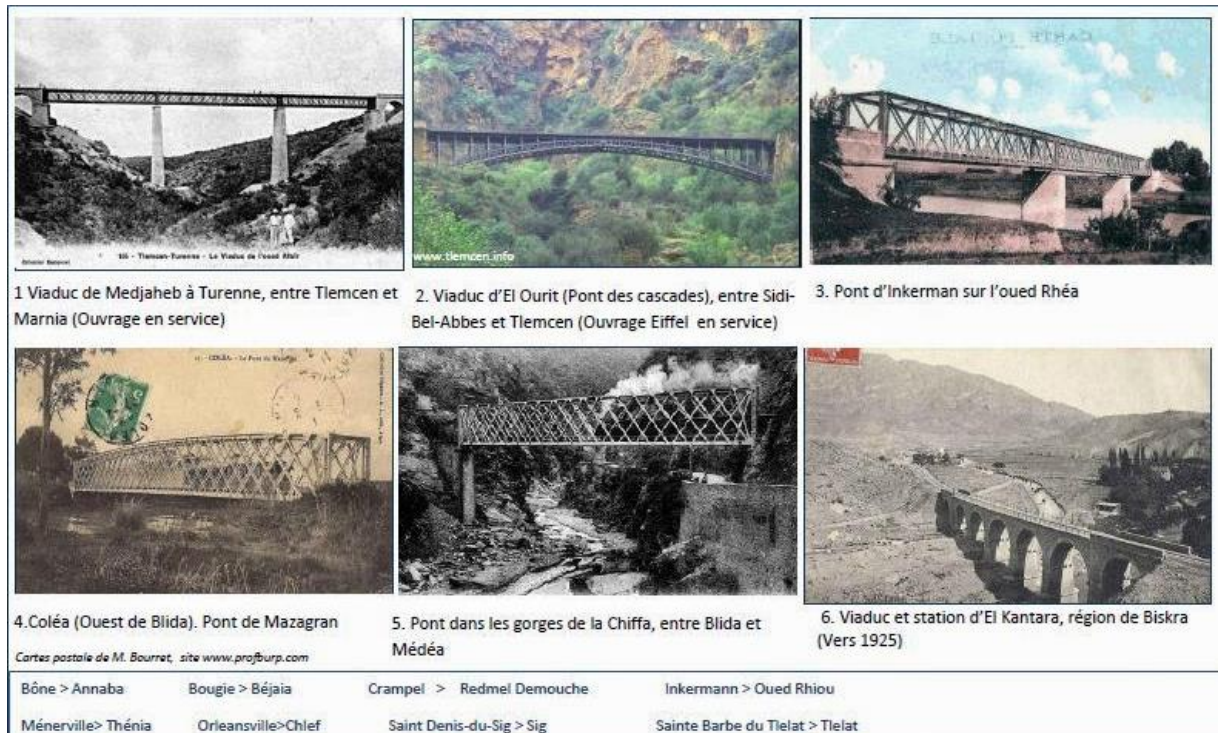


Figure I- 3 : Ponts sur des lignes de chemins construits au 19<sup>ème</sup> siècle

✓ 1906-1946

À partir du 27 septembre 1912, les réseaux des compagnies en faillite passent sous le contrôle de la Compagnie des Chemins de fer algériens de l'État (CFAE). Elle exploite le

réseau ferroviaire avec la seule compagnie survivante, la filiale algérienne de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, la PLMA.



Figure I- 4 : Quais d'Alger avec tramway et la gare au fond à droite (vers 1900)

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

Le 1er juillet 1921, les lignes existantes sont réparties entre les compagnies CFAE et PLMA : ce partage dura jusqu'au 30 mai 1938, date à laquelle les lignes d'intérêt général des deux compagnies sont nationalisées et rattachées à la Société nationale des chemins de fer français (SNCF). La gestion des lignes algériennes est alors confiée à compter du 1er janvier 1939 à l'Office des chemins de fer algériens (OCFA).

À la fin de la Seconde Guerre mondiale le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5 015 km. Le service proposé est identique à celui de la Métropole, supérieur parfois : trains de nuit composés de voitures lits, trains rapides de jour INOX de style Mistral, diésélisation totale contrairement à la SNCF qui utilise encore de nombreuses locomotives à vapeur.

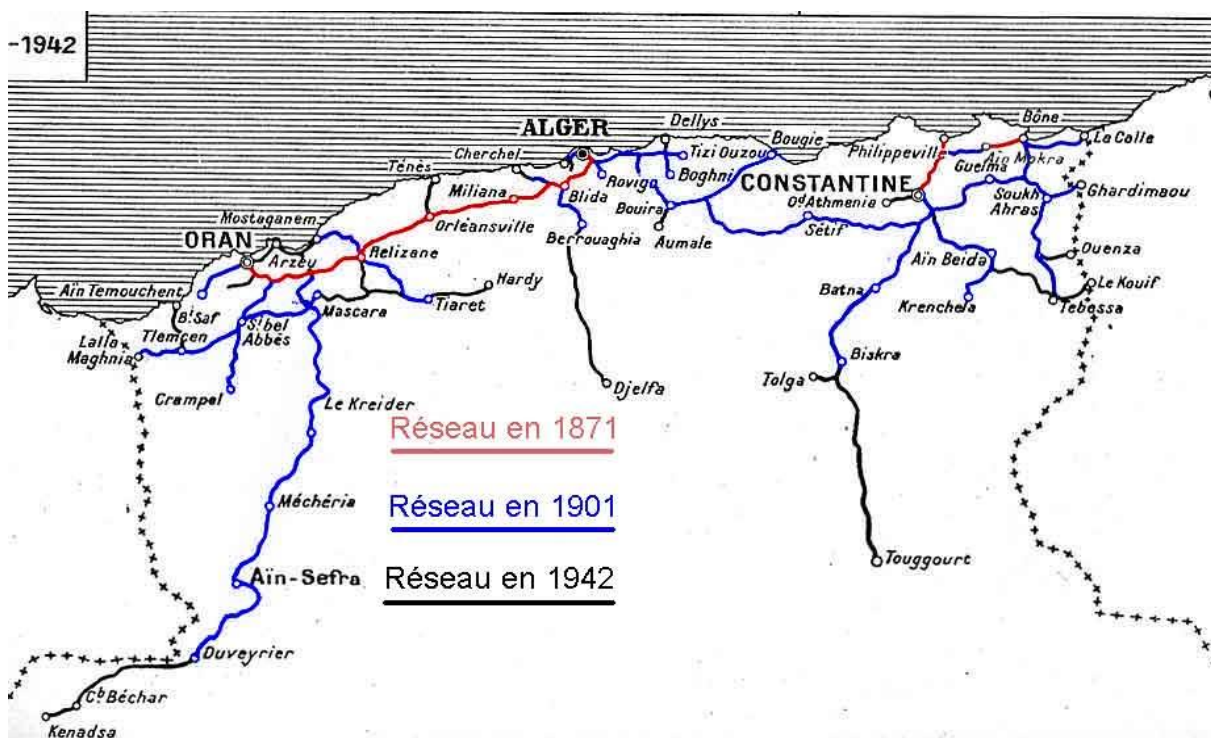


Figure I- 5 : Le réseau ferroviaire sur le territoire algérienne jusqu'au 1942

✓ **POST INDIPENDANCE**

La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens (en gardant le même sigle SNCF) le 16 mai 1963. Le matériel français est conservé mais, rapidement, des commandes de locomotives et de voitures, provenant des Pays du bloc soviétique, complètent le parc.

En 1975, le révolutionnaire TRANS-MAGHREB Casablanca-Oran-Alger-Tunis, entièrement composé d'un nouveau matériel INOX construit en France, est mis en service. Mais très rapidement, des problèmes politiques entre les États traversés provoquent sa limitation puis son arrêt définitif dans les années 1980.

Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'État français, l'état algérien divise la SNCF en trois organismes distincts, La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), la société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF) et la société d'engineering et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF).

Un nouveau programme d'investissement permet la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de la SNERIF et de la SIF dont les prérogatives sont reprises par la SNTF qui changera de statut en 1990 pour devenir une EPIC.

À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km.

### I.3. LES PLUS IMPORTANTS PLANS D'INVESTISSEMENT AU XXI<sup>ÈME</sup> SIÈCLE

En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025

Ce dernier programme est reparti sur huit (08) axes de développement principal :

#### ✓ **Axe 01 : la rocade ferroviaire Nord et ces dessertes**

Elle irrigue la principale ville de Nord de l'Algérie et va des vers des frontières Est vers les frontières Ouest sur 1250 km. Les travaux de modernisation et de dédoublement sont en cours sur 848 Km avec une vitesse qui varie entre 160-220 Km/h, de ce fait, il va desservies 60% de la population totale répartie sur 22 Wilayas.



Figure I- 6 : La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes

#### ✓ **Axe 02 : la rocade ferroviaire des Hauts Plateaux**

Pour désenclaver les villes des Hauts Plateaux et l'exploitation économique de cette région cette rocade sera parallèle à celle du nord et sera reliée par de dessert, cette investissement s'étendue sur 1160 Km qui desserve 10 Wilayas qui représentent environ 7 millions d'habitant (approximativement 20 % de la population globale)



Figure I- 7 : La rocade des Hauts Plateaux

✓ **Axe 03 : Ligne Minière**

Appelée ainsi pour être le lien vital avec les mines de sud-est algérien, cette ligne va port d’Annaba ver les mines de Djebel Onk, sur un linéaire de 388 km

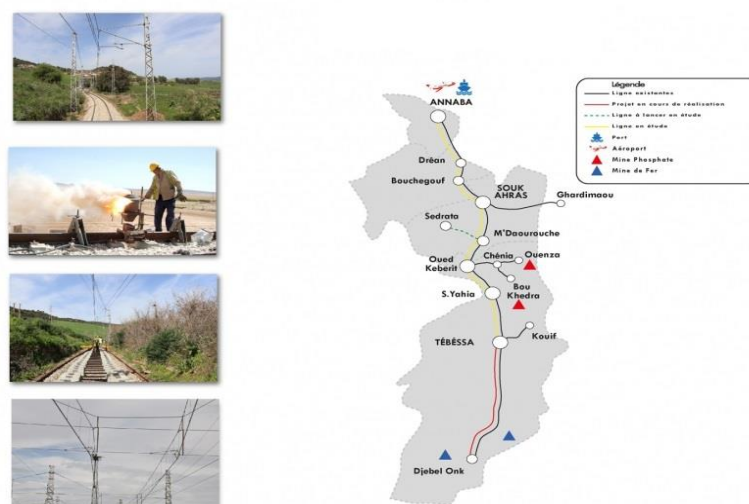


Figure I- 8 : Ligne Minière

✓ **Axe 04 : Pénétrante Ouest**

C’est la ligne Tabia-Bechar, sur un linéaire de 580 km. Elle est opérationnelle depuis 2011, elle est dotée d’un système de signalisation et télécommunication de type GSM-R

✓ **Axe 05 : Pénétrante Est**

Cette liaison de 457 km permettra de désenclaver les villes des Oasis et de desservira le pole pétrolier et la Ville Nouvelle de Hassi-Bessaoud a une vitesse de 220 km/h



Figure I- 10 : Pénétrante Ouest

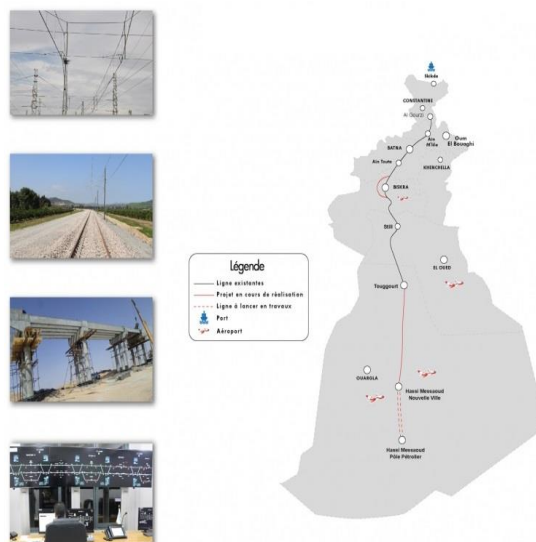


Figure I- 9 : Pénétrante Est

✓ **Axe 06 : Pénétrante Centre**

Relie la wilaya de Blida (Chiffa) à la wilaya de Laghouat sur 390 km.

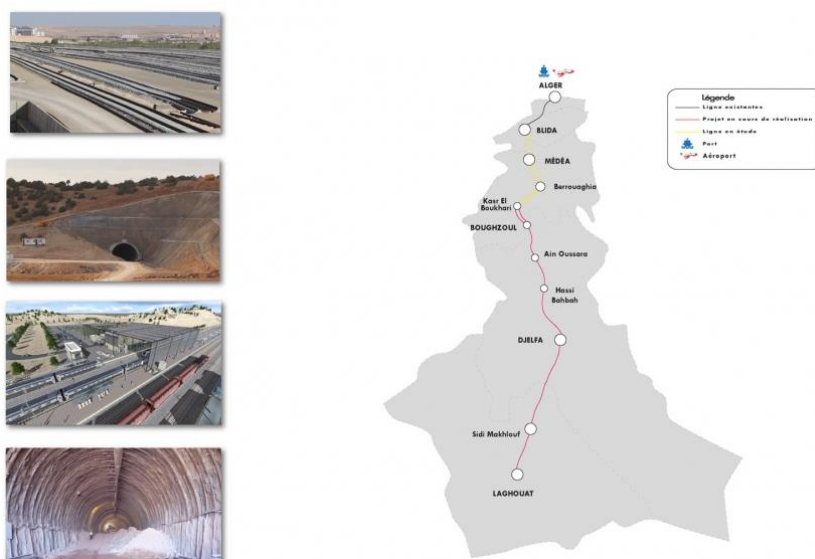


Figure I- 11 : Pénétrante Centre

✓ **Axe 09 : Boucle Sud-Est**

Elle concerne une boucle de 425 km allant de Laghouat à Tougourt en passant par Ouargla



Figure I- 12 : Boucle Sud-Est

✓ **Axe 08 : Boucle Sud-Ouest**

Il s'agit d'une boucle de 1500 km de voies elle reliera toutes les villes-oasis de sud-ouest, en allant de Ghardaïa jusqu'à la jonction avec la ville de Béchar



Figure I- 13 : Boucle Sud-Ouest

**I.4. CONCLUSION**

À travers les différents plans de développement, l'Algérie va devenir un leader dans le domaine ferroviaire dans la région maghrébine et même sur l'échelle africaine.

# CHAPITRE II :

## PRESENTATION DE PROJET

## II.1. INTRODUCTION

Le projet s'inscrit dans le cadre de Schéma National de l'Aménagement de Territoire (SNAT) pour compléter la rocade ferroviaire nord et ces dessertes, pour cela L'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires ANESRIF «maitre d'ouvrage délégué» a finalisé l'étude De la nouvelle ligne ferroviaire, accompagné d'un groupement de bureaux d'études Franco-Allemand SYSTRA-POYRY « maîtrise d'œuvre » chargé du suivi des travaux de cette ligne , avec le groupement d'entreprise Chino-Turque CCECC-OZGUN « execution des travaux ».

## II.2. CONTEXTE GENERALE

Le projet en cours de réalisation concerne les travaux de **dedoublement** de la voie avec **rectification** de tracé entre les gares ferroviaires d'El afroun (Blida) – Khemis Miliana (Ain Defla) sur 56 Km de la ligne Alger /Oran, qui servira aux transports mixtes (voyageurs et marchandises) avec une vitesse de référence de 160 Km/h pour le trafic voyageurs et 100Km/h pour le trafic marchandise.



Figure II-1 : localisation de projet

Les 56 Km de projet sont répartis sur les wilayates comme suit :

- **Blida** :13.38 Km
- **Tipaza** :3.6 Km
- **Ain Defla** :39.34 Km

Le projet thème de notre PFE occupe une importance économique majeur avec un cout de réalisation qui dépasse les 40 milliards de dinar.

La nouvelle ligne ferroviaire comporte : six(06)gares, treize (13)ponts ferroviaires, deux (02) ponts route, dix-neuf(19)ponts en cadre fermés, quatre-vingt(80)ouvrages hydrauliques, deux(02)tunnels qui représentent un linéaire de 17 km soit 30 % du tracé, cinq(05)batiments voyageurs et vingt –quatre (24) rétablissements routiers .

De plus, le projet occupe une importance social remarquable, il permet d'offrir presque 1500 postes de travail (dont 1040 Algeriens )qui travaillent jour et nuit pour achever ces travaux au delais souhaité .

Dans ce modeste travail, notre étude porte sur un tronçon de dix-huit (18) Km, qui va commencer à la sortie du **tunnel Ramdan** au pk 82+420 vers pk 100+510 juste après la **gare d'Elhocenia**, nous avons aussi élaboré un aménagement des gares de Boumadfaa et Elhocenia en élaborant les études y afférentes (étude de tracé, géotechnique, hydrologique et hydraulique )

### **II.3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

#### **II.3.1. wilaya de Blida**

La wilaya de Blida est une collectivité de nord du pays, la périphérie nord de la wilaya tend à s'agglomérer progressivement avec les banlieues internes à la wilaya d'Alger (communes de Meftah, Larbaa, Bougara...).

La wilaya de Blida est située dans le Tell central, elle est délimitée :

- au nord, par les wilayas d'Alger et de Tipaza ;
- à l'est, par les wilayas de Boumerdès et de Bouira ;
- au sud, par la Médéa et d'Aïn Defla

#### **II.3.2. Wilaya d'Ain Defla**

La collectivité d'Ain Defla se situe au centre de l'Algérie à 145 km au sud ouest d'Alger dans une zone relais entre l'Est et l'Ouest du pays, elle est délimitée :

- au nord, par la wilaya de Tipaza
- au nord-est, par la wilaya de Blida
- à l'est, par la wilaya de Médéa
- au sud, par la wilaya de Tissemsilt
- à l'ouest, par la wilaya de Chlef

#### **II.3.3. Relief de la région**

La zone se compose principalement d'une importante plaine et d'une chaîne de montagnes

- la plaine de la Mitidja, qui s'étend d'Ouest de la wilaya de Blida en Est est une zone agricole riche. On y trouve des vergers, apiculture, agrumes, arbres fruitiers, vigne, mais également des cultures industrielles.
- la zone de l'Atlas blidéen et le piémont, la partie centrale de l'Atlas culmine à 1 600 mètres, les forêts de cèdres s'étendent sur ses montagnes. Le piémont dont d'altitude varie entre 200 et 600 mètres, présente des conditions favorables au développement agricole.
- Une zone montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell, elle est formée par le massif de la Dahra au nord qui culmine au montagne Zaccar (1550 m) au nord de Miliana, par l'Ouarsenis au sud et la vallée de Chellif entre les deux massifs.

#### **II.3.4. Climat de la région**

La région possède un climat méditerranéen semi-aride avec une pluviométrie généralement plus importante dans les montagnes que dans la plaine. Les précipitations sont plus importantes en mois de décembre, janvier et février, avec un caractère de continentalité très marqué. La pluviométrie varie entre 500 à 600 mm/an.

### II.3.5. Sismicité de la zone

D'après le règlement parasismique algérien des ouvrages d'art (RPOA-2008) le projet se situe dans une zone de sismicité élevée II-b

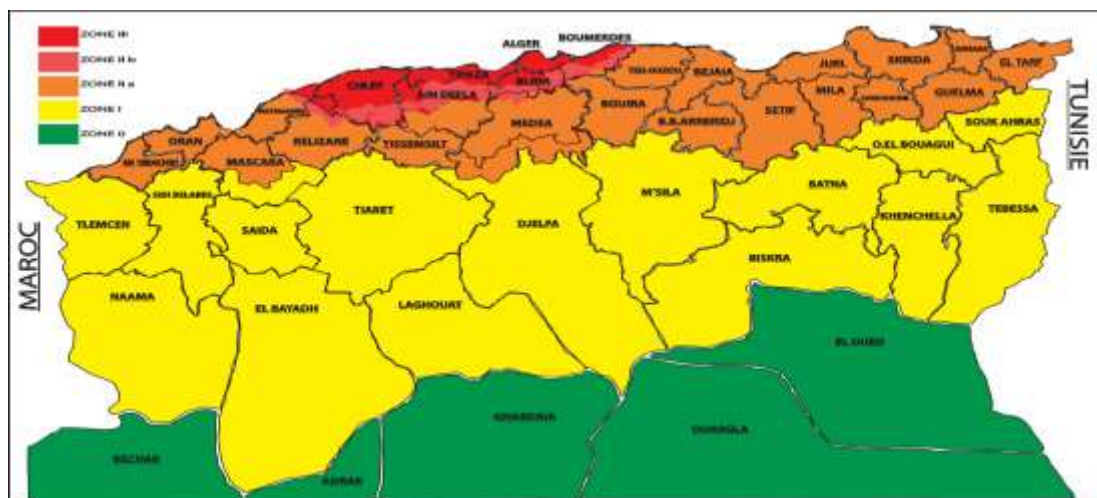


Figure II- 2 : zonage sismique de l'Algérie

### II.4. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC

La ligne en cours de réalisation est une ligne de trafic mixte avec vitesse de trafic de voyageurs de 160 km/h, donc la ligne est classée dans la deuxième catégorie (II) selon les normes UIC (703 R)

### II.5. OBJECTIFS DE PROJET

Les objectifs fixés par les autorités algériennes sont :

- ✓ Augmenter la fréquence et la vitesse commerciale des trains ; le réseau ferroviaire doit faire face à un trafic relativement important sur l'artère Est –Ouest.
- ✓ La projection d'une bonne infrastructure de communication en concertation avec les autorités locales, qui contribue au développement du transport ferroviaire de la région.
- ✓ Développement et création des nouvelles zones industrielles et logistiques.
- ✓ Construction d'une nouvelle ligne à double voie électrifiée.
- ✓ Modernisation de la Rocade Nord.
- ✓ Augmenter la sécurité en évitant les sinuosités.
- ✓ Réduire le temps de parcours entre Alger et Oran.
- ✓ Élaborer un profil adapté à l'électrification.
- ✓ Améliorer les conditions d'exploitation avec un relèvement significatif de la vitesse.
- ✓ Amélioration des performances du chemin de fer.
- ✓ Offrir un transport ferroviaire plus compétitif.
- ✓ Conservation de la nature et de l'environnement.
- ✓ Création du poste d'emplois permanente et temporaire.
- ✓ Augmentation des échanges commerciaux entre les wilayas de centre du pays.

## II.6. DONNEES GENERALE DE PROJET

- ✓ Trafic mixte (marchandise et voyageur).
- ✓ Ligne à double voie(DV) de 56 km.
- ✓ Nombre de gares 6 gares.
- ✓ Vitesse Train Voyageur : 160 km/h.
- ✓ Vitesse Train Marchandise : 100 km/h.
- ✓ Voie en rail **UIC 60**.
- ✓ Traverse en béton bi-bloc VAX U31.
- ✓ Écartement standard : **1435** mm
- ✓ Profil adapté à l'électrification.
- ✓ Charges à l'essieu 20 tonnes pour terrassements.
- ✓ Charges à l'essieu 25 tonnes pour ouvrages d'art.
- ✓ Entraxe des voies principales : 4.00m.
- ✓ Entraxe des voies secondaires : 4.50m.
- ✓ Deux(02) Tunnels : mono tube 2 796 m, bitube 2 x 7 370 m.
- ✓ Voies : 150 km.
- ✓ Viaducs : 326 ml.
- ✓ Ponts rails : 700 ml.
- ✓ Ponts routes : 120 ml.
- ✓ Type de signalisation : **ERTMS niveau 2** (*European Rail Traffic Management System*).
- ✓ Telecommunication: **GSM R** (*Global System for Mobile communication Railways*).
- ✓ Electrification : **25 kV / 50 Hz**.

## II.7. CONCLUSION

Il est clair que le projet de dédoublement de la ligne El Affroun-El Khemis a une envergure à caractère nationale, avec ces caractéristiques techniques, leur contribution pour le développement socio-économique de la région va apparaitre sûrement dans les années qui se suivent après l'achèvement des travaux.

# CHAPITRE III :

## ETUDE GEOMETRIQUE

### III.1. INTRODUCTION

Les éléments géométriques d'un tracé ferroviaire sont des données indispensables afin d'exécuter les travaux, en plus ils définissent les ouvrages nécessaires à projeter (dalot, pont, viaduc...)

### III.2. LES INSTALLATIONS FIXES DE LA VOIE

#### III.2.1. Le rail

Le rail est une longue barre d'acier profilée, qui mise bout à bout servent à former un chemin de fer. C'est le premier élément en contact entre le véhicule et la voie, il sert à la fois de guide et de support de roulement pour les trains. il sert à :

- ✓ Le guidage des roues afin d'éviter le déraillement des matériels roulants.
- ✓ La transmission et la redistribution des charges verticales des roues aux traverses.

En fait, il existe trois types principaux des rails :

- Les rails à double champignon (ancien modèle).
- Les rails à gorge (utilisé dans les tramways).
- Les rails Vignole.

Le type de rail utilisé dans le projet entre El-Affroun et El Khemis sont de type Vignole **UIC 60 E1**.

#### III.2.1.1. Les caractéristiques du rail Vignole U

- ✓ Surface de la section : 76.70 cm<sup>2</sup>.
- ✓ Masse par mètre : 60.21 Kg/m
- ✓ Moment d'inertie, axe xx : 3038.3 cm<sup>4</sup>
- ✓ Module d'inertie champignon : 333.6 cm<sup>3</sup>
- ✓ Module d'inertie patin : 375.5 cm<sup>3</sup>
- ✓ Moment d'inertie axe yy : 375.5 cm<sup>4</sup>
- ✓ Module d'inertie axe yy : 512.3 cm<sup>3</sup>
- ✓ Hauteur totale : 172 mm
- ✓ Épaisseur Champignon : 72 mm
- ✓ Épaisseur patin : 150 mm
- ✓ Épaisseur âme : 16.5 mm
- ✓ Dimension indicative B : 52.053 mm
- ✓ Dressage : classe A
- ✓ Nuance : 260 (carbone-manganèse)
- ✓ Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW,
- ✓ Résistance à la traction  $\geq 880$  N/mm<sup>2</sup>
- ✓ Allongement  $\geq 10\%$

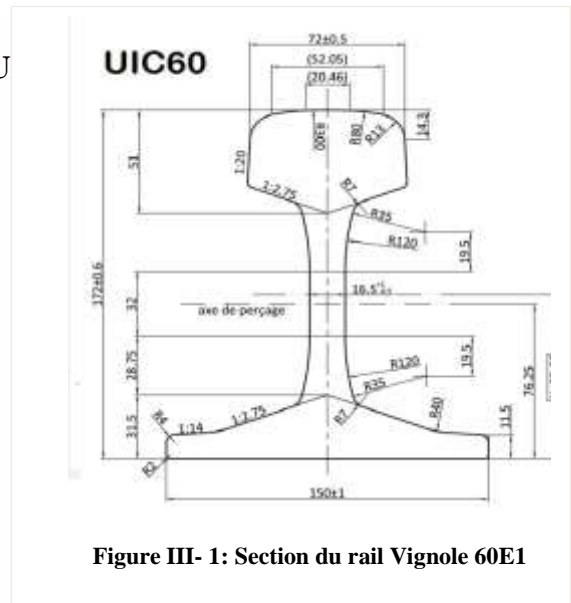


Figure III- 1: Section du rail Vignole 60E1

#### III.2.2. Les traverses

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails. Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement entre **1666-1667 traverses/Km** à la SNTF, on distingue quatre(4) types de traverse :

- ✓ **Travers en bois** : 1ère génération des traverses, elles sont généralement en chêne, en bois exotique dur, elles sont presque inutilisées aujourd'hui
- ✓ **Traverses métallique** : les traverses en acier sont des produits industriels, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé, elles s'enfoncent dans le ballast pour qu'elles s'opposent aux déplacements transversaux de la voie. Elles sont légères (environ 80 Kg) et facile à poser.
- ✓ **Traverses en béton bi-bloc** : elle est constituée de deux blocs séparés par une barre métallique.
- ✓ **Traverses en béton monobloc** : en béton précontraint.

Vu leurs prix compétitifs, la longévité (de 40 à 50 ans), et le plus de choix de type d'attache, ce type de traverse est plus utilisé dans la voie ferrée. Les traverses en béton armé ont des inconvénients notamment l'exigence d'un plus en ballast que d'autres types de traverses.

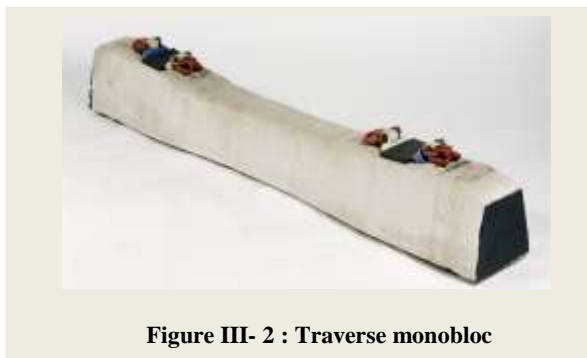


Figure III- 2 : Traverse monobloc



Figure III- 3 : Traverse bi-bloc

Le type de traverse utilisé sont les traverses en béton armé bi-bloc de type **VAX U31**, qui seront fabriqués à l'aide de deux machines pondeuse mobiles provenant d'Italie conformément aux normes suivantes :

- Norme ISO 9001 :2000
- Norme EN 13230-1 :2009
- Norme EN 13230-3 :2009
- Fiche UIC 719R :2004

### III.2.3. Les semelles

C'est un dispositif intermédiaire posé entre le rail et la traverse, elle joue un rôle très important dans la transmission des charges à la traverse, la stabilité de rail et l'absorption des ondes vibratoires mécaniques et acoustiques (joue le rôle d'un amortisseur). Elles sont en générale en élastomère de petite taille environ 9 mm d'épaisseur.



Figure III- 4 : Semelles en élastomère

### III.2.4. Les attaches

L'attache est un matériel de fixation, elle permet la fixation du rail au traverse, il existe plusieurs types d'attaches suivant la nature de la traverse.



Figure III- 5 : Type des attaches

Le type des attaches utilisées dans le projet est de type **NABLA**

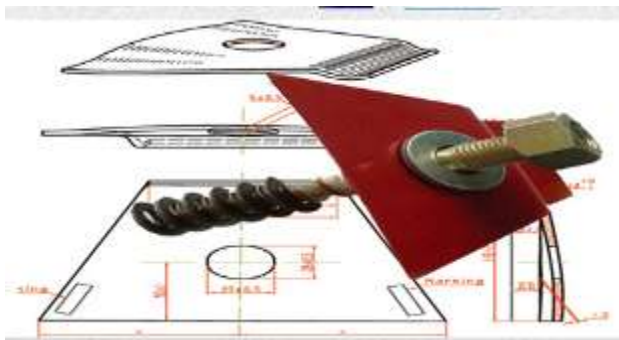


Figure III- 6 : Attache type NABLA

### III.2.5. Assemblage des constituants

Les constituant de la voies seront assemblé avec un écartement normale **e=1435 mm**

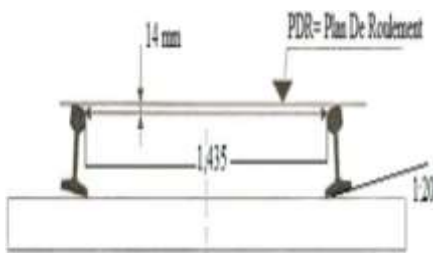


Figure III- 7 : Écartement de la voie



Figure III- 8 : Assemblage des constituants

### III.3. TRACÉ EN PLAN

#### III.3.1. Définition

Le tracé en plan d'une voie ferrée est la projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe de la voie. Il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif, chaque ligne est caractérisée par deux vitesses

#### III.3.2. Les éléments du tracé en plan

- ✓ **Alignement** : C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers .

Dans la pratique il est nécessaire de ne pas dépasser des limites au-delà de l'alignement minimal recommandé par les normes

Tableau III- 1: Valeur minimale de l'alignement recommandé par l'UIC (fiche 703 R)

valeur normale	V/2
valeur exceptionnelle	V/3

- ✓ **Les raccords circulaires** : Dans les zones où la topographie ne permet pas de réaliser des alignements on fait recours au raccordement circulaire avec le plus grand rayon possible.
- ✓ **La courbe de raccordement** : C'est un élément géométrique qui assure le raccordement entre l'alignement et l'arc de cercle, dont la courbure varie progressivement d'un rayon  $R=\infty$  à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. Il y a plusieurs types de courbe de raccordement mais la plus utilisée est la clothoïde (parabole cubique) qui présente un aspect esthétique satisfaisant et une variation uniforme de la courbure, grâce à laquelle la stabilité et le confort sont assurés. On utilise ce type de raccordement afin de

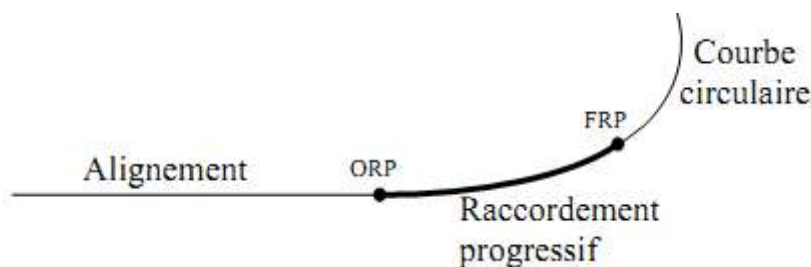


Figure III- 9 : Les éléments de tracé en plan

#### III.3.3. Conditions de raccordement

1. **Condition de gauchissement** : On doit limiter, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.
2. **Condition du confort optique** : C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.
3. **Condition du confort dynamique** : C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

### III.3.4. Paramètres significatifs

#### II.3.4.1. Le dévers

Le franchissement des courbes sans risque de déraillement du train et sans risque de dommage de la voie et création des bavures au niveau des rails causé par l'accélération latérale, ce qui fait pour diminuer l'effet de cette dernière on amène à un soulèvement d'un fil de rail par rapport à l'autre, bien évidemment le rail soulevé est celui de grand rayon de sorte que on crée une différence de niveau appelé le dévers

Cette dénivellation est généralement réalisée avec une variation graduelle de courbe de raccordement et pour mettre en place un dévers :

- ✓ On relève le rail extérieur d'une valeur de dévers calculé associé à un rayon sans modifier le niveau de rail intérieur.
- ✓ On abaisse le rail intérieur d'une valeur de dévers sans modifier le niveau de rail extérieur.
- ✓ On modifie les deux niveaux, relever le rail extérieur et abaisser le rail intérieur de sorte que la valeur de dévers est toujours la différence entre les deux niveaux.

Avec

$F_{cc}$  : force centrifuge.

$P$  : poids de véhicule.

$R$  : résultante.

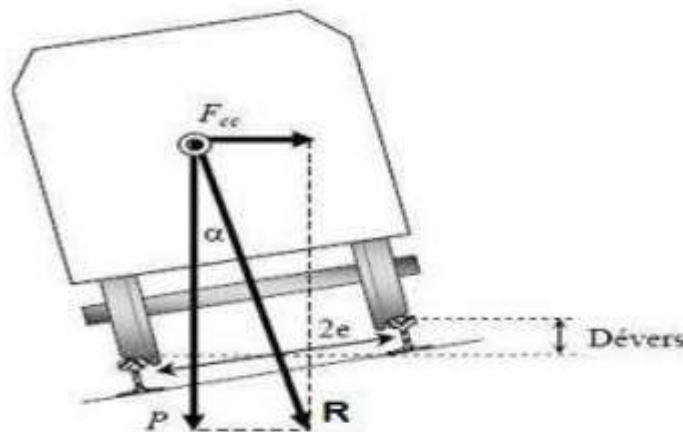


Figure III- 10 :Les forces agissés sur le train en courbure

#### II.3.4.2. Dévers théorique ( $d_{th}$ )

Pour une vitesse de train  $V$  et un rayon de courbe  $R$  de la voie on cherche un dévers nécessaire qui annule la force latérale et centrifuge afin d'assurer la stabilité de ce dernier sur la voie et le confort des voyageurs. Ce dévers est en fonction de la vitesse est appelée dévers théorique (Devers d'équilibre), Il est exprimé en mm

$$d_{th} = 11.8 \times \frac{V^2}{R}$$

Avec :  $d_{th}$  en (mm),  $V$  : vitesse en (km/h),  $R$  : rayon en (m)

#### II.3.4.3. Dévers pratique $d_p$ (SNCF IN 0272)

Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains

rapides de voyageurs que les trains lents de fret. Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique. Ce dévers est Calculé suivant la formule :

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R}$$

Avec **C** : coefficient de dévers

Théoriquement le dévers pourrait avoir une valeur aussi élevée que possible. Des considérations de confort des voyageurs et de stabilité des véhicules en cas de ralentissement ou d'arrêt en courbe conduisant à le limiter. D'après la norme SNCF la valeur limite du dévers max est :

Tableau III- 2 : Valeurs limite de dévers

valeur limite normale	160 mm
valeur limite exceptionnelle	180 mm

#### II.3.4.4. Coefficient de dévers C

Le choix de coefficient de proportionnalité appelé le coefficient de dévers constant sur une section de voie à trafic homogène donné, entre le dévers pratique ( $d_p$ ) et la courbure ( $1/R$ ), permet de respecter simultanément les valeurs limites normales ou exceptionnelles des paramètres suivantes.

- ✓ Dévers.
- ✓ Insuffisance de dévers.
- ✓ Excès de dévers.
- ✓ Variation de dévers.
- ✓ Variation de l'insuffisance de dévers.

Pour le calcul de Coefficient de dévers C on utilise la formule suivante proposé par la SNCF :

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

#### II.3.4.5. longueur de raccordement 'L' de dévers

C'est la longueur de clothoïde qui permet un raccordement convenable du dévers et de la courbe

$$L \geq \frac{d_p \times V_{max}}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

L en (m) et  $\Delta d/\Delta t$  (variation de dévers en mm) est recommandé.

Le paramètre de clothoïde (A) est calculé selon l'équation suivante :  $A = \sqrt{R \times L}$

#### II.3.4.6. variation de dévers dans les courbes de transition

Du fait de la variation du dévers dans les courbes de transition, les deux rails forment un «gauche» qui nuit à la stabilité des véhicules .

Afin d'éviter que les surcharges et les délestages puissent déstabiliser les circulations et les faire dérailler, la longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible, selon la relation suivante.

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{d}{L_{CL}}$$

**Remarque : la variation de dévers sur la longueur de clothoïde  $d/L_{CL}$  est fixé à 1mm/m lors d'élaboration de tracé en plan, il est utile lors de l'exécution des travaux.**

### II.3.4.7. Variation temporaire de dévers

aux exprimé en mm/s suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une circulation circulant à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps. la formule qui nous donne cette variation est :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L_{CL}}$$

Tableau III- 3 : Valeurs limite de variation temporaire de dévers

Valeur limite normale	50 mm/s
Valeur limite exceptionnelle	60 mm/s

### II.3.4.8. Insuffisance de dévers I

C'est la différence entre le dévers théorique des trains rapides et le dévers pratique

$$I = d_{th} - d_p = 11.8 \times \frac{V^2}{R} - d_p \leq I_{rec}$$

L'insuffisance de dévers admissible dépend de l'armement de la voie et il varie selon la catégorie de la circulation. Les valeurs limites de l'insuffisance de dévers sont définies par la SNCF dans le tableau suivant :

Tableau III- 4 : valeur limite de l'insuffisance(mm)

CATÉGORIE DE TRAFIC	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
CATÉGORIE I	110	130
CATEGORIE II	150	160
CATEGORIE III	160	180

### II.3.4.9. Excès de dévers

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers

l'intérieur de la courbe. Donc un excès de dévers est la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers normal :

$$E = d_p - d_L \leq E_{rec}$$

$d_L$  : dévers théorique des trains lents.

En Algérie on utilise les valeurs suivantes pour une vitesse courante inférieure ou égale à 220 km/h.

Tableau III- 5 : Valeur de l'excès de dévers admissible(SNTF)

valeur maximale normale	110 mm
valeur maximale exceptionnelle	130 mm

### II.3.4.10. Variation de l'insuffisance de dévers

Pour les éléments de transition avec variations uniformes de la courbure et du dévers, la relation suivante a été établie : (I étant l'insuffisance de dévers en pleine courbe).

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_{CL}}$$

Pour assurer le confort de l'utilisateur et de fait que l'être humain est très sensible aux variations d'accélération qu'aux accélérations elles-mêmes, on doit limiter cette variation :

Tableau III- 6 : Valeurs de variation de l'insuffisance de dévers(SNTF)

Valeur limite normale	75 mm/s
Valeur limite exceptionnelle	90 mm/s

**Remarque : la valeur maximale de l'excès de dévers atteinte lors de l'élaboration de l'axe en plan est 55 mm/s**

### III.3.5. Application au projet

Les données de projet

- Vitesse maximale (voyageur)=160 km/h
- Vitesse des trains lents (marchandise)=100 km/h

#### 1. calcul le rayon minimale

Il est recommandé de calculer le rayon minimale on fait référence à l'insuffisance de dévers

$$I = d_{th} - d_p = 11.8 \times \frac{V^2}{R} - d_p \leq I_{rec} \rightarrow 11.8 \times \frac{V^2}{R_{min}} - \frac{1000 \times C}{R_{min}} \leq I_{rec}$$

$$\rightarrow \frac{5.8V_{max}^2}{R_{min}} \leq I_{rec}$$

$$\rightarrow R_{min} \geq \frac{5.8V_{max}^2}{I_{rec}}$$

$$\text{AN: } R_{\min} \geq \frac{5.8 \times 160^2}{150} \approx 990 \text{ m} \rightarrow R_{\min} = 990 \text{ m}$$

Le dévers associé au rayon minimal est donné par la suite :

$$d(R_{\min}) = \frac{1000 \times C}{R_{\min}} = \frac{1000 \times 0.006 \times 160^2}{990} = 155.2$$

$d(R_{\min}) < d_{\max}$  (recommandé) donc on peut le retenir.

**Remarque : il est recommandé de choisir des valeurs de dévers de multiple de 10, il est favorable pour faciliter la tâche lors de l'exécution.**

## 2. Calcul de dévers théorique $d_{th}$

$$R = 1500 \text{ m}$$

$$d_{th} = 11.8 \times \frac{V^2}{R} = 11.8 \times \frac{160^2}{1500} = 201.39 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d_{th} = 201.39}$$

## 3. Calcul de coefficient de dévers C

$$C = 0.006V^2 = 0.006 \times 160^2 = 153.6$$

$$\mathbf{C = 153.6}$$

## 4. calcul de dévers pratique $d_p$

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 153.6}{1500} = 102.4$$

$$\mathbf{d_p = 102.4 mm}$$

On prend  $d_p = 110 \text{ mm}$

## 5. Calcul de l'insuffisance de dévers I

$$I = d_{th} - d_p = 201.39 - 110 = 91.39$$

$$\mathbf{I = 91.39 mm}$$

## 6. Calcul d'excès de dévers E

$$\text{Dévers théorique des trains lent } d_{th'} = 11.8 \times \frac{V_m^2}{R} = 11.8 \times \frac{100^2}{1500} = 78.66 \text{ mm}$$

$$E = d_p - d_{th'} = 110 - 78.66 = 31.33 \text{ mm}$$

$$\mathbf{E = 31.33 mm}$$

**7. Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde**

$$L_{CL} = \frac{d}{\Delta d} \rightarrow (\Delta d \text{ est fixé de } 1 \text{ mm/m}) \rightarrow L_{CL} = 110$$

$$L_{CL} = 110 \text{ m}$$

$$A = \sqrt{R \times L_{CL}} = \sqrt{1500 \times 110} = 406.20 \text{ m}$$

**8. Variation de l'insuffisance de dévers  $\Delta I$**

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_{CL}} = \frac{91.39 \times 160}{3.6 \times 110} = 36.92$$

$$\Delta I = 36.92 \text{ mm/s}$$

**9. Variation temporaire de dévers**

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L_{CL}} = \frac{110 \times 160}{3.6 \times 110} = 44.44$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = 44.44 \text{ mm/s}$$

Les paramètres significatifs de notre tracé sont représentés dans le tableau ci-après

Tableau III- 7 : les paramètres significatifs de l'axe en plan entre pk 82+420 et 102+112

R (m)	$\frac{dv}{(mm)}$	$\frac{dm}{(mm)}$	C	$\frac{dp}{(mm)}$	$\frac{dp}{(retenue)}$ (mm)	$\frac{dp}{(retenue)}$ (%)	$\frac{\Delta d}{(mm/s)}$	$\frac{E}{(mm)}$	$\frac{I}{(mm)}$	$\frac{L_{CL}}{(mm)}$	$\frac{\Delta I}{(mm/s)}$	$\frac{A}{(m)}$		
1500	201.39	78.67	153.60	102.4	110.00	7.66	44.44	31.33	91.39	110.00	36.92	406.2		
2500	120.83	47.20	153.60	61.44	70.00	4.88	44.44	22.80	50.83	70.00	32.27	418.3		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1010	299.09	116.83	153.60	152.1	160.00	11.15	44.44	43.17	139.09	160.00	38.64	402		
1010	299.09	116.83	153.60	152.1	160.00	11.15	44.44	43.17	139.09	160.00	38.64	402		
1400	215.77	84.29	153.60	109.7	110.00	7.66	44.44	25.71	105.77	110.00	42.74	392.4		
1500	201.39	78.67	153.60	102.4	110.00	7.66	44.44	31.33	91.39	110.00	36.92	406.2		
1200	251.73	98.33	153.60	128	130.00	9.06	44.44	31.67	121.73	130.00	41.62	394.9		
COURBE EN S	990	droite	305.13	119.19	153.60	155.2	100.00	6.97	27.77	-19.1	205.13	160.7	56.73	398.86
		gauche	305.13	119.19	153.60	155.2	100.00	6.97	16.84	-19.1	205.13	263.910	34.545	511.14
	714	droite	423.08	165.27	153.60	215.12	100.00	6.97	12.15	-65.2	302.77	365.69	39.26	510.98
		gauche	423.08	165.27	153.60	215.12	100.00	6.97	21.41	-65.2	323.08	207.54	69.18	384.94
1200	251.73	98.33	153.60	128	140.00	9.76	44.44	41.67	111.73	140.00	35.47	394.9		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1150	262.68	102.61	153.60	133.6	150.00	10.45	44.44	47.39	112.68	150.00	33.39	401.2		
1200	251.73	98.33	153.60	128	130.00	9.06	44.44	31.67	121.73	130.00	41.62	394.9		
1200	251.73	98.33	153.60	128	130.00	9.06	44.44	31.67	121.73	130.00	41.62	394.9		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1010	299.09	116.83	153.60	152.1	160.00	11.15	44.44	43.17	139.09	160.00	38.64	402		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1000	302.08	118.00	153.60	153.6	160.00	11.15	44.44	42.00	142.08	160.00	39.47	400		
1540	196.16	76.62	153.60	99.74	110.00	7.66	44.44	33.38	86.16	110.00	34.81	392.4		

**Remarque ! Pour la courbe en S (point d'inflexion) le train marchandise doit circuler avec une vitesse de 125 km/h au maximum, dans ce tronçon le train marchandise franchie le raccordement avec une insuffisance par rapport à leur dévers théorique, les caractéristique de ce raccordement sont :**

R=990	{	V <sub>v</sub> =125 km/h	{	I=86.24 mm	R=714	{	V <sub>v</sub> =125 km/h	{	I=145.83 mm
				ΔI=35.65 mm/s				ΔI=45.62 mm/s	
		V <sub>m</sub> = 100 km/h	{	I=19.19 mm			V <sub>m</sub> = 100 km/h	{	I=57.33 mm
				ΔI=6.34 mm/s					ΔI=14.35 mm/s

### III.3.6. Calcul de l'axe en plan

L'axe en plan que nous avons élaboré est succession des alignements, des clothoïdes et des arcs, donc dans la suite on va présenter un calcul de d'un raccordement avec clothoïde.

- $\gamma$  : Angle entre alignement
- T : Grande tangente
- ΔR : Ripage
- X<sub>M</sub> : Abscisse du centre de cercle
- R : Rayon de virage
- $\tau$  : Angle de tangente
- S<sub>L</sub> : La corde à la clothoïde
- $\sigma$  : L'angle polaire
- L : longueur de clothoïde
- K<sub>A</sub> : début de clothoïde
- K<sub>E</sub> : Fin de clothoïde

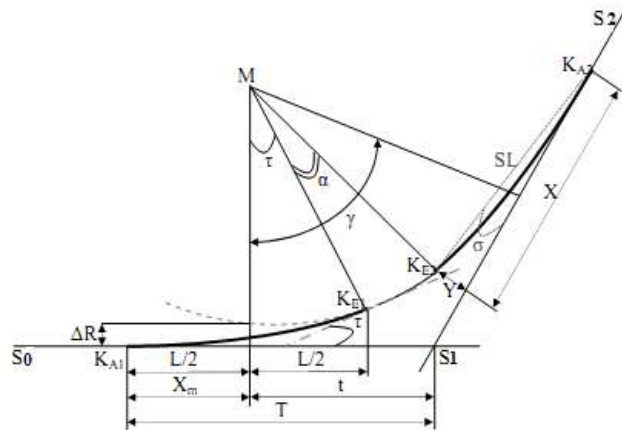


Figure III- 11: Raccordement avec clothoïde

#### II.3.6.1. La méthodologie de calcul

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde, cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées .Le calcul se fait à partir d'un point dont on connaît ses coordonnées, il faut donc suivre les étapes suivantes pour calculé l'axe

- ✓ L'équation de la clothoïde  $A^2 = L \cdot R$
- ✓ Calcul de la longueur de clothoïde  $L = \frac{A^2}{R}$
- ✓ Calcul de l'angle de tangente  $\tau = \frac{L}{2R} * \frac{200}{\pi}$  (grade)
- ✓ Distance du centre de courbe parallèle à l'axe de l'alignement  $X_m = \frac{L}{2}$  (m)
- ✓ Le ripage qui est la variation du rayon entre le début et la fin de clothoïde
- $\Delta R = \frac{L^2}{24R}$  (m)
- ✓ Le gisement entre les deux directions  $\gamma$  (grade)

Prenons une partie de l'axe, elle se compose d'un alignement droit, d'une première branche de clothoïde du début  $K_{A1}$  et de fin  $K_{E1}$ , d'un arc de cercle de  $K_{E1}$  à  $K_{E2}$  et d'une deuxième branche de clothoïde de  $K_{E2}$  à  $K_{A2}$ .

- ✓  $X_{K_E} = L$  (m); la longueur de clothoïde
- ✓  $Y_{K_E} = \frac{L^2}{24.R}$ ; la hauteur par rapport à l'axe
- ✓  $\sigma = \arctg\left(\frac{Y_{K_E}}{X_{K_E}}\right)$  (grade); l'angle entre  $K_E$  et l'axe
- ✓  $T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right)$  (m)
- ✓  $S_0S_1 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$  (ml)
- ✓  $S_1K_{A1} = S_1S_2 - T_m$
- ✓  $SL = \sqrt{X_{K_{E1}}^2 + Y_{K_{E2}}^2}$
- ✓  $\alpha = \gamma + 2\tau$  (grade)
- ✓  $K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R \alpha}{200}$

Pour l'application de calcul du tracé en plan on prend le premier virage :

Tableau III- 8 : les données de l'arc choisi pour l'exemple

Points	X	Y	Rayon(m)
S <sub>0</sub>	485007.7941	343658.3080	1500
S <sub>1</sub>	484599.6507	343511.7851	
S <sub>2</sub>	484276.8781	343449.6521	

### 1. Calcul de la distance S<sub>0</sub>S<sub>1</sub>

$$\Delta X_{S_0}^{S_1} = X_{S_1} - X_{S_0} = 484599.6507 - 485007.7941 = -408.143 \text{ m}$$

$$\Delta Y_{S_0}^{S_1} = Y_{S_1} - Y_{S_0} = 343511.7851 - 343658.3080 = -146.522 \text{ m}$$

$$S_0S_1 = \sqrt{|\Delta X_{S_0}^{S_1}|^2 + |\Delta Y_{S_0}^{S_1}|^2} = \sqrt{(-408.143)^2 + (-146.522)^2} = 433.647 \text{ m}$$

### 2. Calcul du gisement S<sub>0</sub>S<sub>1</sub>

$$G_{S_0}^{S_1} = 200 + \alpha = 200 + \arctg\left(\frac{\Delta X_{S_0}^{S_1}}{\Delta Y_{S_0}^{S_1}}\right) = 200 + \arctg\left(\frac{-408.143}{-146.522}\right) = 278.057 \text{ gr}$$

### 3. Calcul de la distance S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>

$$\Delta X_{S_1}^{S_2} = X_{S_2} - X_{S_1} = 484276.8781 - 484599.6507 = -322.772 \text{ m}$$

$$\Delta Y_{S_1}^{S_2} = Y_{S_2} - Y_{S_1} = 343449.6521 - 343511.7851 = -62.133 \text{ m}$$

$$S_1 S_2 = \sqrt{|\Delta X_{S_1}^{S_2}|^2 + |\Delta Y_{S_1}^{S_2}|^2} = \sqrt{(-322.772)^2 + (-62.133)^2} = \mathbf{328.698 \text{ m}}$$

**4. Calcul du gisement S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>**

$$G_{S_1}^{S_2} = 200 + \alpha = 200 + \arctg\left(\frac{\Delta X_{S_1}^{S_2}}{\Delta Y_{S_1}^{S_2}}\right) = 200 + \arctg\left(\frac{-322.772}{-62.133}\right) = \mathbf{287.893 \text{ gr}}$$

**5. Calcul de l'angle  $\gamma$**

$$\gamma = |G_{S_1}^{S_2} - G_{S_0}^{S_1}| = |287.893 - 278.057| = \mathbf{9.836 \text{ gr}}$$

**6. Calcul de longueur de clothoïde L**

Le paramètre de clothoïde qui vaut A = 406.2m

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{406.2^2}{1500} = \mathbf{110 \text{ m}}$$

**7. Calcul de l'angle  $\tau$**

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi} = \frac{110}{2 \times 1500} \times \frac{200}{\pi} = \mathbf{2.33 \text{ gr}}$$

**8. Calcul de tangent T**

$$T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$$X_m = \frac{L}{2} = \frac{110}{2} = \mathbf{55 \text{ m}} \quad ; X_m : \text{Abscisse du centre de cercle}$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{110^2}{24 * 1500} = \mathbf{0.33 \text{ m}} \quad ; \Delta R : \text{Le ripage}$$

$$T = 55 + (1500 + 0.33) \times \operatorname{tg}\left(\frac{9.836}{2}\right) = \mathbf{171.134 \text{ m}}$$

**9. Calcul de la distance S<sub>0</sub>K<sub>A1</sub>**

$$S_1 K_{A1} = S_0 S_1 - T = 433.647 - 171.134 = \mathbf{262.513 \text{ m}}$$

**10. Calcul de la corde SL**

$$SL = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2}$$

Tell que :  $X_{KE} = L = 110 \text{ m}$  et  $Y_{KE} = \frac{L^2}{6 * R} = \frac{110^2}{6 * 1500} = \mathbf{1.344 \text{ m}}$

$$S_L = \sqrt{110^2 + 1.344^2} = \mathbf{110.008 \text{ m}}$$

### 11. Calcul de $\sigma$

$$\sigma = \arctg\left(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}\right) \Rightarrow \sigma = \arctg\left(\frac{1.344}{110}\right) = \mathbf{0.777 \text{ gr}}$$

### 12. Vérification de non chevauchement

Pour vérifier la condition de non chevauchement il faut que  $\tau < \gamma/2$

$$\tau = \mathbf{2.33 \text{ gr}} \text{ et } \frac{\gamma}{2} = \frac{9.836}{2} = \mathbf{4.918 \text{ gr}}$$

$\tau = 2.33 < \frac{\gamma}{2} = 4.918$  ... la condition est vérifiée Donc il n'y a pas de chevauchement

### 13. Calcul du $\alpha$

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 9.836 - 2 \times 2.33 = \mathbf{5.176 \text{ gr}}$$

### 14. Calcul de la longueur d'arc

$$b = K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R\alpha}{200} = \frac{\pi \times 1500 \times 5.176}{200} = \mathbf{121.894 \text{ m}}$$

**Remarque :** les détails de l'axe en plan est jointé dans l'annexe A avec les informations suivantes :

- type de l'élément géométrique (droite, arc, clotoïde)
- les caractéristiques des éléments (gisement, longueur ...)
- les points kilométriques (pk)
- les coordonnées des points de contact

### III.4. PROFIL EN LONG

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la voie, développée et représentée sur un plan avec une échelle. En général le tracé d'une voie ferrée en profil est constitué par une succession de paliers et de déclivités reliés par des courbes de transition.

#### III.4.1. Les éléments de profil en long

- ✓ **Pente** : c'est la partie du tracé qui définit la descente
- ✓ **Rampe** : c'est la partie du tracé qui définit la montée
- ✓ **Palier** : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale
- ✓ **Courbes de raccordement verticales** : ce sont des arcs de cercle qui assurent la liaison entre les alignements de la ligne rouge.

#### III.4.2. Pentés maximales

En inter station la pente maximale est fixée à 16‰ (16 mm/m), compte tenu des performances envisagées pour le matériel roulant

#### III.4.3. Rayon minimale en profil en long

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

- ✓ Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, 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.
- ✓ Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse  $V$  un raccordement de profil en long de rayon  $R_v$ , il est soumis à une accélération centrifuge Cette accélération doit être limitée 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 rayons minimums de projet sont dans le tableau suivant avec  $V=160$  km /h:

Tableau III- 9 : les rayons minimaux de profil en long

Valeur limite normale	$0,35 \times V^2=8960$ m
Valeur limite exceptionnelle	$0,25 \times V^2=6400$ m

#### III.4.4. Longueur minimale des éléments du profil en long

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

Les valeurs de la longueur minimale des déclivités en profil sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau III- 10 : Longueur minimale d'éléments du profil en long

valeur limite normale (m)	$V/2=80$ m
valeur limite exceptionnelle(m)	$V/2.5=64$ m

### III.4.5. Coordination profil en long-tracé en plan

Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions suivantes (Source : SNTF 2005, GOUMETTRE A,KALLI F.2012):

- ✓ Éviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan,
- ✓ Éviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan,
- ✓ Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé
- ✓ Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité

### III.4.6. 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 :  $X^2 + y^2 - 2Ry = 0$ . Mais pour un grand rayon ( $R \geq 4000m$ ) la variation de l'ordonnée  $y$  sur cet arc est négligeable devant l'abscisse  $X$ , surtout lorsque il s'agit d'un carré ( $y^2 \rightarrow 0$ ) d'où on obtiendra une équation de parabole  $y = x^2/2R$  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  $P_1$  et  $P_2$
- **F** : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche)
- **X** : Distance entre le sommet et un point A sur  $P_1$
- $(\alpha + \beta)$  : 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

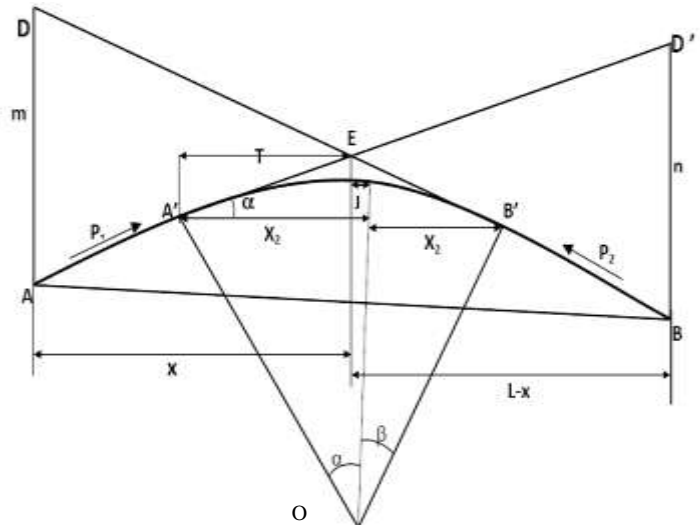


Figure III- 12 : les éléments d'un raccordement en long

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

A (S=87980.000, Z=243.32m); E (S=88250.000 m, Z = 239.77 m)

B (S=88520.000m, Z=239.77m); R=9000 m

#### 1. Calcul des pentes

$$P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1} = \frac{239.77 - 243.32}{88250.000 - 87980.000} = -13.15\%$$

$$P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = \frac{239.77 - 239.77}{88520.000 - 88250.000} = 0.00\text{‰}$$

## 2. Détermination de T

$$T = \left(\frac{R}{2}\right)(P_1 + P_2) = \left(\frac{9000}{2}\right) \times (0.000 + 0.01315) = 59.175 \text{ m}$$

## 3. Calcul de la flèche F

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{59.175^2}{2 \times 9000} = 0.19 \text{ m}$$

## 4. Point du milieu de raccordement G

$$Z_G = Z_E + F = 239.77 + 0.19 = 239.96 \text{ m}$$

$$PK_G = PK_E = 88250.000 \text{ m}$$

## 5. Point de début et de fin du raccordement

### ▪ Début de raccordement A' :

$$Z_{A'} = Z_E + P_1 \times T = 239.77 + (0.01315 \times 59.175) = 240.55 \text{ m}$$

$$PK_{A'} = PK_E - T = 88250.000 - 59.175 = 88190.825 \text{ m}$$

### ▪ Fin de raccordement B' :

$$Z_{B'} = Z_E + P_2 \times T = 239.77 + (0.00 \times 59.175) = 239.77 \text{ m}$$

$$PK_{B'} = PK_E + T = 88250.000 + 59.175 = 88309.175 \text{ m}$$

**NB : les éléments du profil en long sont représentés dans l'ANNEXE A**

### III.5. PROFIL EN TRAVERS

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette voie suivant un plan perpendiculaire à l'axe de cette dernière ; Il existe deux types de profil en travers qui sont :

- Profil en travers type
- Profil en travers courant.

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à des distances régulières (10, 15, 20, 25m) qui servent à calculer les cubatures.

#### III.5.1. Constituants du profil en travers type

En chemin de fer, le profil en travers type doit indiquer tous les éléments suivants

##### 1. Éléments de l'infrastructure

- La dénomination et les épaisseurs de chaque couche,
- Les pentes transversales de chaque couche,
- La pente latérale de la plateforme

##### 2. Éléments de la superstructure

- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement

De chaque voie,

- Le type de travers utilisé,
- Épaisseur de la couche de ballast,
- La valeur du dévers maximum en courbe,
- La longueur des butées du ballast.
- La pente de chaque talus,

##### 3. Les éléments du profil en travers

- **La plateforme** : Il est conseillé de réaliser une plateforme à partir d'une succession de couches de matériaux parfaitement compactées, sur laquelle reposera la voie, à savoir : les rails, les traverses le ballast ainsi que le train lui-même
- **L'Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie ; limitée par le domaine public.
- **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements
- **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
- **Le fossé**
- **La voie**

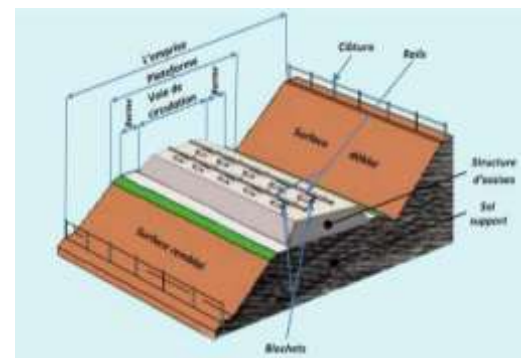


Figure III- 13 : les constituants de profil en travers

#### III.5.2. Profil en travers type de notre projet

Pour notre projet, on a opté pour les sections types exigées par la SNTF :

- Type de ligne : double voie mixte électrifiée.

- Écartement de la voie : 1.435 m (standard)
- Largeur de la plate-forme 8 m
- Pente latérale de la plate-forme 4%.
- Pente latérale de couche de ballaste 2/3. (3H et 2V).

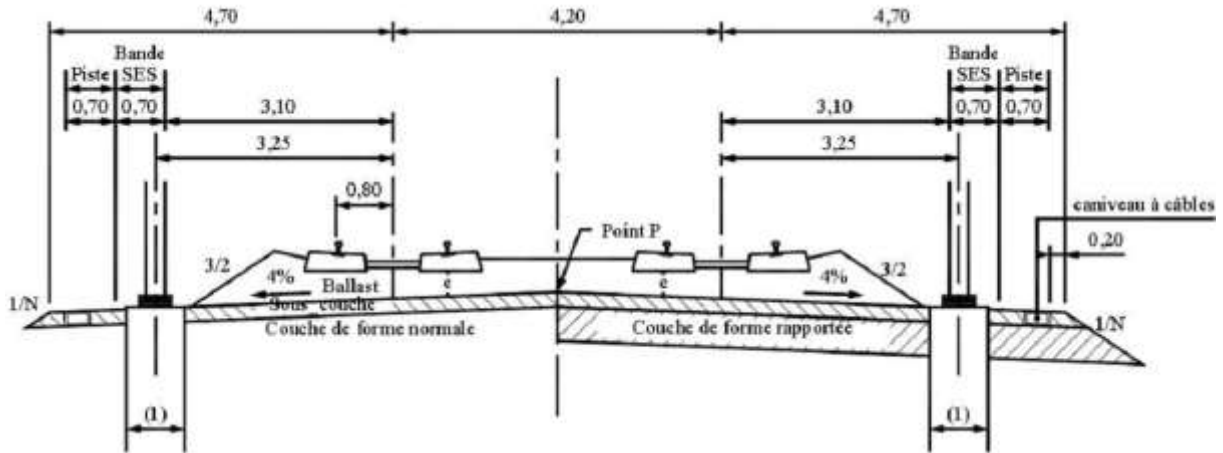


Figure III- 14 : Plate-forme à double voie selon SNTF

**Remarque :** 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.

### III.6. CONCLUSION

À la fin de l'étude géométrique, on peut confirmer que toutes différentes projections (en plan et en long) sont élaboré toute on respectant les normes technique de l'UIC et la SNTF, cela va influencer surement sur la qualité de service ainsi que sur le confort des voyageurs.

# CHAPITRE IV :

## ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

## IV.1. INTRODUCTION

Ils évident que toute tracé ferroviaire projeté va engendrer des perturbations pour les écoulements hydraulique, d'autre part l'implantation des éléments structurant des ouvrages d'arts dans l'espace occupés par ces écoulements génère des dommages à tenir bien en considération, pour cela on doit mener une étude hydrologique spécifique pour rétabli ces écoulements

## IV.2. ETUDE HYDROLOGIQUE

### IV.2.1. Contexte hydrologique général

Le tracé de la voie de chemin de fer en El-Affroun et Khemis Miliana coupe des ruisseaux ou ravins sans eau durant une grande partie de l'année pour la plupart ; néanmoins, la morphologie générale de ces courts d'eau traduit l'existence de débits relativement élevés en période des pluies.

D'après Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) la desserte ferroviaire traverse les bassins versants des côtiers Algérois et du Chélif codés respectivement (02) et (01).

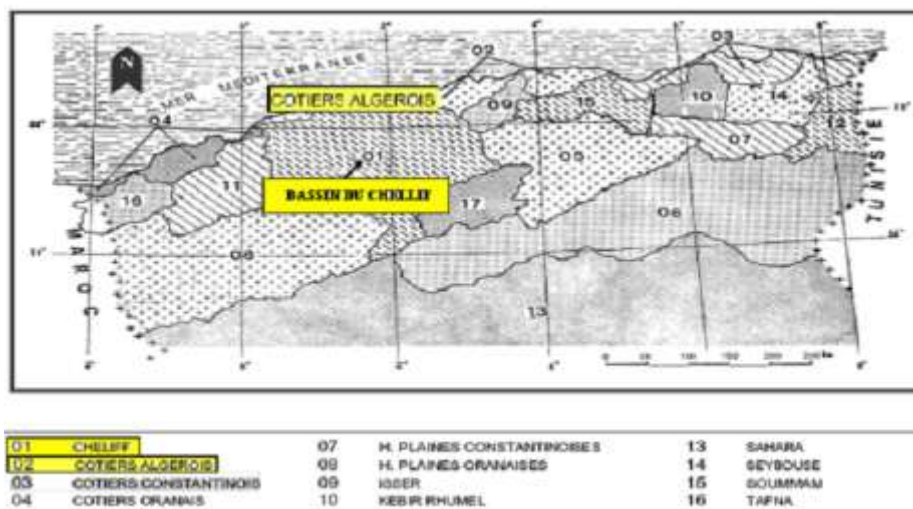


Figure IV- 1 : Les principales bassins versants en Algérie

Le bassin du Côtier-Algérois, composé de 18 sous bassins, a une superficie de 8 471 km<sup>2</sup>, les Oueds Mazafran, El Harrach et le Sébaou constituent les plus importants Oueds du bassin, alors que le réseau hydrographique du bassin versant du Cheliff est moyennement dense ; il est principalement constitué par l'Oued Cheliff qui s'étend sur une distance de plus de 700 km, traverse le bassin versant le plus important du pays.

Les cours d'eau existants progressent d'amont en aval ; ce sont des cours d'eau à lits majeurs dont les débits dépendent beaucoup plus du régime des précipitations.

### IV.2.2. Pluviométrie

Les données pluviométriques constituent un outil important pour comprendre le régime des cours d'eau et des crues en particulier.

Pour cela, on a exploité les enregistrements de la station de **boumedfaa** (code de station : **021017**) qui ont été collectionnées pendant **39 ans** par l'ANRH.

### IV.2.3. Pluies annuelles

La pluie annuelle pour les différentes fréquences est présentée dans le tableau suivant :

Tableau IV- 1 : Précipitations annuelles

Période de retour T (ans)	Fréquence (F)	Pluie annuelle (mm)
10	0.90	538.4
20	0.95	573.0
50	0.98	611.9
100	0.99	638.0

### IV.2.4. Caractéristiques des sous bassins versants(BV)

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

La superficie (S) des BV, exprimée en km<sup>2</sup>, est déterminée avec une précision acceptable ; la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major à différentes échelles selon l'importance des BV qui sont au nombre de **20 BV (annexe B1)** au droit du tronçon étudié.

La superficie est mesurée à l'aide d'un planimètre. Les paramètres évalués et calculés pour chaque Oued qui traverse le tronçon étudié à partir des cartes aux échelles 1/25000, sont précisés ci-après :

- La surface (calculé avec le logiciel **Autocad**)
- La longueur de l'oued
- L'altitude max
- L'altitude min
- L'altitude moyenne
- L'indice de pente globale

Les caractéristiques des paramètres de BV des oueds traversant la voie ferrée entre pk 82+420 et 100+500 sont données dans **l'annexe B2**.

### IV.2.5. Calcul de débit des sous bassins

Il est évident que le calcul de débit est indispensable pour le calcul des ouvrages hydraulique, qui ; à leurs tour ; doivent rester fonctionnelle durant une période au minimum 100 ans ,donc il est évident aussi que le débit de projet ; débit pris en compte pour les calculs hydrauliques et le dimensionnement des ouvrages ; est le débit centennal (Q100) ou un débit historique supérieur s'il est connu.

Le calcul du débit proposé est effectué par l'un des expressions suivantes :

### Formule Rationnelle

$$A < 10 \text{ km}^2 \quad Q_{100} = A \times I_{100} \times C$$

Tel que :

- A : la superficie de BV en  $\text{km}^2$
- I : l'intensité de pluie en  $\text{m/s/km}^2$
- C : coefficient de ruissèlement

### Formule Crupedix

$$A > 50 \text{ km}^2 \quad Q_{10} = R \times \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2 \times A^{0.8}$$

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

Tel que

- $Q_{10}$  : débit décennal en  $\text{m}^3/\text{s}$
- $Q_{1100}$  : débit centennal en  $\text{m}^3/\text{s}$
- R : coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissèlement équivaut au :
  - =0.2 pour les terrains perméables
  - =1.5 à 1.8 pour les terrains imperméables
  - =1 pour les terrains intermédiaires
- $P_{10}$  : pluie journalière de période de retour décennal en **mm**
- $b'$  : paramètre de superficie de BV ( $1.4 < b' < 4$ ) :
  - jusqu'au  $20 \text{ km}^2$   $b' = \frac{Q_{100}}{Q_{10}}$  calculé par la formule Rationnel
  - au-delà de  $20 \text{ km}^2$   $b'$  est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des BV représentatif à proximité de projet. A défaut  $b' = 2$  au **minimum**.

### Formule de transition

$$10 < A < 50$$

$$Q_{100} = \alpha Q_{R100} + \beta Q_{C100}$$

$Q_{R100}$  : débit centennal fournée par la formule rationnelle

$Q_{C100}$  : débit centennal fournée par la formule Crupedix

$$\alpha = \frac{50-A}{40}, \quad \beta = 1 - \alpha$$

#### V.2.5.1. Intensité de pluie

Les étapes pour calculer l'intensité sont :

#### ✓ Estimation de la précipitation journalière maximale durant une année

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles, parce que c'est le facteur principale qui déclenche les crues, elle est évalué par la formule de GALTON :

$$P_j, (f\%) = \frac{P_{j\text{moy}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

$P_{j\text{moy}}$  : précipitation journalière moyenne (mm)  
 $C_v$  : coefficient de variation climatique ;  
 $u$  : variable Gaussienne

Les valeurs de précipitation journalière maximale sont données dans le tableau suivant d'après le rapport hydraulique.

Tableau IV- 2 : Précipitation journaliers maximale

Période de retour	Fréquence (F)	précipitation journaliers (mm)
10 ans	0.90	98.3
20 ans	0.95	61.8
50 ans	0.98	136.8
100 ans	0.99	153.1

✓ **Le temps de concentration d'eau  $t_c$**

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Des méthodes simplifiées peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration sur des bassins versants. Pour notre considération, on va utiliser les formules suivantes :

**Formule de VENTURA**

$A \leq 5 \text{ km}^2$

$$T_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{P}}$$

$T_c$  : temps de concentration en heure  
 $A$  : surface du bassin versant en  $\text{km}^2$   
 $P$  : pente moyenne (en m/m)

**Formule de Passini**

$5\text{km}^2 < A \leq 25\text{km}^2$

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{i_m}}$$

$T_c$  : en heure.  
 $L$  : longueur du thalweg principal (km).  
 $A$  : superficie de ruissellement ( $\text{km}^2$ ).  
 $i_m$  : pente moyenne des isohypses.

### Formule de GIANDOTTI

A > 25 km<sup>2</sup>

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h}}$$

T<sub>c</sub> en heures

A : Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>

L : Longueur de thalweg principal en km

h = H<sub>moy</sub> - H<sub>min</sub> (m)

#### ✓ La précipitation durant le temps de concentration P(T<sub>c</sub>)

La précipitation P durant le temps t, de fréquence f (période de retour T) est calculée selon la formule suivante :

$$P(T_c) = 1.13 \times P_j, (f\%) \left(\frac{T_c}{24}\right)^b$$

P(T<sub>c</sub>) : précipitation durant le temps T<sub>c</sub> (mm),

P<sub>j</sub>, (f%) : précipitation journalière maximale (mm),

T<sub>c</sub> : temps de concentration(h)

b : indice du climat tel que pour la station de boumedfaa **b=0.31**

#### ✓ Intensité de pluie I

Finalement, on donne l'intensité de pluie par la relation suivante

$$I = \frac{1}{3.6} \frac{P(T_c)}{T_c}$$

I : intensité de pluie (m/s/km<sup>2</sup>)

P(T<sub>c</sub>) : précipitation durant le temps T<sub>c</sub> (mm)

#### V.2.5.2. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité total des eaux courantes

Le coefficient de ruissellement est calculé selon la formule Kenessey

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Avec : C<sub>1</sub> : déterminé selon la pente P de l'isohypse,

C<sub>2</sub> : déterminé selon la nature de terre (perméabilité),

C<sub>3</sub> : déterminé selon l'état de végétalisation sur la terre écoulee.

Le coefficient C<sub>1</sub> dépend de la pente de l'isohypse principale, c'est à dire du rapport entre la dénivellation de l'isohypse et la longueur développée du thalweg ; le coefficient C<sub>1</sub> peut être estimé sur la base du plan topo à l'échelle 1/25 000.

**NB : les valeurs des coefficients C1, C2 et C3 sont présentées dans l'annexe B 3**

**V.2.5.3. Application au Projet**

**1<sup>ère</sup> application :** Tenant compte le bassin versant N° 20: **calcul par la formule Rationnelle**

- ✓ Précipitation journalière maximale  $P_j, (f=0.99) = 153.1 \text{ mm}$
- ✓ Le temps de concentration d'eau  $T_c$ :

On : surface de BV  $A=4.05 < 5 \text{ km}^2$   $\longrightarrow$  on applique la formule de VENTURA

$$T_c = 0.127 \sqrt{\frac{4.05}{0.129}} = \mathbf{0.71 \text{ h}} = 42.6 \text{ min}$$

- ✓ Précipitation durant le temps de concentration  $P(T_c)$ :

$$P(T_c) = 1.13 \times 153.1 \left(\frac{0.71}{24}\right)^{0.31} = \mathbf{36.36 \text{ mm}}$$

- ✓ Intensité de pluie  $I$ :

$$I = \frac{1}{3.6} \frac{36.36}{0.17} = \mathbf{14.20 \text{ m/s/km}^2}$$

- ✓ Coefficient de ruissellement

11% < P=12.9 ≤ 35%  $\longrightarrow$  C1= 0.12 - 0.20.....C1=0.13  
 sol presque impermeable  $\longrightarrow$  C2= 0.10 - 0.20.....C2=0.20  
 champs cultivé  $\longrightarrow$  C3=0.07 - 0.15.....C3=0.14

Donc le coefficient de ruissèlement **C=0.47**

- ✓ Calcul de débit

$$Q = 4.05 \times 14.20 \times 0.47 = \mathbf{27.03 \text{ m}^3/\text{s}}$$

**2<sup>ème</sup> application :** tenant compte le BV N° 37 : **calcul par la formule de Crupedix**

- ✓ Précipitation journalière maximale decennal  $P_j, (f=0.90) = 98.3 \text{ mm}$
- ✓ En prend  $R = 1$
- ✓  $A = 94.3 \text{ km}^2$
- ✓  $C = 0.29$

- ✓  $A = 94.3 > 25 \text{ km}^2 \longrightarrow$  formule de GIANDOTI :  $T_c = \frac{4\sqrt{94.3} + 1.5 \times 14.55}{0.8\sqrt{192.5}} = \mathbf{5.47 \text{ h}}$

- ✓  $P(T_c) = 1.13 \times 98.3 \left(\frac{5.47}{24}\right)^{0.31} = \mathbf{70.23 \text{ mm}}$

- ✓  $I_{10} = \frac{1}{3.6} \frac{70.23}{5.47} = \mathbf{3.57 \text{ m/s/km}^2}$

$$Q_{10} = 1 \times \left(\frac{98.3}{80}\right)^2 \times 94.3^{0.8} = 57.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Formule rationnelle :  $Q_{R100} = A \times I_{100} \times C = 94.3 \times 5.49 \times 0.29 = 150 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{R10} = A \times I_{10} \times C = 97.62 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b' = \frac{Q_{R100}}{Q_{R10}} = \frac{150}{97.62} = 1.54$$

$$Q_{100} = 1.54 \times 57.37 = \mathbf{88.35 \text{ m}^3/\text{s}}$$

**NB : les valeurs de débits des BV sont présentées dans l'annexe B4**

### IV.3. CLCUL D'ASSINISSEMENT

#### IV.3.1. Calcul hydraulique des ouvrages de traversée

Tous les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques accommodés et réalisés dans les règles de l'art. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale.

Les ouvrages hydrauliques de traversée permettent :

- ✓ Le franchissement des grandes rivières et de leur champ d'inondation ;
- ✓ Le transit d'un coté à l'autre de la plateforme, des eaux des bassins versant naturels (ruisseaux et thalwegs secs) et des dispositifs de drainage longitudinal.

Les types d'ouvrages concernés sont :

- ✓ Des ouvrages d'art à fonction hydraulique.
- ✓ De petits ouvrages constitués d'un conduit (buse circulaire ou tuyau rectangulaire), de têtes d'extrémités, d'un lit de pose et d'un remblai contigu au conduit.

Pour le calcul de débit de saturation, il est recommandé d'utiliser la formule de MANNING-STRICKLER (guide SETRA)

#### V.3.1.1. Calcul de débit des ouvrages de traverse

La formule de MANNING-STRICKLER pour le calcul de débit de saturation est donnée comme suit :

$$Q = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Q : Débit (m<sup>3</sup>/s).

S<sub>m</sub> : section utile du l'ouvrager

I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

R<sub>h</sub> : Rayon hydraulique =  $\frac{\text{sélection mouillée}}{\text{périmètre moullé}} = \frac{S_m}{P_m}$

K<sub>s</sub> : Coefficient de rugosité Strickler dépend de la nature de la surface de l'écoulement :

Tableau IV- 3: Valeurs de  $K_s$  selon SETRA

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

Le tirant d'air (différence entre la côte des plus hautes eaux et la côte de l'intrados) doit être ménagé pour laisser le passage des corps flottant détrit, branchages, etc.... qui peuvent au passage sous un ouvrage hydraulique (pont, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.

Pour un canal rectangulaire (dalot), le dimensionnement consiste à déterminer sa section et la profondeur d'eau tout en évitant les ouvrages profonds en tenant compte des contraintes du projet.

#### a.3.1.1. Règle à respecter

- ✓ L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit la crue correspondant.
- ✓ La vérification pour le débit exceptionnel doit être examinée.
- ✓ La vitesse de l'écoulement ne doit pas excéder **4 m/s** pour les ouvrages en béton et **2.5 m/s** pour les buses métalliques.
- ✓ Multiplier les points de rejet si possible pour éviter la concentration des débits.
- ✓ Dimensionner les réseaux longitudinaux pour au moins pour la pluie d'occurrence décennal ( $T=10$  ans).
- ✓ Les eaux de déblais doivent, dès que possible, être rejetées hors plateforme.
- ✓ La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale  $I = 0,3 \%$ ) pour éviter des vitesses trop élevées. La vitesse maximum acceptée sera de 6,0 m/s.
- ✓ Le degré de remplissage maximum des tuyaux et dalots est égal à 80 % pour la période de retour considérée.
- ✓ Pour les ouvrage de traverse le condition limite en amont constituée de deux débits : d'abord le débit centennal ( $Q_{100}$ ) fourni par l'étude hydrologique, puis le débit d'une crue de vérification fixé à **1,5 fois** le débit centennal .
- ✓ Vérification les conditions d'auto curage :
  - 1<sup>ère</sup> condition : pour  $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.1 \dots$  il faut  $V_{écoulement} > 0.6$  m/s
  - 2<sup>ème</sup> condition : pour  $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.01 \dots$  il faut  $V_{écoulement} > 0.3$  m/s
  - 3<sup>ème</sup> condition : le taux de remplissage en cas de débit d'apport  $R_h > 0.8$

#### IV.3.2. Exemple de calcul des ouvrages de traverse

##### V.3.2.1. Buse

- ✓ **Calcul de diamètre**

Tenant compte le BV N° 40 (pk 98+268) :

Débit  $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Pente  $I = 1 \%$

Coefficient de rugosité Strickler  $K_s = 80$ .

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

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{\pi \phi^2 / 4}{\pi \phi} = \frac{\phi}{4}$$

$$\phi = \left( \frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q}{K_s \times \pi \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

AN :

$$\phi = \left( \frac{4^{\frac{5}{3}} \times 1.5}{80 \times \pi \sqrt{0.0003}} \right)^{\frac{3}{8}} = \mathbf{0.82 \text{ m}}$$

On prend une buse de  $\phi 1200 \text{ mm}$  pour être en sécurité.

✓ **Vérification les conditions d'auto curage**

- **1<sup>ère</sup> condition : pour  $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.1 \dots$  il faut  $V_{\text{écoulement}} > 0.6 \text{ m/s}$**

$$S_m = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi 1.2^2}{4} = 1.13 \text{ m}^2 ; P_m = \pi \phi = \pi \times 1.2 = 3.76 \text{ m} \rightarrow R_h = 0.30 \text{ m}$$

$$Q_{ps} = 80 \times 1.13 \times 0.30^{2/3} \times 0.01^{1/2} = 4.05 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 3.58 \text{ m/s}$$

$$R_q = 0.1 ; R_v = \frac{V}{V_{ps}} = 0.638 \rightarrow V = R_v \times V_{ps} = 2.28 \text{ m/s}$$

$V > 0.6 \text{ m/s} \rightarrow$  le condition est vérifie

- **2<sup>ème</sup> condition : pour  $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.01 \dots$  il faut  $V_{\text{écoulement}} > 0.3 \text{ m/s}$**

$$R_q = 0.01 ; R_v = \frac{V}{V_{ps}} = 0.315 \rightarrow V = R_v \times V_{ps} = 0.72 \text{ m/s}$$

$V > 0.3 \text{ m/s} \rightarrow$  le condition est vérifie

✓ **3<sup>ème</sup> condition :  $R_h > 0.8$**

$$R_q = \frac{Q_a}{Q_{ps}} = 0.370 \rightarrow R_h = 0.420 > 0.8$$

Donc le diamètre de  $\phi 1200$  peut être retenu.

### V.3.2.2. Dalot

La démarche de dimensionnement des dalots est de fixer la hauteur  $H$  qui été issue du profil en long et on calcule la travée nécessaire et en fixe aussi la hauteur de remplissage à 80 % de  $H$  toute on respectant les conditions suivantes :



Figure IV- 2 : Exemple de buse

- ✓ La vitesse d'écoulement doit être inférieure à 4m/s.
- ✓  $H > h_{critique}$  tel que  $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gL^2}}$  pour assurer un écoulement fluviale

$$S_m = H \times b$$

$$P_m = L + 2 \times b$$

On utilisant la formule de Manning –Strickler et on Tenant avec un coefficient  $\mu$  qui vaut :

$\mu = 0.9$  pour une seule cellule.

$\mu = 0.8$  pour deux cellules.

$\mu = 0.7$  pour trois cellules.

$$\text{On obtient } H = \left( \frac{Q}{\mu \times K_s \times b^3 \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{b+2 \times H}{H^{\frac{3}{2}}} = H_0 \times \frac{b+2 \times H}{H^{\frac{3}{2}}} ; H_0 = \left( \frac{Q}{\mu \times K_s \times b^3 \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative, on fixe la largeur de fond initialement et on calcule la hauteur H

Compte le BV n° 20 (pk 84+472) :

$$Q_a = 27.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pente } I = 1 \%$$

$$\text{On fixe } \mu = 0.9$$

$$K_s = 70$$

$$\text{On fixe } b = 4 \text{ m donc}$$

$$H_0 = 1.89$$

Par itération on  
trouve  $H = 3.32 \text{ m}$  et on  
prend  **$H = 3.5 \text{ m}$**

$$h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{27^2}{10 \times 4^2}} = 1.65 \text{ m} \rightarrow H > h_{critique} \rightarrow \text{L'écoulement est bien fluviale}$$

$$Q_{ps} = 103.58 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow R_q = \frac{Q_a}{Q_{ps}} = 0.26 \rightarrow R_h = 0.349 < 0.8$$

$\rightarrow$  le dalot est bien dimensionné

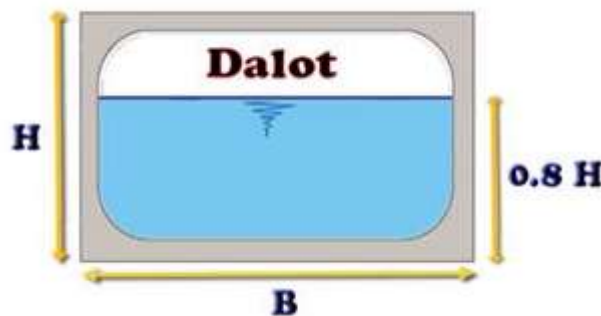


Figure IV- 3 : Schéma représentatif d'un dalot

Dans le tableau suivant nous présentons les dimensions retenues

Tableau IV- 4 : Dimensions des ouvrages de traverse de projet

N°	PK de la ligne gauche	type de l'ouvrage	Nombre-largeur×hauteur	Débit projeté (m <sup>3</sup> /s)	pente naturelle thalweg (%)	pente du fond de l'ouvrage H <sub>am</sub> (m)	vitesse d'écoulement à la sortie V <sub>av</sub> (m/s)
1	82+425	dalot	1-3,0×3,0m	14.6	8.0%	1.3%	4.92
2	83+235	dalot	1-2,0×2,0m	7.1	2.0%	2.0%	4.80
3	83+910	dalot	1-2,0×2,0m	5.6	10.0%	2.5%	4.85
4	84+466	dalot	1-5,0×4,0m	27	7.6%	1.0%	4.98
5	84+779	dalot	1-2,0×2,0m	5.6	1.0%	2.0%	4.77
6	85+025	Buse	1-1,5m	3.3	10.0%	3.0%	4.91
7	85+368	Buse	1-1,5m	2.7	2.4%	2.5%	4.40
8	85+666	dalot	1-4,0×3,5m	17.8	6.1%	1.2%	4.83
9	86+208	dalot	1-3,0×2,0m	9.5	1.1%	1.5%	4.72
10	86+532	Buse	1-1,5m	2.6	5.0%	3.0%	4.67
11	86+941	dalot	1-2,0×2,0m	8.8	4.3%	1.5%	4.61
12	87+176	dalot	1-2,0×3,0m	9.4	10.0%	1.5%	4.65
13	87+646	Buse	1-1,5m	2.6	7.3%	3.0%	4.60
14	88+193	dalot	1-5,0×3,0m	25.2	7.8%	1.0%	4.86
15	90+686	dalot	1-2,0×2,0m	5.2	10.6%	2.5%	4.67
16	91+110	Buse	1-1,5m	1.5	1.9%	2.0%	3.47
17	91+455	dalot	1-2,0×2,0m	6.1	12.4%	2.5%	4.98
18	93+404	dalot	1-4,0×3,5m	21.2	0.6%	1.0%	4.79
19	93+920	dalot	1-2,0×2,0m	4.9	2.5%	2.0%	4.50
20	94+994	dalot	1-4,0×3,5m	19	2.8%	1.2%	4.93
21	95+748	dalot	1-2,0×2,0m	6.2	2.0%	2.0%	4.62
22	96+152	dalot	3-8,0×5,0m	150	0.7%	0.7%	4.90
23	96+667	dalot	1-2,0×2,0m	4.1	1.8%	1.5%	3.70
24	97+152	dalot	1-5,0×4,0m	25.2	3.8%	1.0%	4.87
25	98+268	Buse	1-1,5m	1.5	3.2%	3.0%	3.94
26	98+816	dalot	1-1,5×1,5m	2.5	2.1%	2.0%	3.63
27	99+270	dalot	1-1,5×1,5m	4.2	7.1%	3.0%	4.95
28	99+813	dalot	1-2,0×2,0m	5.1	6.7%	2.0%	4.60

### IV.3.3. Calcul hydraulique des ouvrages longitudinaux

#### V.3.3.1. Calcul de la surface du bassin versant

$$S_{tot} = S_T + S_P$$

- S<sub>T</sub> : surface de talus S<sub>T</sub>=hl/sinβ
- S<sub>P</sub> : surface de plateforme S<sub>P</sub>=L<sub>P</sub>\*l<sub>P</sub>

On utilisant la formule rationnelle  $Q_{tot} = C_{eq} \times S_{tot} \times I_{10}$

I<sub>10</sub> : intensité décennal

Puis par la formule de Manning-Strickler

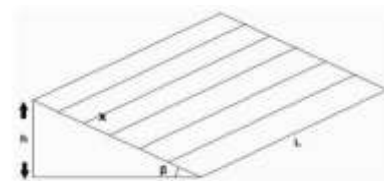


Figure IV- 4 : Schéma représentatif de talus

$$Q_{capable} = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = K_s \times (bh + mh^2) \times \left( \frac{(bh + mh^2)}{b + 2h\sqrt{m^2 + 1}} \right)^{2/3} \times J^{1/2}$$

$$m = \cot(\alpha), \text{généralement } \alpha = 45^\circ \rightarrow m = 1$$

Par tâtonnement, on fixe b et h et on vérifie le débit :

$Q_{capable} > Q_{tot} \rightarrow$  les dimensions sont bonnes

$Q_{capable} < Q_{tot} \rightarrow$  vérifier les dimensions

### V.3.3.2. Application au projet

Tenant compte le talus de pk 98+160 ver pk 99+740, avec une hauteur de 10 m avec une pente de 3H/2V :

Tableau IV- 5 : Les caractéristiques du talus

	S (m <sup>2</sup> )	S <sub>tot</sub> (m <sup>2</sup> )	C	C <sub>eq</sub>	tc (h)	P <sub>tc</sub> (mm)	I <sub>10</sub> m/s/km <sup>2</sup>
Talus	0.006	0.0133	0.3	0.24	0.0179	11.92	184.98
plateforme	0.0073		0.2				

On appliquant la formule rationnelle :  $Q_{tot} = C_{eq} \times S_{tot} \times I_{10} = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}$

On fixe maintenant les dimensions de fossé : **b=0.5 m** ; **h=0.5 m**, le débit d'apport

$$Q_{apport} = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit capable d'évacuer par le fossé est nettement supérieur à celle de débit fournie par les surfaces drainées (talus + plateforme), donc on garde les dimensions de fossé .Souvent ces dimensions sont le minimums recommandées afin de d'éviter les difficultés d'entretien des réseaux d'assainissement

**NOTA : les caractéristiques des matériaux constitutifs particuliers aux ouvrages hydrauliques de traversée et longitudinaux ainsi que les dispositions constructives doit être conforme aux référentiel technique des normes SNTF Chapitre 7.2.3 (Hydraulique drainage) Version 2**

### IV.3.4. Calcul hydraulique des ponts

Dans le secteur entre le tunnel Ramdane et le tunnel Ganntas, le tracé du projet traverse plusieurs fois les principaux Oued de la région et tout particulièrement Oued Djer et Oued Zeboudj en amont du confluent avec l'Oued Hammam Righa.

Dans cette partie, on va présenter un calcul approximatif de gabarit nécessaire (section mouillé minimale à respecter) pour faire passer le débit voulu, toute en sachant que le débit de vérification est de **1.5 fois** le débit donné par l'étude hydrologique (guide SETRA 2006), finalement, on déduit la hauteur du pont par rapport le fond de l'oued toute on respectant un tirant d'eau de minimum **1.5 m**.

Le calcul se fait par l'équation de Manning-Strickler on prenant le cas d'une buse, on supposant que le diamètre calculé est le diamètre équivalent de l'ouverture de pont, et on connaissant le largeur approximatif de oued, on peut déduire la hauteur du pont

$$Q_{eq} = \left( \frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q}{K_s \times \pi \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

### V.3.4.1. Application au projet

Tenant compte le pont qui traverse Oued Djer au pk 83+040

$$Q_{100} = 436 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow Q_{\text{vérification}} = 1.5Q_{100} = 654 \text{ m}^3/\text{s}$$

Avec  $I=0.0039$  et  $K_s=30$  :  $Q_{eq}=14.12 \text{ m}$ ...la largeur de oued est  $L=15 \text{ m}$  donc la hauteur  $H=10.44\text{m}$  avec  $S_m=156.67 \text{ m}^2$ , et la hauteur du pont par rapport le fond de l'oued est  $H_{\text{pont}}=10.44+1.5=11.9\text{m}$ .

Le calcul hydraulique des ponts est présenté dans le tableau ci-après :

Tableau IV- 6 :Calcul hydraulique des ponts de tracé étudié

pont	pk	A (bassin versant) (km <sup>2</sup> )	larguer de fond d'oued(m)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>vérification</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Ø <sub>eq</sub> (m)	section mouillé (m <sup>2</sup> )	hauteur du pont(m)
2-26 poutre en T	83+040	311	15	436	654	14.12	156.67	11.9
7-26 poutre en T	88+433	315	20	403	604.5	12.89	130.49	8.02
7-26 poutre en T	88+806	169.5	18	216	324	10.64	88.93	6.44
1-36 poutres en T	90+560	115.7	17	148	222	9.75	74.65	6
1-26 poutre en T	92+430	117.9	19.5	165	248	10.51	86.8	5.95

### IV.4. Conclusion

D'après l'étude hydrologique et hydraulique précédente, on déduit que le tracé étudié comporte un volet des travaux très important en terme des ouvrages de drainage longitudinale et transversale, ces travaux doivent être exécuté avec prise en priorité primaire afin d'éviter des dégradations de plateforme en cas des crues.

# CHAPITRE V :

## ETUDE GEOTECHNIQUE

## V.1. INTRODUCTION

Une bonne analyse géologique est un élément fondamental de la qualité d'un projet et de la tenue ultérieure de la plateforme. Il faut donc procéder à un inventaire complet des problèmes géologiques dans la bande retenue afin que le tracé évite les difficultés de cette nature dans toute la mesure de possible ; les éléments géologiques recueillis lors de l'étude d'avant-projet doivent être complétés par des éléments géotechniques.

Les prélèvements d'échantillons effectués pendant les campagnes de sondages de l'avant-projet sont complétées par des campagnes spécifiques de sondages carottés dans les zones d'ouvrages d'art et de grands terrassements.

L'objet de l'étude géotechnique est de fournir aux constructeurs les caractéristiques mécaniques des sols dans l'emprise du projet et dans la zone intéressée par celui-ci, afin de permettre un calcul des éléments de la construction par application des lois de la mécanique des sols.

## V.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La ligne ferroviaire étudiée se développe dans le domaine de l'Atlas Tellien central. Elle traverse des sections de morphologie plane, collinaire et montagneuse.

La région entre Affroun et Bou-Medfa se trouve dans le versant du Tribu Des Soumata, constitué par du schiste et du grès datant du Crétacé.

La région entre Bou-Medfa et Khemis Miliana se trouve au bassin de Cheliff, datant du Tertiaire mésozoïque. Les terrains sont constitués en principe par des marnes gréseuses de Miocène, Pliocène et Quaternaire.

Le Djebel Gonntas constitue une barrière naturelle qui sépare le bassin Méso-cénozoïque de Bou-Medfa et la plaine alluviale de Cheliff. Les terrains de Gontas ont été poussés vers le Sud-Est par un vaste anticlinal, qui a amené à l'affleurement les marnes Miocène sur son flanc sud, c'est pour cela on a opté une solution crucial, c'est de creuser le plus long tunnel en Afrique.

La synthèse des grands ensembles géomorphologiques traversés par notre tronçon étudié (entre PK 82+420 et PK 100+510), et en se basant sur les coupes lithologiques situaient sur les rapports des sondages préssiométriques, on trouve :

- **Du PK 82+420 au PK 83+066**

En sortant du tunnel Ramdan le tracé se stagne dans un terrain vallonné passé par plusieurs oueds. Dans les premières vingt mètres on trouve un sol alluvion, par contre pour les trente mètres au-dessous on trouve un sol marneux.

- **Du PK 83+066 au PK 92+416**

En approchant de la région de Bou-Medfa le tracé s'éloigne de la série des monts de l'Atlas Tellien en passant progressivement d'un relief vallonné à un relief pratiquement uniforme et plat d'une morphologie peu perturbée. Les premières couches du sol dans ce tronçon est de type argile sableuse graveleuse, pour les couches intérieur le sol est une argile marneuse à une marne grisâtre.

- **Du PK92+416 au PK 100+510**

Lorsqu'on sort de Bou-Medffa le tracé perce une zone plate peu vallonnée mais en sortant de la gare de Hoceinia on se retrouve dans un terrain vallonné en approchant de la montagne Gontas. Les trois mètres du sol supérieur est une marne argileuse vert-grisâtre pour les couches inférieurs est une marne grisâtre.

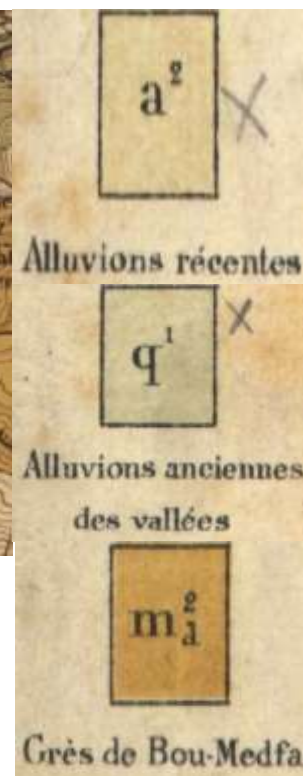
Les cartes géologiques du tronçon étudié sont situées dans l'**Annexe C1**.



Figure V-1 : Extrait de la carte géologique du DJBEL GONTAS au 1/50000 ème



Figure V-2 : Extrait de la carte géologique de la zone Bou Medfa au 1/50000 ème



À l'échelle stratigraphique, les grands ensemble litho-stratigraphiques dans le secteur étudié, sont représenté par :

✓ **Le quaternaire :**

Le quaternaire est déposé sur de vastes espaces en couvrant partiellement les formations du Mio-Pliocène et de Pliocène. Il est représenté par des formations alluvionnaires gypseuses, des limons sableux, des sables argileux et des encroûtements calcaires de surface.

✓ **Le grès :**

Le grès est une roche sédimentaire détritique, issue de l'agrégation et la cimentation de grains de sable. Il peut s'agir d'une roche cohérente et dure. Ces grains de sable sont souvent composés de silice, mais ils peuvent avoir d'autres compositions.

✓ **Les alluvions :**

Les alluvions sont un dépôt de sédiments d'un cours d'eau constitué, selon les régions et la force des courants, de galets, de graviers, de boues et de limons. Dans certaines vallées ces alluvions constituent une couche géologique qui peut contenir de l'eau sous forme de nappe phréatique ou d'aquifère.

### V.3. RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

Une reconnaissance des sols comprend la réalisation des sondages pour obtenir des échantillons remaniés et intacts pour des essais de laboratoire, la réalisation d'essais sur place, l'installation de piézomètres pour connaître le niveau d'eau souterraine et d'autres mesures pour obtenir le maximum d'informations géotechniques pour la conception et la construction des ouvrages projetés. Ces informations sont requises pour préciser la nature du sous-sol, déterminer les caractéristiques mécaniques du milieu, définir ou vérifier certaines propriétés des sols (résistance au cisaillement, capacités portantes, tassements, perméabilité, etc.) en relation avec la conception et la construction de l'ouvrage envisagé.

#### V.3.1. Essai in situ

La campagne de reconnaissance géotechnique in-situ a consisté en la réalisation de :

##### V.3.1.1. Les puits de reconnaissance

Cet essai permet une exploration visuelle de couches supérieures, l'organisme a réalisé huit puits dans notre tronçon. L'emplacement des puits est choisi à partir de l'expérience de l'ingénieur et les contraintes du site.

Grace au cout réduit de ces essais, l'organisme de réalisation à effectuer plusieurs puits pour cerner les zones qui nécessite une étude approfondie et exécuter des essais plus précis et couteux.

Les résultats sont représentés sur le tableau ci-après ; des fichiers de l'essai sont présentés dans l'Annexe C2 :

Tableau V-1 : coordonnées et descriptions des puits

Localisation des puits					Description lithologique
Puits	PK	X (m)	Y (m)	Profondeur(m)	
PB11-1	82+700	484744.78	343568.19	0.00-0.30m 0.30-4.00 m	Terre végétale. Graves fins sub-arrondis, jaune grisâtre.
PB11-2	83+400	484064.44	343398.25	0.00-0.30m 0.30-0.40m	Terre végétale. Argile gris jaunâtre, faiblement humide et dur.
PB11	84+940	482555.89	343392.08	0.00-0.20m 0.20-1.00m 1.00-5.00m	Terre végétale. Argile grise à peu de sable. Sable grossier, jaune- brunâtre, humide, avec beaucoup de gravier et d'argile.
PB11-4	86+850	480880.81	342483.34	0.00-0.25m 0.25-5.00m	Terre végétale. Argile gris jaunâtre, faiblement humide et dur.
PB17-1	94+500	475562.16	337358.80	0.00-0.30m 0.30-1.60m 1.60-3.85m	Terre végétale. Argile gris jaune, peu de homogénéité. Calcaire, sol solide, plasticité faible.
PB25-1	96+820	472807.09	335317.99	0.00-0.25m 0.25-3.40m	Terre végétale. Marne verte à concrétions carbonatées, l'égerment ferme à molle, à quelques traces de gypse.
PB20-1	97+950	473643.21	336067.20	0.00-1.40m 1.40-2.20m 2.20-4.00m	Argile marron, ferme, à peu de grave. Argile verte marneuse verte, à trace d'oxydation. Marne gris-verdâtre, ferme à très ferme, à quelque dépôts gypseux.
PB22	100+00	470807.14	335106.78	0.00-2.30m 2.30-3.70m	Argile noire grise, sol solide et humide. Argile grisâtre, à peu de gravier et de sable, sol solide et humide.



Figure V- 3 : Puits de reconnaissance

### V.3.1.2. Essai au pénétromètre dynamique lourd

Pénétromètre dynamique lourd est un appareil capable de déterminer directement une résistance limite de sol, dits par abréviation PDL, et l'essai correspondant sont décrits dans la norme NF P 94-115 de décembre 1990.

Un sondage au pénétromètre dynamique consiste à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui-même.

Le domaine préférentiel d'utilisation ces appareils est la reconnaissance qualitative des terrains lors d'une reconnaissance préliminaire.

Il convient de limiter la profondeur d'investigation au pénétromètre dynamique à des profondeurs de l'ordre de 30 m ; au-delà, malgré le vide annulaire entre l'appareil et le terrain, des frottements parasites ne peuvent être évités en raison du flambement des tiges sous l'effet des chocs.

On trace en fonction de la profondeur la résistance de pointe dynamique  $q_d$  calculé à l'aide d'une formule de battage de pieux, qui s'écrit :

$$R_d = \frac{M^2 * H}{A * e/N * (M + \sum M')}$$

Ou M est la masse du mouton (63.5 kg), M' la masse d'une tige (6.28 Kg), H la hauteur de chute de mouton (50 cm), e l'enfoncement moyen par coup (20 cm), A la section droite de la pointe (15 cm<sup>2</sup>) et g l'accélération due à la pesanteur.

Le but de l'essai est d'orienter les études pour avoir une idée générale sur la portance du sol et de définir la profondeur du substratum.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous ; des fiches de l'essai sont présentées dans l'Annexe C3 :

Tableau V-2 : Récapitulation des résultats du PDL

PK	$R_{d\ min}$ (Mpa) / Profondeur (m)	Type de sol	$R_{d\ max}$ (Mpa) / Profondeur (m)	Type de sol	Profondeur de Refus (m)
83+699.81	3.50Mpa/ 1.20m	Mou	18Mpa/ 7.80 m	Ferme	8.00
86+050.85	1.50Mpa/ 0.80m	Très Mou	18Mpa/ 7.00 m	Ferme	7.20
89+180	2.00Mpa/ 3.00m	Mou	40Mpa/ 6.60 m	Très Ferme	9.00
94+747	3.50Mpa/ 3.10m	Mou	23Mpa/ 7.50 m	Très Ferme	10.80
96+600	4.00Mpa/ 9.10m	Mou	25Mpa/ 12.60 m	Très Ferme	13.20
99+304	3.50Mpa/ 2.00m	Mou	37Mpa/ 4.00 m	Très Ferme	5.60

### V.3.1.3. Essai préssiométrique Menard (NF P 94-110-1)

Cet essai consiste à dilater radialement une cellule cylindrique placée dans un forage préalable. C'est la réalisation dans un forage préalable qui différencie essentiellement cet essai des autres essais préssiométriques réalisés par auto forage ou par fonçage direct de la sonde par battage ou véringage.

Les résultats expérimentaux relevés par l'opérateur ou enregistrés sont interprétés par ordinateur, le programme calcule la courbe corrigée qu'il présente puis les caractéristiques préssiométriques  $E_M$  et  $P_l$ .

Les valeurs de  $E_M$  et  $P_l$  déterminées sur un forage sont ensuite présentées sur un profil en fonction de la profondeur. Ce profil est appelé profil préssiométrique. Des fiches du profil de différents essais sont présentées dans l'Annexe C4.

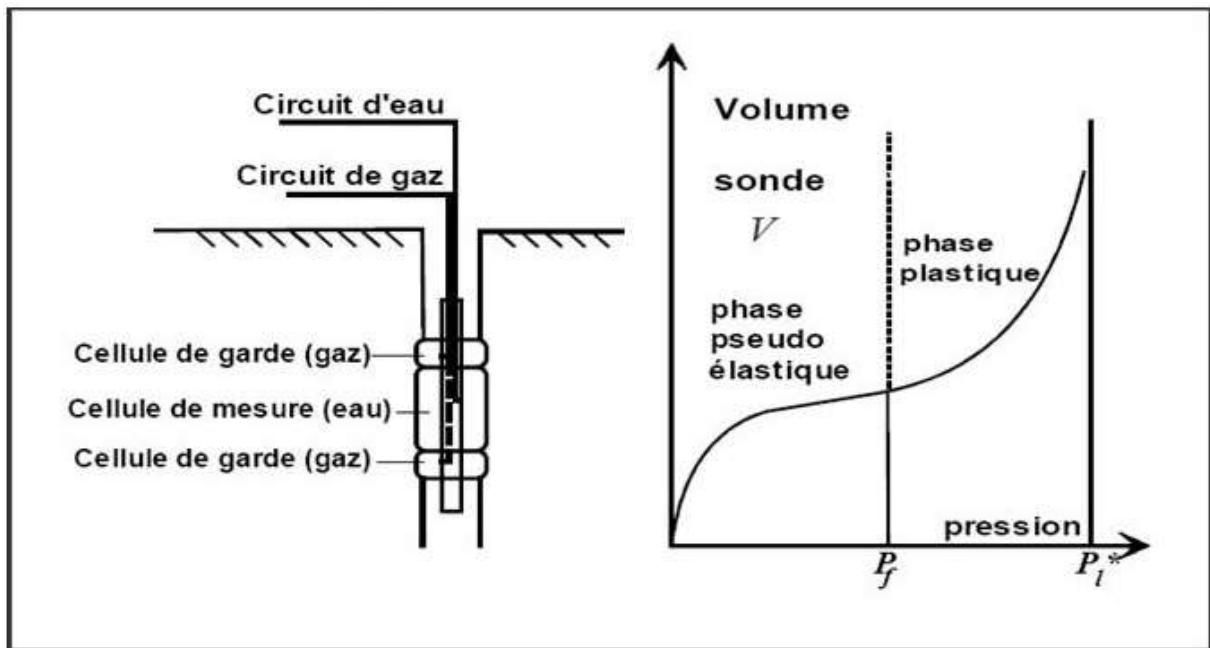


Figure V-4 : Schéma de principe d'un préssiomètre

### V.3.1.4. Sondage carotte équipé de piézomètre

Cet essai permet d'observer la succession des couches de sol et les éventuelles venues d'eau. A la différence d'un sondage destructif ou à la tarière, le sondage carotté permet de conserver une « image » de la succession des couches.

Le tableau ci-après présente des extraies des résultats obtenus le long du tronçon étudié :

Tableau V-3 : Description des sondages

Sonde	PK	Niveau d'eau(m)	Profondeur(m)	Description
SS 201	88+100	Sec	0.00-1.00	Terre végétale constitué de l'argile sableuse graveleuse. Argile sableuse caillouteuse. Dépôt alluvionnaire constitué de galet. Limon argileux de couleur jaunâtre. Dépôt alluvionnaire constitué de galet. Argile sableuse caillouteuse. Sable graveleux argileux oxydé.
			1.00-2.00	
			2.00-2.50	
			2.50-6.00	
			6.00-6.85	
			6.85-8.23	
			8.23-10.00	
SS 125-2	93+500	5.30	0.00-0.50	Terre végétale. Argile, ferme peu humide. Argile, présence de concrétions carbonatées, ferme de couleur jaune verdâtre. Marne peu altérée, très fracturée peu humide, très consistante, très oxydée au niveau des fissures.
			0.50-2.00	
			2.00-5.00	
			5.00-10.00	
SS 146	97+980	8.25	0.00-0.80	Terre végétale. Argile finement sableuse, carbonatées, ferme. Argile peu marneuse, oxydée, ferme. Alluvions.
			0.80-5.20	
			5.20-6.60	
			6.60-10.00	
SS 152-1	100+150	4.15	0.00-0.40	Terre végétale. Argile sableuse graveleuse, présence de traces de matières organique. Marne grise compacte fissurées par endroit, présence de matière organique et très oxydée au niveau des fissures.
			0.40-3.80	
			3.80-10.00	

Les fiches détaillées des sondages se trouvent dans l'annexe C5.

• **Niveaux piézométriques NF P 94-157-1**

Un tube piézométrique est un tube mise en place dans une cavité artificielle et remplie d'un matériau perméable permettant la détermination du niveau piézométrique. Le tube piézométrique ouvert est placé dans un terrain dont la perméabilité globale estimée est supérieure ou égale à  $10^{-7}$  m/s.

Un délai de repos d'au moins un jour pour les sols perméable et d'au moins une semaine pour les sols peu perméables ( $k < 10^{-5}$  m/s) est à observer après la mise en place du tube piézométrique.

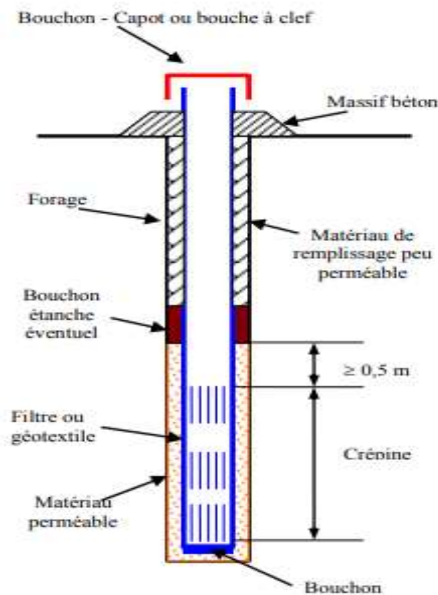


Figure V- 5 : Schéma de principe d'un piézomètre ouvert

Voici un extrait des résultats du niveau piézométrique du tronçon étudié récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau V- 4 : Niveaux piézométriques des sondages

N° sondages	Date de lecture	Niveau piézométrique	L'heure
SS 125-2	17/06/2012	5,30 m	15H05
	06/09/2012	Sec	12h20
SS 146	21/06/2012	8.25m	15H33
	06/09/2012	9.10m	14H30
	10/09/2012	9.10m	
	30/09/2012	8.70m	15H45
SS 152-1	22/06/2012	4.15m	15H42
	06/09/2012	6.09m	11H05
	30/09/2012	6.25m	15H50

### V.3.2. Essai au laboratoire

La réalisation d'essais géotechniques au laboratoire est complémentaires aux essais in situ ; les essais de laboratoire ont été réalisés sur des échantillons intacts prélevés au niveau des sondages carottés, ont subi des analyses pour une identification Physico-chimique, et la détermination des caractéristiques mécaniques du sol étudié.

#### V.3.2.1. Essai d'identification

L'identification se fait par l'intermédiaire d'une analyse granulométrique par tamisage et/ou par sédimentation pour les sols fins.

- **Analyse granulométrique (NF P 94-041 / NF P 94-057)**

Elle permet d'obtenir la répartition en pourcentage des grains solides selon leur dimensions ; les résultats granulométriques sont représentés sur une courbe d'axes semi-logarithmique, qu'on appelle courbe granulométrique ; on peut encore extraire de la courbe deux informations sur la nature de sol :

Coefficient d'uniformité de HAZEN :  $C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

Coefficient de courbure :  $C_C = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$

- **Limite d'Atterberg (NF P 94-051)**

Le comportement des sols fins dépend de la composition minéralogique (types des minéraux argileux), de sa structure et de sa teneur en eau.

- **Essai Proctor (NF P 94-093)**

L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol par compactage à une énergie fixée (poids de dame, nombre de coups et dimensions normés).

- **Classification des sols**

Elle consiste à regrouper les sols qui ont une nature, un état et un comportement similaires par rapport à une application géotechnique particulière.

En se basant sur le tracé en plan et le profil en long de notre tronçon, on a répartis les résultats d'identification sur huit (8) zones d'études. Le critère de choix des zones de traitements est qu'elles soient sujet d'un terrassement (remblais, déblais) ou bien une gare ; le but de ces résultats est de classer les sols pour adopter la solution idéale liée au problème.

Les résultats de l'identification sont représentés dans le tableau ci-après ; des fiches détaillées des essais d'identifications sont présentées dans **l'annexe C6** :

Tableau V-5 : Tableau récapitulatif des résultats d'identifications des sols

Paramètre	Profondeur (m)	$\gamma_d$ ( $t/m^3$ )	$\omega_{nat}$ (%)	Proctor			Granulométrie				Limites d'Aterberg		GTR	UIC
				$\gamma_{dmax}$ ( $t/m^3$ )	$\omega_{opn}$ (%)	VBS	2 mm	80 $\mu m$	25 $\mu m$	2 $\mu m$	$W_L$ (%)	$I_P$ (%)		
Zone de traitement I PK 82+420 au PK 84+980														
<b>PB11-1/ SS84</b>	2.65 à 2.90	1.66	10	1.80	13.9	1.23	89	55	39	18	33	17	C1B5S	QS1 (3)
Zone de traitement II PK 84+980 au PK 87+380														
<b>PB11-4/ SS98</b>	2.10 à 2.50	1.74	15.6	1.79	18.0	1.87	85	69	60	35	45	21	A2S	QS1
	4.35 à 4.75	1.76	17.9	-	-	-	96	87	68	44	52	25	A2S	QS1
	8.27 à 8.61	1.69	20.8	-	-	-	93	81	66	42	53	26	A3S	QS0
Zone de traitement III PK 87+380 au PK 89+160														
<b>PB16-1/ SS211</b>	2.05 à 2.46	1.72	14.5	1.81	18	1.77	96	51	32	16	32	13	A2S	QS1
Zone de traitement IV PK90+580 au PK92+160														
<b>PB14/ SS119</b>	3.15 à 3.60	1.70	15.7	1.73	18.2	2.70	98	90	67	34	46	23	A2S	QS1
Zone de traitement V PK94+140 au PK96+660														
<b>PB17-1/SS131-1</b>	3.00 à 3.40	1.78	16.2	1.83	19.7	-	98	84	-	-	34	16	A2S	QS1
	5.00 à 5.57	1.84	16.5	-	-	-	99	85	-	-	36	17	A2S	QS1
	8.00 à 8.52	1.85	14.7	-	-	-	99	87	-	-	33	9	A1S	QS1
Zone de traitement VI PK 97+660 au PK98+220														
<b>PB20-1/SS147</b>	3.00 à 3.50	1.77	18.4	-	-	-	99	99	73	26	49	25	A2S	QS1
	4.00 à 4.35	1.63	22.8	-	-	-	99	99	-	-	65	46	A4S	QS0
	5.33 à 5.80	1.72	20.7	-	-	-	99	98	-	-	57	35	A3S	QS0
Zone de traitement VII PK 98+220 au PK99+340														
<b>SS150-1</b>	1.00 à 2.50	1.64	20.9	-	-	-	90	87	54	13	49	25	A2S	QS1
	5.00 à 5.80	1.57	23.6	-	-	-	90	86	55	22	34	18	A2S	QS1
Zone de traitement VIII PK 99+840 au PK100+500														
<b>PB 20B-1/ SS153-1</b>	1.00 à 2.25	1.70	12.0	-	-	-	93	92	63	19	39	19	A2S	QS1
	3.00 à 4.25	1.61	15.7	-	-	-	99	99	67	20	42	21	A2S	QS1
	5.00 à 6.25	1.61	13.4	-	-	-	79	67	42	13	29	16	A2S	QS1
	7.30 à 8.55	1.81	11.4	-	-	-	81	70	42	17	28	14	A2S	QS1

**A1** : Limons peu plastiques, sables fins peu pollués. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur  $w_n$  est proche de  $w_{opn}$ .

**A<sub>2</sub>** : Sables fins argileux, argiles et marnes peu plastiques. Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée).

**A<sub>3</sub>** : Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier.

**A<sub>4</sub>** : Ces sols sont très cohérents et presque imperméables ; leur emploi en remblais ou en couche de forme n'est pas envisagé.

**C<sub>1</sub>B<sub>5</sub>S** : alluvion grossière

**Q<sub>S0</sub>** : Sols impropres, sols fins comportant plus de 15% de fines foisonnés, humides et donc non compactables.

**Q<sub>S1</sub>** : Sols médiocres comportant plus de 40% de fines, non foisonnés et secs ; des sols marneux.

**Q<sub>S1</sub> (3)** : Sols comportant de 15 à 40% de fines, ces sols peuvent être de qualité Q<sub>S2</sub> si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

### V.3.2.2. Essais mécaniques

- **Compressibilité (XP P 94-090-1)**

L'étude des tassements des sols est un des points les plus importants de tous les projets ; le tassement désigne l'enfoncement vertical de l'ouvrage sous l'effet de compression et de la déformation de sol qui le supporte.

La compressibilité est le phénomène de diminution de volume. Cela dépend des contraintes effectives dues aux surcharges à différentes profondeurs.

Ainsi, l'essai œdométrique permet d'évaluer l'amplitude des tassements des ouvrages ainsi que leur évolution dans le temps. Le sol est placé dans une enveloppe rigide, on exerce une pression variable à l'aide d'un piston puis on mesure les affaissements observés. C'est la relation  $\sigma = f(\varepsilon)$ .

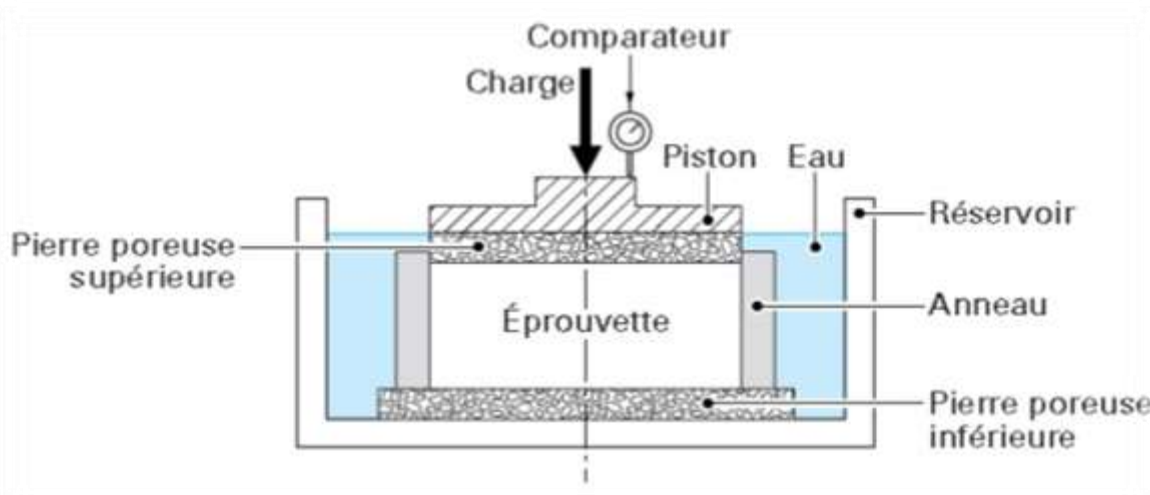


Figure V-6 : Cellule œdométrique

Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :

- les courbes de consolidation, qui donnent le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une contrainte constante.
- la courbe de compressibilité, qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée.

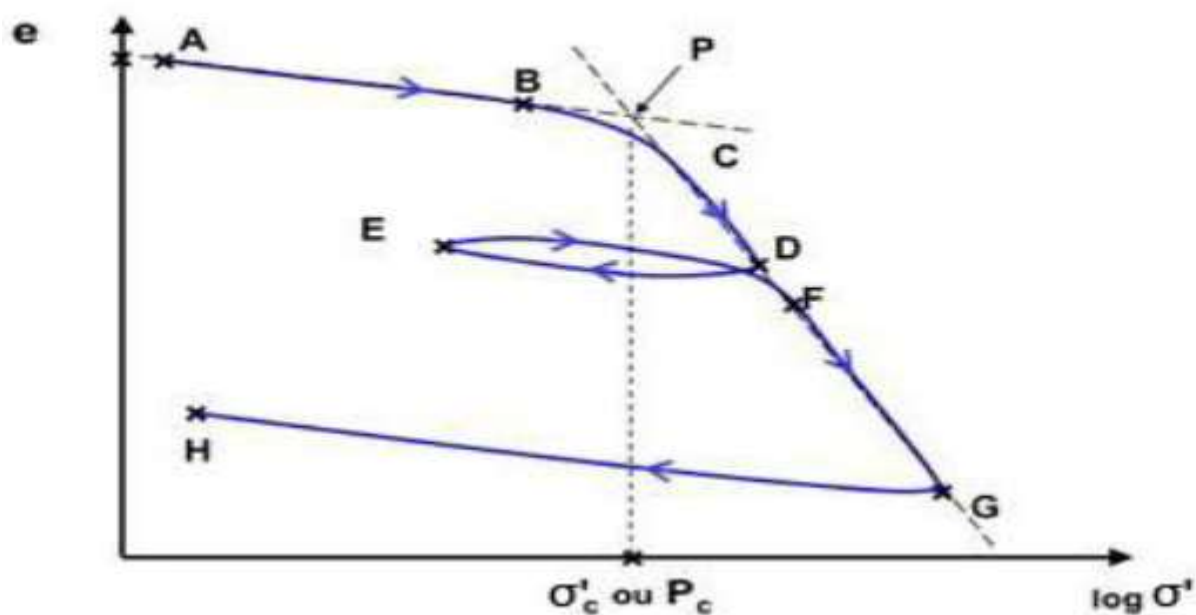


Figure V-7 : Exemple d'une courbe de consolidation

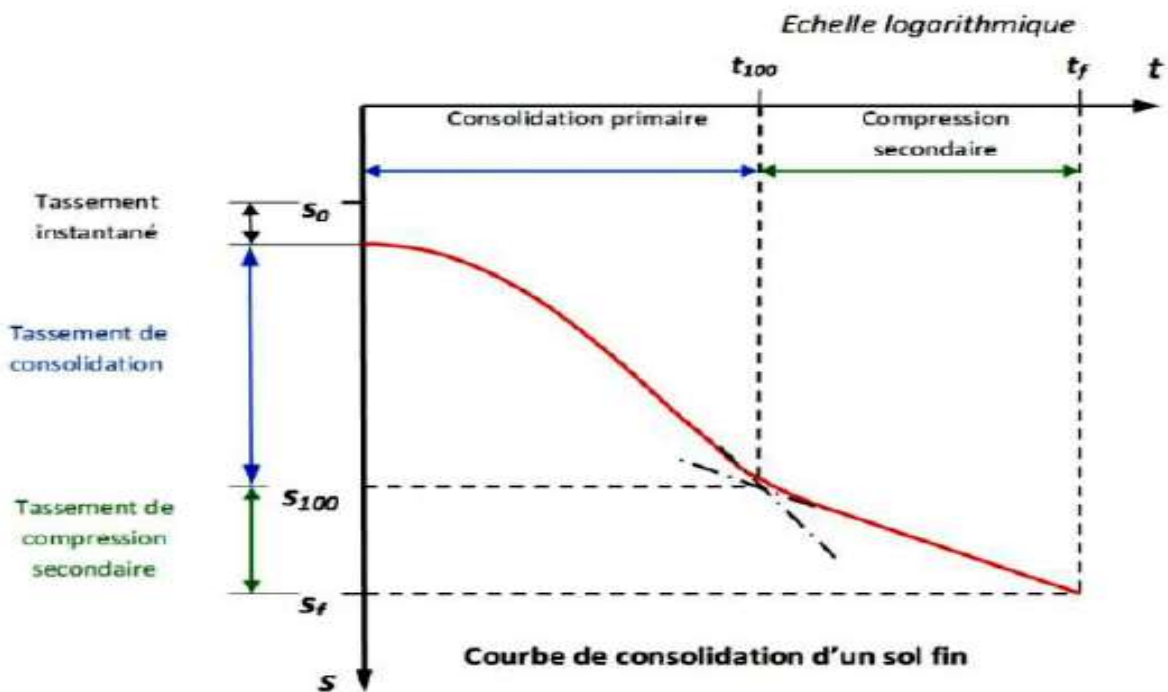


Figure V- 8 : Courbe de compressibilité œdométrique

La pression de consolidation  $\sigma_c$  est la pression maximal qu'a subit le sol durant son histoire, elle a permis sa consolidation. C'est la pression qui correspond à l'intersection des deux branches de la courbe de chargement.  $\sigma_c$  est proportionnelle à  $e$  (indice des vides) et le coefficient de proportionnalité  $C_c$  s'appelle : Indice de compression.

$$C_c = - \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma}$$

Tableau V- 6 : Qualificatif 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 de cisaillement rectiligne à la boîte (NF P 94-071-1)**

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- ✓ Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette sous l'effort (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai,
- ✓ Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif  $\delta_l$  à vitesse constante,
- ✓ Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.

Le but de l'essai est d'obtenir les paramètres  $(C ; \varphi)$  pour traiter les problèmes d'instabilités (rupture et glissement) due à la réalisation des remblais sur sols compressibles.

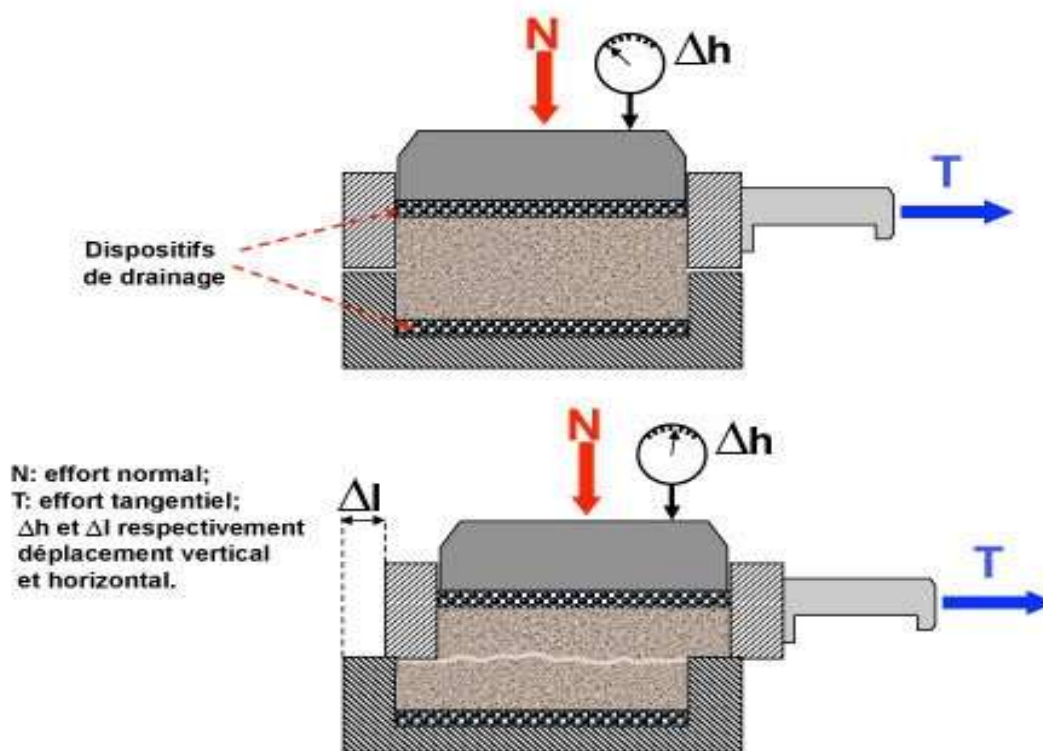


Figure V- 9: Principe de l'essai de cisaillement direct

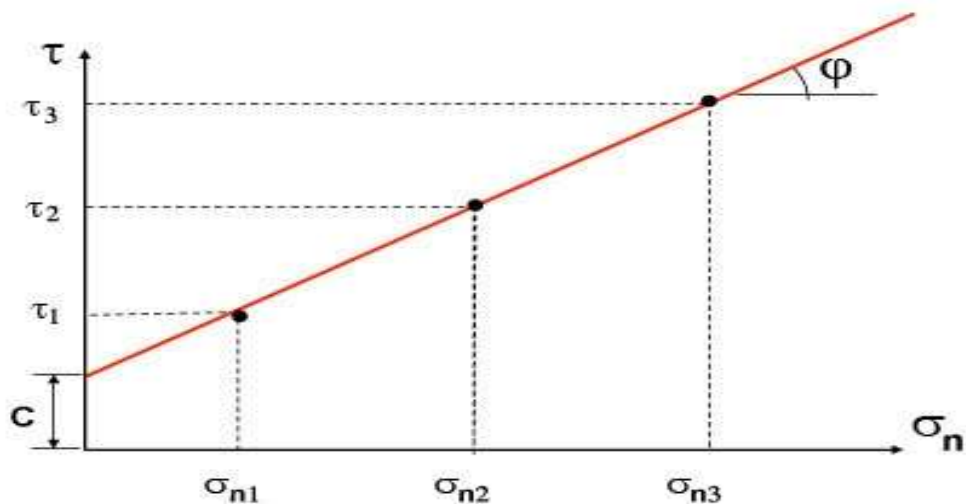


Figure V-10 : Résultats d'un essai de cisaillement direct dans le plan de Mohr

Les résultats des essais mécaniques sont représentés dans le tableau ci-après ; des fiches détaillées des résultats des essais mécaniques sont présentées dans l'Annexe C6 ;

Tableau V-7 : Tableau récapitulatif des résultats des essais mécaniques

Paramètre	Profondeur	Essai œnométrie			Essai cisaillement		Sol
		P <sub>C</sub> (bars)	C <sub>c</sub>	C <sub>g</sub>	C (bars)	φ( degré)	
Zone de traitement I PK 82+420 au PK 84+980							
<b>SS84</b>	2.65 à 2.90	1.00	0.207	0.026	0.42	7°	Assez Fort Compressible
Zone de traitement II PK 84+980 au PK 87+380							
<b>SS98</b>	2.10 à 2.50	-	-	-	1.15	40.64°	-
	4.35 à 4.75	-	-	-	1.96	29.43°	-
	8.27 à 8.61	3.08	0.168	0.041	-	-	Moyennement compressible
Zone de traitement III PK 87+380 au PK 89+160							
<b>SS211</b>	2.05 à 2.46	1.91	0.156	0.032	0.45	6°	Moyennement compressible
Zone de traitement IV PK90+580 au PK92+160							
<b>SS119</b>	3.15 à 3.60	0.57	-	-	0.72	11°	-
Zone de traitement V PK94+140 au PK96+660							
<b>SS131-1</b>	3.00 à 3.42	5.22	0.089	0.016	0.2	25.99	Peu Compressible
	5.00 à 5.57	4.37	0.026	0.007	0.26	24.91	Très Peu Compressible
Zone de traitement VI PK 97+660 au PK98+220							
<b>SS147</b>	3.00 à 3.58	3.67	0.148	0.040	0.51	21.75°	Moyennement Compressible
	4.00 à 4.35	-	-	-	0.42	22.59°	-
Zone de traitement VII PK 98+220 au PK99+340							
<b>SS150-1</b>	1.00 à 2.50	1.45	0.104	0.015	0.29	22.80°	Moyennement Compressible
	5.00 à 5.80	1.34	0.153	0.021	0.27	20.30°	Moyennement Compressible
Zone de traitement VIII PK au PK99+340							
<b>SS153-1</b>	1.00 à 2.25	1.42	0.243	0.021	0.20	29.00°	Assez Fort Compressible
	3.00 à 4.25	1.53	0.169	0.014	0.25	33.50°	Moyennement Compressible
	5.00 à 6.25	1.33	0.180	0.015	0.16	24.90°	Moyennement Compressible
	7.30 à 8.55	1.48	0.101	0.012	0.23	30.00°	Moyennement Compressible

#### V.4. CONCLUSION

- En se basant sur les cartes géologiques et les descriptions lithologiques fournies par les puits de reconnaissances et les sondages carottés, la zone étudiée est constituée principalement par des quaternaires caractérisés par des matériaux alluvions, argileux, limoneux et marneux.
- La réalisation des essais d'identifications et les essais mécaniques aux laboratoires sur plusieurs échantillons du sol prélevés de nombreux profondeurs jusqu'à 10m de profondeur, nous ont permis de faire deux classifications du sol :
  - ✓ Selon la classification GTR : le sol est argileux marneux sec à très sec le long du tronçon étudié.
  - ✓ Selon la classification UIC719R : en général le sol est médiocre de classe **QS1**. Ces sols peuvent éventuellement être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).

# CHAPITRE VI :

## TERRASSEMENT ET

## COUCHE D'ASSISE

## VI.1. INTRODUCTION

La performance d'une piste dépend principalement de la solidité de sa fondation. À maintenir les exigences de maintenance à un niveau bas et avoir une bonne qualité de conduite, sa formation doit être conçue de manière adéquate pour répondre aux charges de trafic prévues et construit avec modernité et techniques appropriées. L'étape principale pour la construction d'une structure d'assise ferroviaire, c'est les travaux de terrassements.

Les terrassements correspondent à la première phase de travaux en vue de l'édification d'un ouvrage. Ils regroupent tous les ouvrages et travaux destinés à modifier provisoirement ou définitivement les formes d'un terrain. Le calage du profil en long est essentiellement lié à l'optimisation du mouvement de terres, compte tenu des diverses contraintes imposées ; c'est à partir des éléments apportés par la géologie et la géotechnique qu'il faut déterminer un profil projet tel que le coût global des terrassements soit minimal.

## VI.2. DEBLAIS

Ouvrage résultant de l'action de déblayer, consiste à extraire et enlever des sols et/ou des matériaux rocheux pour abaisser ou niveler le terrain existant.

### VI.2.1. Géométrie

Les pentes de talus principalement utilisées et exprimées en fraction base sur hauteur, sont : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2.5/1, 3/1.

Elles sont conçues de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage, la largeur du fond de déblais (arase terrassement) est fonction de :

- ✓ La géométrie de la plateforme ferroviaire et d'éventuelles installations.
- ✓ Type de structure d'assise retenue.
- ✓ Type de drainage longitudinal.

Les talus peuvent être réalisés par palier, en étant interrompus par des banquettes d'au moins 1m de large (risberme), pour briser le ruissellement de l'eau et permettre la circulation à des étages intermédiaires.

### VI.2.2. Stabilité des talus en déblais

Après l'analyse de profil en long du tronçon étudié, on a pu localiser les zones critiques qui sont sujets des déblais.

A cause de la nature du sol meuble de notre projet, on va utiliser des talus 1H/1V de pente et des bermes de 2m de large tous les 6 m de hauteur ; le niveau piézométrique est à 4 m.

La géométrie proposée doit être justifiée par des calculs de stabilité. La méthode de calcul devra être adaptée au type de rupture envisagée, on a choisi la méthode de Bishop pour les ruptures circulaires, comme on a utilisé le logiciel 'Slide 6.0' pour les calculs des stabilités.

Le coefficient global de sécurité (F) à respecter doit être:  $F \geq 1.5$  pour la stabilité à long terme, et  $F \geq 1.3$  pour la stabilité à court terme ; ces facteurs sont exigés par le cahier de charge.

Le tableau suivant représente les résultats obtenus du logiciel manipulé ; une fiche détaillée de calcul se trouve dans l'**Annexe D5**.

Tableau VI - 1 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais

PK Début- Fin	Profondeur (m)	Paramètres géotechniques			Géométrie de talus				Facteur Sécurité	
		$\gamma_h$ ( $t/m^3$ )	C (bars)	$\varphi$ (degré)	Longueur (m)	Hauteur Max (m)	Pente	Berme/ Talus (m)	court	long
94+140 à 94+520	3.00 à 3.58	20.60	20	26.00	380	8	1/1	2m / 6m	5.691	1.942
	4.00 à 4.35	21.40	26	24.91						
97+660 à 98+220	1.00 à 2.50	20.10	24	21.75	560	9	1/1	2m / 6m	5.386	1.660
	5.00 à 5.80	19.50	18	22.60						
99+840 à 100+480	1.00 à 2.25	19.00	20	29.00	640	11	1/1	2m / 6m	3.185	1.905
	3.00 à 4.25	18.60	25	33.50						
	5.00 à 6.25	18.30	16	24.90						
	7.30 à 8.55	20.20	23	30.00						

En comparant les résultats obtenus des facteurs de sécurités avec les conditions de stabilité à long et court terme ( $F \geq 1.5$  ;  $F \geq 1.3$ ), alors les pentes des talus sont stables.

Les matériaux déblayés sont en majorité des argiles donc on prévoit un risque de gonflement ; la tolérance est de 0 mm, les sols gonflants rencontrés en fond de déblai doivent être protégés pour éviter tout risque d'évolution et de désordre ultérieur à court et à long terme.

Les talus des terrains sensibles (eau, gel) sont protégés par des masques en matériaux frottant. L'eau est éliminée par des dispositifs appropriés (drains, revêtement de talus, tranchées et masques drainants)

### VI.2.3. Réutilisation des matériaux 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.

La majorité des zones de traitements en déblais du tronçon étudié sont constituées par des sols fins (argiles, limons, marnes), ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible et leur sensibilités aux conditions météorologiques.

La zone de traitement I est constituée par des alluvions grossières et des argiles à silex (roche sédimentaire) ; le laboratoire de l'entreprise de réalisation a procédé à l'analyse d'identification des échantillons de matériaux prélevés dans deux (02) puits de sondage au site de déblais de terrassement PK 82+530 au PK 82+780, dont la profondeur est de 3.50 m ; le but de cette analyse est de savoir la possibilité de son réutilisation dans la construction des remblais courants.

• **Résultats des essais d'identification**

Tableau VI - 2 : Résultats des essais d'identification des matériaux réutilisés

Paramètre	Profondeur (m)	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	$\omega_{nat}$ (%)	Proctor			Granulométrie % Passant				
				$\gamma_{d\ max}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\omega_{opn}$ (%)	VBS	50 mm	5 mm	2 mm	80 $\mu$ m	63 $\mu$ m
Ech N° 1	1.50 à 3.50	-	10.63	2.06	10.30	0.619	79	47	36	20	20
Ech N° 2	1.50 à 3.20	-	9.58	2.03	10.44	0.544	79	46	34	19	19

• **Autres essais**

Pour l'utilisation des matériaux en remblais il faut autres essais pour la classification :

✓ Essai équivalent de sable ES (%) **NF P 18-598**

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable et effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de ES est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimenté.

✓ Essai Los Angeles LA (%) **NF P 18-573**

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

Le coefficient LA est égal à la fraction de la masse sèche (g) du tamisât à 1.6 mm après essai sur 5000 le tous multiplié fois 100.

✓ Essai Micro-Deval MDE (%) **NF P 18-572**

L'essai permet de déterminer la résistance à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive) à sec ou en présence d'eau.

Le coefficient Micro-Deval est égal à la fraction de la masse sèche (g) du tamisât à 1.6 mm après essai sur 500 le tous multiplié fois 100.

Le coefficient mesure le pourcentage d'usure, plus il est petit et plus la résistance à l'usure est grande.

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus.

Tableau VI - 3 : Récapitulatif des essais mécaniques

Paramètres	LA (%)	MDE (%)	ES (%)
Ech N°1	40.56	50.80	15.40
Ech N°2	41.14	53.00	12.82

• **Classification des matériaux selon le guide GTR**

Tableau VI - 4 : Tableau de classification selon GTR

Caractéristiques	Échantillon N°1	Échantillon N°2
$D_{max} > 50$ mm	C <sub>1</sub> B <sub>52</sub> m	C <sub>1</sub> B <sub>52</sub> m
Passant 80 $\mu$ m > 12%		
VBS $\leq 1.5$		
LA > 45%		
MDE > 45%		

- **Classification des matériaux selon la norme UIC719**

Tableau VI - 5 : Tableau de classification selon UIC719

Caractéristiques	Échantillon N°1	Échantillon N°2
Passant 63 µm > 15%	QS1(3)	QS1(3)
LA > 40%		
MDE > 40%		

- **Condition et notice d'utilisation des matériaux pour remblai**

L'extraction des matériaux dans les déblais de terrassement au PK 82+530 à PK 82+780 pour remblai courant, le transporter sur site pour la mise en œuvre, l'étaler et le compacter. Selon la condition météorologique, contrôler l'épaisseur de la couche, la teneur en eau, le traitement particulier, la méthode de surhaussement et compactage, ainsi que la hauteur de remblai.

Voir le tableau détaillé dans l'annexe D1.

### VI.3. REMBLAIS

Ouvrage résultant de l'action de remblayer, consiste à mettre en place des matériaux pour rehausser ou niveler le terrain existant.

Après l'analyse de profil en long du tronçon étudié, on a pu localiser les zones qui sont sujets de cette action. Le tableau ci-dessous représente les différentes zones de remblais.

Tableau VI - 6 : Localisation des zones de remblais

PK (Début)	PK (Fin)	Longueur (m)	Hauteur max (m)	PK de la hauteur max
82+780	84+920	2140	11	84+360
84+980	87+320	2340	7	85+820
87+380	89+160	1780	12	88+800
90+580	90+960	380	14	90+800
95+660	96+660	1000	5	96+140
98+220	99+340	1120	6	98+820

#### VI.3.1. Gites d'emprunts

Le tronçon étudié de la ligne ferroviaire est situé dans une zone riche en ressources des matériaux ; après la localisation des gisements de matériaux il faut faire une reconnaissance géotechnique pour vérifier si les matériaux sont conformes pour l'utilisation en remblais.

Le paramètre important reste cependant celui du coût des transports et donc de la distance des ressources d'approvisionnement au tracé. Pour le tronçon étudié l'entreprise de réalisation a localisé quatre (04) gites d'emprunts non exploités en plus les matériaux de déblais réutilisables.



Figure VI - 1 : Localisation du gite d'emprunt par rapport la ligne ferroviaire

Le tableau suivant présente les résultats des essais de reconnaissance pour les gites d'emprunts :

Tableau VI - 7 : Résultats des essais au laboratoire pour les matériaux des gisements

Paramètre	Hauteur (m)	Proctor		VBS	Granulométrie % Passant					LA (%)	ES (%)	MDE (%)	GTR	UIC 719
		$\gamma_{d\ max}$ ( $t/m^3$ )	$\omega_{opt}$ (%)		$D_{max}$ mm	80 $\mu m$	63 $\mu m$	Cu	Cc					
Gite N°1	5.00	2.21	7.10	0.31	50	0.60	-	39	1.80	30.10	36.50	28.80	C1B41ts	QS2
Gite N°2	4.20	2.12	8.70	0.25	50	0.40	0.20	73	1.24	31.20	19.50	29.50	C1B41s	QS2
Gite N°3	4.00	2.15	7.20	0.11	50	13	11	48	19.40	19.10	56.60	23.80	C1B41ts	QS2
Gite N°4	4.50	2.10	8.50	0.15	80	1.10	0.40	80	1.60	27.60	-	24.20	C1B41s	QS2

Les matériaux de ces gites sont de classes QS2 et QS3 ; et les matériaux de QS2 sont en majorité, ils sont conformes aux exigences pour l'utilisation en remblai, couche de forme et couche de fondation.

### VI.3.2. Géométrie

Avant la réalisation d'un remblai il faut préparer le terrain ; le décapage de la terre végétale est réalisé selon des épaisseurs variables déterminées par des études géotechniques, pour le tronçon étudié la couche végétale décapée est de 30 cm.

La structure des remblais peut être composite. Dans ce cas, leur géométrie de principe est définie selon le référentiel technique SNTF (remblai avec noyau et enveloppe, remblai avec

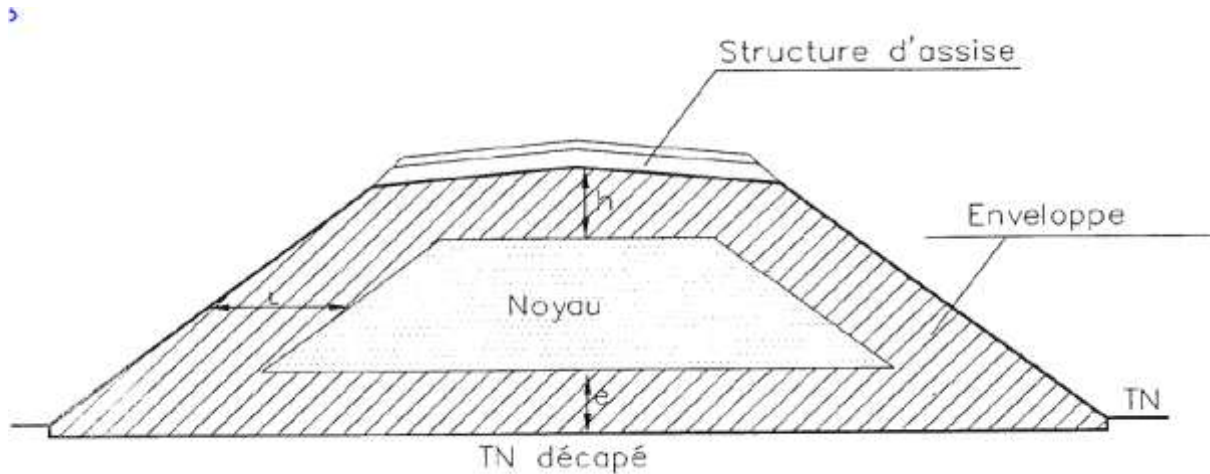


Figure VI - 2 : Structure d'un remblai courant

matériaux de zone inondable) et justifiée, pour chaque cas d'application en fonction des matériaux les constituant.

e : épaisseur de l'enveloppe en base de remblai (1.00m minimum)

l : largeur de l'enveloppe (3.00 m minimum)

h : épaisseur de l'enveloppe au-dessus du noyau (1.00 m minimum)

En réalité cette structure est difficile à réaliser alors on va éliminer la partie de noyau et on utilisera un matériau compatible avec les exigences d'utilisation en remblais pour l'intégrale de la structure.

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés selon la conception donnée dans le référentiel technique, de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité.

Selon les spécifications techniques ST 590 B (SNTF), les matériaux à utiliser doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- $63 \leq D < 500 \text{ mm}$
- Tamisât à ( $D \leq 200 \text{ mm}$ ) :  $85\% \leq \% \text{tamisat} \leq 99\%$
- Passant à  $80\mu\text{m} \leq 5\%$
- $LA + MDE \leq 80$

Le NPHE (niveau des plus hautes eaux) est déterminé par l'étude hydraulique.

Cette structure est aussi complexe en vue de sa réalisation alors on ne va pas envelopper le noyau, c'est-à-dire dans toute la partie au-dessous du remblai courant on utilisera le même matériau que le matériau du noyau.

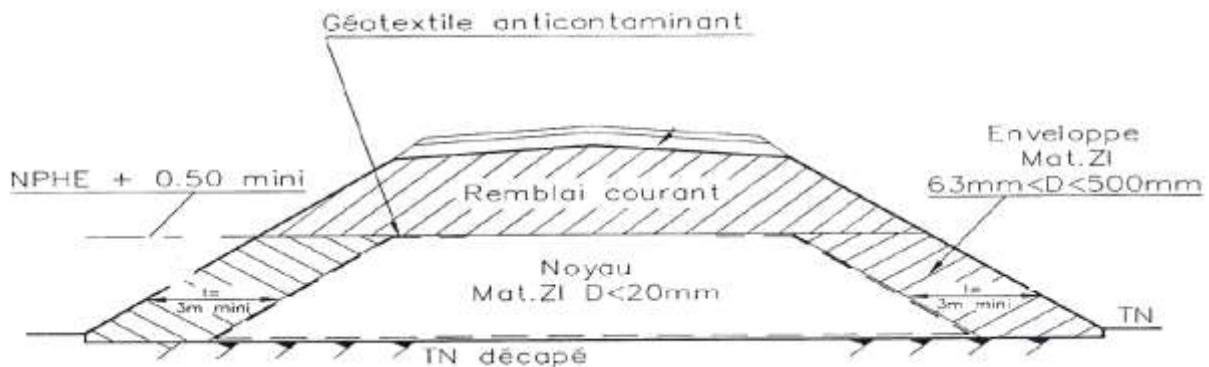


Figure VI - 3 : Structure d'un remblai en zone inondable

Les pentes des talus principalement utilisées et exprimées en fraction base sur hauteur, sont : 3/2 et 2/1.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité et la pérennité générale de l'ouvrage, en fonction des :

- ✓ Caractéristiques géotechniques du sol support et des matériaux mis en œuvre pour remblais.
- ✓ La hauteur de l'ouvrage.
- ✓ Conditions de site, en particulier de la topographie, de l'hydrologie et de la sensibilité de l'environnement du point de vue des risques naturels.

### VI.3.3. 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 couches de sol, le niveau de la nappe et les caractéristiques mécaniques du remblai et des sols de fondations qui sont la résistance au cisaillement, et le poids spécifique.

La résistance au cisaillement à considérer est celle obtenue avant consolidation, c'est elle qui fournit le plus petit coefficient de sécurité.

Pour les calculs des facteurs de sécurités on a utilisé le logiciel 'Slide 6.0', en utilisant la méthode de Bishop simplifiée.

Les facteurs de sécurités globaux à prendre en considération sont les suivants :

- ✓  $F_s \geq 1.50$  pour la stabilité à long terme.
- ✓  $F_s \geq 1.30$  pour la stabilité à court terme.
- ✓  $F_s \geq 1.00$  pour l'analyse en conditions sismiques.

Les pentes du talus des remblais proposées pour la vérification de la stabilité des remblais sont : 3H/2V avec l'introduction d'une berme de 2 m chaque 6 m de hauteur ; on a pris en considération une surcharge de 30 kpa appliquée sur la tête du remblai.

Les actions sismiques sont appliquées en étant des forces statiques équivalentes, constantes et proportionnelles au poids propre du terrain ; ces actions sont déterminées en faisant référence aux normes parasismique algériennes (Règles Parasismiques Ouvrages d'Art – RPOA).

- ✓ Accélération sismique de la zone :  $A = 0.20g \text{ m/s}^2$
- ✓ Coefficient sismique horizontale :  $k_h = 0.5 * A = 0.1$
- ✓ Coefficient sismique verticale :  $k_v = 0.3 * k_h = 0.03$

On présente les résultats de vérification de stabilité du cas le plus critique d'un remblai de 14m de hauteur dans le tableau ci-après :

Tableau VI - 8 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité d'un talus en remblais

PK	Caractéristiques des matériaux			Géométrie de talus			Facteur de sécurité			
	$\gamma_h$ ( $t/m^3$ )	C (bars)	$\varphi$ (degré)	Longueur (m)	Hauteur Max (m)	penne	Berme/ Talus (m)	Court terme	Long terme	Condition sismique
90+800	20	10	35	380	14	3/2	2m/6m	1.329	1.791	1.098

En comparant les résultats obtenus des facteurs de sécurités globaux par le logiciel 'Slide 6.0' avec les facteurs de sécurités exigés, on conclut que le talus est stable, que ce soit à court terme, à long terme ou en condition sismique.

### VI.3.4. Tassements

Les études de tassement des remblais doivent non seulement permettre de définir la vitesse de montée des remblais, mais aussi de vérifier que les tassements à attendre après mise en service sont facilement maîtrisables par les reprises habituelles de nivellement sur la ligne considérée ; sinon, il y'a lieu d'envisager l'une des dispositions suivantes :

- Purge du sol compressible (cette méthode, qui est la plus sûre, est à préférer lorsque la profondeur à purger n'est pas excessive).
- Pré-chargement de consolidation du sol support ou surcharge provisoire du remblai.
- **Exemple d'application sur le remblai précédent :**

Pour cette application on a utilisé le logiciel GEO 5 ; en raison de manque de données, on a opté pour les paramètres suivant :  $\gamma_h = 20 \text{ t/m}^3$ ;  $E_{oed} = 10 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_{sat} = 21 \text{ t/m}^3$ ;  
 Le calcul montre que la profondeur maximale de la zone d'influence est de 9 m, le tassement maximale est de l'ordre de 23 mm ; une fiche détaillée de calcul se trouve dans l'**annexe D7**.  
 On conclut qu'on n'a pas besoins de despotisions sécuritaires pour maîtriser les tassements puisque les résultats obtenus sont admissibles.

### VI.4. STRUCTURE D'ASSISE FERROVIAIRE

La structure 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)

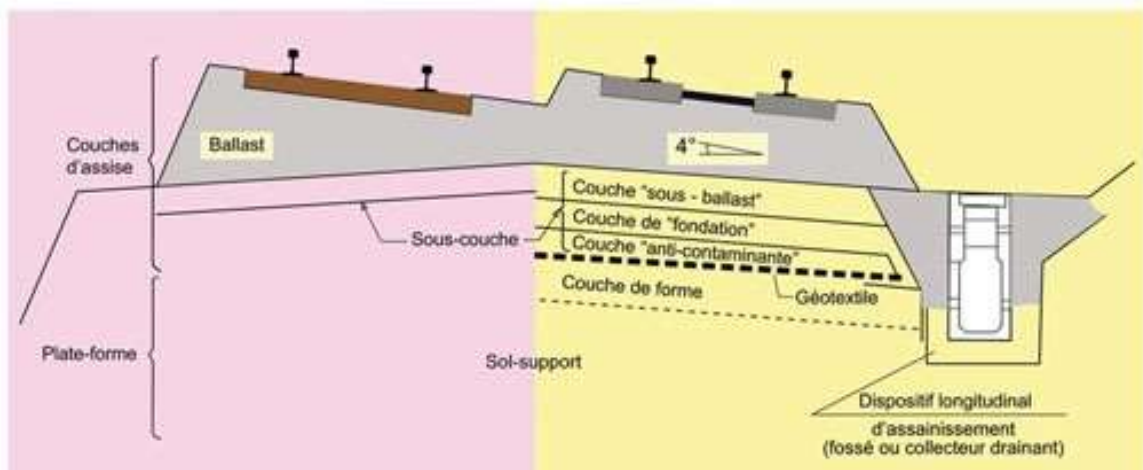


Figure VI - 4 : Profil en travers schématique des couches d'assises

### VI.4.1. La couche de ballast

La couche supérieure, dite de bourrage, constituée de matériaux anguleux, les cailloux ronds, difficiles à bourrer doivent être éliminés. Le principal rôle de cette couche est de :

- Permettre la rectification très rapide du nivellement et du tracé.
- Permettre de bien caler les traverses.
- Assurer le drainage et l'évacuation rapide des eaux.
- Constitue un amortisseur de vibration pour la voie.

### VI.4.2. Caractéristiques du ballast

- **Nature et origine**

Le ballast est un granulat 25/50 (mmØ) provenant du concassage des roches extraites dans des carrières de pierres dures.

- **Qualité du ballast**

La qualité du ballast est exprimée au moyen d'un coefficient dit de dureté globale DRG. Ce coefficient est établi à partir de deux essais classiques :

- L'essai Deval (effectué d'une part à l'état sec, d'autre part à l'état humide), qui caractérise la résistance à l'attrition.
- L'essai Los Angeles, qui caractérise la fragilité.

La valeur du coefficient de dureté exigé varie en fonction de la nature des traverses et la nature de trafic ; il peut être calculé avec les formules suivantes :

$$DRG = \overline{DRi} - 0.5\sigma ; \overline{DRi} = \frac{\sum_1^n DRi}{n} ; \sigma = \sqrt{\frac{\sum(DRi - \overline{DRi})^2}{n-1}}$$

Avec :

- ✓ DRi : les coefficients de dureté instantanée en fonction du LA/Micro-Deval en présence d'eau.
- ✓  $\sigma$  : l'écart type.

Tableau VI - 9 : Coefficient de dureté globale exigé pour le ballast

	Traverses bois		Traverses béton de longueur ≥ 2.40m		Traverses béton de longueur < 2.40m	
	DRG		DRG		DRG	
	souhaitable	mini	souhaitable	mini	souhaitable	Mini
Groupe UIC 1 à 6	17	14	20	17	18	15
Groupe UIC 7 à 9	17	13.50	17	15	18	14

- **Exemple de calcul du DRG**

L'exemple est appliqué sur le gîte d'emprunt N°4. Voici un tableau récapitulatif des résultats :

Tableau VI - 10 : Résultat de calcul du coefficient de dureté globale pour le gîte N° 4

Echantillon	LA (%)	MDE (%)	DRi	DRi moyen	$\sigma$ Ecart type	DRG
01	27.10	24.60	11.80	11.62	0.349	11.47
02	27.50	25.30	11.60			
03	26.80	24.80	12.10			
04	28.10	25.10	11.20			
05	27.80	24.60	11.40			

En comparant les résultats obtenus avec les exigences de la qualité du ballast citées, les matériaux du gite N°4 ne sont pas acceptables à l'utilisation pour la couche du ballast.

#### VI.4.3. Profil du ballast

L'épaisseur minimale  $e_b$  de ballast (mesuré sous traverse à l'aplomb du rail de la file basse) diffère selon l'intensité du trafic et le type des traverses.

L'épaisseur recommandée de la couche de ballast sous le rail le plus bas, doit être au minimum de 30 cm ; l'inclinaison de talus du ballast (pente entre le bord inférieur et le bord supérieur de la couche de ballast) est d'environ 33°.

On ballaste partout à « plancher découvert », c'est-à-dire que le dessus des traverses est apparent. Le plancher découvert est généralement sans inconvénient du point de vue de la conservation des traverses.

L'expérience a montré que la résistance latérale de la voie aux efforts exercés par les essieux est essentiellement due à la valeur élevée du frottement de la face inférieure de la traverse sur le ballast, alors les profils sont dessinés avec une banquette de 0.80 m à 0.90 m, ce qui correspond à des butées de 0.25 m à 0.35 m.

#### VI.4.4. La sous-couche

La sous-couche est constituée de plusieurs couches, composée de matériaux grenus bien gradués qui comporte des tapis de natures diverses : feuille étanches plastique (géomembranes) ou feuilles en feutre synthétique anti-contaminant (géotextile) ; la nature et l'épaisseur de la sous-couche dépendent des caractéristiques du sol et les conditions climatiques.

Les rôles de la sous-couche sont multiples :

- Protection de la partie supérieure de la plateforme contre l'érosion.
- Protection des plateformes contre les effets du gel.
- Meilleure répartition des charges transmises.

#### VI.4.5. Composants de la sous-couche

La sous-couche comprend :

- **Une couche sous-ballast**

Elle est constituée de grave propre bien graduée 0/31.50 mm, comportant au moins 30% de concassée, et compactée à 100% OPN. La dureté exigée est que le coefficient de dureté globale DRG doit être au moins égal à 12. Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses où elle sert de couche d'égalisation et où elle contribue à réduire la raideur de l'assise.

- **Une couche de fondation**

Elle constituée de grave propre bien graduée, compactée à 100% OPN. La dureté exigée est que le coefficient DRG doit être au moins égal à 10. Cette couche permet la circulation des engins de chantier (la couche sous-ballast étant mise en œuvre en fin de chantier, lorsque les travaux de terrassements proprement dit sont tous achevés). La couche de fondation n'est pas nécessaire sur les sols de bonne portance.

- **Une couche anti-contaminante**

Elle est constituée de sable propre et complétée en outre par une feuille de feutre synthétique (géotextile).

#### VI.4.6. Profil de la sous-couche

La sous-couche a une pente transversale (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de la plateforme (remblais). La pente transversale minimale est de l'ordre de 4%. Dans les zone de voie à forte dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche pouvant aller jusqu'à 8%.

### VI.4.7. La plateforme

Le sol support dont la partie supérieure est compacté en couche de forme, qui a également une pente transversale de 4%.

Dans le cas d'un remblai, la couche de forme est constituée du même matériau ou d'un matériau de qualité meilleure que le corps de remblai ; elle s'en distingue cependant par un taux de compactage plus élevé.

Dans le cas d'un déblai, la couche de forme est obtenue en général par compactage du fond de fouille. Cependant, on peut prévoir un apport de sol de meilleure qualité.

Dans les deux cas, on peut également traiter la couche de forme aux liants.

#### VI.4.7.1. Classe de portance des plateformes

La portance d'une plateforme dépend de la qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai, et de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsqu'elle existe).

On peut distinguer, en fonction des paramètres cités les trois classes de portance de plateformes suivantes :

- P1 : plateforme médiocre.
- P2 : plateforme moyenne.
- P3 : plateforme bonne.

Ci-après un tableau pour effectuer le classement ;

Tableau VI- 11 : Classification de portance des plateformes selon UIC719

Classe de qualité de sol	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Classe de qualité	Epaisseur minimale $e_f$ (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

#### VI.4.7.2. Sensibilité au gel des sols

Lorsque la plateforme est constituée d'un matériau sensible au gel, il convient d'éviter que le gel n'y pénètre, surtout lorsque les conditions hydrogéologiques sont défavorables, des désordres de nivellement inacceptable peuvent en effet se produire. On peut diviser les sols en trois classes selon leur degré de sensibilité au gel :

- Sols insensibles au gel (gravier et sable).
- Sols sensibles au gel (argile).
- Sols très sensibles au gel (limon).

Pour le tronçon étudié le sol support est constitué généralement en argile, c'est des sols sensibles au gel donc pour éviter tous désordres éventuels on prévoit une hauteur  $h$  composée de matériaux insensibles au gel (ballast + sous-ballast) suffisante pour limiter l'infiltration du gel vers le sol support. **Annexe D3**

### VI.4.8. Type de structure d'assise

Les structures d'assise types sont déterminées pour diverses classes de portance obtenues par les combinaisons possibles des qualités du sol support et des caractéristiques de la couche de forme ; on distingue trois types :

- Les structures normales.
- Les structures avec couche de forme rapportée.
- Les structures particulières.

#### VI.4.8.1. Structures d'assise normales

Ce sont les structures d'assise à mettre en œuvre lorsque la couche de forme est normale, c'est-à-dire de même nature que l'ouvrage en terre et améliorée par compactage sur une épaisseur minimale de 0.30 m.

Ce type de structures est généralement utilisé pour la réfection des voies anciennes ou pour la réalisation de voies nouvelles à proximité des lignes existantes car il nécessite un décaissement moins important que celui nécessaire à la mise en œuvre de structures d'assise avec couche de forme rapportée.

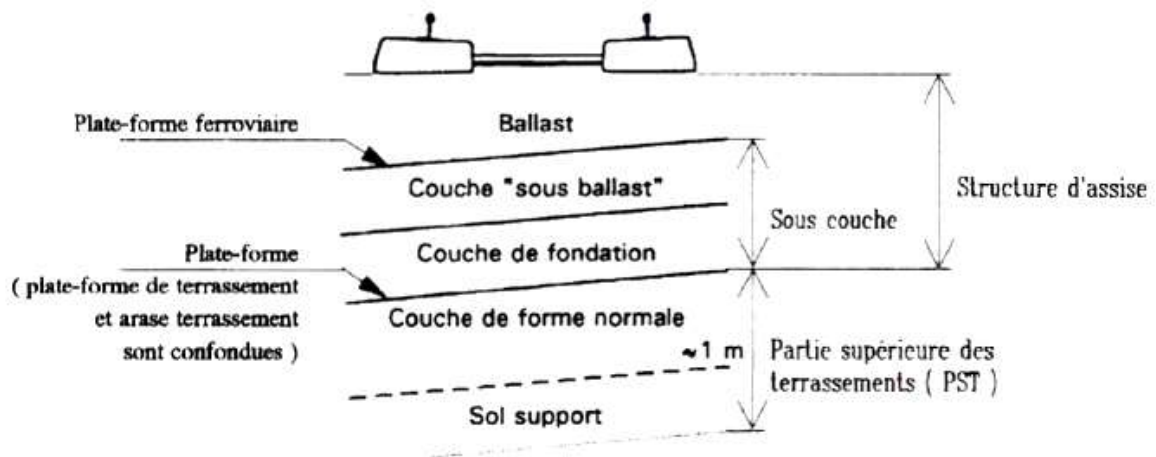


Figure VI - 5 : Schéma d'une structure d'assise normale

#### VI.4.8.2. Structures d'assise avec couche de forme rapportée

Ces structures comportent une couche de forme en matériaux de meilleure qualité que ceux constituant l'ouvrage en terre.

Cette technique est mieux adaptée à la réalisation de grands travaux car elle permet la circulation du trafic de chantier. Un soin particulier doit être apporté à la réalisation de l'arase terrassement sur laquelle sera mise en œuvre la couche de forme.

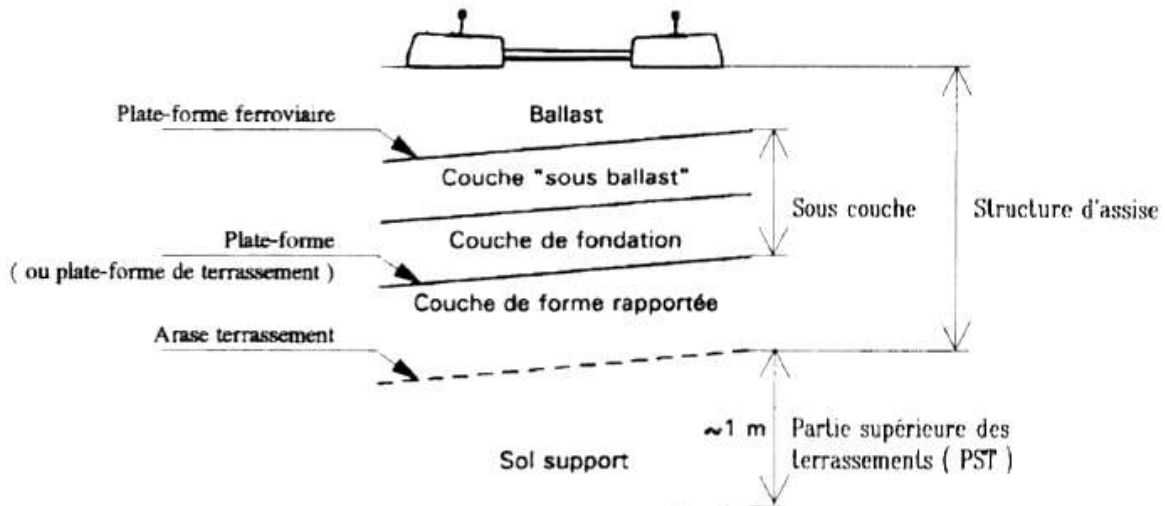


Figure VI - 6 : Schéma d'une structure d'assise avec une couche de forme rapportée

Dans le cas de travaux neufs sur lignes anciennes (modification de tracé, doublement de longueur limitée) comme dans le cas du tronçon étudié, le choix entre structure d'assise normale et structure d'assise avec couche de forme rapportée doit tenir compte à la fois de critères économiques et des contraintes d'exécution.

#### VI.4.9. Classement de la ligne en groupe UIC

En se basant sur les objectifs socioéconomiques importants ciblés à la fin de la réalisation du projet étudié, on conclut qu'il va t'y avoir une augmentation énorme sur la fréquence et la vitesse du trafic sur la ligne étudiée, et on raison du manque des données sur différents type de trafic, on classe le tronçon sujet à notre étude en Groupe UIC 2 ( $120000 \geq T_{f2} > 85000$ ).

L'annexe D2 donne la méthode détaillée sur le classement des lignes en groupe UIC selon les caractéristiques du trafic.

#### VI.4.10. Choix et dimensionnement de la structure d'assise

En raison de la nature du sol support de la ligne étudiée (argileux), on a adopté une structure avec une couche de forme rapportée ; la qualité de la plateforme visée est de classe P3.

On a utilisé la fiche UIC719R pour la détermination de l'épaisseur minimale (en m), la formule de calcul est donnée comme suite :

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

« E » paramètre qui dépend de la qualité de portance de la plateforme ; « a, b, c, d, f et g » sont des paramètres qui dépend de la classe de voie, de l'armement (type de rails), de l'intensité du trafic de la voie et de vitesse du train ; le tableau les valeurs adoptés des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R se trouve dans l'annexe D4.

- D'après la classification de sols selon UIC719 on a obtenu un sol **QS1**.
- La couche de forme à mettre en place pour obtenir une classe de portance **P3** pour la plateforme : **QS3** d'épaisseur minimale  $e_f = 50 \text{ cm}$  d'après le tableau .....
- Les valeurs des éléments de calcul sont comme suit :
  - Plateforme : **P3**  $\Rightarrow E = 0.45 \text{ m}$
  - La ligne étudiée est de groupe : **Groupe UIC 2**  $\Rightarrow a = 0 \text{ m}$
  - Traverse en béton bi-bloc VAX U31 :  $L = 2.245 \text{ m} \Rightarrow b = \frac{2.5-L}{2} \Rightarrow b = 0.13 \text{ m}$

- Pour un dimensionnement normal :  $\Rightarrow c = 0 \text{ m}$
- Charge par essieu 22.5 t : **225 KN**  $\Rightarrow d = +0.05 \text{ m}$
- La ligne a une vitesse  $\leq 160 \text{ km/h}$   $\Rightarrow f = 0 \text{ m}$
- La couche de forme est en sol de classe : **QS3**  $\Rightarrow$  pas de géotextile (0 m)

En appliquant la formule, on obtient :  $e = 0.45 + 0 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 0 = 0.63 \text{ m}$

On prend :  $e = 0.65 \text{ m}$ , avec : e = épaisseur de la couche de ballast + épaisseur de la sous-couche

Alors la structure de la voie est comme suit :

- Couche de ballast : 0.30 m en GC (grave concassée) 31.5/50 mm
- Couche sous ballast : 0.20 m en grave bien gradué 0/31.5
- Couche de fondation : 0.15 m en matériaux non traité.
- Couche de forme : 0.50 m en GNT

**CHAPITRE VII :**  
**AMENAGEMENT DES**  
**GARES DE BOUMEDFAA**  
**ET EL HOCEINIA**

## VII.1. INTRODUCTION

La gare ferroviaire généralement se présente comme un lieu où se déroule le changement des différentes modalités de transport: train-bus, train-taxi, train-métropolitain, train-voiture particulière. En d'autres termes il s'agit de nœuds de liaison entre la ville et le système intégré de transport public.

Notre tronçon comprend deux nouvelles gares, Boumadfaa et El Hoceinia, concernées par des aménagements particuliers.

## VII.2. TYPES DES GARES

On distingue plusieurs types des gares :

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

## VII.3. AMÉNAGEMENT DES GARES

### VII.3.1. 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 de train n'est autorisée. Elle 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.

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

- 50 -200m, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.
  - 200m pour  $V \geq 60$  km/h.
  - 100m pour  $40\text{km/h} \leq V \leq 60$  km/h.
  - 50 m pour  $V < 40$  km/h.
- 50m : à l'aval des signaux de blocs

### VII.3.2. Garage franc

Pour un aiguillage, on place au sol dans l'entrevoie situé entre les deux voies convergentes, une marque appelée "limite de garage franc". Cette marque est constituée par une plaque rectangulaire en béton, peinte en blanc. Elle matérialise le point limite où un train peut s'arrêter sans engager le gabarit de la voie convergente, au-delà de cette limite il y a risque de prise en écharpe par un autre train.

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément GF :

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

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

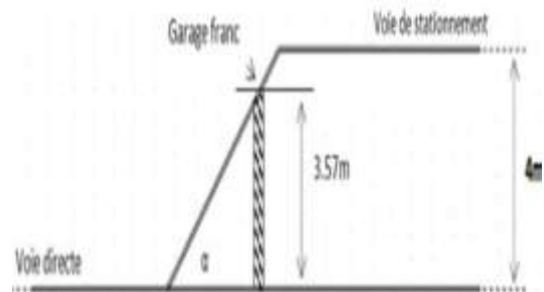


Figure VII- 1: Garage franc

### VII.3.3. 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 l'SNTF :

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie principale et la voie de service

### VII.3.4. Le heurtoir

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée pour arrêter d'éventuel véhicule en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.



Figure VII- 2 : Un heurtoir

### VII.3.5. Les appareils de voie

Une des caractéristiques fondamentales du chemin de fer est son mouvement guidé qui n'a qu'un seul degré de liberté. Pour comparaison, les véhicules routiers peuvent facilement changer de direction grâce à leur degré de liberté.

### VII.3.6. Distance de freinage

La distance de freinage(S) d'un train est la distance parcourue entre le moment de mise en action du freinage et le moment où il s'arrête : la distance de freinage est composée :

- la distance parcourue pendant le temps de mise en action du freinage
- la distance parcourue pendant l'action de freinage

$$S = \frac{V^2}{7.2\beta} + \frac{V}{3.6} t \times L$$

L : marge de sécurité (20 % de la distance de freinage)

- V : vitesse maximale d'exploitation (km/h)
- $\beta$  : décélération (km/h/s)
- t : temps de réaction(en secondes) – le temps qui s'écoule entre le moment de détection de l'excès de vitesse du train et le moment où on met en place l'action de freinage

## VII.4. APPLICATION AU PROJET

### 1. Distance de freinage

$\beta=2.16$  km/h/s ; t=5 s

Pour les trains de voyageur  $S = \frac{160^2}{7.2 \times 2.16} + \frac{160}{3.6} 5 \times 1.2 = 1913$  m

Pour les trains de voyageur  $S = \frac{100^2}{7.2 \times 2.16} + \frac{100}{3.6} 5 \times 1.2 = 809$  m

### 2. Langueur de garage franc

Pour UIC 5001/12 : GF=  $3.57 \times 12 + 1 = 43.84$  m

### 3. La longueur des quais L

Les quais des voyageurs de la gare de Boumadfaa sont localisés en alignement droit, et en courbe en cas de la gare d'El Hoceinia, et ont une longueur de 300 mètres. (SNTF et UIC f741 OR)(Détails dans le schéma des voies)

### 4. La hauteur des quais et leur distance par rapport à l'axe de la voie

Selon UIC741

- Pour la hauteur nominale des quais on a préconise une hauteur de 0.55 m.
- La distance par rapport à l'axe de la voie  $L = 1650 + S$

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

R : rayon de la voie

I : écartement de la voie (dans notre projet I = 1435 mm)

Pour la gare de Boumadfaa  $R = \infty$  : **S=0 donc L=1650m**

Pour la gare d'El Hoceinia  $R=1000$  m : **S=3.75 donc L=1653.75 m**

### 5. Schéma de plan des voies

Le Schéma de plan des voies est présenté dans le tableau suivant :

Nom de gare	Schéma de plan des voies
Boumadfaa pk 89+420	
El Houceinia pk 96+780	

### 6. Entraxe entre les quais

Selon SNTF

- Entraxe normal  $e_n > 11.3$
- Entraxe minimal  $e_m > 9.3$

Dans notre projet on a opté pour l'entraxe de 18.8 m entre les quais.

### 7. L'auvent et abris de quai voyageurs

Selon SNTF (aménagement et gare tracé des voies)

- Nombre des abris : 4(à choisir selon le nombre de voyageurs)
- Largeur de chaque abri : 5 m pour le quai latéral A et 6.8 m pour le quai B
- Longueur de chaque abri : 30m
- Entraxe entre les abris : 50 m
- La hauteur de chaque abri : 3.1 m
- La distance minimale entre les poteaux de l'abri et le bord de quai est 2.5 m

- Auvent prene une forme de V étalé (la hauteur est de 35 cm) avec un drainage au milieu

### 8. Un passage souterrain

Selon SNTF

- La largeur :  $B \geq 2.4$  on prend une largeur  $B = 2.5$  m
- La hauteur :  $H > 6.2$  m on prend une hauteur 6.5 m pour mieux placer les caténaires

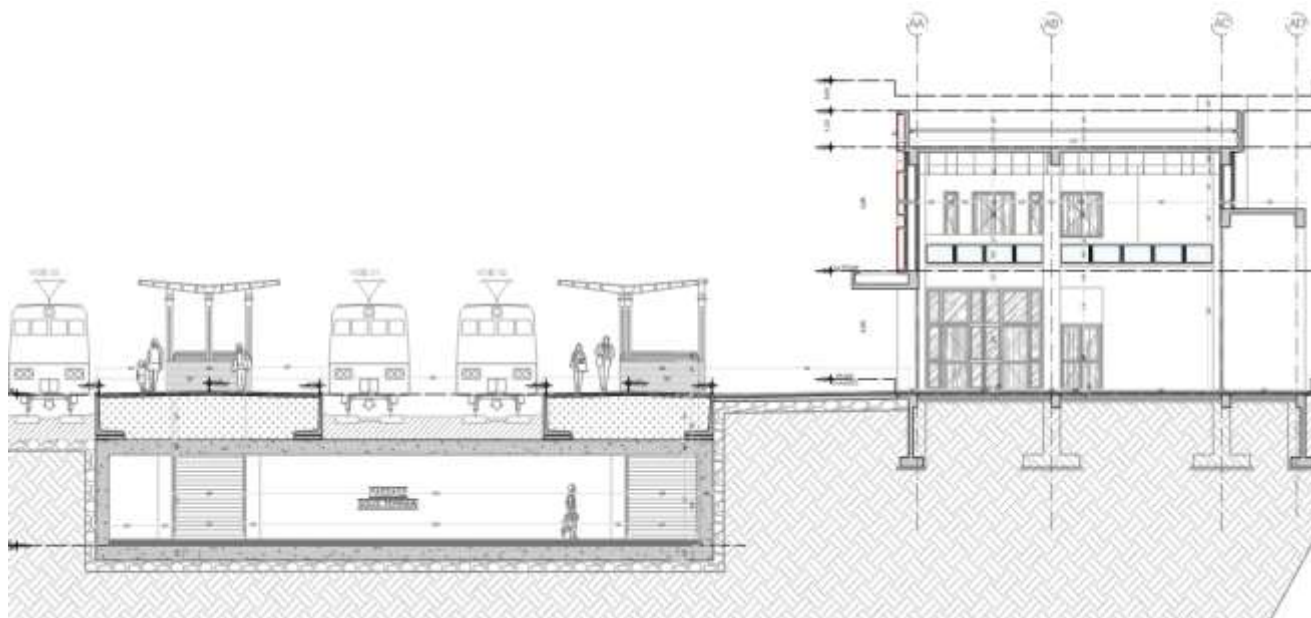


Figure VII- 3 : Coupe transversale de la gare de Boumadfaa

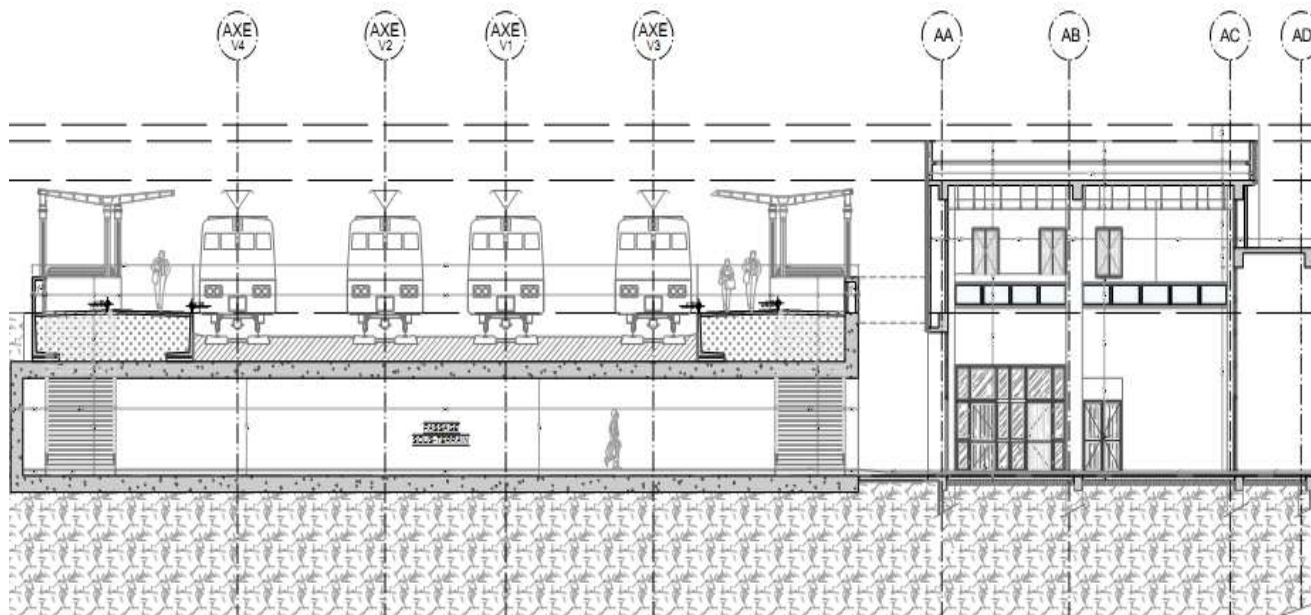


Figure VII- 4: Coupe transversale de la gare d'El Houceinia

### 9. Les appareils de voie

Selon les recommandations d'UIC 711 et manuel de la voie on a fixé le choix sur l'UIC 60-1:12-500 :

Gare de Boumadfaa : 6 unités

Gare d'El Houceinia : 14 unités

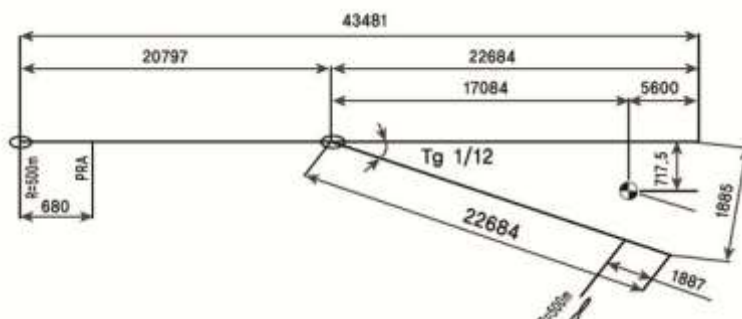


Figure VII- 5 :l'appareil de voie UIC 60-1:12-500

### VII.5. L'ASSAINISSEMENT DE LA GARE

Les eaux ne doivent en aucun cas stagner ou s'infiltrer dans l'infrastructure. De ce fait, on adopte une pente de 2% au niveau des quais .Quant à l'assainissement longitudinal, on prévoit des drains longitudinaux le long de l'axe des voies, et qui permettront d'évacuer les eaux de ruissellement vers le réseau d'assainissement correspondant via les regards.

### VII.6. CONCLUSION

L'aménagement gares de Boumadfaa et d'El Hceinia est conforme aux normes en vigueur pour répondre aux exigences de sécurité et de confort, afin d'absorber le demande sur ce mode de transport qui ne cesse qu'augmenter au fil de temps.

# CHAPITRE VIII :

## SIGNALISATION ET

## ELECTRIFICATION

### VIII.1. INTRODUCTION

La sécurité des trains qui parcourent le réseau ferroviaire est un enjeu vital pour le concepteur, de ce fait plusieurs systèmes de guidage des trains et de communication sont développés afin de répondre à cette demande.

Le type de système de signalisation choisi par le maître d'ouvrage est l'ERTMS niveau 2

### VIII.2. PRÉSENTATION LE SYSTÈME ERTMS/ETCS NIVEAU 2

Le niveau 2 est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les installations de signalisation extérieures deviennent donc superflues, à l'exception de quelques indicateurs. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central (Radio Block Centre RBC), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

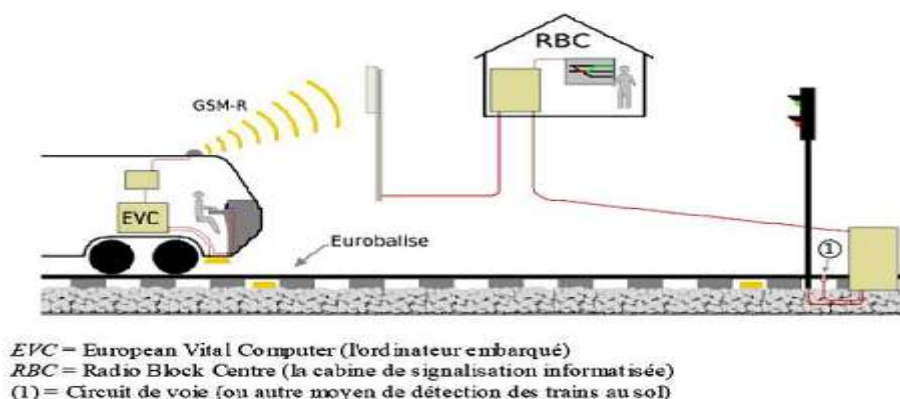


Figure VIII- 1 : Niveau 2 du système de signalisation

L'autorisation de circuler est transmise en permanence au véhicule via GSM-R, avec les données concernant la vitesse et le parcours. Les Eurobalises font dorénavant office de balises de localisation passives, à l'instar de «bornes kilométriques électroniques». Entre deux balises de localisation, le train signale sa position par l'intermédiaire de capteurs (capteurs d'essieux, accéléromètre et radar). Les balises de localisation servent alors de points de référence permettant la correction d'éventuelles erreurs de mesure du parcours. L'information reçue par radio et par les Eurobalises est traitée à bord, puis présentée au conducteur. L'ordinateur embarqué contrôle en permanence les données transmises et la vitesse maximum autorisée.

#### VIII.2.1. Le sous-système GSM-R

Le système multi-service ferroviaire GSM-R est un dérivé de la norme de téléphonie mobile GSM grand public. Les compléments de spécifications du GSM grand public pour les besoins du ferroviaire concernent : les appels de groupe et diffusion, l'établissement rapide

des liaisons, la gestion des priorités et la transmission de données pour la signalisation ferroviaire

**VIII.2.2. Les balises**

C'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.



Figure VIII- 2: Une balise installée sur la voie

**VIII.2.3. RBC (Radio Block Centre : cabine de signalisation informatisée)**

C'est un système informatique destiné à composer des messages à transmettre au train, en se basant sur les informations reçues depuis le système extérieur au sol et les informations échangées entre les systèmes embarqués.

**VIII.2.4. Les équipements ERTMS à bord des locomotives**

L'interface ERTMS à la disposition du conducteur doit lui permettre de réaliser toutes les actions nécessaires pour la bonne conduite du train. Ce sont les informations relatives à la conduite du train, vitesse, courbes de freinage, REFERENTIEL informations auxiliaires, les informations sur l'itinéraire suivi, la possibilité de réaliser le data entry. Le schéma ci-après donne un exemple de configuration de l'interface homme Machine ERTMS.

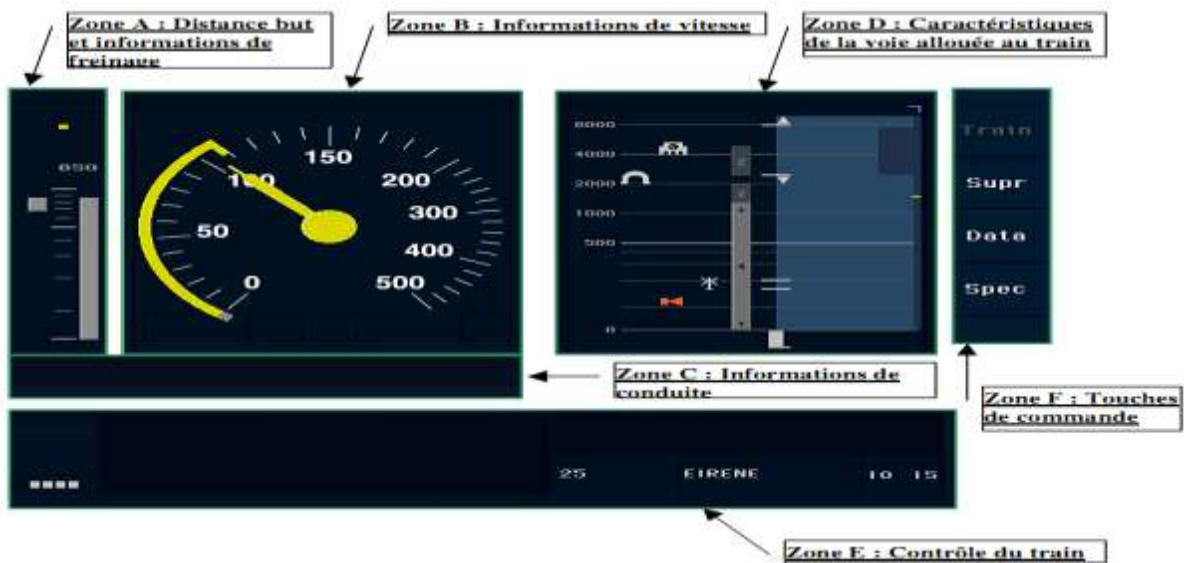


Figure VIII- 3 :L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap 10)

### VIII.2.5. Avantages de l'ERTMS

En comparaison avec les systèmes de signalisation traditionnels, l'ERTMS est nettement plus flexible et avancé en matière de transmission des données :

#### 1. Sécurité

- Une surveillance permanente de la vitesse
- Signalisation en cabine
- TSR (réductions de vitesse temporaires) envoyés par réseau

#### 2. Coût

- Pas de signalisation latérale ou réduction du nombre de signaux
- Moins d'équipements à base de relais et de câbles

#### 3. Accessibilité

- Traitement de défaillances plus rapide avec un nombre réduit de systèmes
- Accélération de la vitesse de circulation et raccourcissement des intervalles entre trains à grande vitesse

#### 4. interopérabilité

- Architecture standardisée
- Interfaces techniques uniformes entre les sous-systèmes
- Capacité de superviser et d'optimiser chaque train

#### 5. maintenance

- Systèmes standardisés
- Moins d'interfaces de sécurité
- Plusieurs fournisseurs sur le marché (concurrence)

### VIII.3. ELECTRIFICATION

Les trains qui vont circuler sur la ligne entre El Affroun et El Khemis 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.

Afin de garantir l'alimentation en énergie, deux systèmes d'électrification sont proposé :

1. Le système 1X25 KV /50Hz.
2. Le système 2X25 KV /50Hz.

#### VIII.3.1. Le Système 1X25 KV

Dans le système 1X25Kv, l'alimentation est faite par l'intermédiaire de transformateurs monophasé (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 transporté par les caténaires jusqu'à son point d'utilisation, qui va être capté par le pantographe ensuite transformé 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 la sous station par des câbles constituant l'arrière de retour.

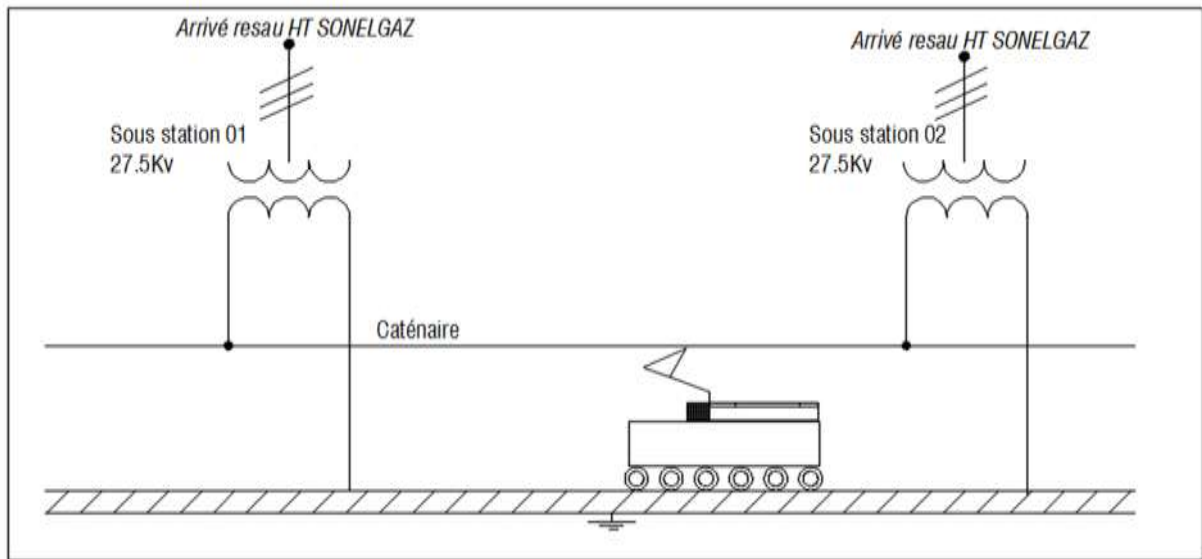


Figure VIII- 4: Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV

### VIII.3.2. Le système 2X25 KV /50Hz

Dans le système 2X25Kv, les autotransformateurs sont utilisé pour fournir un tension double par rapport la tension d'alimentation du matériel roulant.

L'avantage de ce système est que la tension du pantographe reste à 25Kv, mais la potentialité est supérieure puisqu'en fournissant de l'énergie à 50KV, les courants sont partagé a deux, et donc les chutes de tension sont inférieurs, ce qui nous permet d'augmenter la longueur des sections avec, et par conséquence, une réduction du nombre des sous stations

Le système d'électrification 2x25KV nécessite à des intervalles réguliers de postes autotransformateurs permettant de minimiser les chutes de tension ce qui permet d'augmenter notablement l'intervalle entre sous-stations de traction.

Dans le système 2x25 kV, on peut estimer une distance de séparation maximale entre sous-stations d'approximativement 55 – 70 km. Ces valeurs peuvent varier en fonction du trafic, caténaire employée, vitesse de la ligne, etc.

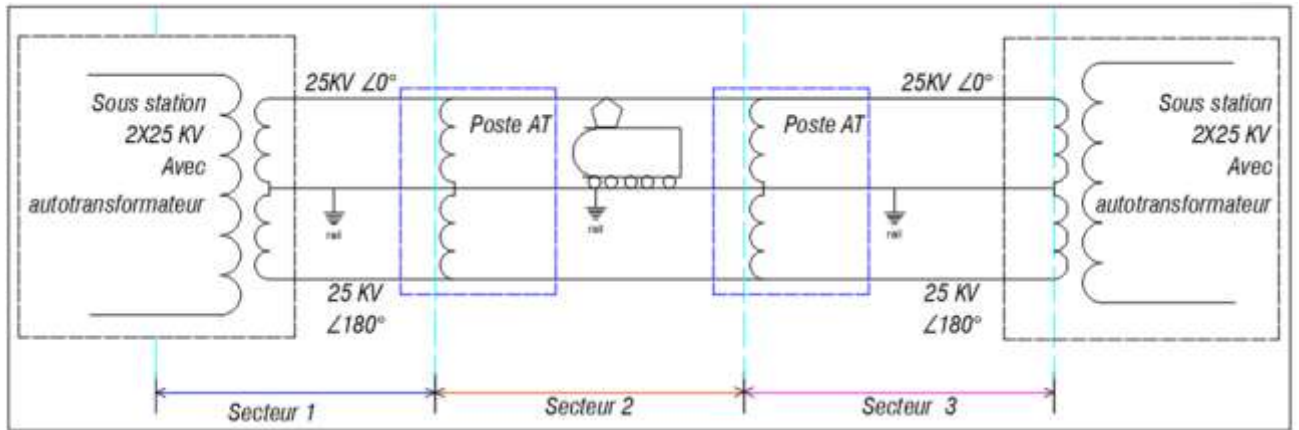


Figure VIII- 5 : Schéma exemplaire du système d'alimentation 2X25 avec poste autotransformateurs.

### VIII.3.3. Analyse comparatifs des deux systèmes

On peut résumer les avantages et les inconvénients dans les tableaux suivant :

Système	Avantages	Inconvénients
1x25 kV	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. nécessite pas la mise en place d'autotransformateurs ni de dispositifs de coupure et de télécommande / télé-contrôle (SCADA) supplémentaire.</li> <li>2. L'installation d'un feeder négatif n'est pas nécessaire.</li> <li>3. les transformateurs ont une puissance moins élevée et sont donc plus petits.</li> <li>4. Une simplicité de fonctionnement comparant au système 2X25kv.</li> <li>5. Niveau d'isolement moindre suite à l'utilisation des tensions moins élevé que dans le système 2X25Kv.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. les sections d'alimentation sont plus courtes que le système 2x25KV, d'où un nombre très important de sous-stations</li> <li>2. Plus de points de raccordement HT qui cause des frais supplémentaires.</li> <li>3. Les rails sont plus sollicités, que dans le système 2x25KV, par les intensités cumulées du courant de retour de tous les trains se trouvant simultanément dans un secteur d'alimentation.</li> <li>4. Champ magnétique rayonnant par les perturbations électromagnétiques causées par le système 1x25KV sur les installations limitrophes sont plus importantes que dans la solution 2x25KV.</li> <li>5. Chutes de tension électrique suite au transport de l'énergie avec des tensions moins élevé (25Kv).</li> </ol>
2x25 kV	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Possibilité de réaliser des distances plus importantes entre les sous-stations, et par conséquent un nombre plus réduit de sous-station (le trafic égal et la chute de tension admise au pantographe équivalente, le nombre de sous-stations est pratiquement divisé en deux). ceci limitera notablement le nombre de points de raccordements au réseau de Sonelgaz.</li> <li>2. Ce système apporte dans les zones à forte urbanisation une meilleure</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. nécessite d'installer des autotransformateurs le long de la ligne. Ceci est largement compensé par le nombre réduit des sous-stations et des points de raccordements au réseau de Sonelgaz.</li> <li>2. Transformateurs de plus grande puissance à cause des sections d'alimentation importantes et le déséquilibre de tension localement provoqué sur le réseau de Sonelgaz est important. Ce déséquilibre de tension</li> </ol>

	<p>protection contre les perturbations électromagnétiques vis-à-vis des riverains et des installations ferroviaires grâce à l'utilisation du feeder négatif posé en opposition de phase parallèle à la caténaire.</p> <p>3. Plus petite chute de tension électrique et par conséquent des pertes mineures suite au transport de l'énergie avec des tensions plus élevé (50KV).</p> <p>4. Le système 2X25KV peut travailler comme le système 1X25Kv, mais jamais le contraire, ce qui nous offre plus de flexibilité.</p> <p>5. Un déséquilibre moindre sur le réseau sonelgaz suite à la diminution des points de raccordement HT.</p>	<p>peut être réduit en choisissant de points de raccordements avec des niveaux de tension plus importante.</p> <p>3. Le feeder négatif nécessite un isolement par rapport à la caténaire de 50kv. Cette isolation nécessite plus de place dans les tunnels et sous les ponts.</p> <p>4. Surcouts pour fournitures et le montage à cause de I nécessite de disposer de deux pôles pour équipements des sous-stations et autotransformateurs.</p>
--	--	---

**NOTA :** Dans le cadre de projet entre El Affroun et El Khemis sur 55 km, on a choisi le système d'alimentation 2x25 kV à cause des avantages qu'il offre.

#### VIII.4. ÉQUIPEMENT D'ÉLECTRIFICATION

- 1. Fils de contact :** en cuivre, (section 107mm<sup>2</sup>), sur lesquels frotte le pantographe qui alimente l'engin moteur.
- 2. Le feeder (AC Sr 228 ou 288mm<sup>2</sup> à définir),** qui participe à l'alimentation et à la distribution du courant de traction.



Figure VIII- 6: Pantographe

- 3. Le Conducteur :** de Protection Aérien CDPA servant à la protection des structures (éventuellement associé à un câble de terre enterré).
- 4. Ancrage des poteaux :** Les poteaux sur lesquels sont ancrés des conducteurs (ancrage fixe ou avec appareils tendeur) sont ancrés au sol par l'intermédiaire d'un hauban d'ancrage. Un tendeur permet de régler la tension du hauban.
- 5. Équipement par portique rigide :** Dans les zones où les entrevoies ne permettent pas l'implantation des supports indépendants (gares), les portiques rigides sont

utilisées. Ils sont constitués de 2 pieds droits réunis par une poutre en profilés assemblés (poutre autoporteuse).

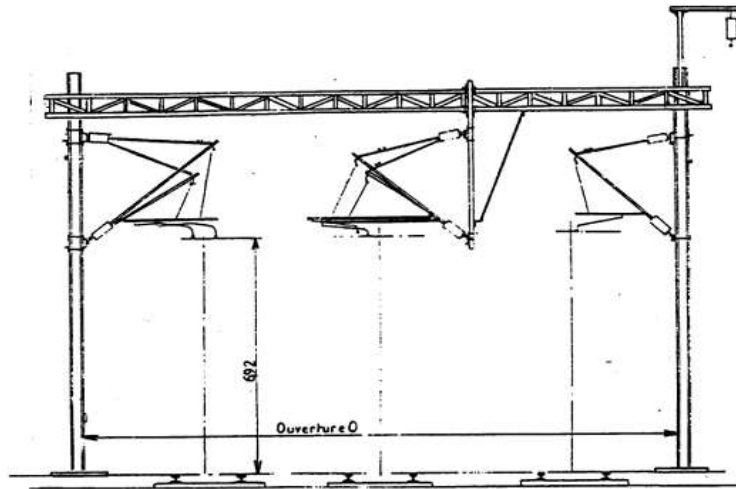


Figure VIII- 7: Portique rigide

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



Figure VIII- 8 : Un massif

### VIII.5. CONCLUSION

Le système de signalisation (ERTMS niveau 2) et celle de l'électrification (2x25 Kv) sont des choix judicieux pour notre projet .La sécurité et l'efficacité ainsi que la modernisation sont des objectifs qu'on veut atteint à travers ces choix.

# CHAPITRE IX :

## ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

## **IX.1. INTRODUCTION**

L'étude d'impact sur l'environnement est un instrument privilégié dans la planification du développement, de l'utilisation des ressources et du territoire.

Dans le cadre des projets de tracé des voies ferrées, l'étude d'impact sur l'environnement suit les différentes phases de la conception du projet. Dans le même ordre d'idées, l'étude d'impact sur l'environnement a été réalisée pour le projet du dédoublement de la ligne ferroviaire entre El Affroun et El khemis.

## **IX.2. CONTEXTE LÉGAL**

L'analyse de la réglementation environnementale et sociale en vigueur en Algérie, permettra de placer le projet dans son contexte juridique et réglementaire notamment :

- Décret n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbations des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Loi no 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi no 05 – 12, relative à l'eau.
- Ordonnance no 96-13 du 15 juin 1996 modifiant et complétant la Loi No 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.
- Loi no 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi no 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
- Décret exécutif no 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.
- Décret exécutif no 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels.
- Décret exécutif no 93-161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel.
- Décret 93-162 du 10 juillet 1993 fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées.
- Décret no 93-165 du 10 juillet 1993 réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides, des installations fixes.
- Décret exécutif no 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits.
- Décret exécutif no 98-339 du 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature.
- Arrêté ministériel du 02/12/1998 portant la réglementation technique de sécurité des ouvrages de distribution de gaz et d'électricité

## **IX.3. DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

La zone d'étude s'étale le long de la ligne ferroviaire. Cette ligne traversera le territoire des wilayas de Blida et Ain Defla. L'étendue de la zone de l'influence peut aller jusqu'aux les wilayas limitrophe.

## IX.4. DESCRIPTION DE L'ÉTAT INITIAL

### IX.4.1. Description du milieu physique

<b>Géologie</b>	Quaternaire ; Éocène Crétacé supérieure
<b>Relief</b>	zone de l'Atlas Blidéen et le piémont, la plaine du Cheliff Les Monts de l'OUARSNIS, Le Dahra (relief complexe, l'altitude moyenne avoisine les 700 m) Nombre de zones humides : 22(Ain defla)
<b>Hydrogéologie</b>	faible perméabilité nappes phréatiques sur des profondeurs faibles (plus de 200 hm <sup>3</sup> )
<b>Hydrologie</b>	Abondance d'eau superficielle, Bassin de Zahrez, barrages (Deurdeur, Harreza, Ghrib, S.M.Ben.Taiba, Ouled.Mellouk) total capacités des barrages : 300 hm <sup>3</sup> . 155 puits (Ain defla)
<b>Climatologie</b>	Méditerranéen semi-aride avec un caractère de continentalité très marqué et un écart de température de 20°C, enneigement qui touche les reliefs de plus de 600 m d'altitude
<b>Pluviométrie</b>	500-600 mm/an ; 30 à 40 % des précipitations annuelles enregistré dans les mois de janvier et février, précipitation plus importante dans l'Atlas.
<b>Risque naturel</b>	risque des zone inondable sur la plaine de Cheliff, risque de la pollution des nappes phréatique, risque sismique

### IX.4.2. Description de milieu naturel

Le Sol	Les sols limoneux mêlés de cailloux sur le piémont de la Mitidja, des sols limoneux rouges, profonds, faciles à travailler : région de Mouzaia, et des sols sablo argileux de la basse plaine, plus lourds, terres très fertiles et à faibles pentes
la flore	65 253 ha de patrimoine forestier (Blida), avec un taux de boisement de l'ordre de 44 % ( Pins d'Alep 19 748 ha, Chênes verts 6 152 ha, Cèdres 1 674,5 ha, Eucalyptus 778 ha, Chênes lièges 281ha)
La faune	À peu près plus de 30 familles d'oiseaux et 50 entre mammifères, amphibiens et reptiles. Faune principale : Sanglier, Chacal, Lapin, Lièvre, Renard, Porc Épic, Hérisson, Perdrie, Canard, Chardonneret, Rouge gorge, grive, Caille, Aigle

### IX.4.3. Description du milieu socio-économique

Habitation	1 002 937 habitant(Blida), près de 809106 habitants (Ain defla), près 250000 de population active au total : 45% Agriculture, Pêche, Forêt ; 7%BTPH ; 3% Industrie ; 22% Institutions et administration ; 19% Services ; 19% Transport
Activités agricole	superficie agricole utile (SAU) : près de 240000 ha (Blida +Ain defla), L'arboriculture 55 % de la SAU-Le fourrage 485 110 qx (quintal)- La céréaliculture 116 797 qx en 2008 -Les cultures industrielles 4 500 qx
activités	Zone industrielle : 377 ha (Blida +Ain defla) (Ben Boulaid, Ouled Yaïch, Ain

commerciale et industrielle	Defla) Agro-alimentaires 98 udp (unité de production) Matériaux de construction et verres 51 udp, Industrie métallique et électriques 135  Le tourisme : Station de Ski de Chrea, Source thermale de Hammam Melouane, Gorges de la Chiffa, La zone touristique d'El Abed (Djebel Doui) commune de Ain Defla, Tourisme de montagne
-----------------------------	---

### IX.5. ÉVALUATION DES IMPACTS POUR CHAQUE PHASE DU PROJET

Conformément à la réglementation algérienne, l'identification des impacts se fait par confrontation entre les caractéristiques du milieu récepteur et les composantes de chaque phase du projet. Il s'agit d'identifier tous les impacts probables pour chacune des interrelations entre les activités du projet et les composantes pertinentes du milieu. Les tableaux suivants résument les impacts potentiels générés par le projet pour chacune des phases de :

- Préparation de chantier
- Construction
- Exploitation

PRÉPARATION DE CHANTIER ET CONSTRUCTION		
Phases de travaux	Impact	Mesure d'atténuation
Dégagement des emprises (Déboisement, Décapage de terre végétale)	Risque de pollution chronique et accidentelle des eaux superficielles et souterraines (passages d'engins) Destruction d'espèces végétales Dégradation des voiries avec l'augmentation du trafic d'engins de chantier Génération des nuisances sonores Émission de poussières	Ne jamais brûler des déchets ou rebuts, de quelque nature qu'ils soient. S'assurer que les matériaux fins sont recouverts d'une bâche lors de leur transport. Utiliser des véhicules et de la machinerie en bon état de fonctionnement afin d'éviter les fuites d'huile ou de carburant. Éviter d'effectuer des travaux majeurs en période de forte pluie. Interdire la vérification mécanique du matériel et l'entretien de l'équipement près des cours d'eau. Déboisement limité au strict nécessaire. Réorientation de la nappe phréatique par des drains. Interdiction des zones de dépôts, d'emprunts et des installations de chantier sur l'ensemble des zones sensibles

PHASE EXPLOITATION		
toutes les phases	<p>Pas d'impact important sur la qualité de l'air</p> <p>Les activités d'entretien des rails (lessivage par les eaux de pluie de tout déversement de produits graissant sur le sol)</p> <p>Paysage naturel : à présence de la voie ferrée et des infrastructures connexes, telles que les ouvrages d'art (viaducs, ponts, tunnels...) -la caténaire</p> <p>La faune</p> <p>Des nuisances</p>	<p>L'électrification de la ligne permettra de réduire au maximum les effets sur la qualité de l'air</p> <p>Inspection périodique des appareils</p> <p>Restaurer immédiatement après la construction le couvert végétal</p> <p>Renforcer le caractère visuel des différents accès aux gares par une harmonisation</p> <p>Mettre en place des clôtures de protection pour la sécurité des animaux à proximité de la ligne nouvelle</p> <p>Installation des dispositifs dissuasifs pour éviter que les oiseaux se posent sur les poteaux d'électrification.</p> <p>Mettre en place des protections environnementales (écran acoustique, plantation d'arbres, Merlon acoustique : Butte de terre pour protéger les habitations situées le long de la ligne (Affroun, Elhoceinia et boumadfaa)</p>
EFFETS POSITIVES		
	L'effet	Estimation de l'effet
En cour d'exploitation	<p>l'amélioration du système de communications</p> <p>Le tracé prévoit des passages et chemins de service qui offriront une perméabilité transversale suffisante et assureront la continuité des chemins interceptés</p> <p>Dans l'émergence de nouvelles activités tertiaires.</p> <p>Augmenter la part de desserte ferroviaire dans la région.</p> <p>Réduire les gênes sonores par la modernisation de mode de transport.</p> <p>Optimiser l'utilisation du transport ferroviaire et contribuer à réduire le trafic routier.</p>	<p>le temps parcourus entre El Afroun et el Khemis 30 min</p> <p>encouragement le tourisme (ver Chrea, El Khemis ...)</p> <p>Réduire la circulation sur l'autoroute Est-Ouest (tronçon Alger –Ain Defla)</p>



Figure IX- 2: Écran acoustique



Figure IX- 1: Passage à faune

## IX.6. MESURES D'INSERTION ET D'ATTÉNUATION PROPOSÉES

### IX.6.1. Milieu physique

- Limiter les interventions sur les sols sensibles à l'érosion, fragiles, en pente ou peu portants. Désigner les aires de circulation à privilégier
- Favoriser la reprise végétale avec des espèces couramment rencontrées dans la zone perturbée afin de prévenir les risques d'érosion du sol ;
- Maintenir le plus possible la bande de protection des rives de 15 mètres aux limites de l'emprise afin de conserver l'intégrité de la berge du cours d'eau. Si cette bande a été altérée, ensemençer et végétiser les surfaces dénudées des talus avec des espèces indigènes (arbres, arbustes et plantes herbacées) ;
- S'assurer, par un avis géotechnique préalable aux travaux, que le secteur ne risque pas de subir un glissement de terrain pendant et à la suite des travaux ;
- Inspecter régulièrement la stabilité du sol dans l'emprise et de part et d'autre, avant, pendant et à la fin des travaux ;
- N'obstruer en aucun temps le passage de l'eau et s'assurer de la présence d'un canal d'écoulement pour évacuer les crues subites. Tout batardeau doit être conçu de manière à permettre l'écoulement en tenant compte des débits maximums susceptibles de survenir pendant la période des travaux ;

### IX.6.2. Milieu biologique

- Limiter les travaux de déboisement à l'emprise et favoriser la reprise végétale dans les aires affectées par le déboisement en dehors de l'emprise et utiliser des espèces indigènes rencontrées dans la zone d'étude lors des travaux de restauration et au besoin compenser le propriétaire pour les pertes encourues ;
- Éviter de rediriger les eaux de ruissellement directement vers les cours d'eau et habitats humides, aménager plutôt des bassins de rétention au sommet des talus afin de limiter l'apport de matières en suspension ou tout autres substances en provenance de la chaussée ;
- Éviter de circuler dans la zone marécageuse, limiter la circulation à l'emprise seulement
- Si possible, réaliser les travaux de déboisement et autre intervention sur la végétation en automne lorsque les activités de nidification et d'élevage des couvées sont terminées, sinon éviter les mois de mai et juin

#### **IX.6.3. Milieu humain**

- Baliser les infrastructures temporaires ou permanentes (par exemple les zones de déblais, les fossés, etc.) qui présentent un risque d'accident
- Restaurer les lieux affectés lorsque les travaux seront terminés; porter une attention particulière dans les secteurs avoisinants des résidences ou dans les espaces utilisés pour la pratique d'activités récréatives ou touristiques

#### **IX.6.4. Milieu sonore**

Dans des phases postérieures, une étude acoustique sera réalisée afin de déterminer les besoins d'écran acoustique

#### **IX.6.5. Milieu visuel**

- Réaliser les travaux de terrassement des pentes selon les normes et le recouvrement des surfaces à l'aide d'une couche de terre végétale suffisante pour la reprise de la végétation
- Effectuer des travaux de reboisement à l'aide d'espèces arborescentes et arbustives d'essences variées compatibles avec les usages et fonction de l'infrastructure ferroviaire. Si possible, utiliser des espèces représentatives des espèces environnantes et adaptées à la nature et aux taux d'humidité des sols
- Effectuer la plantation des abords de la ligne ferroviaire et des talus de remblais en privilégiant des espèces arbustives représentatives des espèces environnantes mais dont la hauteur à maturité ne vient pas bloquer la vue des usagers de la voie ferrée

Matrice d'impact

D : Durable      s : Sévère  
 R : Réversible    m : Mineur

Temporaire  
 Permanent

		Milieu physique						Milieu naturel		Milieu humain						Patrimoine et Paysages		
		Vocation des sols	Consommation et pollution des ressources	Stabilité des sols, reliefs et érosion	Consommation et perturbation en ressources eaux	Perturbation et pollution sur les écoulements	Perturbation sur la qualité de l'air	Couvert végétal	Faune	Espaces agricoles et d'activité	Coupure et perturbation des voies de communication	Habitat	Emploi	Nuisances sonores	Production de déchets solides et rébus	Perturbation des réseaux de transport énergie	Paysages	Patrimoine
PHASE CHANTIER	Installation de chantier	D,R,m			R,m	R,m		D,s				R,s						
	Expropriations et compensations	D, S					D,R,m	D,Rs	D,m		Dm							
	Ouverture et aménagement des pistes d'accès	D, R, m	R, m	R, m		D,R,s		D,Rs					Rm					
	Protection et déviation des réseaux.														R,m			
	Ouverture de carrières d'emprunt	D,R,s	D,R,s	D,R,s		R,s	R,s	D,s					D,s			D, R, s		
	Ouverture de la zone de dépôt	D, R, s	D,R,s			R,m	R,m	D,Rs				R, m	D,s	D, R,s		D,R,s		
	Dégagement des emprises	D,R,s						D,Rs						D,R,s	R,m			
	Terrassement			D,R,s		R,s	D,R,s						D,s					
	Travaux de voie												D,s					
	Drainage																	
	Ouvrages d'art	R, m	R,m	R,m		R,m							R,m				R,m	
	Ouvrage routier															D,R,m	D,	
	Ouvrage ferré	R,m				R,s	R,s									D,R,m	D,	
	Mur de soutènement	D,R,s						D,s										
	Ligne de télécommunication					R,s	R,s											
Installation d'énergie	D,m				R, m	R, m	Rm					Rm		R,m				
Règlement de chantier	D,R													R,m				
Phase de mise en service												Dm		R,m				
Phase d'exploitation	D,R,m						Dm				Ds	D,m			R, m			

## IX.7. SURVEILLANCE ET SUIVI ENVIRONNEMENTAUX

Le programme de surveillance nécessaire se compose des trois éléments suivants :

- La supervision et le contrôle des performances de l'entrepreneur en matière d'environnement, tout en respectant les termes du contrat ;
- La concertation entre l'entrepreneur et d'autres agences et concessionnaires concernées pour toutes les questions relatives à l'environnement ;
- Le contrôle de l'impact de la réalisation sur l'environnement

La surveillance environnementale, réalisée par le projet, a pour but de s'assurer du respect :

- Des mesures préventives, incluant les mesures d'atténuation ou de compensation ;
- Des engagements des entreprises de réalisation prévus ;
- Des exigences relatives aux lois et règlements pertinents

La surveillance environnementale concerne aussi bien la phase de construction que la phase d'exploitation. Le programme de surveillance peut permettre, si nécessaire, de réorienter les travaux et éventuellement d'améliorer le déroulement de la construction et de la mise en place des différents éléments du projet

### IX.7.1. Exemple de surveillance et suivi environnementale

#### Protection contre le bruit dans les zones habitées

**Objectif** : Préservation du calme public face au bruit produit par les machines lourdes des chantiers et des camions.

**Mesure prévue** : Limitation des activités bruyantes et de l'utilisation de machines lourdes.

**Lieu d'inspection** : De manière générale, sur toute la superficie des travaux et notamment près des lieux habités.

**Indicateur de réalisation** : Maintenance des machines en accord avec la législation en vigueur en matière d'émission de bruits dans les machines pour travaux publics ; révision et contrôle périodique des pots d'échappement des moteurs ; utilisation de revêtements dans les trémies et de caissons dans les camions à benne ; planification d'activités en considérant les périodes diurne et nocturne ; adaptation du chronogramme de travaux ; limitation de la vitesse des véhicules du chantier et de la zone de transit ; utilisation de compresseurs et d'appareils à perforer à faible niveau sonore.

**Valeur seuil** :  $L_{eq}$  supérieur à 70 dB(A) la journée et 45 dB(A) la nuit dans les zones habitées.

**Fréquence** : Contrôle systématique pendant le déroulement des travaux dans les parties des villes les plus exposées au bruit émis.

**Matériel nécessaire, méthode de travail et personnel technique** : Sonomètres intégrateurs, réalisation de sonomètres, et un personnel technique spécialisé en acoustique est nécessaire.

**Moment/s de l'analyse de la valeur seuil** : À chaque contrôle.

**Mesure corrective** : Renforcement des mesures.

**Indicateur d'efficacité** : Selon estimation de l'équipe environnementale.

**Mesures complémentaires** : À titre complémentaire, le Maître d'œuvre pourra adopter des mesures pour protéger provisoirement certains points de réception.

**Documentation produite** : Rapports de vérification

### **IX.8. CONCLUSION**

La présente étude d'impact sur l'environnement sert à faire prévenir les éventuelles répercussions et effets négatives et positives du projet sur l'environnement et évaluer les différents risques liés à sa réalisation. Les mesures d'atténuation proposées pour chaque étape du projet ainsi que les programmes de surveillance et de suivi feront de cette ligne un projet digne du respect de l'environnement.

N° des prix	désignation des travaux	Unité	PU(DA)	Quantité	Montant(DA)
<b>1</b>	Terrassement				
<b>1-a</b>	Décapage de terre végétale (0.3 m)	M3	45,95	223351	10262978,45
<b>1-b</b>	Déblai mis en remblai	M3	469,13	82570	38736064,1
<b>1-c</b>	Déblai mis en dépôt	M3	486,18	330280	160575530,4
<b>1-d</b>	Remblai en provenance d'emprunt	M3	490	532804	261073960
<b>Coût total des terrassements</b>					<b>470 648 532,95</b>
<b>2</b>	la structure d'assise				
<b>2-a</b>	Couche de Ballast	M3	3850	45943,11	176880973,5
<b>2-b</b>	Couche de sous-Ballast	M3	2225	41605,26	92571703,5
<b>2-c</b>	Couche de Forme	M3	3001,08	56003,87	168072094,2
<b>Coût total de la structure d'assise</b>					<b>437 524 771,18</b>
<b>3</b>	La Voie				
<b>3-a</b>	Rail UIC 60 E1 (60.21 kg)	T	107000	5058	541206000
<b>3-b</b>	Traverse en béton précontraint monobloc	U	7000	213	1491000
<b>3-c</b>	Traverse en béton armé bi-bloc	U	6000	34986	209916000
<b>3-e</b>	Appareil de voie de tangent (1/12)	U	1541000	20	30820000
<b>3-f</b>	Attaches Type Nabla	U	450	70398	31679100
<b>Coût Total de La Voie</b>					<b>815 112 100,00</b>
<b>4</b>	pose de voie				
<b>4-a</b>	Pose De Rail	ML	5200	21000	109200000
<b>4-b</b>	Pose d'appareil de voie (1/12) 500	U	290000	20	5800000
<b>4-c</b>	Soudure électrique	U	17000	2041	34697000
<b>4-d</b>	Soudure Aluminothermique	U	20000	360	7200000
<b>Coût Total De Pose De Voie</b>					<b>156 897 000,00</b>
<b>5</b>	Assainissement Transversal et Longitudinal				
<b>5-a</b>	Les Dalots	M3	30000	1760	52800000
<b>5-b</b>	Les Buses	ML	40000	160	6400000
<b>5-c</b>	Les Fossés	ML	2200	6667	14667400
<b>Coût Total De l'Assainissement Transversal et Longitudinal</b>					<b>73 867 400,00</b>
<b>6</b>	Les Ouvrages d'Art				
<b>6-a</b>	Pont Hydraulique	U	2000000	5	10000000
<b>6-b</b>	Les Passages Supérieurs	U	1500000	3	4500000
<b>6-c</b>	Les Passages Inférieurs	U	900000	2	1800000
<b>Coût Total des Ouvrages d'Art</b>					<b>16300000</b>
<b>7</b>	Electrification 2*25 kv				109676610
<b>8</b>	<b>Le cout total du projet</b>				<b>2 080 026 414,13</b>

Le cout total hors taxes de projet est de : deux milliards quatre-vingts millions vingt-six milles quatre-cent quatorze Dinar Algérien

TVA :19 %

Le cout total en tout taxes comprises : 2 475 231 432,81 DA

Deux milliards quatre cents millions deux cents trente et un mille quatre cents trente-deux Dinars Algérien.

## CONCLUSION GENERALE

Le travail qu'on a présenté dans ce document été une chance précieuse pour mettre en évidence notre bagage théorique acquis au sein de l'école, dans l'étude d'avant-projet détaillé pour le dédoublement de ligne entre El Afroun et EL khemis .c 'est un projet très remarquable à cause des ouvrages qu'il contient (tunnel Ramdan, tunnel Gontas...), de plus il permet fluidifier les déplacements de Alger ver Oran.

L'étude a été finalisé toute en respectant les normes (UIC, SNTF), toute en tenant compte les conditions exigés par la situation réelle, notre tracé a été réalisé par des grands rayons sauf en amont de la gare de Boumadfaa, et avec moyenne déclivité, et cela dans l'objectif d'augmenter la vitesse à 160 km/h, en assurant le confort et la sécurité des usagers.

A la fin de notre mémoire, on a conclu ce que suit :

1. A cause de faible portance et les mauvaises caractéristiques des sols rencontrés, seulement 5 % des déblais peuvent être utilisé en tant que remblais.
2. Le volet hydraulique est très important dans notre projet à cause de l'existence de plusieurs ouvrages (dalots et buses), donc la stabilité de
3. Plus de 43 % de cout de projet présente des opérations des mouvements des terres et préparation de l'assise.
4. La pose de la voie couts presque 35% de cout total de projet.

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'enrichir nos connaissances, et de cerner tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter dans un projet de chemin fer. Une telle étude a été une occasion pour nous de profiter de l'expérience pratique des personnes du domaine d'une part et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle, et le plus occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels : AUTO PISTE, et AUTOCAD...

Finalement, ce projet de voie ferré nous a donné une idée des difficultés qui nous avons rencontré lors d'élaboration d'un projet ferroviaire dans notre vie professionnelle.

## BIBLIOGRAPHIE

- Jean Alias, La voie ferrée, *Techniques de construction et d'entretien*, 1984 2<sup>ème</sup> édition.
- Dr. Bernhard lichtberger, Manuel de la voie, *infrastructure superstructure maintenance rentabilité*, édition2009.
- Philippe Pouligny, *Cours de chemin de fer*, école des ponts paris tech, 2011-2012.
- Mr.Rahmani, *Cours hydraulique appliqué*, ENSTP 2016 chapitre 1,2 et 3.
- Mme Bouafia, *cours d'impact sur l'environnement*.
- Samuel.A & Jean-François.J, *propriétés mécaniques des sols déterminées en place*, *Techniques de l'ingénieur*, traité Construction.
- L'Association Française de Normalisation (AFNOR), *Sol : reconnaissances et essais-Description, identification et dénomination des sols-Terminologie et éléments de classification*, référence : XP P 94-0110, Aout 1999.
- Benaboud.S, Gharboudje.I. *Etude APD de la nouvelle ligne électrifiée à voie unique avec aménagement d'une gare mixte*. Mémoire de PFE, Mr. Cadi Maher, ENSTP, 2017.
- GEILLON Xavier, *Mémoire pro La signalisation ferroviaire* 1,2,3 et 4 1997-2005.
- Manuel de projet routier, Goumette, KALLI 2012.
- SNTF, *Référentiel technique, ouvrage en terre pour plateforme ferroviaire* ; 2005 version 2.
- SNTF, *Référentiel technique, chapitre06 géométrie de la voie*, version 2 2005.
- SNTF, *chapitre 7.2.3- hydraulique drainage*, version2 2005.
- SNCF, *Référentiel technique, Dimensionnement des structures d'assise pour la construction et la rectification des voies ferrées* IN 260, 1996.
- SNCF, *conception du tracé voie courante*, édition 2006.
- SNCF, *aménagement et gare tracé des voies*, édition3 1985.
- Code UIC 703R, *caractéristiques des voies parcourues par des trains*, 2ème édition 1989
- Code UIC 719R, *ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires*, 2ème édition 1994.
- Code UIC 739R, *marge de glissement à l'aval des signaux*, 2ème édition 1992.
- Code UIC 741, *quais des gares à voyageurs- règles de l'implantation des quais par rapport à la voie*, 2007.
- Code UIC 741-OR :*quais des gares à voyageurs –Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie*.
- SYSTRA, *Rapport hydrologique et hydraulique de l'étude APD de El Afroun –El Khemis*.
- GTR, *guide technique, Conception et réalisation des terrassements*, 2007.
- Sétra, *Guide technique Assainissement routiers*, Octobre 2006.
- RPOA 2008.

# ANNEXE

# ANNEXES A

## ANNEXE A1 : Axe En Plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	278.0577 g	262.520	82420.000	485007.794	343658.308
Clothoïde 1	Paramètre	-406.202	110.000	82682.520	484760.714	343569.606
Arc 1	Rayon	-1500.000 m	121.746	82792.520	484656.743	343533.709
	Centre X	484202.010 m				
	Centre Y	344963.121 m				
Clothoïde 2	Paramètre	406.202	110.000	82914.266	484539.357	343501.548
Droite 2	Gisement	287.8933 g	157.571	83024.266	484431.608	343479.437
Clothoïde 3	Paramètre	-418.330	70.000	83181.837	484276.878	343449.652
Arc 2	Rayon	-2500.000 m	116.805	83251.837	484208.080	343436.741
	Centre X	483769.925 m				
	Centre Y	345898.046 m				
Clothoïde 4	Paramètre	418.330	70.000	83368.642	484092.646	343418.963
Droite 3	Gisement	292.6503 g	100.498	83438.642	484023.151	343410.575
Clothoïde 5	Paramètre	-400.000	160.000	83539.140	483923.322	343398.999
Arc 3	Rayon	-1000.000 m	193.292	83699.140	483763.997	343384.816
	Centre X	483728.555 m				
	Centre Y	344384.188 m				
Clothoïde 6	Paramètre	400.000	160.000	83892.432	483571.367	343396.619
Droite 4	Gisement	315.1415 g	70.144	84052.432	483414.966	343430.147
Clothoïde 7	Paramètre	389.230	150.000	84122.576	483346.797	343446.673
Arc 4	Rayon	1010.000 m	379.742	84272.576	483200.226	343478.388
	Centre X	483035.741 m				
	Centre Y	342481.872 m				
Clothoïde 8	Paramètre	-389.230	150.000	84652.318	482822.829	343469.175
Droite 5	Gisement	281.7510 g	79.029	84802.318	482677.979	343430.347
Clothoïde 9	Paramètre	389.230	150.000	84881.347	482602.175	343408.002
Arc 5	Rayon	1010.000 m	123.007	85031.347	482459.424	343362.053
	Centre X	482816.083 m				
	Centre Y	342417.123 m				
Clothoïde 10	Paramètre	-389.230	150.000	85154.354	482347.268	343311.724
Droite 6	Gisement	264.5429 g	836.551	85304.354	482218.047	343235.628
Clothoïde 11	Paramètre	-392.428	110.000	86140.905	481507.926	342793.421
Arc 6	Rayon	-1400.000 m	78.880	86250.905	481413.804	342736.506
	Centre X	480721.001 m				
	Centre Y	343953.068 m				
Clothoïde 12	Paramètre	392.428	110.000	86329.785	481344.196	342699.423
Droite 7	Gisement	273.1318 g	159.713	86439.785	481244.454	342653.057
Clothoïde 13	Paramètre	406.202	110.000	86599.498	481098.755	342587.634
Arc 7	Rayon	1500.000 m	84.399	86709.498	480998.971	342541.355
	Centre X	481663.160 m				
	Centre Y	341196.419 m				
Clothoïde 14	Paramètre	-406.202	110.000	86793.897	480924.388	342501.875
Droite 8	Gisement	264.8813 g	78.713	86903.897	480830.013	342445.378
Clothoïde 15	Paramètre	394.968	130.000	86982.611	480762.976	342404.125
Arc 8	Rayon	1200.000 m	88.513	87112.611	480653.522	342334.015
	Centre X	481336.835 m				
	Centre Y	341347.566 m				
Clothoïde 16	Paramètre	-394.968	130.000	87201.124	480582.684	342280.977
Droite 9	Gisement	253.2888 g	36.309	87331.124	480484.593	342195.691
Clothoïde 17	Paramètre	-398.169	160.142	87367.433	480457.627	342171.377
Arc 9	Rayon	-989.990 m	260.172	87527.574	480335.882	342067.413
	Centre X	479734.504 m				
	Centre Y	342853.813 m				
Clothoïde 18	Paramètre	511.144	263.910	87787.747	480110.936	341938.182
Clothoïde 19	Paramètre	511.144	365.689	88051.657	479859.105	341859.954

# ANNEXES A

## ANNEXE A2 : Profil En Long

Els Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 1.04 %	350.564	82420.000	192.597
Cercle 1	Pente 1.04 %	50.387	82770.564	196.242
	Rayon 9000.000 m			
	Sommet Absc. 82676.969 m			
	Sommet Alt. 195.756 m			
Pente 2	Pente 1.60 %	205.791	82820.951	196.908
Cercle 2	Pente 1.60 %	87.494	83026.741	200.200
	Rayon -9000.000 m			
	Sommet Absc. 83170.723 m			
	Sommet Alt. 201.352 m			
Pente 3	Pente 0.63 %	597.816	83114.235	201.175
Cercle 3	Pente 0.63 %	150.924	83712.051	204.927
	Rayon -17000.000 m			
	Sommet Absc. 83818.751 m			
	Sommet Alt. 205.262 m			
Pente 4	Pente -0.26 %	343.111	83862.975	205.204
Cercle 4	Pente -0.26 %	84.105	84206.086	204.312
	Rayon 9000.000 m			
	Sommet Absc. 84229.498 m			
	Sommet Alt. 204.281 m			
Pente 5	Pente 0.67 %	182.742	84290.191	204.486
Cercle 5	Pente 0.67 %	46.110	84472.933	205.718
	Rayon 9000.000 m			
	Sommet Absc. 84412.240 m			
	Sommet Alt. 205.514 m			
Pente 6	Pente 1.19 %	550.632	84519.043	206.147
Cercle 6	Pente 1.19 %	18.252	85069.675	212.682
	Rayon 9000.000 m			
	Sommet Absc. 84962.873 m			
	Sommet Alt. 212.048 m			
Pente 7	Pente 1.39 %	474.007	85087.928	212.917
Cercle 7	Pente 1.39 %	111.624	85561.935	219.504
	Rayon -60000.000 m			
	Sommet Absc. 86395.637 m			
	Sommet Alt. 225.297 m			
Pente 8	Pente 1.20 %	1651.426	85673.558	220.952
Cercle 8	Pente 1.20 %	40.765	87324.984	240.827
	Rayon -9000.000 m			
	Sommet Absc. 87433.296 m			
	Sommet Alt. 241.479 m			
Pente 9	Pente 0.75 %	399.571	87365.749	241.226

## ANNEXES A

Cercle 9	Pente	0.75 %	185.505	87765.320	244.225
	Rayon	-9000.000 m			
	Sommet Absc.	87832.867 m			
	Sommet Alt.	244.478 m			
	Pente	-1.31 %			
Pente 10	Pente	-1.31 %	241.109	87950.825	243.705

### ANEXE A4 : DEBLAIS ET REMBLAIS (résumé)

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.973	101860.000	20.00	124.44	0.00	2488.733	0.000	392048	815374
P.974	101880.000	20.00	104.85	0.00	2097.099	0.000	394146	815374
P.975	101900.000	20.00	82.51	0.00	1650.275	0.000	395796	815374
P.976	101920.000	20.00	74.04	0.00	1480.892	0.000	397277	815374
P.977	101940.000	20.00	65.82	0.00	1316.486	0.000	398593	815374
P.978	101960.000	20.00	61.49	0.00	1229.898	0.000	399823	815374
P.979	101980.000	20.00	64.78	0.00	1295.558	0.000	401119	815374
P.980	102000.000	20.00	72.84	0.00	1456.891	0.000	402576	815374
P.981	102020.000	20.00	80.82	0.00	1616.460	0.000	404192	815374
P.982	102040.000	20.00	85.20	0.00	1704.054	0.000	405896	815374
P.983	102060.000	20.00	82.33	0.00	1646.511	0.000	407543	815374
P.984	102080.000	20.00	92.46	0.00	1849.276	0.000	409392	815374
P.985	102100.000	16.41	134.13	0.00	2201.258	0.000	411593	815374
P.986	102112.822	6.41	196.07	0.00	1256.994	0.000	<b>412850</b>	<b>815374</b>

Les détails de listing de déblais et de remblais sont joints avec le CD

### ANEXE A5: Récapitulatif des Cubatures des Matériaux (compensé)

Matériau	Volume Cumulé
<b>BALLAST 31.5/50</b>	<b>45943.11</b>
<b>SOUS BALLAST 0/31.5</b>	<b>41605.26</b>
<b>COUCHE FONDATION MNT</b>	<b>150150.13</b>
<b>COUCHE FORME GNT</b>	<b>56003.87</b>



## ANNEXE B

### ANNEXE B2 : Les caractéristiques des paramètres de BV

N° BV	pk	Nom de l'oued	A (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>moy</sub> (m)	i <sub>m</sub> (%)
17	pk82+429		0.65	0.61	188	488	338	49.2
18	pk83+240		0.35	0.54	188	350	269	30.0
19	pk83+918		0.32	0.44	198	290	244	20.9
20	pk84+472	Oued Sidi Said	4.05	1.58	201	405	303	12.9
21	pk84+787		0.23	0.50	204	370	287	33.2
22	pk85+025		0.11	0.38	205	330	267.5	32.9
23	pk85+368		0.1	0.25	213	280	264.5	26.8
24	pk85+666	Oued Boumellal	2.27	1.63	210	425	317.5	13.2
25	pk86+208		0.61	0.58	221	365	293	24.8
26	pk86+532		0.1	0.35	225	300	262.5	21.4
27	pk86+941		0.76	0.97	229	365	297	14.0
28	pk87+176		1.04	1.73	230	415	322.5	10.7
29	pk87+646		0.11	0.24	236	285	260.5	20.4
30	pk88+193	Oued Megasbaia	8.21	6.32	230	470	350	3.8
30_1	pk88+806	Oued Hammam	146.1	22.7	227	630	428.5	1.8
30_2	pk88+806	Oued Zeboudj	169.5	26.6	227	670	448.5	1.7
31	pk90+686		0.49	0.54	243	300	271.5	10.6
31_1	pk90+750	Oued Zeboudj	134.1	23.8	238	670	454	1.8
32	pk91+455		1.22	1.29	256	302	279	3.6
32_1	pk91+736		0.37	0.55	265	280	272.5	2.7
32_2	pk92+430	Oued Zeboudj	117.9	20.3	254	670	462	2.0
33	pk93+404	Oued Boutellis	6.68	5.92	262	556	409	5.0
34	pk93+920		0.55	0.60	273	325	299	8.7
35	pk94+994	Oued Sidi Moussa	8.96	6.61	278	428	353	2.3
36	pk95+748		1.2	1.03	287	325	306	3.7
37	pk96+152		94.3	14.55	285	670	477.5	2.6
38	pk96+667		0.86	0.97	301	330	315.5	3.0
39	pk97+152	Oued Hbira	12.32	5.78	305	450	377.5	2.5
40	pk98+268		0.1	0.13	319	330	324.5	8.5
41	pk98+816		0.14	0.18	324	350	337	14.4
42	pk99+270		0.49	0.82	333	395	364	7.6
43	pk99+813		0.62	0.61	342	390	366	7.9

## ANNEXE B

---

### ANNEXE B3 : les valeurs des coefficients C1, C2 et C3

✓ Valeur de C1 en fonction des pentes de l'Isohypse

Pente (P)	Coefficient C1
$P < 3.5\%$	0.01 - 0.05
$3.5\% < P \leq 11\%$	0.06 - 0.10
$11\% < P \leq 35\%$	0.12 - 0.20
$P > 35\%$	0.22 - 0.30

✓ Valeur de C2 en fonction de la perméabilité des formations de surface

Perméabilité des sols de surface	Coefficient C2
imperméable	0.22 - 0.30
imperméable presque	0.10 - 0.20
perméable	0.06 - 0.10
bonne perméabilité	0.03 - 0.05

✓ Valeur de C3 en fonction de l'état de végétalisation

État de végétalisation	Coefficient C3
couvert de roches	0.22 - 0.30
gazon	0.17 - 0.25
champs cultivé	0.07 - 0.15
forêt et terrain sableux	0.03 - 0.05

## ANNEXE B

### ANNEXE B4 : les valeurs de débits des BV

Débits calculées par la formule Rationnelle

N° BV	pk	Nom de l'oued	S (km <sup>2</sup> )	Tc (h)	P(t) <sub>100</sub> (mm)	I <sub>100</sub> (m/s/km)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)
17	pk 82+429		0.65	0.15	19.30	36.72	0.61	14.6
18	pk 83+240		0.35	0.14	18.82	38.12	0.53	7.1
19	pk 83+918		0.32	0.16	19.87	35.14	0.50	5.6
20	pk 84+472	Oued Sidi Said	4.05	0.71	36.36	14.20	0.47	27.0
21	pk 84+787		0.23	0.11	16.96	44.57	0.55	5.6
22	pk 85+025		0.11	0.07	14.66	55.45	0.54	3.3
23	pk 85+368		0.1	0.08	14.99	53.66	0.50	2.7
24	pk 85+666	Oued Boumellal	2.27	0.53	32.24	17.00	0.46	17.8
25	pk 86+208		0.61	0.20	21.85	30.48	0.51	9.5
26	pk 86+532		0.1	0.09	15.67	50.18	0.51	2.6
27	pk 86+941		0.76	0.30	25.59	24.04	0.48	8.8
28	pk 87+176		1.04	0.40	28.77	20.18	0.45	9.4
29	pk 87+646		0.11	0.09	16.13	48.06	0.49	2.6
30	pk 88+193	Oued Megasbaia	8.21	2.07	55.71	7.49	0.41	25.2
31	pk 90+686		0.49	0.27	24.81	25.19	0.42	5.2
32	pk 91+455		1.22	0.74	36.99	13.83	0.36	6.1
32_1	pk 91+736		0.37	0.47	30.75	18.26	0.33	2.2
33	pk 93+404	Oued Boutellis	6.68	1.65	50.92	8.57	0.37	21.2
34	pk 93+920		0.55	0.32	26.41	22.93	0.39	4.9
35	pk 94+994	Oued Sidi Moussa	8.96	2.79	62.85	6.25	0.34	19.0
36	pk 95+748		1.2	0.72	36.62	14.05	0.37	6.2
38	pk 96+667		0.86	0.68	35.73	14.57	0.33	4.1
39	pk 97+152	Oued Hbira	12.32	2.83	63.13	6.21	0.33	25.2
40	pk 98+268		0.1	0.14	18.87	37.97	0.39	1.5
41	pk 98+816		0.14	0.13	18.14	40.30	0.44	2.5
42	pk 99+270		0.49	0.32	26.52	22.79	0.38	4.2
43	pk 99+813		0.62	0.36	27.58	21.49	0.38	5.1

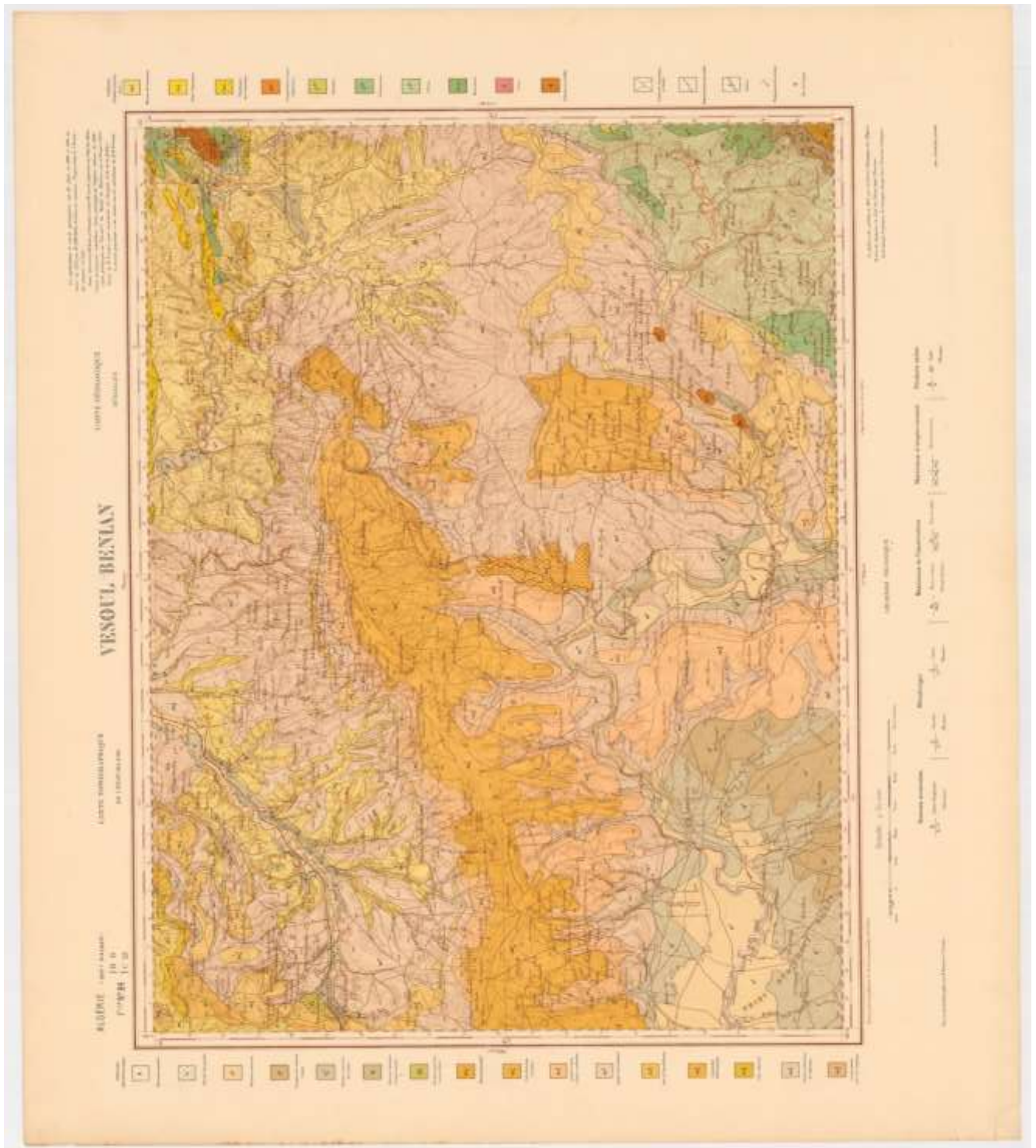
Débits calculées par la formule de Culpedix

N° BV	pk	Nom de l'oued	S (km <sup>2</sup> )	Tc (h)	P(t) <sub>100</sub> (mm)	I <sub>100</sub> (m/s/km)	I <sub>10</sub> (m/s/km)	C	R	Q (m <sup>3</sup> /s)
30_1	pk 88+806	Oued Hammam	146.1	4.98	79.16	4.42	3.88	0.29	1	92.73
30_2	pk 88+806	Oued Zeboudj	169.5	5.43	81.97	4.19	3.58	0.29	1	107.26
31_1	pk 90+750	Oued Zeboudj	134.1	4.08	78.10	4.50	4.34	0.29	1	78.29
32_2	pk 92+430	Oued Zeboudj	117.9	4.30	74.65	4.83	4.21	0.29	1	78.18
37	pk 96+152		94.3	3.47	68.54	5.49	3.57	0.29	1	88.35

# ANNEXE C

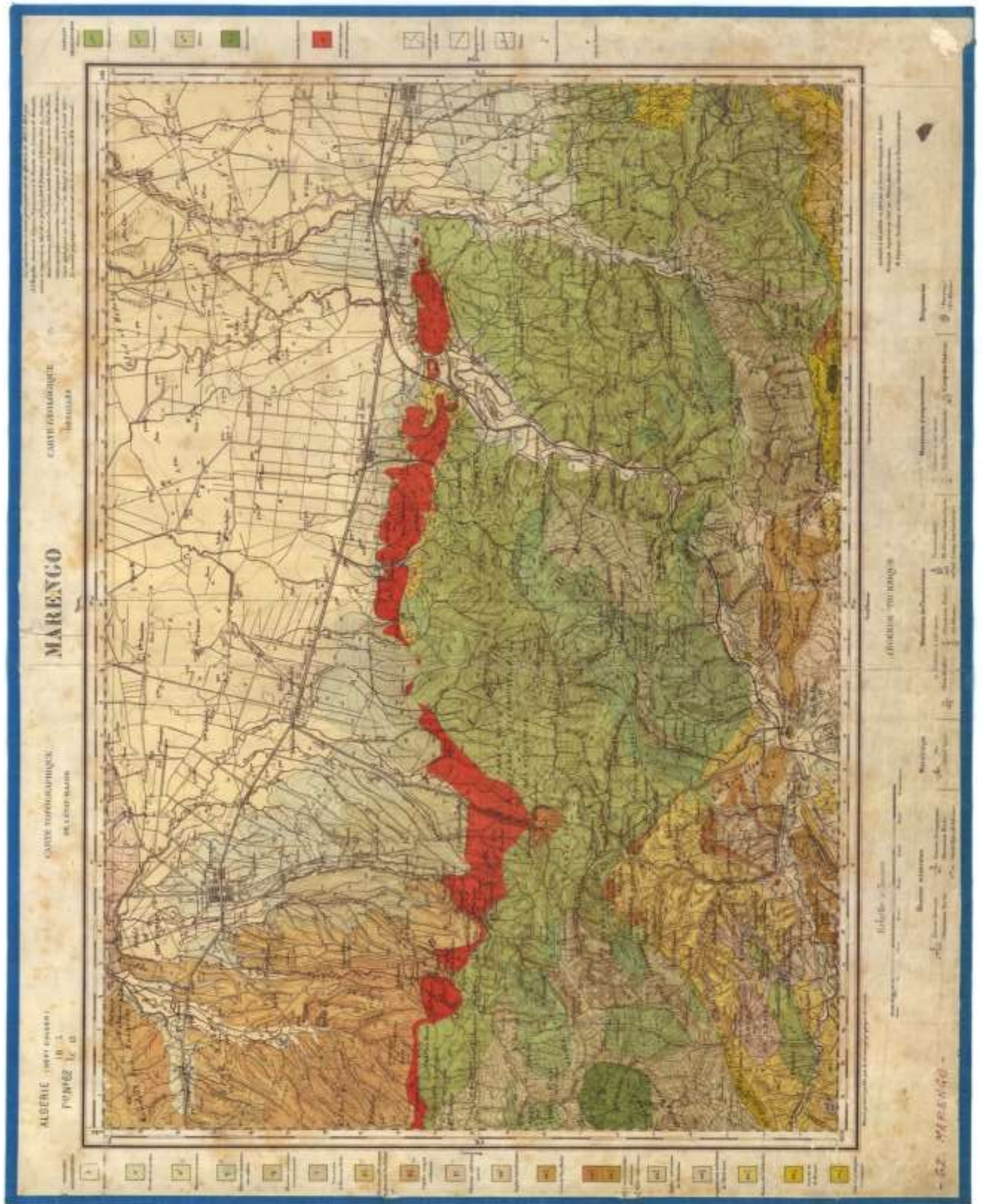
## ANNEXE C1 : Les cartes géologiques du tronçon étudié

Figure 1 : La carte géologique du DJBEL GONTAS au 1/50000<sup>ème</sup>






# ANNEXE C

Figure 2 : La carte géologique de la zone Bou Medfa au 1/50000<sup>ème</sup>



# ANNEXE C

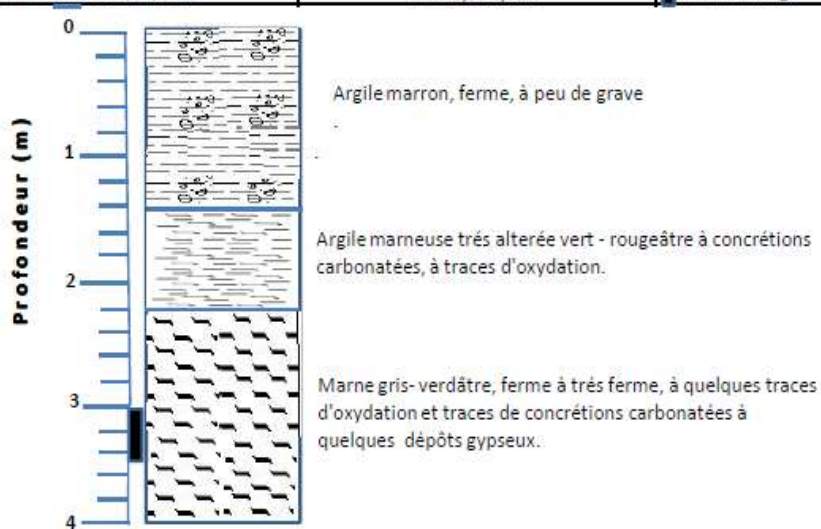
## ANNEXE C2 : Fiches détaillées des puits de reconnaissances

Projet		FERROVIAIRE 55km		Travaux		Remblai		Cote de sondage		213.00 m				
Forage N°.		PB11		Localisation		V1K84+940		Coord.		Date de debut				
								X: 482555,89		2011-5-28				
								Y: 343392,08		Date de fin				
										2011-5-28				
N° de la couche	Stratigraphie	Description Lithologique				Symboles Echelle 1:100		Profondeur (m)	Epaisseur (m)	Altitude (m)	Niveau d'eaux souterraine	Echantillon	S.P.T (N <sub>60</sub> , N <sub>10</sub> , N <sub>30</sub> )	Récupération (%)
		Argile: grise à peu de sable.						1.00	1.00	212.00				
	Q4	Sable grossier; Jaune-brunâtre, humide, moyennement dense, comprenant beaucoup de gravier et d'argile.						5.00	4.00	208.00		1 2.50 3.00		
N°	PB17-1		POSITION DE SONDAGE		V1K94+500.00 gauche 20.00m		PROFONDEUR DE SONDAGE		6.00		m			
COTE DE TERRAIN	292.50 m		METHODE				COORDONNEES		N 475562.16		DATE DE DEBUT 2011.2.9			
COTE DE SONDAGE	292.50 m		TYPE DE FOREUSE						E 337358.80		DATE DE FIN 2011.2.9			
No DE LA COUCHE	SYMBLE DE LA COUCHE	PROFONDEUR DE LA COUCHE	EPAISSEUR DE LA COUCHE	COTE DE LA COUCHE	LOG ECHELLE 1:100	DESCRIPTION GEOLOGIQUE					SPT	No DE ECHANTILLON	POURCENTAGE DE PRELEVEMENT%	
	Argile	6.00	6.00	286.50		Argile: gris jaune, peu de homogénéité, contenir peu de gravier et de concrétion calcaire, sol solide, plasticité faible, humide. 0~0.5m est de terre végétale, jaune brunatre.						(sol) 1 1.00-1.60		
												(sol) 2 3.00-3.85		
												(sol) 3 5.00-5.75		

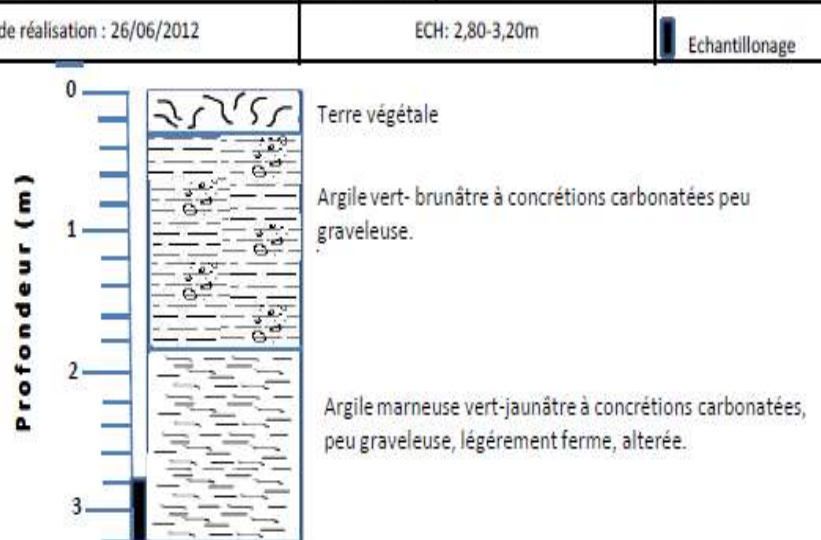
# ANNEXE C



N° de PUIT: BP20 -1	Localisation; KHEMIS MILIANA	Coordonnées lambert Nord:	X(longitude): 473643,216
Date de réalisation : 26/06/2012	ECH: 3,00-3,50m	Echantillonnage	Y(latitude): 336067,205 96820

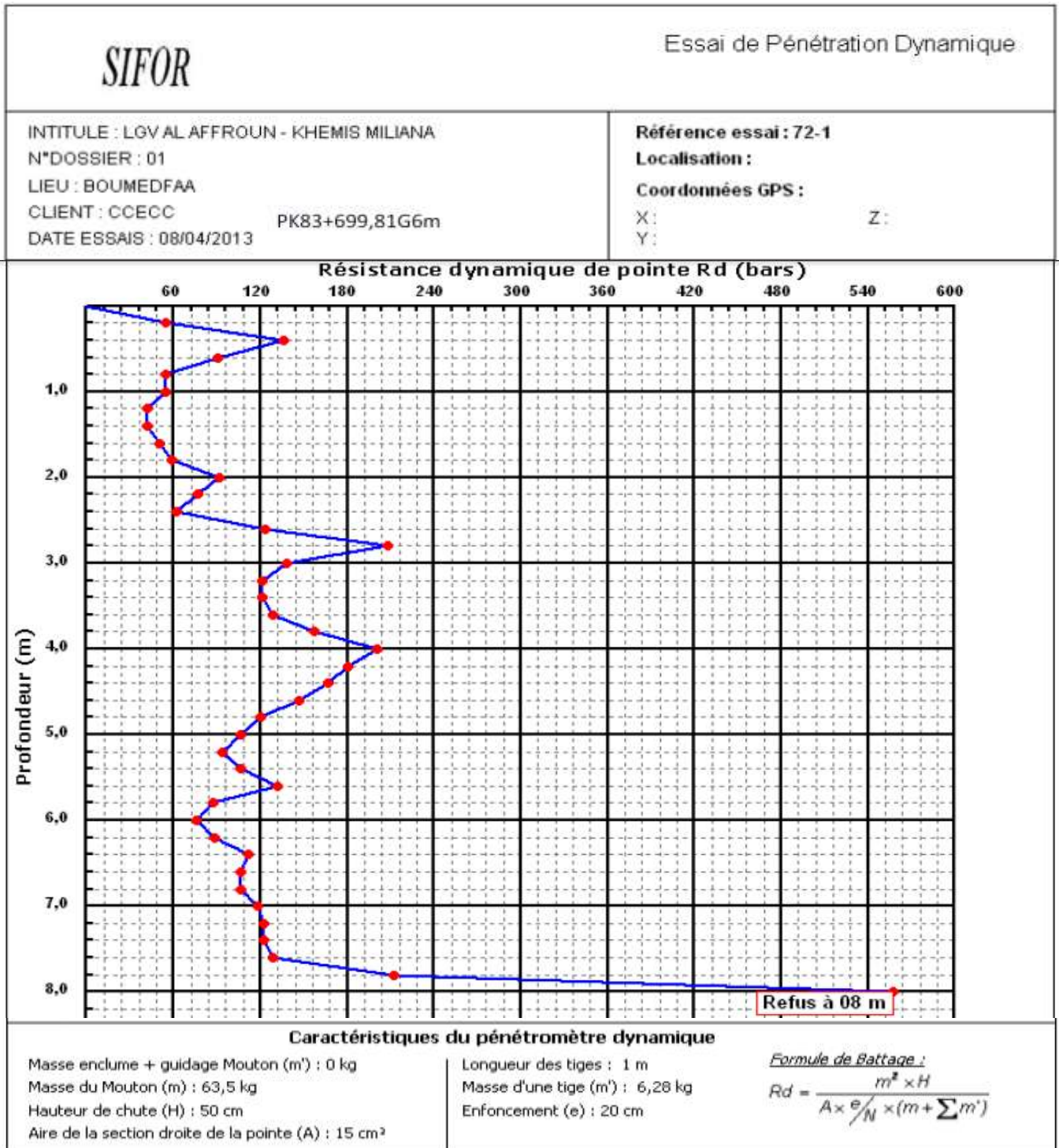


N° de PUIT: BP25-1	Localisation; KHEMIS MILIANA	Coordonnées lambert Nord:	X(longitude): 469566,919
Date de réalisation : 26/06/2012	ECH: 2,80-3,20m	Echantillonnage	Y(latitude): 334250,869 101500



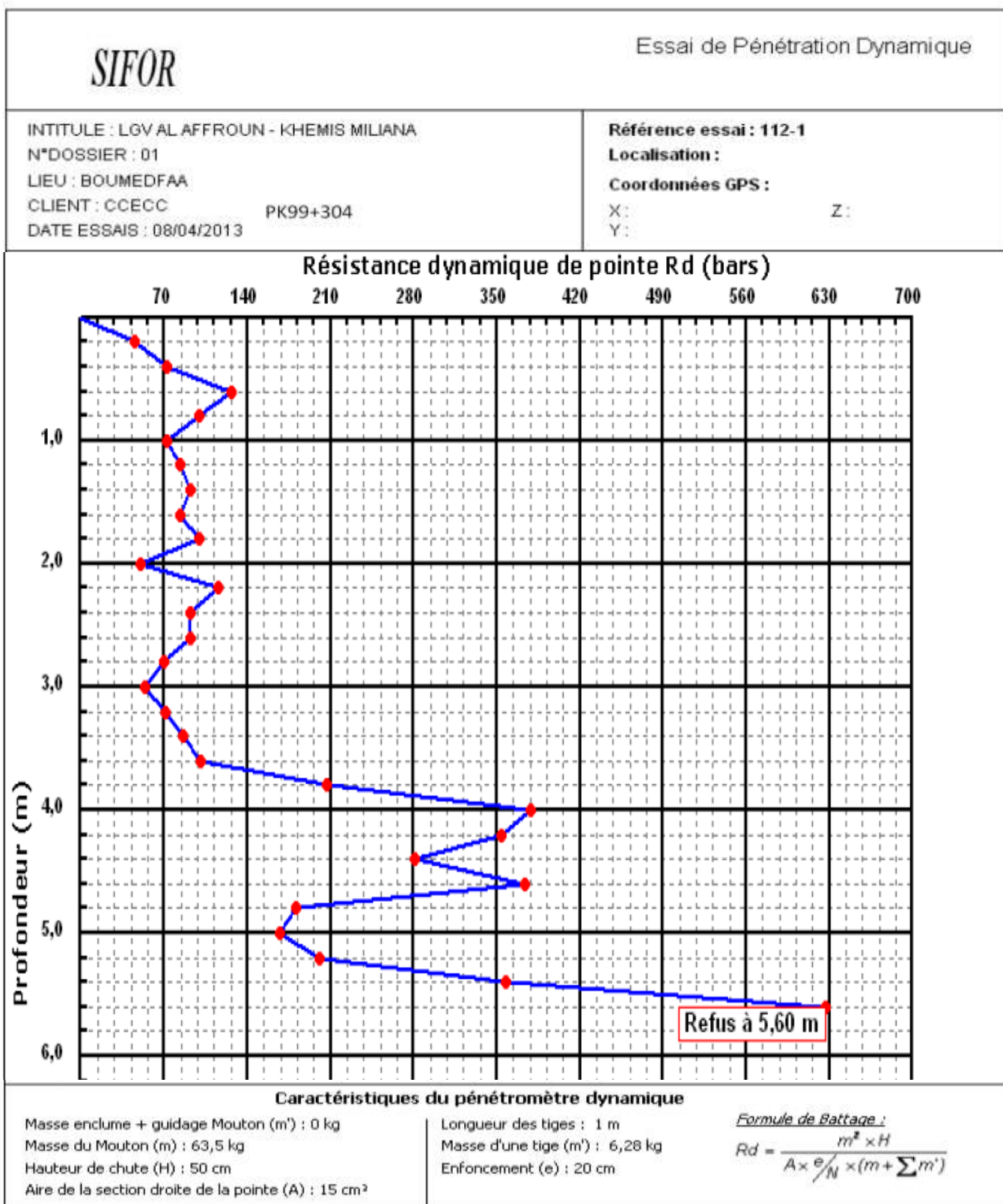
# ANNEXE C

## ANNEXE C3 : Fiches de laboratoire des essais Pénétromètres Dynamiques Lourds (PDL)



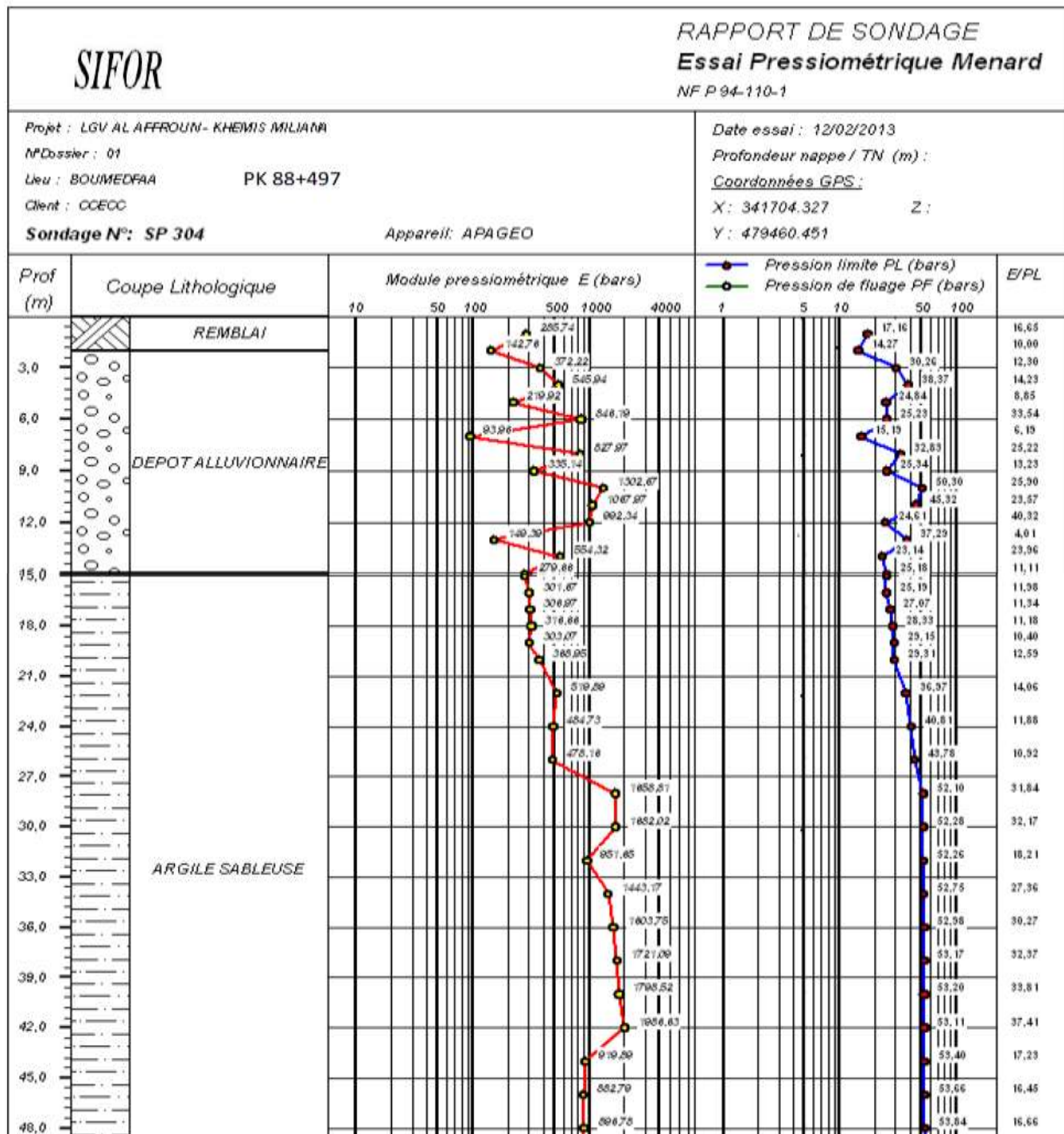


# ANNEXE C

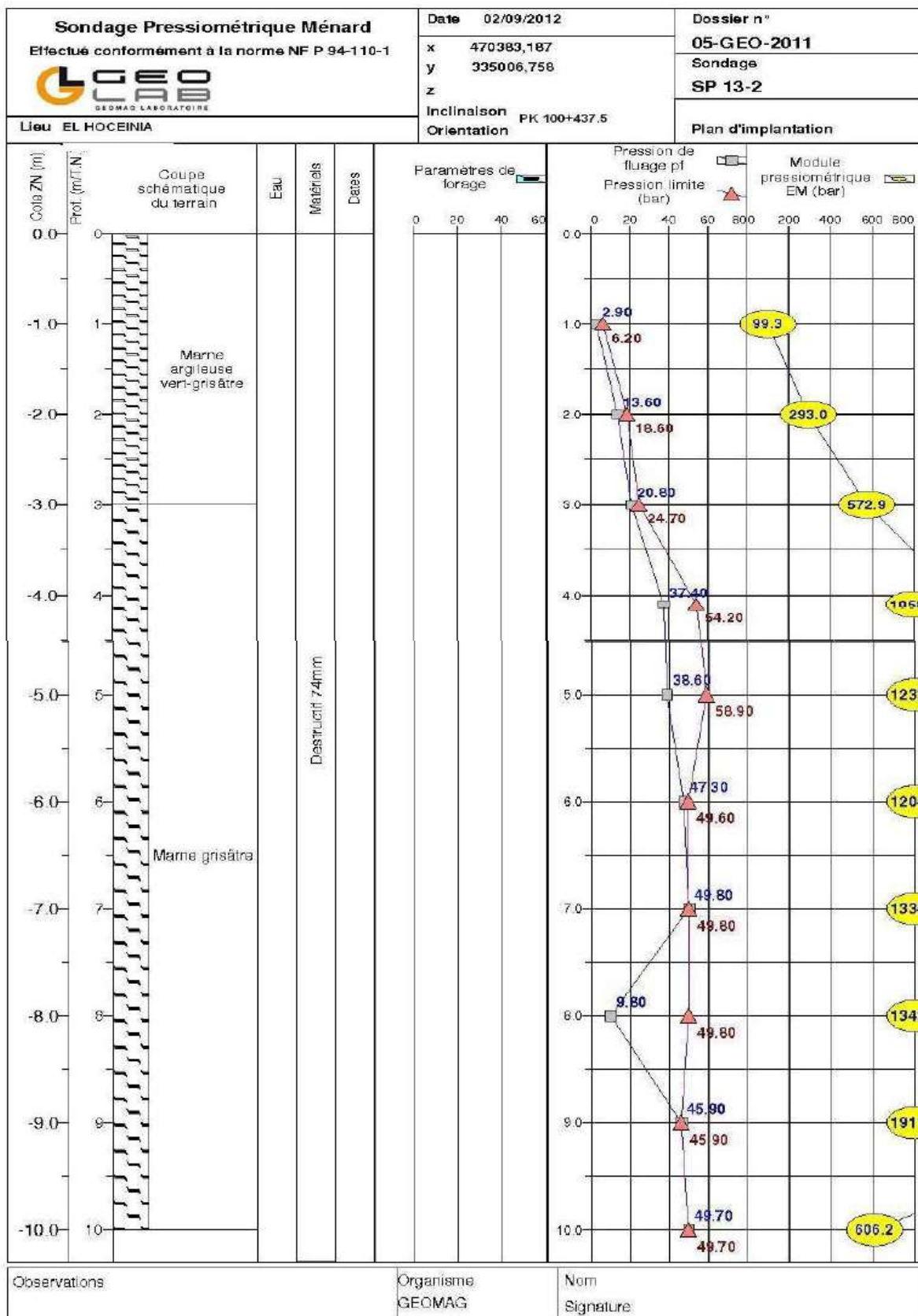


# ANNEXE C

## ANNEXE C4 : Fiches des essais préssiométriques



# ANNEXE C



# ANNEXE C

## ANNEXE C5 : Fiches de laboratoires des sondages carottés et les niveaux piézométriques

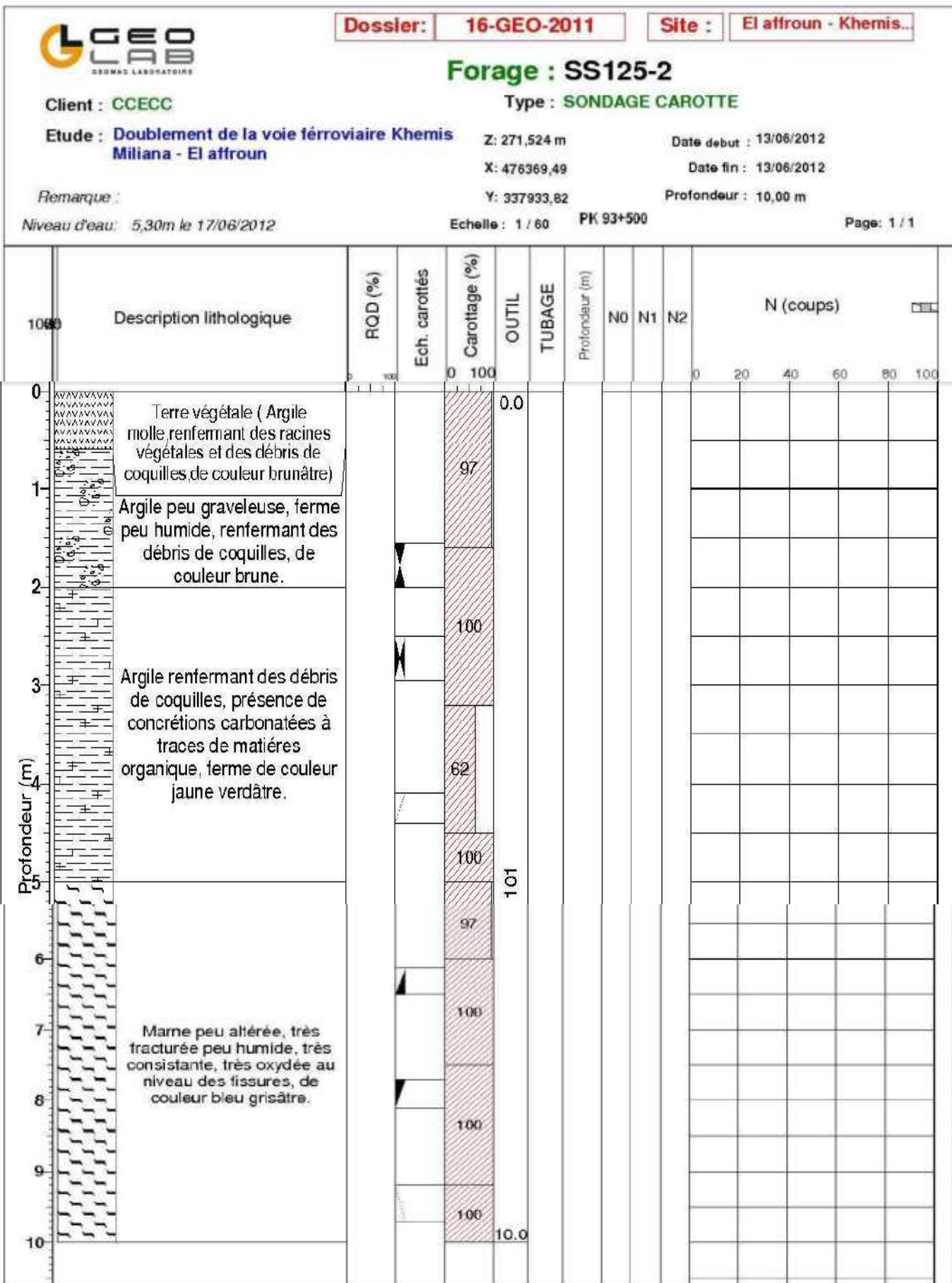
<b>RAPPORT DE FORAGE</b>													
Sondage : SS 201													
<b>SIFOR</b>					Dossier N°: 02								
Projet : LGV AL AFFROUH - KHEMIS MILIAHA					Client : CCECC								
Endroit : PK 88+100		Coordonnées GPS:			Boue de forage :			Etat des échantillons :					
Date début : 11/02/2013 Date fin : 12/02/2013		X : 341860.644 Y : 479823.089 Z :			Type forage : ROTATIF (eau) Foreuse : CASAGRANDE C6			Intact <input type="checkbox"/> Remanié <input type="checkbox"/>					
Profondeur forée (m) : 10 Niveau d'eau (m) :								Paraffiné <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/>					
Échelle (m)	Élévation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (N1 + N2)	RGD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	ESSAIS DE LABORATOIRE
			25 50 75 100										
1.0	-1.00		96 %						1.08			Terre végétale constitué de d'argile sableuse graveleuse caillouteuse	
	1.00								1.34			argile sableuse caillouteuse de couleur brunâtre	
2.0	-2.00		85 %						3.00			Dépôt alluvionnaire constitué de galet	
	2.00								3.24			Limon argileux de couleur jaunâtre	
	2.50								3.55				
	3.00								3.87				
4.0	-4.00		85 %						5.35			Limon argileux de couleur jaunâtre	
	4.00								5.61				
6.0	-6.00		85 %						6.00			dépôt alluvionnaire constitué de galet	
	6.00								6.14			Limon argileux de couleur jaunâtre	
	6.85		70 %						7.00				
	7.35								7.35			Argile sableuse graveleuse de couleur brunâtre	
8.0	-8.00		94 %						8.00				
	8.23								8.23			sable graveleux argileux oxydé de couleur jaunâtre	
9.0	-9.00		96 %										
	10.00												

REMARQUES :	TYPE D'ECHANTILLON :	ABREVIATIONS :
	CF : Carotte blindé TM : Tête à paroi lisse PD : Tête à position fixe CR : Tête carottier TO : Tête ouvert	AG : Analyse granulométrique G : Gélindeau de terre L : Unités d'Alleberg (VLP) W : Teneur en eau PV : Poids volumique (G, G) AC : Analyse chimique CR : Cirallement rectiligne TR : Cirallement Triaxial Rc : Résistance à la compression OED : Essai oedométrique GL : Gonflement libre R : Ratio d'embrèvement

Préparé par : ALEM YAMINE	Vérifié par :	16/02/2013	Page : 1 de 1
---------------------------	---------------	------------	---------------

# ANNEXE C



KHAMMOUM -MERAKECH

E.N.S.T.P

# ANNEXE C



HAMMADI;

**Client:** Groupement CCECC-OZGUN

**Projet:** Doublement de la voie  
ferroviaire d'El Affroun-Khemis

**Objet:** Investigations et essais de caractérisation géotechnique

## Niveaux piézométriques des sondages

N° Sondages	Date de lecture	Niveau piézométrique	L'heure
SS 47-1	08/09/2012	7,18 cm	09H06
SS 53-1	08/09/2012	7,25 cm	09H30
SS 55-1	08/09/2012	5,40 cm	10H05
SS 66-1	27/03/2012	3,40 cm	09H00
	29/03/2012	3,50 cm	11H44
	31/03/2012	3,68 cm	09H15
	31/03/2012	3,70 cm	18H35
	01/04/2012	3,90 cm	13H20
	02/04/2012	4,05 cm	18H40
SS 125-2	17/06/2012	5,30 cm	15H05
	06/09/2012	Sec	12h20
SS 146	21/06/2012	8,25 cm	15H33
	06/09/2012	9,10 cm	14H30
	10/09/2012	9,10 cm	
	30/09/2012	8,70 cm	15H45
SS 152-1	22/06/2012	4,15 cm	15H42
	06/09/2012	6,09 cm	11H05
	30/09/2012	6,25 cm	15H50

# ANNEXE C

## ANNEXE C6 : Fiches des résultats des essais d'identification et les essais mécaniques



Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction du Centre /Groupe L.N.H.C  
Laboratoire de l'Habitat et de la Construction du Centre «LHCC»

**Unité : Oued Smar**

**Structure Labo-Sol**

Oued Smar, le 08-04-2013

**TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'ESSAIS DE LABORATOIRE**

N° Dossier : 20L /2013		Intitulé du projet	<i>Ligne de grande vitesse EL AFFROUN-KHEMIS MILIANA</i>	
<b>Sondage / Puits</b>			SS84	SS211
<b>Profondeur (m)</b>			2.65 à 2.9	2.05 à 2.46
<b>Densité sèche</b>	$\gamma_d (t/m^3)$		1.66	1.72
<b>Teneur en eau pondérale</b>	W (%)		10	19
<b>Degré de saturation</b>	Sr (%)		42	89
<b>Densité humide</b>	$\gamma_h (t/m^3)$		1.82	2.04
<b>Passants (%)</b>	<b>Granulométrie</b>	5 mm	100	100
		2 mm	99	99
		0.08 mm	46	94
	<b>Sédimentométrie</b>	20 $\mu$ m	37	61
		2 $\mu$ m	16	24
<b>Limites d'Atterberg</b>	$W_L$ (%)	33	53	
	$I_p$	17	26	
	LR (%)			
<b>Résultats oedométriques</b>	Pc (Bar)	1.0		
	Ct	20.71		
	Cg	2.62		
<b>Cisaillement rectiligne ou Triaxial</b>	Type d'essai	<b>UU</b>	<b>CD</b>	
	C (bar)	0.42	0.47	
	$\varphi$ (°)	7°	15°	

# ANNEXE C



DOUBLEMENT DE LA VOIE FERROVIAIRE KHEMIS MILIANA - EL AFFROUN LOT N° 4				
Sondages		SS 98		
Profondeur (m)		2,10-2,50	4,35-4,75	8,27-8,61
Teneur eau	w [%]	15,95	17,88	20,78
Densité sèche	$\gamma_d$ [t/m <sup>3</sup> ]	1,74	1,76	1,69
densité humide	$\gamma_h$ [t/m <sup>3</sup> ]	2,02	2,06	2,03
Granulométrie (Passants)	5.0mm [%]	90,43	98	97,93
	2.0mm [%]	85,26	96	93,6
	0,08 mm [%]	69,00	87	81
	25 $\mu$ m [%]	60,00	68,00	66,00
	2 $\mu$ m [%]	35,00	44,00	42,00
Saturation	Sr[%]	78,11	88,68	93,54
<b>Bleu méthylène</b>	<b>VBS</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>
Limite d'Atterberg	WL	50,07	53,25	53,5
	IP	23,99	25,59	26,38
Essai Cisaillement à la boîte (UU)	C [bars]	1,15	1,96	ND
	$\phi$ [degré]	40,64	29,43	ND
Essai Cisaillement type (CD)	C [bars]	ND	ND	ND
	$\phi$ [degré]	ND	ND	ND
Essai Compression Simple (bars)		ND	ND	ND
Essai Oedom	Pc [bar]	ND	ND	3,08
	Cc [%]	ND	ND	16,85
	Cg [%]	ND	ND	4,17

ND : essais non demandés.

# ANNEXE C



## DOUBLEMENT DE LA VOIE FERROVIAIRE KHEMIS MILIANA - EL AFFROUN

Sondages		PB 20-1			
Profondeur (m)		3,00-3,50			
Teneur eau	w [%]	<b>16,73</b>			
Densité sèche	$\gamma_d$ [t/m <sup>3</sup> ]	<b>1,6</b>			
densité humide	$\gamma_h$ [t/m <sup>3</sup> ]				
Granulométrie (Passants)	5.0mm [%]	<b>96,49</b>			
	2.0mm [%]	<b>95,25</b>			
	0,08 mm [%]	<b>91,19</b>			
	25 $\mu$ m [%]				
	2 $\mu$ m [%]				
<b>Bleu méthylène</b>	<b>VBS</b>	<b>ND</b>			
Limite d'Atterberg	WL	<b>48,86</b>			
	IP	<b>26,05</b>			
Analyse chimique du sol	Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (%)	<b>1,11</b>			
	Chlorures Cl <sup>-</sup>	<b>ND</b>			
	Carbonates CaCO <sub>3</sub> (%)	<b>22,55</b>			
Essai Cisaillement à la boîte (UU)	C [bars]	<b>ND</b>			
	$\phi$ [degré]	<b>ND</b>			
Essai Compression Simple (bars)		<b>ND</b>			
Essai Oedom	P <sub>c</sub> [bar]	<b>ND</b>			
	C <sub>c</sub> [%]	<b>ND</b>			
	C <sub>g</sub> [%]	<b>ND</b>			
Essai proctor normal	$\gamma_d$ max [t/m <sup>3</sup> ]	<b>1,6</b>			
	W <sub>opn</sub> (%)	<b>15,32</b>			
CBR	<b>CBR à 95%</b>	<b>ND</b>			

# ANNEXE C

Projet: Doublement de la voie EL-AFFROUN- KHEMIS MILIANA (55km)

GEOMAG Laboratoire

PK	VIK7+630D40m	VIK7+740	VIK 76+800D25	VIK78+170	VIK78+800	VIBK 81+700D6m	VIK83+400C15m	VIK83+800C8m	VIK84-940	VIK86+850D5m	VIK87+900D20
N° Sondage	PB3B	PBSB	PB7B	PB30	PB31	PB11-1	PB11-2	PB11-3	PB11	PB11-4	PB11-5
Provenance											
Profondeur [m]	2,00	2,00	2,0 m	2,5 / 3,0 m	2,5 / 3,0 m	2,0 m	2,5 / 3,0 m	2,5 / 3,0 m	2,5 / 3,0 m	2,0-2,5	2,0-2,5
Nature lithologique	Argile	Argile graveleuse	Argile	alluvions grossière	Sable graveleux	alluvions grossière	Argile	Argile	Sable graveleux	Argile	Argile graveleuse
Nature d'échantillon	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié
Class. LCPC	-Ap	-Ar	-Ap	G4	S-A	G4	-Ap	-Ap	G-S	-Ap	-Ap
Class. GIR	A3m	ClA3ts	A2	CIB5	CIB4	ClA2ts	A2m	A2s	CIB5	A2ts	ClA2s
	100,00	90,00	100,00	97,00	94,00	88,00	100,00	100,00	98,00	100,00	98,00
50 mm [%]	87,80	66,31	80,81	61,43	61,42	57,51	94,84	96,66	60,86	79,37	70,83
5,0 mm [%]	80,53	63,49	72,96	48,91	52,07	46,71	88,78	93,17	49,58	78,13	66,10
2,0 mm [%]	65,83	58,56	51,86	18,48	9,19	37,50	54,88	76,56	19,59	54,02	54,87
0,08 mm [%]	56,70	54,10	43,20	14,00	6,80	30,00	39,00	65,00	15,80	42,50	49,50
0,025 mm [%]	33,80	44,20	24,00	7,90	4,00	15,80	18,20	30,00	7,90	22,00	32,00
Ac	0,77	0,84	0,95	/	/	1,09	0,86	0,79	/	0,97	0,78
d <sub>60</sub> [mm]	0,035	0,200	0,430	4,60	4,50	5,80	0,12	0,018	5,00	0,30	0,50
d <sub>30</sub> [mm]	0,0012	/	0,005	0,58	0,75	0,03	0,01	0,002	0,40	0,005	0,0012
d <sub>10</sub> [mm]	/	/	/	0,007	0,20	/	/	/	0,005	/	/
w <sub>n</sub> [%]	15,32	15,46	n.m.	7,52	4,82	12,36	12,54	9,09	4,63	9,32	13,25
w <sub>L</sub> [%]	49,50	67,01	45,01	n.d.	n.d.	37,86	37,19	39,47	n.d.	45,46	48,24
I <sub>p</sub> [%]	26,10	37,12	22,78	n.d.	n.d.	17,15	15,65	23,75	n.d.	21,44	25,02
I <sub>c</sub>	1,31	1,39	n.m.	n.d.	n.d.	1,49	1,58	1,58	n.d.	1,69	1,40
γ <sub>dmax</sub> [t/m <sup>3</sup> ]	1,55	1,57	1,68	n.d.	n.d.	1,70	1,80	1,68	n.d.	1,72	1,68
w <sub>opt</sub> [%]	16,30	20,50	17,10	n.d.	n.d.	15,30	13,90	16,50	n.d.	17,50	19,20
IPI [%]	17,13	13,47	n.m.	n.d.	n.d.	26,17	7,48	27,40	n.d.	30,79	15,38
Fragmentabilité	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dégradabilité	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
E.S [%]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sr [%]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Analyse chimique du sol											
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Carbonates CaCO <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Chlorures Cl <sup>-</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Matière organique (MO)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VBS	2,01	1,92	1,32	0,83	0,29	0,53	1,23	1,73	0,60	1,87	1,60

# ANNEXE C

Projet: Doublement de la voie EL AFFROUN - KHEMIS MILIANA (53km)

GEOMAG Laboratoire

PK	VIK 87-800D15	VIK91-000	VIK91-200	VIK91-300D35	VIK91-750	VIK92-100D4m	VIK94-250G8.8m	VIK94-500G 20	VIK 97-650D30m	VIK97-760D30	VIK97-950D35m
N° Sondage	PB11-6B	PB13B	PB14	PB15	PB16B	PB16-1	PB17B	PB17-1	PB18B	PB19B	PB20B
Provenance											
Profondeur [m]	2,0 m	2,00	2,5-3,0	2,5-3,0	2,00	2,0-4,0	2,00	2,0-4,0	2,0 m	2,0-4,0	2,00
Nature lithologique	Argile	Argile	Argile	Argile	Argile	Argile	Argile graveleuse	Argile	Argile	Argile	Argile
Nature d'échantillon	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié	remanié
Class. LCPC	-Ap	-Ap	-Ap	-Ap	-Ap	-Ap	-Ar	-Ap	-Ap	-Ap	-Ap
Class. GTR	A2	A2m	A2h	A2m	A2m	A2rs	ClA3rs	A2	A2	A2	A3rs
50 mm [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,0 mm [%]	98,45	98,89	99,99	99,68	98,38	100,00	78,30	100,00	99,93	99,74	99,92
2,0 mm [%]	96,96	98,48	99,22	98,78	97,27	99,78	76,24	99,97	99,71	99,55	99,69
0,08 mm [%]	51,40	97,02	90,62	90,20	95,90	97,20	69,86	91,79	98,98	98,34	97,38
0,025 mm [%]	31,80	81,30	72,50	67,50	78,20	77,50	57,80	60,00	84,00	85,00	84,20
0,002 mm [%]	16,50	30,00	30,90	34,60	30,00	33,80	33,90	10,90	32,00	35,70	43,90
Ac	0,78	0,67	0,75	0,67	0,59	0,63	0,81	1,36	0,74	0,68	0,61
d <sub>60</sub> [mm]	0,12	0,011	0,017	0,018	0,014	0,016	0,03	0,025	0,016	0,001	0,008
d <sub>30</sub> [mm]	0,023	0,0025	0,0025	0,001	0,0022	0,001	/	0,008	0,0016	/	/
d <sub>10</sub> [mm]	/	/	/	/	/	/	/	0,002	/	/	/
w <sub>n</sub> [%]	n.m.	14,86	19,50	15,67	10,00	5,35	13,02	n.m.	n.m.	n.m.	12,26
w <sub>l</sub> [%]	32,32	42,23	45,97	46,18	39,82	43,33	54,13	34,01	47,17	46,77	48,87
Ip [%]	12,88	20,15	23,11	23,29	17,79	21,17	27,38	14,81	23,63	24,10	26,86
Ic	n.m.	1,36	1,15	1,31	1,68	1,79	1,50	n.m.	n.m.	n.m.	1,36
γ <sub>d max</sub> [t/m <sup>3</sup> ]	1,81	1,63	1,61	1,73	1,65	1,61	1,59	1,69	1,71	1,68	1,63
w <sub>opt</sub> [%]	14,50	15,90	17,00	18,20	18,70	19,90	19,60	14,70	16,80	19,00	19,90
IPI [%]	n.m.	10,51	3,00	6,68	6,24	24,60	12,72	n.m.	n.m.	n.m.	20,57
Fragmentabilité	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,69	n.d.
Dégradabilité	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	21,43	n.d.
E.S [%]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sr [%]	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Analyse chimique du sol											
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Carbonates CaCO <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Chlorures Cl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Matière organique (MO)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
VBS	1,77	2,73	2,82	2,70	2,66	2,53	1,98	1,96	3,20	3,23	3,26

## ANNEXES D

### Annexe D1 : Notice d'utilisation des matériaux pour remblai C<sub>1</sub>B<sub>52</sub>m

Situation météorologique	Condition d'utilisation
Pluie torrentiel	Situation ne permettant pas de mise en remblai même si avec des garantie de qualité suffisantes
Pluie faible	R : remblai d'épaisseur 30-50 cm C : compactage intense
Ni pluie, ni évaporation importante	<b>Solution 1 : emploi en l'état</b> C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne ( $\leq 10$ m)
	<b>Solution 2 : humidification de l'ensemble</b> W : humidification de l'ensemble pour changer d'état R : remblai de hauteur 30-50 cm C : compactage moyen
Évaporation importante	<b>Solution 1 : maintien de l'état</b> W : arrosage superficiel pour maintien de l'humidité C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne ( $\leq 10$ m)
	<b>Solution 2 : humidification de l'ensemble</b> W : humidification de l'ensemble pour changer d'état R : remblai de hauteur 30-50 cm C : compactage intense

R	C	H	W
Régala ge	Compact age	Hauteur de remblai	Action sur la teneur en eau

## ANNEXES D

### Annexe D2 : Classement des lignes en groupe UIC selon les caractéristiques du trafic

La classification des voies de lignes est établie sur la base d'un trafic fictif  $T_{f2}$  calculé d'après la formule :  $T_{f2} = S * T_{f1}$

Dans la quelle  $T_{f1}$  désigne un tonnage fictif dont l'expression est la suivante :

$$T_{f1} = T_v + K_m T_m + K_t T_t$$

Dans les formules ci-dessus :

$T_v$  : désigne le tonnage journalier voyageurs exprimé en tonnes brutes remorquées ;

$T_m$  : désigne le tonnage journalier marchandises exprimé en tonnes brutes remorquées ;

$T_t$  : désigne le tonnage journalier des engins de traction exprimé en tonnes (on comprendra en principe les automotrices à voyageurs dont la charge par essieu est supérieure à 17 tonnes, les autre étant comprises dans le tonnage voyageur  $T_v$ ).

$K_m$  : est un coefficient qui vaudra normalement 1.15, et pour les voies supportant un trafic prépondérant d'essieux de 20 tonnes, 1.30 ;

$K_t$  : est un coefficient égal à 1.40 ;

( $K_m$  et  $K_t$  sont des coefficient tenant compte à la fois de la charge et de l'agressivité des essieux actuels).

$S$  : est un coefficient de qualité de la voie qui pourra prendre les valeurs suivantes :

$S = 1$  Lignes sans trafic voyageurs ou comportant un trafic voyageurs essentiellement local.

$S = 1.10$  Lignes dont le trafic voyageur comporte des trains dont la vitesse est au plus égale à 120 km/h.

$S = 1.20$  Lignes dont le trafic voyageurs comporte des trains dont la vitesse est supérieure à 120 km/h et au plus égal à 140 km/h.

$S = 1.25$  Lignes dont le trafic voyageurs comporte des trains dont la vitesse est supérieure à 140 km/h.

Les voies des lignes sont classées, selon la valeur de leur trafic fictif, en neuf groupes séparés par les seuils indiqués ci-après :

Groupe 1	$T_{f2} > 120000$
Groupe 2	$120000 \geq T_{f2} > 85000$
Groupe 3	$85000 \geq T_{f2} > 50000$
Groupe 4	$50000 \geq T_{f2} > 28000$
Groupe 5	$28000 \geq T_{f2} > 14000$
Groupe 6	$14000 \geq T_{f2} > 7000$
Groupe 7	$7000 \geq T_{f2} > 3500$
Groupe 8	$3500 \geq T_{f2} > 1500$
Groupe 9	$1500 \geq T_{f2}$

Le trafic fictif est déterminé pour chacune des deux voies d'une ligne ou section de ligne à double voie, mais les deux voies sont en général regroupées sous un même classement (en principe celui de la voie la plus chargée).

## ANNEXES D

---

### Annexe D3 : Mise hors gel de la plateforme

Lorsque la plateforme est constituée d'un matériau sensible au gel, il convient d'éviter que le gel n'y pénètre, surtout lorsque les conditions hydrogéologiques sont défavorables, des désordres de nivellement inacceptables peuvent, en effet, se produire. Un sol sensible ou très sensible au gel est un sol pour lequel la formation de lentilles de glace, observée sous certaines conditions de teneur en eau et de température, est la cause de désordres inacceptables des nivellements longitudinaux et transversaux de la voie.

Pour les sols rencontrés en pratique, il y'a lieu de prendre en compte l'ensemble des classes granulaires représentées. Un sol composé principalement de classes granulaires insensibles devient cependant sensible au gel lorsque le pourcentage d'argile ou de limon qu'il contient est supérieur à une certaine valeur critique. Cette notion de pourcentage critique d'éléments fins est un critère essentiel de la sensibilité au gel.

Le critère de Casagrande est le plus connu ; il précise le pourcentage critique des éléments de diamètre  $d < 0.02$  mm, lorsque le sol considéré a un coefficient d'uniformité  $C_U$  de 5 ou de 15 (lorsque la valeur de ce coefficient est différente, on peut obtenir le pourcentage critique par interpolation).

Tableau 1: pourcentage critique d'éléments fins d'un sol en regard de sa sensibilité au gel

Coefficient d'uniformité $C_U$ du sol considéré	Pourcentage critique (en poids) d'éléments de diamètre $d < 0.02$ mm
5	10
15	3

Le degré de gélivité d'un sol peut aussi être estimé à l'aide de l'abaque de la figure 1. Les courbes granulométriques à considérer sont déterminées sur la fraction 0/2 mm du matériau.

## ANNEXES D

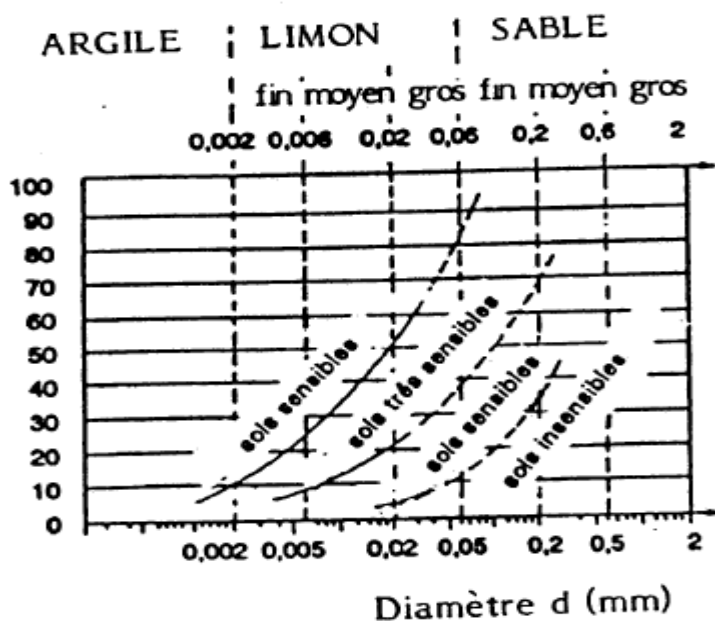


Figure 1: Sensibilité au gel des sols (évaluation à partir de la granularité de la fraction 0/2 mm)

La sensibilité au gel d'une voie dépend également de l'indice de gel atmosphérique défini sommairement comme l'intégrale par rapport au temps des températures négatives, exprimé en degrés/jours.

L'épaisseur souhaitable  $h$  des couches de protection nécessaires, en fonction de l'indice de gel défini. Un coefficient minorateur donné dans le tableau ci-après peut être appliqué, dans le cas d'opérations localisées sur lignes existantes lorsque l'on est contraint à minimiser la profondeur d'excavation des couches à substituer.

Tableau 2 : Coefficient minorateur applicable à la valeur  $h$

		Catégorie de ligne (V en km/h)		
		V > 140	100 < V < 140	V < 100
Coefficient minorateur	Valeur souhaitable	1	1	0.80
	Valeur minimale	1	0.80	0.70

## ANNEXES D

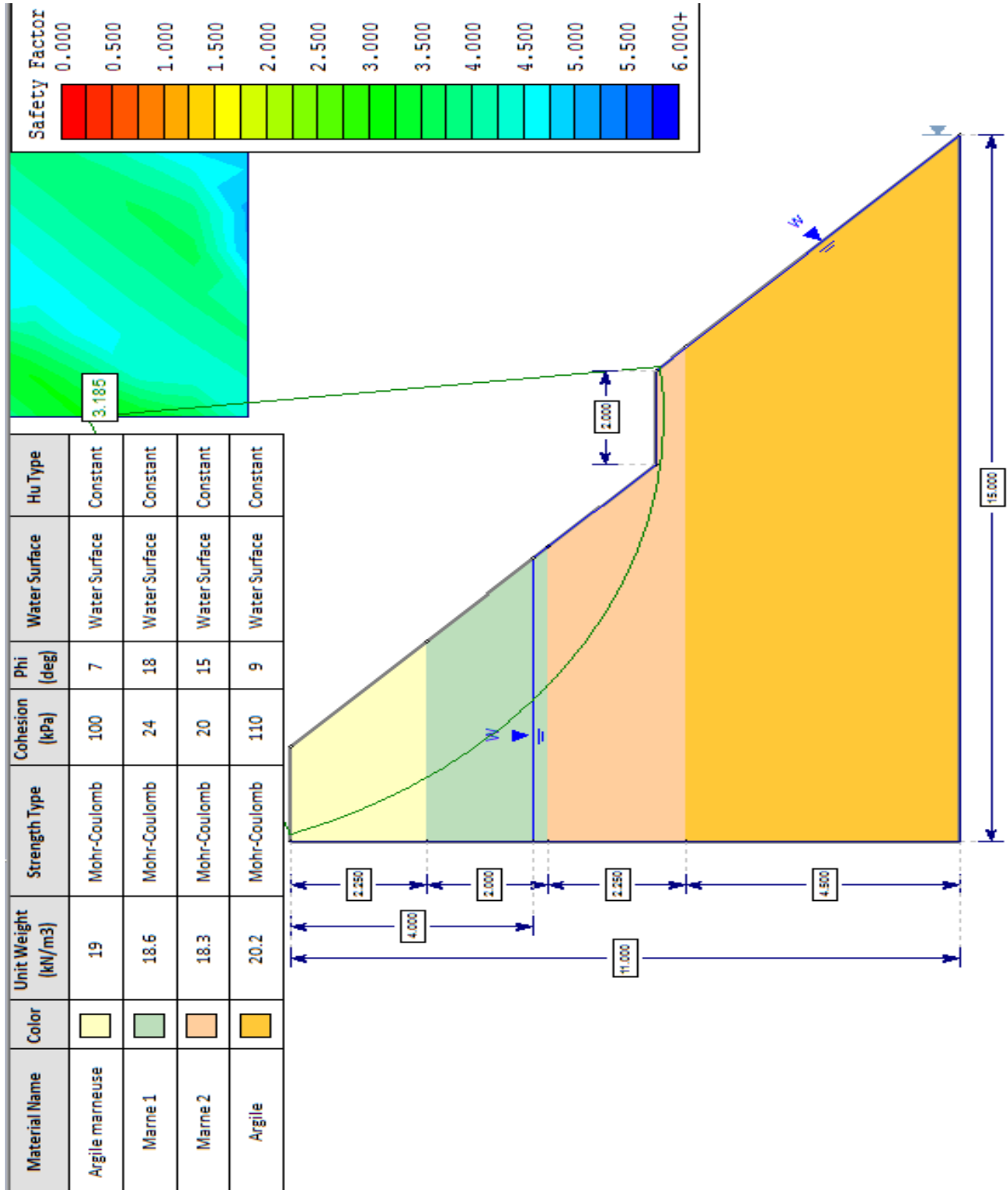
### Annexe D4 : Valeur des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R

Paramètres	Epaisseur	Caractéristiques
<b>E</b>	0.70 m	Pour les plateformes de classe P1
	0.55 m	Pour les plateformes de classe P2
	0.45 m	Pour les plateformes de classe P3
<b>a</b>	0 m	Pour les groupes UIC1 et 2 (ou les lignes à vitesse $\geq 160$ km/h quelque que soit le groupe UIC)
	-0.05 m	Pour les groupes UIC 3 et 4
	-0.10 m	Pour les groupes UIC 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs
	-0.15 m	Pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
<b>b</b>	0	Pour les traverses bois de longueur = 2.60 m
	$(2.5 - L)/2$	Pour les traverses en béton de longueur L (L en m, b en m, b peut être négatif si $L \geq 2.5$ m)
<b>c</b>	0 m	Pour un dimensionnement normal
	-0.10 m	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
	-0.05 m	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe autres que UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
<b>d</b>	0 m	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN
	+0.05 m	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN
	+0.12 m	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
<b>f</b>	0 m	Pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plateformes P3 des lignes à grandes vitesses
	+0.05 m	Quand les plateformes P2 des lignes a grandes vitesses
	+0.01 m	Pour les plateformes P1 des lignes à grandes vitesses
<b>g</b>	+géotextile	Lorsque la couche de forme est en sol QS1 et QS2
	0 (pas de géotextile)	Lorsque la couche de forme est en sol QS3

# ANNEXES D

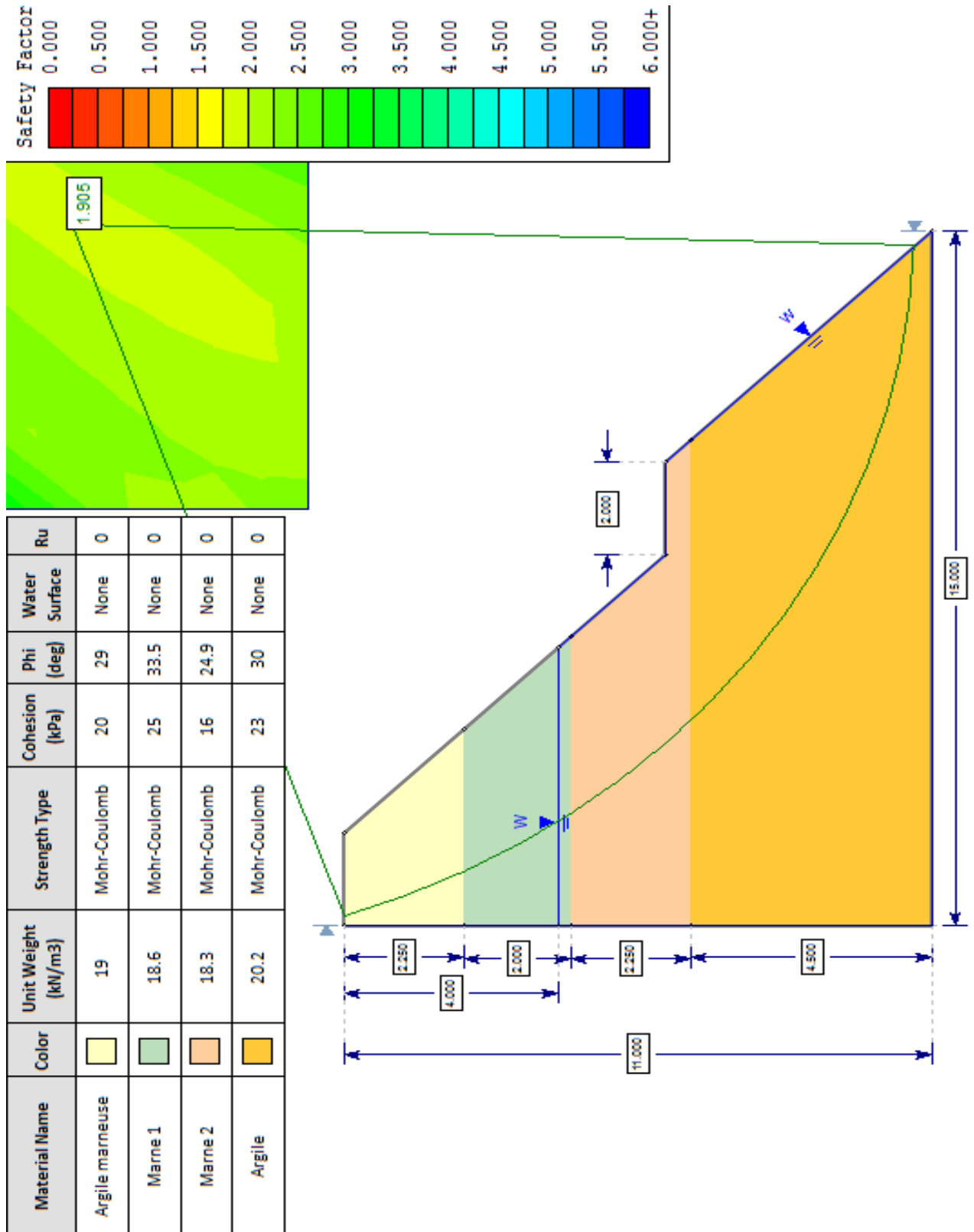
## Annexe D5 : Vérification de la stabilité d'un talus en déblais avec logiciel Slide 6.0

Figure 2: Vérification de la stabilité à court terme



# ANNEXES D

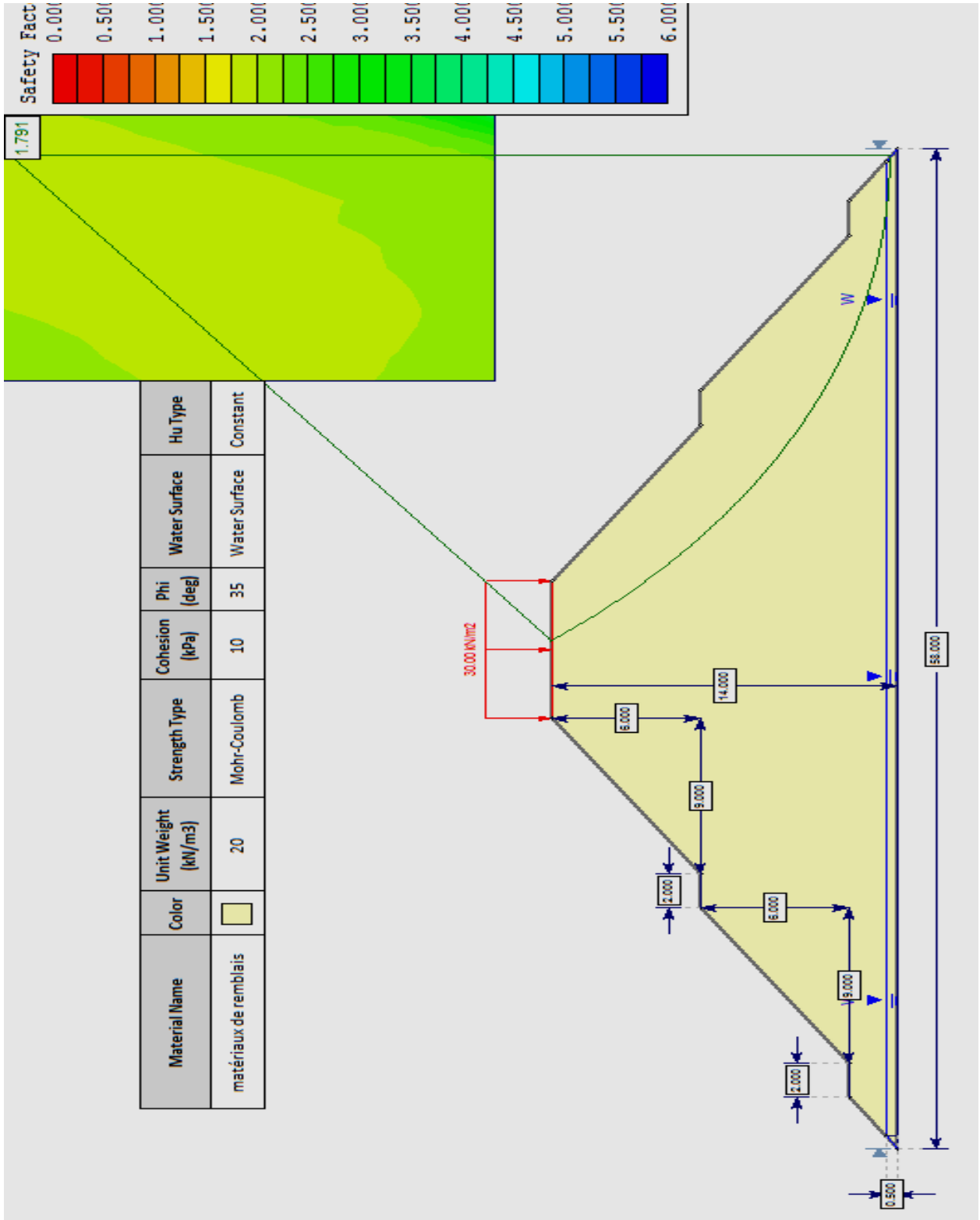
Figure 3: Vérification de la stabilité à long terme



# ANNEXES D

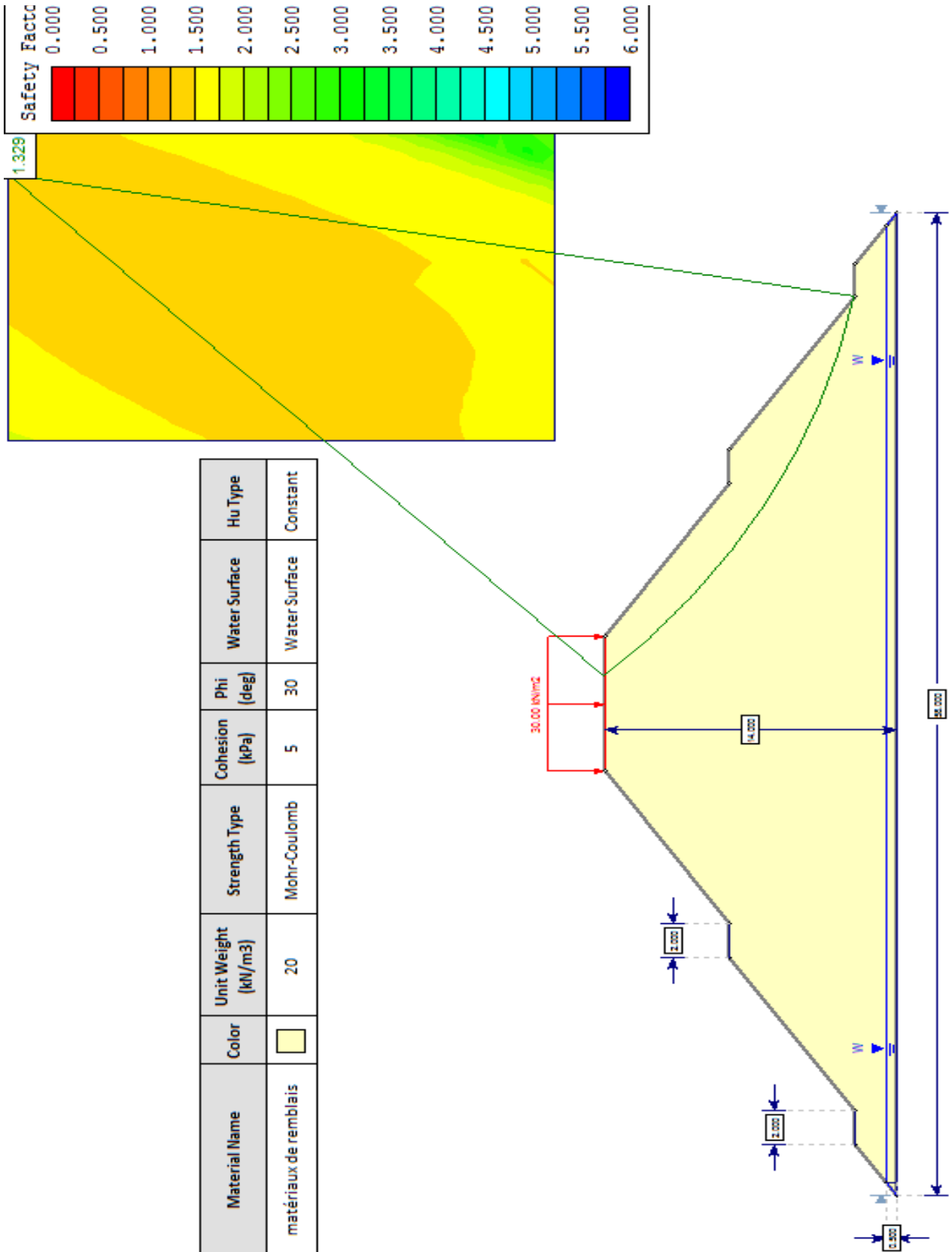
Annexe : Vérification de la stabilité d'un remblais de 14 m avec logiciel Slide 6.0

Figure 4 : Vérification de la stabilité à long terme



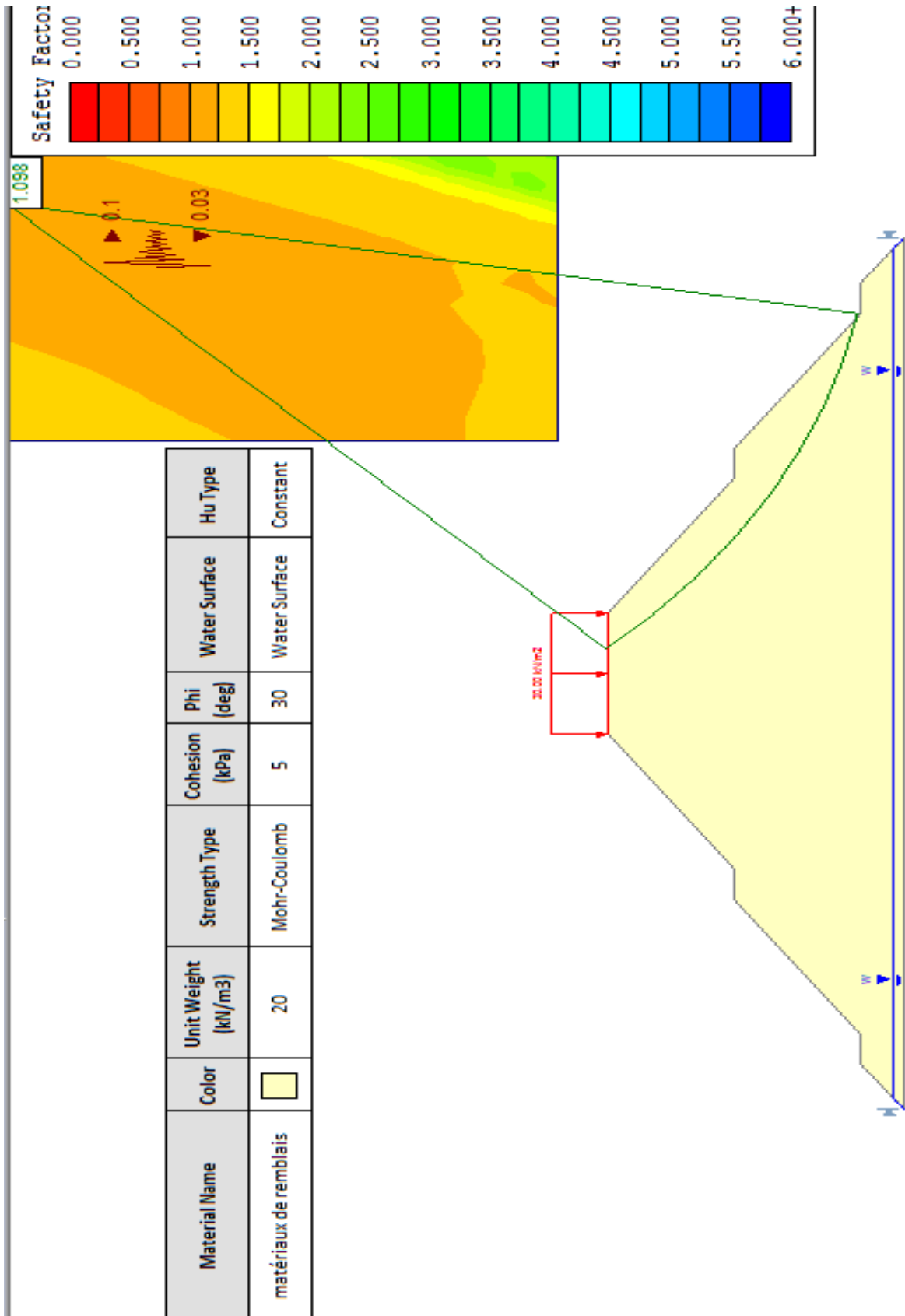
# ANNEXES D

Figure 5 : Vérification de la stabilité à court terme



# ANNEXES D

Figure 6 : Vérification de la stabilité en cas de séisme



# ANNEXES D

## Annexe D7 Résultat de calcul de tassement avec le logiciel GEO 5

	ENSTP-KOUBA	PFE-PROJET AL AFROUN -KHEMIS MELIANA calcul de tassement
---	-------------	---

### Settlement analysis

#### Input data

##### Project

Task : PFE-PROJET AL AFROUN -KHEMIS MELIANA

Part : calcul de tassement

Description : remblais de hauteur de 14 m

Customer : SALAH KHAMMOUM

Date : 03/06/2018

##### Settings

France - EN 1997, gamma water=1.0


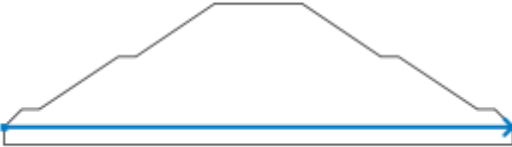
##### Settlement

Analysis method : Analysis using oedometric modulus

Restriction of influence zone : by percentage of Sigma, Or

Coeff. of restriction of influence zone : 10,0 [%]

##### Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-29,00	0,00	-27,00	2,00	-25,00	2,00
		-16,00	8,00	-14,00	8,00	-5,00	14,00
		5,00	14,00	14,00	8,00	16,00	8,00
		25,00	2,00	27,00	2,00	29,00	0,00
2		-29,00	0,00	29,00	0,00		

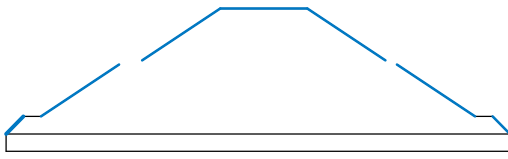
##### Soil parameters

###### REMBLAIS

Unit weight :	g =	20,00 kN/m <sup>3</sup>
Oedometric modulus :	E <sub>oed</sub> =	10,00 MPa
Saturated unit weight :	g <sub>sat</sub> =	21,00 kN/m <sup>3</sup>

**Water type : GWT**

# ANNEXES D

No.	GWT location	Coo		ordinates of GWT	[m]
		x	z	point s x z	x z
1		-29,00	0,50	-28,50	0,50
		29,00	0,50		28,50

## Results (Stage of construction 1)

### Results

Analysis of geostatic stress was successfully completed

## Results (Stage of construction 2)

### Results

Analysis performed, method Analysis using oedometric modulus

**Maximum settlement = 23,1 mm**

Maximum depth of influence zone = 9,06 m

