



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



## Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GÉNIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GÉNIE CIVIL

### MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par : Chahbouni Rabah

DOMAINE : GÉNIE CIVIL

FILIÈRE : TRAVAUX PUBLICS

OPTION : VOIES ET OUVRAGES D'ART

### Thème

***ÉTUDE D'UN TRONCON DE CHEMIN DE FER SUR UNE ZONE  
INONDABLE DE PK75+000 AU PK 83+000 A LAGHOVAT***

### Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Mr. Nouioua .T	MAA	Président
Mr. Bedrina.M	Pr	Examineur
Mme. Boulaghmen .F	MAA	Rapporteur
Mr. Baadj .	INGÉNIEUR	Co-Rapporteur

Promotion : septembre / 2019

## **RÉSUMÉ**

Le présent projet synthétise l'étude de la ligne ferroviaire à voie unique Djelfa – Laghouat sur un linéaire 108 km ; l'étude a pour l'objet de concevoir une ligne à voie unique afin de relier la ville de Djelfa à la ville de Laghouat, à une vitesse de 220 km/ h pour les trains de voyageurs, et une vitesse de 100 km/ h pour les trains de marchandises. Le tronçon étudié commence du PK 75 au PK 83, sur un linéaire de 8 km dans les zones inondables. Ce travail prend en considération par l'élévation de la zone étudié selon les normes international UIC ( Union International de chemin de fer), en utilisant le logiciel de conception géométrique «Civil 3D 2016 », et deux logiciels pour le calcul de stabilité des terrassements « PHASE2 8.016» et «SLIDE 6.0», et un système d'information géographique « Global mapper V.15 ».

Mots clés : Etude ferroviaire , Laghouat , Zone Inondable .

## **ABSTRACT**

The present project synthesizes the study of the Djelfa-Laghouat single-track railway line over a linear 108 km ; the purpose of the study is to design a single-track line economic to connect the city of Djelfa to the city of Laghouat , at a speed of 220 km / h for passenger trains, and a speed of 100 km / h for freight trains. The studied section starts from KP 75 to KP 83 on a linear of 8 km in the flood zones. This work takes into account the elevation of the area studied according to the International Union of Railways (UIC) international standards, using the "Civil 3D 2016" geometric design software, and two software for calculating earthworks stability. "PHASE2 8.016" and "SLIDE 6.0", and a geographic information system « Global mapper V.15 ».

Keywords: Railway study, Laghouat, Flood Zone.

## **المخلص**

يختص هذا المشروع بدراسة خط السكة الحديدية الجلفة - الأغواط ذات أحادية المسار على خط 108 كم ، والغرض من هذه الدراسة هو تصميم خط اقتصادي أحادي المسار لربط مدينة جلفة بمدينة الأغواط ، بسرعة 220 كلم / ساعة لقطارات الركاب ، وسرعة 100 كلم / ساعة لقطارات الشحن . يبدأ القسم المدروس من النقطة 75 كلم إلى 83 كلم بخط طول 8 كلم في مناطق الفيضانات. يأخذ هذا العمل في الاعتبار برفع المنطقة المدروسة وفقاً للمعايير الدولية للاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) ، باستخدام برنامج التصميم الهندسي "Civil 3D 2016" ، وبرنامجين لحساب استقرار أعمال الحفر PHASE2 8.016 و "SLIDE 6.0" ، ونظام المعلومات الجغرافية "الخريطة العالمية « Global mapper V.15 ».

الكلمات المفتاحية : دراسة السكك الحديدية ، الأغواط ، منطقة الفيضان.

# TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	
DÉDICACE.....	
SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS : .....	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I . PRÉSENTATION DU PROJET ET DONNÉES DE BASE .....	3
I. INTRODUCTION.....	4
II. GÉNÉRALITÉ SUR LA WILAYA DE LAGHOUAT .....	4
II.1. Relief : .....	5
II.2. Population et activités : .....	6
II.3. Infrastructures de base : .....	6
III. PRÉSENTATION DU TRONÇON ÉTUDIÉ : .....	7
IV. OBJÉCTIFS DU PROJET : .....	8
V. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES : .....	8
VI. LES NORMES APPLIQUÉES : .....	8
VII. DESCRIPTION DU TRACÉ : .....	9
VIII. GÉNÉRALITÉ SUR LA VOIE FERRÉE .....	10
VIII.1. Les catégories des voies .....	10
VIII.2. Les constituants de la voie ferrée .....	11
VIII.3. Les traverses : .....	16
VIII.4. Pose des traverses .....	17
VIII.5. Système d'attache : .....	17
VIII.6. Ballast.....	18
VIII.7. Caractéristiques de la voie étudiée .....	18
IX. CONCLUSION : .....	19
CHAPITRE II . ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE LA VOIE FERRÉE .....	20
I. INTRODUCTION : .....	21
II. LE RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE : .....	21
III. TRACÉ EN PLAN.....	21
III.1. Conditions et règles de tracé : .....	22
III.2. Éléments de tracé en plan : .....	22
IV. APPLICATION AU PROJET.....	29
IV.1. calcule les parametre de tracé en plan : .....	29
IV.2. Calcul d'axe : .....	32

V. PROFIL EN LONG :	36
V.1. Introduction :	36
V.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	37
V.3. Éléments géométriques du profil en long :	37
V.4. Application au projet :	38
VI. PROFIL EN TRAVERS.....	39
VI.1. Introduction.....	39
VI.2. Profil en travers type :	40
VI.3. Les profils en travers types affectés au projet :	41
VII. APPLICATION AU PROJET :	42
VIII. CONCLUSION :	43
CHAPITRE III . ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE.....	44
I. INTRODUCTION :	45
II. LA GÉOLOGIE DU SITE DE TRACÉ .....	45
II.1. Quaternaire :	45
III. RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE :	48
III.1. Puits de reconnaissance :	49
III.2. Sondages carottés :	50
III.3. Essai de pénétration au carottier (SPT) :	52
III.4. Essais de laboratoire :	52
III.5. Classification selon la norme NF P 11-300 :	53
III.6. Classification selon l'UIC 719 R :	53
IV. CONCLUSION :	57
CHAPITRE IV . TÉRASSEMENTS ET COUCHES D'ASSISES .....	58
I. LES TERRASSEMENTS.....	59
I.1. Introduction :	59
I.2. Deblais :	59
I.3. Remblais .....	69
I.4. Calcul des cubatures :	72
I.5. Gîtes d'emprunts et carrières :	73
I.6. Conclusion :	76
II. LES COUCHES D'ASSISE.....	76
II.1. Introduction .....	76
II.2. Ballast :	77
II.3. La Sous-couche :	81
II.4. Dimensionnement des structures d'assise :	82

III. APPLICATION AU PROJET.....	83
III.1. Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise :.....	83
III.2. Application au projet : .....	85
IV. CONCLUSION : .....	87
CHAPITRE V. ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET AMÉNAGEMENT LA ZONE INONDABLES.	88
I. ÉTUDE HYDROLOGIQUE .....	89
I.1. Introduction :.....	89
I.2. Bassin versant : .....	89
I.3. Le climat : .....	89
I.4. Les précipitations :.....	90
I.5. Pluviométrie : .....	91
I.6. Caractéristiques des bassins versant : .....	91
II. CONCEPTION GÉNÉRALE D'UN SYSTEME D'ASSAINISSEMENT :.....	92
II.1. Tracé en remblai : .....	92
II.2. Tracé en déblai : .....	92
III. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUE : .....	93
III.1. Règles a respecté dans le dimensionnement des ouvrages hydraulique :.....	93
III.2. Éstimation des débits d'apports :.....	94
III.3. Détermination du coefficient de ruissèlement : .....	94
III.4. Calcul de l'intensité de la pluie : .....	95
III.5. Éstimation du dÉbit de saturation : .....	96
III.6. Buse : .....	97
IV. VÉRIFICATION DES CONDITIONS D'AUTO CURAGE .....	98
V. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE TRAVERSE : .....	98
V.1. Dimensionnement des fossés : .....	99
VI. OUVRAGES D'ART : .....	101
VI.1. localisation de l'ouvrage :.....	102
VI.2. Profil en travers :.....	102
VI.3. Profil en long : .....	103
VII. OUVRAGES EN TERRE DES ZONES INONDABLES :.....	104
VII.1. Zones inondables : .....	104
VII.2. Localisation des zones inondable : .....	105
VII.3. Ouvrage proposé : .....	105
VIII. APPLICATION AU PROJET :.....	108
IX. CONCLUSION : .....	108
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	109

RÉFÉRENCES.....	110
ANNEXE A (géométries du rail UIC 60) .....	112
ANNEXE 1 « AXE EN PLAN » :.....	113
ANNEXE 2 ( PROFIL EN LONG ).....	114
ANNEXE NUMÉRIQUE .....	115

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU PROJET ET DONNÉES DE BASE

Figure I. 1 : Carte du réseau routier de la wilaya de Laghouat .....	5
Figure I. 2 : Carte géographique du tronçon étudié.....	7
Figure I. 3 : Le tracé en plan .....	9
Figure I. 4 : Les zones inondables en long de tracé .....	10
Figure I. 5 : Les constituants de la voie ferrée .....	11
Figure I. 6 : Les éléments de la superstructure.....	11
Figure I. 7 : Composition de rail .....	12
Figure I. 8 : Les différents types de rails.....	12
Figure I. 9 : L'écartement et l'inclinaison de la voie.....	13
Figure I. 10 : Traverse monoblocs.....	17
Figure I. 11 : Système d'attache type Nabla .....	18

## CHAPITRE II : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE LA VOIE FERRÉE

Figure II. 1 ; Les éléments de tracé en plan.....	22
Figure II. 2 : Le dévers.....	24
Figure II. 3 : Illustration d'une rampe de dévers.....	29
Figure II. 4 : Caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements.....	32
Figure II. 5 : Caractéristiques principales d'une courbe.....	38
Figure II. 6 : Profil en travers type 1 .....	41
Figure II. 7 : Profil en travers du pont ferroviaire.....	42
Figure II. 8 : Profil en travers type dans le cas où le tracé passe par une zone inondable .....	42

## CHAPITRE III : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Figure III. 1 : Carte géologique de la zone.....	45
Figure III. 2 : Des encroûtements alluvions (a) PK 78+850 .....	46
Figure III. 3 : Des encroûtements calcaires (b) PK 77+405.....	47
Figure III. 4 : Des alluvions récentes (c) PK 79+447.....	47
Figure III. 5 : Accumulations sableuses (d) PK 80+000 .....	47
Figure III. 6 : Grès rougeâtre PK 80.....	48
Figure III. 7 : Sondage S1 – Caisse N°1 : 0.00 – 6.00 m .....	50
Figure III. 8 : Sondage S1– Caisse N°2 : 6.00 – 9.00 m .....	50
Figure III. 9 : Sondage S2– Caisse N°1 : 0.00 – 10.00 m .....	51
Figure III. 10 : Sondage S2– Caisse N°2 : 10.00 – 12.00 m .....	51

## CHAPITRE IV : TÉRRASSEMENTS ET COUCHES D'ASSISES

Figure IV. 1 : Profil géotechnique schématique montrant les discontinuités mesuré (rapport géotechnique).....	61
Figure IV. 2 : Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR ( Beniawski [1973]) .....	61
Figure IV. 3 . Modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel « PHASE2 » à long terme .....	66
Figure IV. 4 : Modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel SLIDE à long terme.....	71

Figure IV. 5 : Modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel SLIDE à long terme avec prise en compte de l'effet sismique.....	71
Figure IV. 6 : Situation de gites d'emprunt.....	74
Figure IV. 7 : Situation des carrières.....	75
Figure IV. 8 : Profil en travers type des couches d'assise.....	77
Figure IV. 9 : Ballast 22.4/63 mm.....	77
Figure IV. 10 : Structure d'assise normale.....	82
Figure IV. 11 : Structure d'assise avec couche de forme rapportée.....	83
Figure IV. 12 : Schéma Remblais.....	86
Figure IV. 13 : Schéma Remblais.....	86

## **CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET AMÉNAGEMENT LA ZONE INONDABLES**

Figure V. 2 : Les bassins versant du nord de l'Algérie.....	89
Figure V. 3 : Image STRM des bassins versant.....	91
Figure V. 4 : Schéma d'un dalot.....	97
Figure V. 5 : Schéma d'un fossé en déblais.....	100
Figure V. 6 : Schéma d'un fossé en remblais.....	100
Figure V. 7 : Schéma d'un fossé de crête de déblais.....	100
Figure V. 8 : Photo reel de culée.....	102
Figure V. 9 : Profil en traver du pont.....	103
Figure V. 10 : Profil en long du pont (PK 80+452).....	103
Figure V. 11 : Coupe longitudinale de pont au cours de réalisation.....	104
Figure V. 13 : Remblai dans les zones inondables.....	106
Figure V. 12 : Remblai dans les zones inondables.....	106
Figure V. 14 : Photo réel de remblai en noyau central.....	107
Figure V. 15 : Buse d'équilibre.....	107
Figure V. 16 : Photo de buse après remplissage.....	108

## **CHAPITRE IV : TÉRRASSEMENTS ET COUCHES D'ASSISES**

Tableau IV. 1 : Caractéristiques des déblais.....	59
Tableau IV. 2 : Propriétés des joints de discontinuité.....	60
Tableau IV. 3 : Classification des masses rocheuses selon la méthode de Bieniawski.....	64
Tableau IV. 4 : Classification RMR du rocher de pigeons.....	65
Tableau IV. 5 : Synthèse des résultats de stabilité au glissement.....	67
Tableau IV. 6 : Matériaux des déblais.....	68
Tableau IV. 7 : Les caractéristiques des remblais.....	69
Tableau IV. 8 : Caractéristiques des matériaux.....	70
Tableau IV. 9 : synthèse des résultats de stabilité au glissement.....	71
Tableau IV. 10 : Récapitulatif des cubatures des terrassements.....	72
Tableau IV. 11 : Récapitulatif des cubatures des couches d'assise.....	73
Tableau IV. 12 : Liste des Zones d'emprunts.....	73
Tableau IV. 13 : Implantation et description des puits de reconnaissance.....	74
Tableau IV. 14 : : Résultats des essais de laboratoire des zones d'emprunts.....	74
Tableau IV. 15 : Résultats des essais mécaniques et physiques des carrières.....	75

Tableau IV. 16 : : Ballast 22.4/63 mm.....	79
Tableau IV. 17 : Catégories pour la granularité (Norme EN 13 450).....	79
Tableau IV. 18 : Catégories pour la teneur en grains fins (Norme EN 13450).....	80
Tableau IV. 19 : : La classification des sols de la plateforme.....	85

# LISTE DE TABLEAUX

## CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU PROJET ET DONNÉES DE BASE

Tableau I. 1 : Réseau routier de la wilaya de Laghouat.....	6
Tableau I. 2 : Caractéristiques des composantes de la voie étudiée.....	18

## CHAPITRE II : ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE LA VOIE FERRÉE

Tableau II. 1 : Valeurs de la longueur minimale de l'alignement (SNTF) .....	23
Tableau II. 2 : Tableau des valeurs limites du dévers pratique (SNTF) .....	25
Tableau II. 3 : Tableau des valeurs limites .....	26
Tableau II. 4 : Tableau des valeurs limites de l'excès du dévers.....	27
Tableau II. 5 : Valeurs limites de variation de dévers (SNTF) .....	28
Tableau II. 6 : Les valeurs limites (EN 13803-1).....	29
Tableau II. 7 : Les valeurs limites des éléments caractéristique du tracé en plan (SNTF) pour une vitesse de 220 km/h .....	30
Tableau II. 8 : Les valeurs des éléments du tracé en plan .....	32
Tableau II. 9 : Eléments Caractéristique Longueur (m) Abscisse XY.....	35
Tableau II. 10 : Résultats du calcul automatique.....	36
Tableau II. 11 : Rayon verticale minimal (SNTF).....	38

## CHAPITRE III : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Tableau III. 1 : Implantation et description des puits .....	49
Tableau III. 2 : Implantation et description des sondages (1).....	50
Tableau III. 3 : Implantation et description des sondages (2).....	51
Tableau III. 4 : Récapitulation des essais de pénétration au carottier.....	52
Tableau III. 5 : Résultats des essais de laboratoire.....	53
Tableau III. 6 : : Classification de la qualité des sols (UIC 719R).....	55
Tableau III. 7 : La classe de portance de la plateforme (fiche 719R).....	56

## CHAPITRE V : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET AMÉNAGEMENT LA ZONE INONDABLES

Tableau V. 1 : Les températures moyennes mensuelles.....	90
Tableau V. 2 : Moyennes mensuelles des précipitations .....	90
Tableau V. 3 : Pluie journalier maximale de la station de sidi Makhloof.....	91
Tableau V. 4 : Caractéristiques des bassins versant.....	92
Tableau V. 5 : Coefficient C1 .....	95
Tableau V. 6 : Coefficient C2 .....	95
Tableau V. 7 : Coefficient C3 .....	95
Tableau V. 8 : Calcul hydraulique pour les dalots .....	97
Tableau V. 9 : Calcul hydraulique pour les buses.....	97
Tableau V. 10 : Dimensionnement des ouvrages de traversé .....	98
Tableau V. 11 : Calcul des débits d'apports pour les déblais et les remblais.....	99
Tableau V. 12 : Points de rejet des fossés de remblais .....	101
Tableau V. 13 : Point de rejet des fossés de déblais .....	101
Tableau V. 14 : Localisation des zones inondables .....	105

## REMERCIEMENTS

*Je tiens à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir mon travail dans les meilleures conditions.*

*Ce projet de fin d'étude a été mené à bien grâce à la participation exceptionnelle de mon encadrement par M<sup>me</sup> F.Boulaghmen et M<sup>r</sup> M.Baadj .*

*Mon remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, et qui m'ont fait l'honneur d'examiner .*

*Enfin mon remerciements vont également aux enseignants qui ont contribué à mon formation et à tous ceux qui m'a aidés de près ou de loin.*

## DÉDICACE

*Tout d'abord je remercie Dieu qui m' a donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail. Je dédie ce travail :*

*A ma très chère mère, qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mes études ,*

*A mon père qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, que dieu le garde et le protège,*

*A ma chère femme,*

*A mes grands –parents, mes sœurs, mes cousins et mes cousines.*

*A toute ma famille*

*A mes collègues de travaille et tout les travailleurs de LTPS*

*A mes amis sans exception et plus particulièrement à mon confrère Rabhallah Oussama*

*Enfin, à tous ceux qui m'aiment*

*Chahbouni Rabah*

## SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS :

symbole	Désignation	unité
R	Rayon de raccordement circulaire	m
R <sub>min</sub>	Rayon minimal	m
I <sub>min</sub>	Longueur minimale de l'alignement droit	m
V <sub>V</sub>	Vitesse des trains les plus rapides	m/s
V <sub>m</sub>	Vitesse du train le plus lent	m/s
d <sub>max</sub>	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
I <sub>max</sub>	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
E <sub>max</sub>	Excès de dévers maximal	mm
d <sub>th</sub>	Dévers théorique	mm
d <sub>thm</sub>	Dévers théorique pour les trains de marchandise	mm
d <sub>thv</sub>	Dévers théorique pour les trains de voyageurs	mm
d <sub>p</sub>	dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
L	longueur du clotoïde	m
A	Paramètre de clotoïde	m
Rv <sub>min</sub>	Rayon verticale minimal	m
Δd/Δt	Variation de dévers en fonction du temps	-
ΔI/Δt	Variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps	-
Δd/ΔI	Variation de dévers en fonction de la longueur du clotoïde	-
P <sub>ui</sub>	puits de reconnaissance	-
S <sub>i</sub>	sondage carotté	-
SPT	Essai de pénétration au carottier	-
N <sub>0</sub>	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'amorçage de 0 à 15 cm	-
N <sub>1</sub>	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'essai de 15 à 30 cm	-
N <sub>2</sub>	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement de 30 à 45 cm	-
N <sub>1</sub> + N <sub>2</sub>	Résistance à la pénétration	-
W <sub>p</sub>	Résistance à la pénétration	-
W <sub>L</sub>	Limite de liquidité	-
I <sub>p</sub>	Indice de plasticité	-
I <sub>c</sub>	Indice de consistance	-
D <sub>max</sub>	Diamètre maximal des granulats	mm
γ	Masse volumique	kN/m <sup>3</sup>
W <sub>n</sub>	Teneur en eau naturel	-
QSi	Classe du sol (UIC)	-
Pi	Classe de la plateforme	-
< 80μm	Pourcentage des tamis qui ont un diamètre inférieur à 80μm	-
< 2mm	Pourcentage des tamis qui ont un diamètre inférieur à 2mm	-
R <sub>c</sub>	Résistance à la compression	Mpa
RMR	Rock masse rating system (méthode de classification des massifs rocheux)	-

Ai	<b>Paramètres de la classification RMR</b>	-
C	<b>Cohésion du sol</b>	kpa
$\phi$	<b>Angle de frottement</b>	°
E	<b>Module d'élasticité</b>	Mpa
RQD	<b>Désignation de la qualité d'une roche</b>	-
$K_h$	<b>Accélération horizontal</b>	m/s <sup>2</sup>
$K_v$	<b>Accélération verticale</b>	m/s <sup>2</sup>
Fs	<b>Coefficient de sécurité</b>	-
$H_r$	<b>Hauteur maximal à l'axe des remblais</b>	M
LA	<b>Coefficient Los Angeles</b>	-
MDE	<b>Coefficient micro-Deval</b>	-
A	<b>Coefficient de forme (aplatissement)</b>	-
P	<b>Coefficient de propreté</b>	-
PZE	<b>Puits zone d'emprunt</b>	-
$T_{\min}^{\circ}$	<b>Temperature minimal</b>	°C
$T_{\max}^{\circ}$	<b>Temperature maximal</b>	°C
$T_{\text{moy}}^{\circ}$	<b>Temperature moyenne</b>	°C
$P_i$ (f%)	<b>Hauteur de pluie journalière maximale de fréquence « f »</b>	Mm
$P_t$ (f%)	<b>Pluie maximale de durée « t » de fréquence « f »</b>	Mm
A	<b>superficie du bassin versant</b>	Ha
$Q_a$	<b>Débit d'apport</b>	m <sup>3</sup> /s
$Q_s$	<b>Débit de saturation</b>	m <sup>3</sup> /s
DN	<b>Diamètre nominale</b>	M
C	<b>Coefficient de ruissèlement</b>	-
I	<b>intensité de la pluie</b>	mm/h
T	<b>Période de retour de l'averse</b>	Ans
K	<b>coefficient qui permet de conserver les unités</b>	-
$T_c$	<b>Temps de concentration</b>	H
$S_m$	<b>Section mouillée</b>	m <sup>2</sup>
i	<b>pente de pose de l'ouvrage</b>	-
$K_{st}$	<b>coefficient de rugosité</b>	-
$R_h$	<b>Rayon hydraulique</b>	-
$L_{\text{talweg}}$	<b>longueur du talweg</b>	km
$Q_{ps}$	<b>Débit a plein section</b>	m <sup>3</sup> /s
m	<b>pente du fossé</b>	-
V	<b>vitesse d'écoulement</b>	m/s

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les transports ferroviaires constituent une branche économique importante qui considérés comme un facteur vital pour le développement d'un territoire donné.

En Algérie, le secteur du transport connaît une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés ou sont en phase de réalisation, notamment dans le domaine ferroviaire qui a besoin d'une modernisation, compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante.

Ces projets s'inscrivaient dans le cadre d'une politique dynamique d'aménagement et de développement du territoire. Ils visaient à rompre l'isolement de certaines régions insuffisamment desservies par les transports, d'assurer aux citoyens l'accès massif à des moyens de transport modernes et à moindre coût, tout en permettant à ce secteur d'être plus performant et plus efficace dans sa contribution dans le développement économique du pays .

L'accroissement de la population dans les régions du Sud conduit a renforcé les besoins d'infrastructures de transports et l'offre de transport, notamment dans le domaine ferroviaire afin d'atténuer la prédominance de la route et remettre « les trains sur rail ». C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'étude, qui consiste à faire.

L'étude technique correspond à la liaison ferroviaire reliant la ville de Djelfa à Laghouat sur tronçons du PK 75+000 au PK 83+000 dans la zone inondable, Pour cerner cette problématique, il a été établie un calcul supplémentaire de la surélévation de la voie ferrée afin d'éviter sa submersion.

Pour mener à bien ce travail, le manuscrit a été structuré comme suit :

le premier chapitre correspond à une présentation de projet et description globale des principes de base dans la bibliographie qui met en considération l'application des normes et des référentiels techniques nationaux et internationaux du calcul et réalisation des lignes ferroviaires .

Dans le second chapitre on a présenté l'étude géométrique de la voie ferrée de la zone Mgharet el Hammem afin d'élaborer le tracé de la ligne ferroviaire du PK 75+000 au PK 83+000.

Dans le troisième chapitre on a présenté une étude géologique et géotechnique et on a déterminé les caractéristiques de sol et des matériaux existants par des différents essais sur site appliqués dans la zone étudiée .

Dans le quatrième chapitre les terrassements et les couches d'assise sont mis en évidence afin de calculer les zones de déblais et des remblais pour le pré-dimensionnement des différentes structures d'assise existantes le long de tracé de la zone d'étude.

Dans le cinquième chapitre, l'étude hydrologique est établie dans le but de dimensionner les ouvrages en terre ( dalots , buses ) dans les zones inondable suivis par les applications numériques et les calculs selon les règlement .

***CHAPITRE I. PRÉSENTATION DU***  
***PROJET ET DONNÉES DE BASE***

## ***I. INTRODUCTION***

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire d'Algérie, parmi les quels la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat sur un linéaire de 108 km. L'étude a pour objet de concevoir une ligne à voie unique afin de relier la ville de Djelfa à la ville de Laghouat, à une vitesse de 220km/h pour les trains de voyageurs, et une vitesse de 100km/h pour les trains de marchandises. Cette nouvelle ligne fait partie du projet de la boucle du sud (Djelfa / Laghouat / Ghardaïa / Ouargla / Nouvelle Ville de Hassi Messaoud / Touggourt / Biskra), dans le cadre du développement ferroviaire de la zone sud de l'Algérie. Elle permettra également la liaison de la région centre des hauts plateaux à la région du nord du grand Sahara du pays. Le raccordement de cette ligne avec la ligne Boumedfaa / Ain Oussera / Djelfa, se fera au niveau de la nouvelle gare de Djelfa, retenue dans le cadre du programme quinquennal de développement 2010-2014.

## ***II. GÉNÉRALITÉ SUR LA WILAYA DE LAGHOUAT***

La wilaya de Laghouat est située au sud centre du pays, elle est limitée géographiquement comme suit :

- Au nord : Tiaret,
- A l'Est : Djelfa,
- A l'Ouest : Tiaret et El Beyedh,
- Au Sud : Ghardaïa.

Conformément à la dernière organisation territoriale du pays, la wilaya de Laghouat regroupe actuellement 10 daïras et 24 communes. La wilaya s'étend sur une superficie de 25052 km<sup>2</sup>.

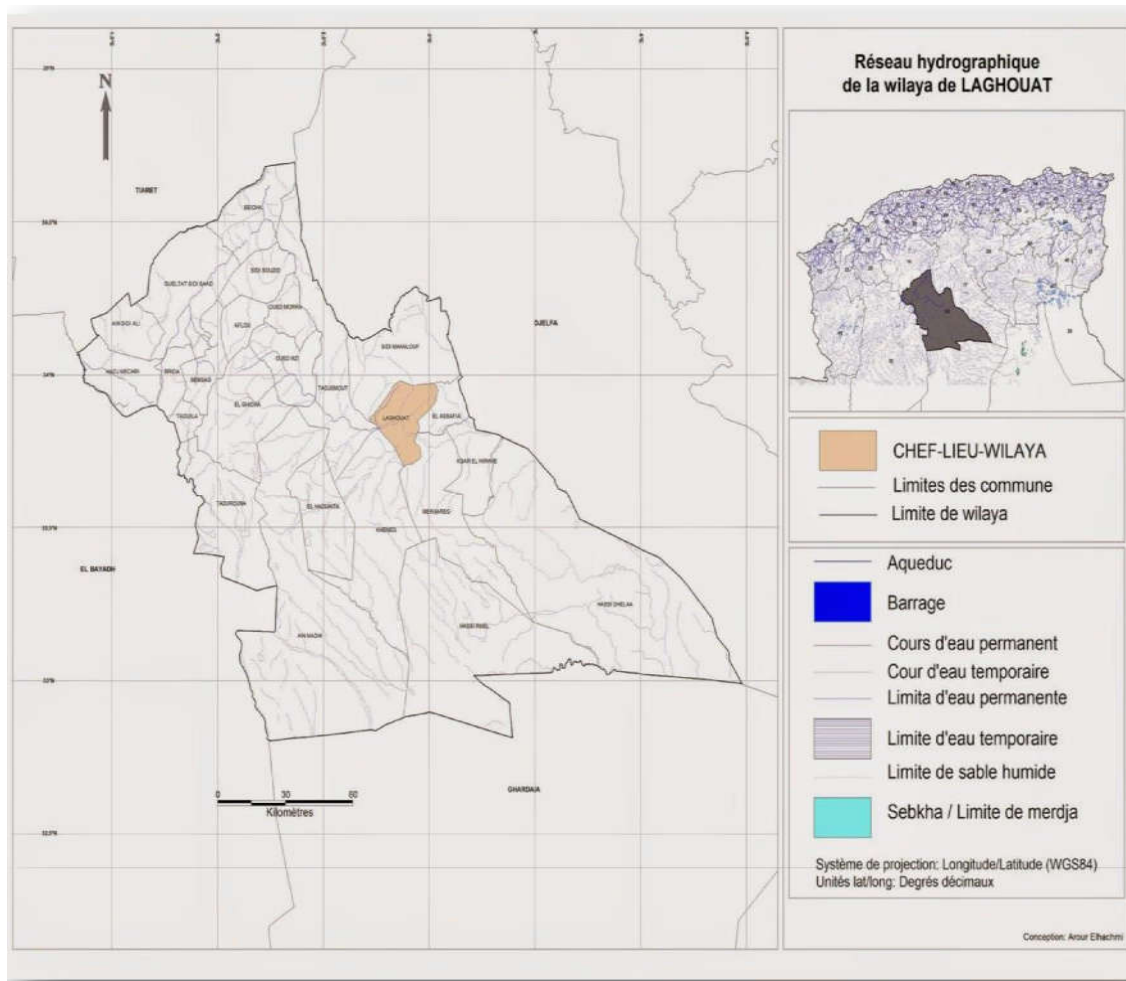


Figure I. 1 : Carte du réseau routier de la wilaya de Laghouat

## II.1. RELIEF :

La Wilaya se distingue par deux zones distinctes:

La zone de l'Atlas Saharien caractérisée par des altitudes allant de 1.000 à 1.700m avec des pentes de 12,5 à 25 %. Cette zone au Nord-Ouest de la Wilaya (régions d'Aflou et Brida). Elle est constituée de vieux massifs forestiers d'une superficie de 47.095 ha, de nappes alfatières couvrant une superficie de 315.125 ha, ainsi que de pacages et parcours d'une superficie de 1.531.766 ha.

La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux Sahariens caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1.000 m et des pentes de 0 à 3 %. Cette zone est constituée de vastes étendues steppiques d'une superficie de 1.900.000 ha dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées.

## **II.2. POPULATION ET ACTIVITÉS :**

La population totale de la wilaya est estimée à 483 264 habitants (RGPH 2008), soit une densité de 19 habitants par Km<sup>2</sup>, avec un taux de croissance de 4.3%.

## **II.3. INFRASTRUCTURES DE BASE :**

### **II.3.A. Réseau routier :**

Désignation	Longueur (km)
Routes Nationales	403
Chemins de fer	394
Chemins communaux	513

**Tableau I. 1 : Réseau routier de la wilaya de Laghouat**

### **II.3.B. Infrastructure Aéroportuaire :**

Dans la wilaya de Laghouat existe deux aéroport , l'un à Laghouat et l'autre à Hassi rmel.

### **II.3.C. Adduction d'eau potable et Assainissement :**

Alimentation en eau potable : Taux de raccordement en AEP : 93,9%.

Assainissement : Taux de raccordement au réseau assainissement : 96%.

### III. PRÉSENTATION DU TRONÇON ÉTUDIÉ :

Notre projet intitulé « Étude de la ligne ferroviaire à voie unique Djelfa-Laghouat du PK 75 au PK 83 dans les zone inondables ». Le but de cette étude est de faire un tracé économique qui doit répondre aux critères et aux normes internationales des chemins de fer.

Les tâches de notre étude sont les suivantes :

Optimisation du tracé, par rapport à l'APS, augmentant les valeurs des rayons et en limitant les pentes pour permettre une vitesse de circulation de 220km/h, Application des normes a la superstructure (écartement, type des rails, traverses), Étude géologique et géotechnique, Dimensionnement de la structure d'assise de la plateforme, Étude d'assainissement .

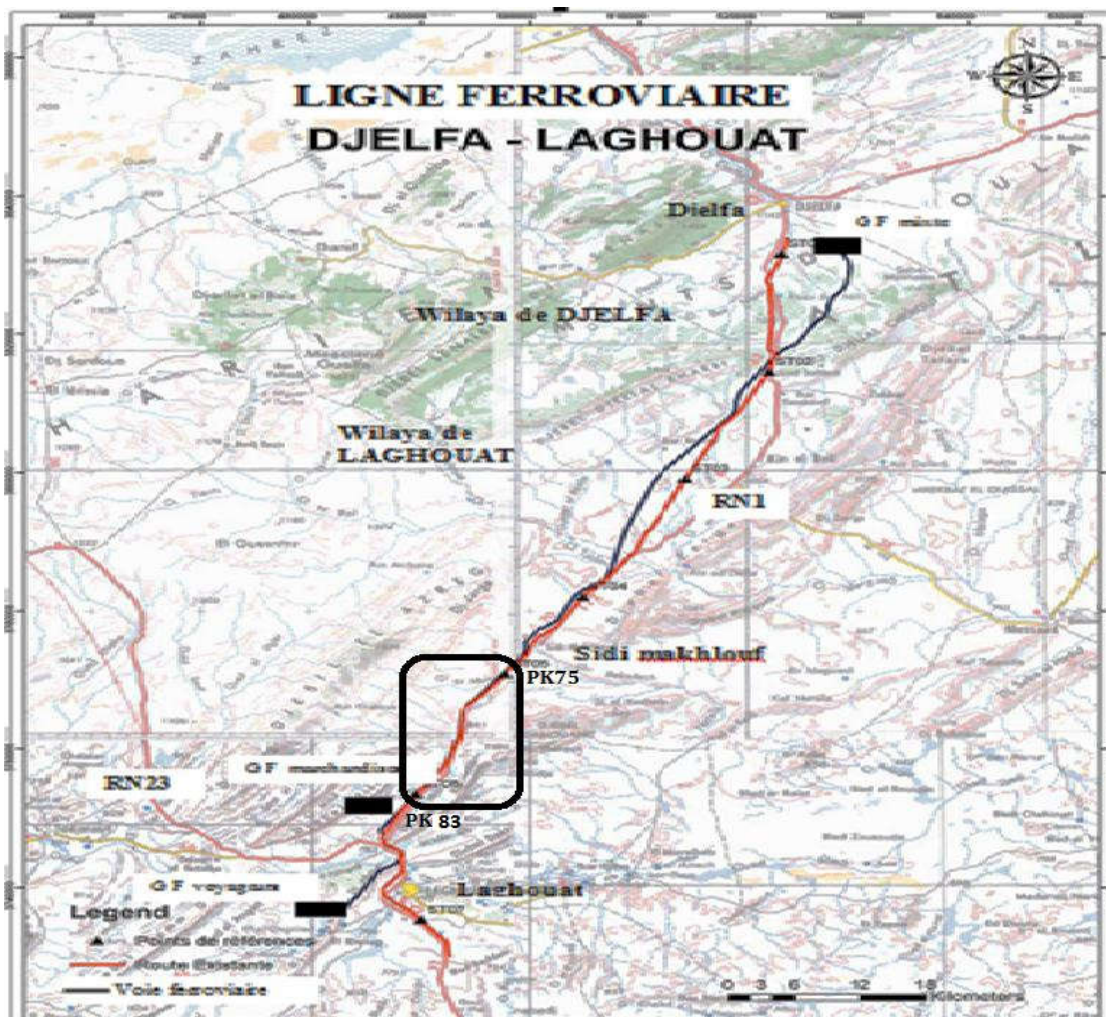


Figure I. 2 : Carte géographique du tronçon étudié

#### **IV. *OBJÉTIFS DU PROJET :***

- Permettre aux citoyens de se déplacer entre le Nord et le Sud dans de bonnes conditions,
- Le rapprochement et le désenclavement des villes,
- Le maillage et la densification du réseau,
- Amélioration des conditions d’approvisionnement,
- Booster le développement économique,
- Exploiter ces liaisons ferroviaires pour le transport de carburants, Transport des marchandises.

#### **V. *CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES :***

Cette ligne nouvelle à voie unique est conçue pour une vitesse maximale de 220 km/h. La longueur totale est de 108,612km. Les caractéristiques techniques principales sont les suivantes :

- Ligne à voie unique posée sur plateforme à voie unique.
- Les ouvrages d’arts ferroviaires, les rétablissements routiers et les ouvrages en terres
- importantes sont prévus pour double voie,
- Trafic mixte voyageurs et marchandises,
- Rampes verticales maximales de 16 ‰,
- Traction actuellement diesel et électrification en perspective,
- Charges à l’essieu de 22,5 T pour la voie, et de 25T pour les ouvrages d’art.
- Traverses Monobloc Type M450 NP,
- Voie en long rail soudés (barres de 288 ml).

#### **VI. *LES NORMES APPLIQUÉES :***

Les normes appliquées dans l’étude APD du projet de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat sont :

- L’Union Internationale des Chemins de fer (UIC),
- Européen Normes (EN),

- Les pratiques en vigueur au sein de la Société Nationale de Transport Ferroviaire en Algérie (S.N.T.F) et la Société Nationale Chemins de fer France (S.N.C.F)

Les normes de l’UIC sont les normes de référence pour la conception de la ligne Djelfa Laghouat, les normes européennes sont utilisées là où les normes UIC ne sont pas disponibles. Les paramètres non précisés dans les normes de UIC et EN sont déduits des pratiques de la S.N.T.F en Algérie et de la S.N.C.F en France.

## VII. *DÉSCRIPTION DU TRACÉ :*

Le tronçon étudié commence au PK 75 du projet de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat. Le tracé longe la RN1, en direction sud-est jusqu’aux abords de la ville de Laghouat. En chemin, le tracé croise de nombreux oueds, affluents oueds, qui nécessiteront l’aménagement d’ouvrages hydrauliques et un ouvrage d’art.

Une autre particularité est la présence d’un nombre très important d’affluents qui s’écoulent depuis les formations rocheuses vers oued metlili, Le tracé traverse une région dont le terrain est généralement plat, où il est fréquent de rencontrer des zones inondables, ces nombreux affluents donnent un aspect sillonné au territoire et provoque d’inondation presque à chaque fois qu’il pleut suffisamment, ces zones inondées montrent une surface croutée suite à l’infiltration et à l’évaporation des eaux.

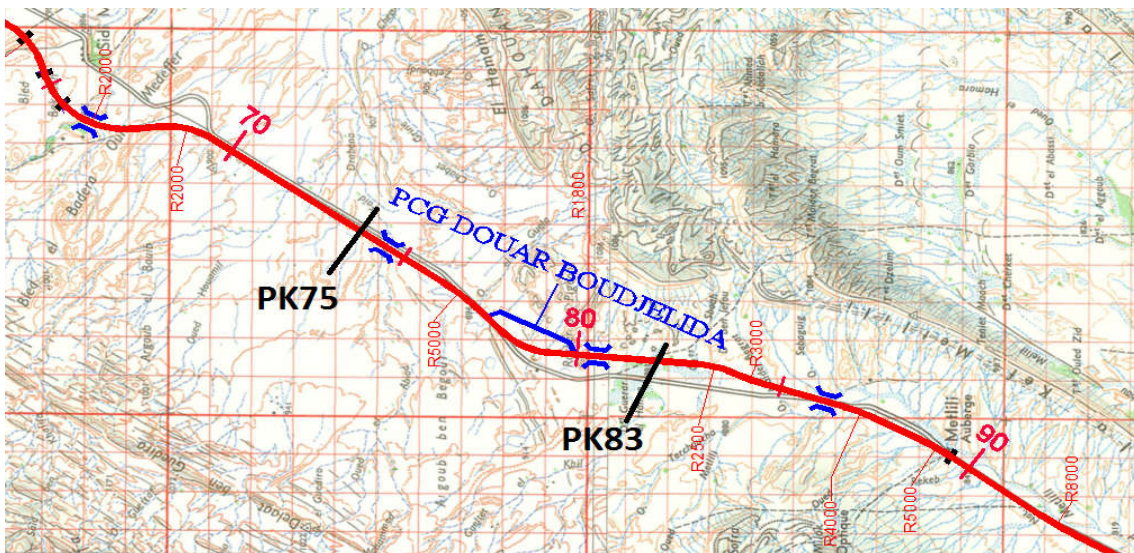


Figure I. 3 : le tracé en plan

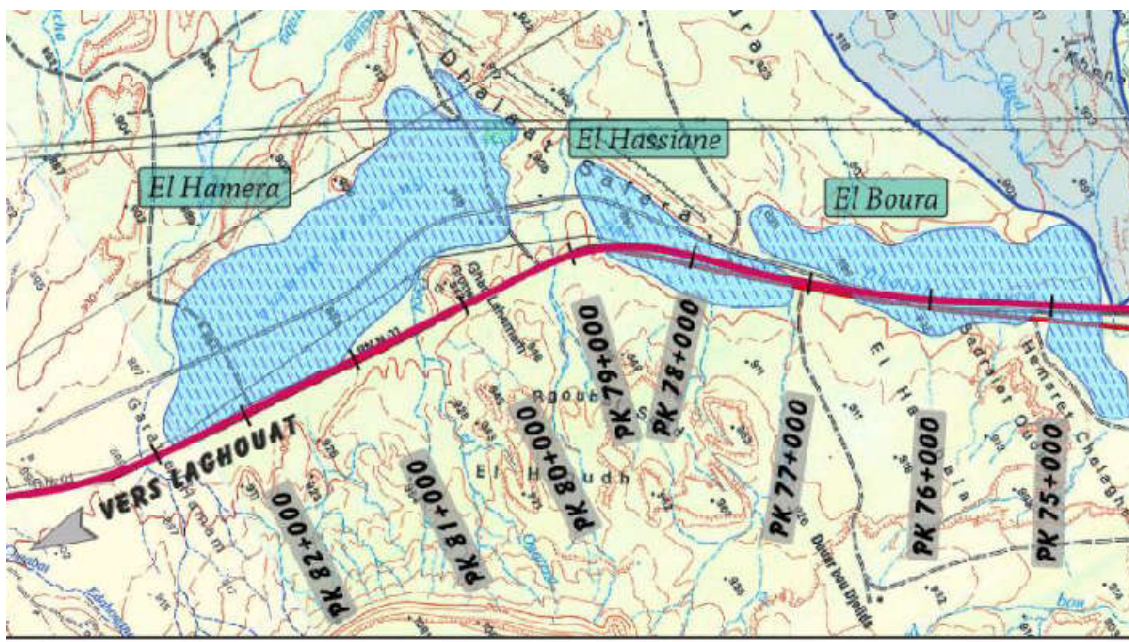


Figure I. 4 : les zones inondables en long de tracé

Le tracé intercepte plusieurs lits d'oueds entre le village de Sidi Mekhlouf et la ville de Laghouat. Deux ponts ferroviaires seront construits pour traverser oued El Ouarena et un affluent de oued Metlili. Les ouvrages d'art ont été dimensionnés pour une ligne à double voies pour une vitesse maximale de 220km/h et un entraxe régulier de 4,20 m. Pour éviter de réaliser beaucoup d'ouvrage d'art, certaines pistes (PK 76+500, 85+992, PK 88+631) seront fermées et déviées vers les pistes les plus proches qui ont été aménagés avec des passages supérieures ou inférieures (les passages à niveaux n'existent pas dans les lignes à grande vitesse LGV). Dans ce présent projet une seule piste (chaabat Erkab) qui sera aménagée par un passage inférieure au PK 89+460.

## VIII. GÉNÉRALITE SUR LA VOIE FERRÉE

### VIII.1. LES CATÉGORIES DES VOIES

Les voies sont classées en plusieurs catégories, chacune sous-entendant une vitesse maximale et une charge à l'essieu. On distingue ainsi :

- Les voies principales, affectées à la circulation des trains.
- Les voies de service, affectées aux manœuvres, qui peuvent être d'anciennes voies principales déclassées.
- Les voies de garage qui sont des voies de service affectées au stationnement du matériel roulant.

## VIII.2. LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE

Les constituants de la voie ferrée peuvent être classifiés en deux groupes principaux (La superstructure et l'infrastructure) représentés sur la figure suivante :

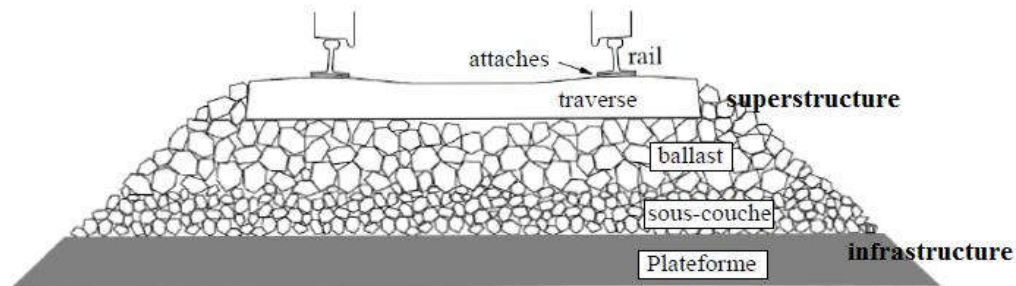


Figure I. 5 : Les constituants de la voie ferrée

### La superstructure

La superstructure de la voie comporte des rails maintenus par des traverses avec un système d'attaches reposant sur une structure d'assise qui est constituée d'une ou plusieurs couches granulaires.

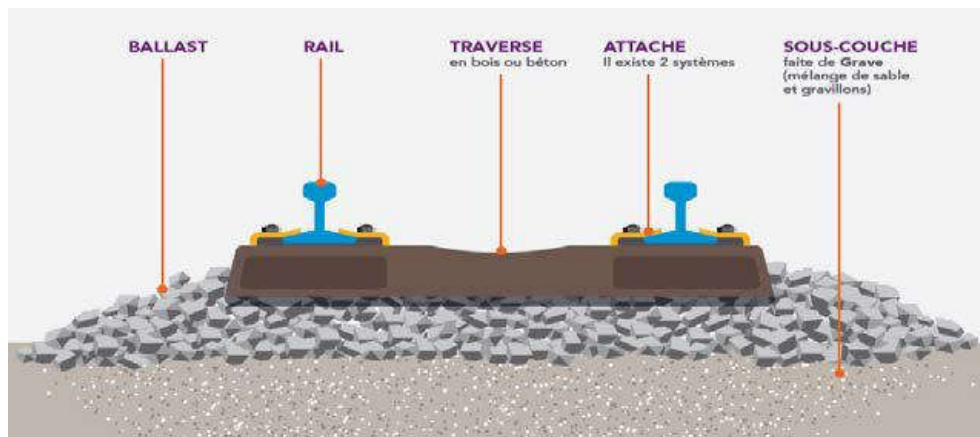


Figure I. 6 : Les éléments de la superstructure

### VIII.2.A. LA RAIL :

Les rails sont les constituants longitudinaux en acier en contact avec les roues des véhicules, destiné à servir à la fois de guider le train et d'assurer la transmission des charges ponctuelles aux traverses.

Le rail est un assemblage de barres élémentaires de 18m ou 36 m, en acier laminé.

L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions.

La caractéristique essentielle d'un rail est sa masse par mètre linéaire. L'UIC a standardisé deux profils selon le tonnage du trafic : 54 ou 60 kg par mètre linéaire.

dans notre projet on utilise le rail UIC 60 ( voir l'annexe A )

**Les constituants de la rail :**

Le rail est constitué de plusieurs parties :

- **La table de roulement** qui est la face supérieure du champignon assurant le contact roue-rail et la répartition des contraintes.
- **Le bourrelet ou Champignon** : c'est la partie supérieure du rail, il est caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces faces latérales.

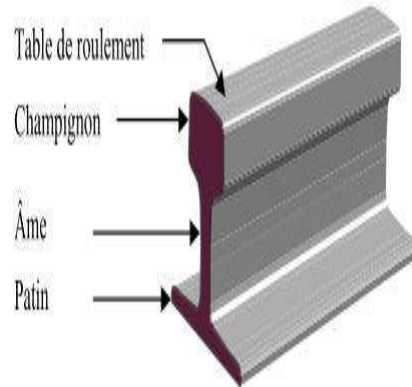


Figure I. 7 : Composition de rail

- **Portées d'éclissage** : Ce sont les plans inclinés qui raccordent le bourrelet et le patin à l'âme du rail, leur fonction est de servir d'appui pour soutenir le champignon.
- **L'Âme** : garantit une épaisseur suffisante pour résister aux sollicitations.
- **Le Patin** : assure une largeur suffisante pour le transfert de charge à la traverse et la zone pour attaches.

**Les différents types de rail**

Il existe plusieurs profils de rails en voie :

- Le profil double champignon (DC) ;
- Le profil Vignole ;
- Le rail à gorge : utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles, les lignes de tramway et les ports secs.



Figure I. 8 : Les différents types de rails

❖ **Inclinaison des rails**

Les rails sont posés avec une inclinaison de  $1/20$  par rapport l'horizontal. Cette inclinaison assure un meilleur guidage des essieux et à tendance à ramener constamment les véhicules dans l'axe de la voie.

❖ **Écartement des rails**

C'est la distance comprise entre les bords intérieurs des bourrelets des rails d'une voie ferrée normale. L'écartement standard est de 1435 mm, caractérisant la voie normale, c'est le plus utilisé à travers le monde (60%).

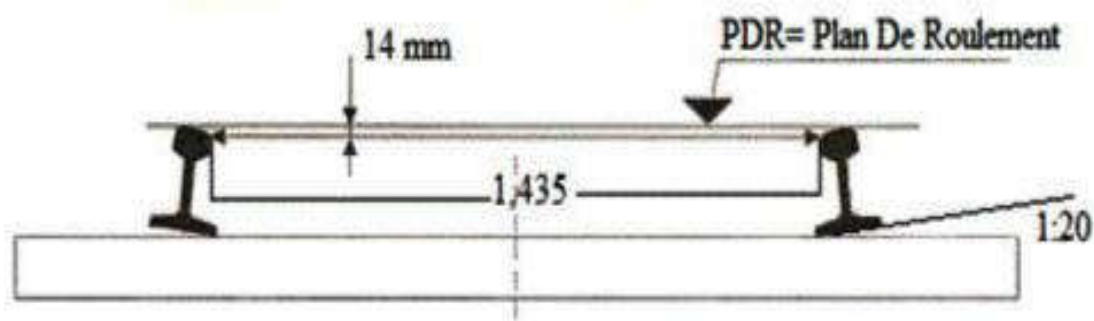


Figure I. 9 : L'écartement et l'inclinaison de la voie

❖ **L'assemblage des rails**

L'assemblage des rails se fait soit par éclissage ou par soudure :

➤ **L'éclissage**

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par des plaques laminées entre le champignon et le patin. L'éclissage doit répondre aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportent comme une poutre continue.
- Les éclisses doivent avoir la même qualité d'acier que le rail.
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation en fonction des variations de température .

- Toutefois, on a constaté que la dilatation des rails est contrariée lorsque les boulons d'éclisses sont plus serrés pour amoindrir les chocs ressentis.

### VIII.2.B. LES LONGS RAIL SOUDÉS :

Les longs rails soudés ou LRS, constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées, qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs kilomètres (le joint de dilatation est indispensable, un sur plusieurs kilomètres). C'est la méthode de pose adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.

Depuis les origines du chemin de fer, la dilatation des rails a été source de désagrément pour les exploitants ferroviaires. Comme, de toute façon, la technologie disponible ne permettait pas d'avoir de longs rails, ce problème fut résolu en laissant, aux joints entre les rails, un espace suffisant à leur libre dilatation. Une voie posée selon cette méthode est dite en « barres normales ».

Cependant, les joints, du fait de cette discontinuité du roulement, entraînent des chocs au passage des roues. Outre l'inconfort ressenti par les passagers, ces chocs entraînent une usure des constituants du joint ainsi que du ballast sous les traverses supportant le joint et nécessitent un entretien très régulier.

Les exploitants ont donc toujours cherché une solution pour supprimer les joints. C'est ainsi que, dès les années 1930, fut théorisé le fonctionnement des LRS. Mais les matériaux de l'époque, en particulier les attaches rigides, n'assuraient pas un maintien suffisant et ne permettaient donc pas une mise en œuvre aisée de cette nouvelle technologie. Il fallut attendre la mise au point des attaches élastiques pour reprendre l'expérimentation puis passer à la généralisation du procédé.

### VIII.2.C. LA DILATATION THERMIQUE DE LRS :

Les rails de chemin de fer doivent endurer le chaud de l'été, le froid de l'hiver, et les variations de chaud et de froid entre les saisons. Le phénomène de dilatation fait endurer aux rails des variations de longueur non négligeable, il est donc indispensable de prendre des précautions lors de la pose des rails.

La longueur du rail évolue selon la loi suivante :

**Longueur finale = Longueur initiale x (1 + C x variations de température).**

C : coefficient de dilatation linéaire du rail (généralement =  $10^{-5}$ ).

❖ **Exemple de calcul de dilatation thermique :**

On considère qu'un rail de chemin de fer a une longueur de 20 mètres à température ordinaire de 20°C.

A une température de 50°C:

Longueur finale =  $20 + 10^{-5} \times 30 \times 20 = 20,006$  m.

A une température de -10°C :

Longueur finale =  $20 - 10^{-5} \times 30 \times 20 = 19,994$  m.

Alors on conclut que la variation de la longueur du rail entre une température de 50°C et -10°C est de 0.012m.

- Si on colle les rails une contre l'autre, alors lors d'une élévation de température celles-ci se plieront car elles n'auront pas la place de s'allonger. D'où il est nécessaire de mettre un espace entre les rails, de sorte qu'elle puisse occuper cette espace lors d'une dilatation.
- L'espace nécessaire dépend des variations de température à laquelle les rails seront soumis, ils ne seront cependant jamais très grand et donc les trains pourront passer d'un rail a l'autre sans problème.
- Dans notre cas, il faudra un espace de 1,2 cm pour que l'élongation puisse se faire sans problème.
- Dans la pratique les rails sont soudés à une température comprise entre 20 °C et 30 °C. Si la température des rails est inférieure, on peut utiliser des tendeurs hydrauliques pour donner au rail la longueur qu'ils auraient à 25 °C.
- Si la température des rails est supérieure, il est interdit de souder. Grâce à ces précautions les contraintes dans les rails restent relativement faibles, ce qui permet d'éviter tout problème de flambement ou de déformation de la voie.
- Les rails peuvent être soudés sur plusieurs dizaines de kilomètre sans joint de dilatation.
- Les appareils de dilatation sont généralement réservés aux ouvrages d'art tel que les ponts.
- Ces appareils compensant la dilatation du tablier du pont. Le libre mouvement du métal en fonction de sa température est bridé par sa fixation ferme aux traverses, elles-mêmes ancrées dans le ballast. Les mouvements contrariés du métal se transforment en contraintes de Compression (lors de températures élevées) ou de tension (lors de basses températures).

- A l'extrémité du LRS se trouve une zone où la libre dilatation du rail n'est plus totalement compensée, la zone de respiration. Les mouvements de l'extrémité du rail étant supérieurs à ce qu'un joint peut normalement absorber, alors on y installe des dispositifs de dilatation spéciaux qui permettent aux rails de coulisser, tout en assurant sans hiatus la continuité du roulement.

### VIII.3. *LES TRAVERSESES* :

Les traverses sont des éléments qui se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails. Elles constituent, grâce à leur équilibre, la liaison entre le rail et le ballast. Les traverses maintiennent le bon écartement entre les deux rails tout le long de la voie. Elles servent également à transférer au ballast la pression exercée par le poids du train. Les traverses sont soumises à des sollicitations complexes:

- Efforts verticaux et horizontaux exercés par le patin du rail sur la table d'appui ;
- Réaction du ballast ;
- Flexions dynamiques alternées dues au passage des circulations.
  - Elle est entièrement en contact avec le sol sous les rails.
  - Elle dispose d'une attache efficace de part et d'autre du rail.
  - Son état de conservation est sain : absence de pourrissement, de fracture ou d'éclatement pour les traverses bois.

Leur épaisseur doit leur donner la rigidité nécessaire tout en leur laissant une certaine élasticité pour absorber les principaux efforts de flexion et de torsion.

#### VIII.3.A. TRAVERSESES EN BETON :

Elles ont une durée de vie plus importante (*50ans*), et ne sont pas onéreuses. Leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast et une meilleure stabilité transversale de la voie ce qui autorise la pose en longs rails soudés (LRS) dans des courbes de faible rayon où la pratique de la grande vitesse, d'où leur forte utilisation travers le monde. Leurs fixation avec les rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc.

- **Traverses monoblocs** : Formées en un seul bloc de béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

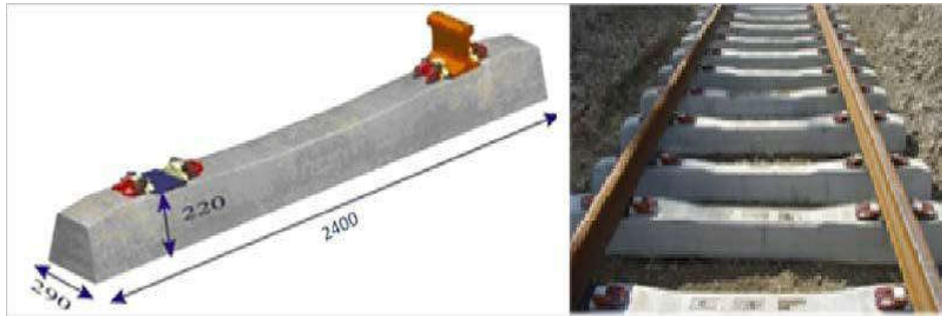


Figure I. 10 : Traverse monoblocs

#### VIII.4. POSE DES TRAVERSESES

Dans la pose des traverses, les charges sont d'autant mieux réparties que les traverses sont plus rapprochées.

La distance entre deux traverses successives est en général de 0.6 m.

Le travelage varie de 1666 à 1722 traverses par kilomètre. Généralement en Algérie, on utilise un travelage de 1 666 traverses au kilomètre.

Nb : Dans notre projet Les traverses de type monobloc en béton précontraint sont recommandées en pleine voie et les voies de gare.

#### VIII.5. SYSTEME D'ATTACHES :

##### VIII.5.A. Attache élastique type nabla

Les attaches élastiques sont une pièce métallique/élastique (ressort), fixée à la traverse et appuyant sur le patin du rail. Lors du passage des circulations, le ressort accompagne le mouvement du rail tout en assurant constamment son action de maintien.

Elles sont mises en œuvre avec des semelles en caoutchouc (élastomère (9 mm d'épaisseur)), qui se placent entre la traverse et le dessous du rail. Ces semelles ont pour rôle d'amortir une partie des vibrations et de permettre le cheminement longitudinal du rail sans endommager la traverse.

L'attache à lame élastique type Nabla utilisée sur le réseau de la *SNTF* est une fixation du rail sur les blochets des traverses maintenue par des boulons tire-fond. L'attache "Nabla" se compose de deux pièces :

- **Une butée isolante** en Nylon prenant appui sur le patin du rail et sur l'épaulement de la traverse,

- Une **lame élastique** qui par sa forme, maintient en pression la butée isolante plaquée sur le patin du rail. Une double sécurité de non desserrage de l'assemblage est assurée.

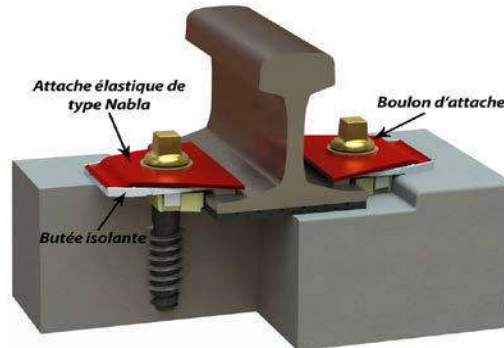


Figure I. 11 : Système d'attache type Nabla

### VIII.6. BALLAST

Les pierres concassées sur lesquelles sont posées les traverses constituent le ballast, leurs granulométries est de l'ordre de 25/50.

Le ballast compose la couche d'assise située entre la plate forme et les traverse. Son rôle est de maintenir la voie ferrée en place en résistant aux efforts générés par les rails et traverses lors des variations de température. Il permet également de transmettre et de répartir sur la plate-forme les charges exercées par le matériel roulant.

### VIII.7. CARACTÉRISTIQUES DE LA VOIE ETUDIÉE

Les caractéristiques de la voie étudiées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Rail	Type UIC 60 (voir annexe 01)
Traverses	Type monobloc en béton précontraint
Ecartement des traverses	Ecartement normal $e=1435\text{mm}$
Tonnage des essieux	Pleine voie = 22,5 t
	Ouvrage d'art = 25t
Vitesse des train	$V_{\text{max}} = 220\text{km/h}$ ; $V_{\text{min}} = 100\text{km/h}$
Attaches	Attache élastique type NABLA

Tableau I. 2 : Caractéristiques des composantes de la voie étudiée

## **IX. CONCLUSION :**

La réalisation des liaisons ferroviaires entre les villes est un facteur qui influe directement sur le développement économique d'une région. En Algérie, malheureusement, le secteur du transport ferroviaire a été quelque peu négligé au profit du secteur des bâtiments, des routes, et des aéroports.

Le pays consent actuellement un grand investissement pour la relance de ce secteur, ceci va permettre l'émancipation de nombreuses régions qui va sortir en même temps de leur isolement géographique.

***CHAPITRE II . ÉTUDE***  
***GÉOMÉTRIQUE DE LA VOIE***  
***FERRÉE***

## ***I. INTRODUCTION :***

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface.

Pour concevoir le tracé d'une ligne nouvelle ferroviaire, on doit prendre en compte les enjeux des territoires desservis et respecter les contraintes de la vitesse ferroviaire liées aux performances et services assignés au projet. L'objectif est d'intégrer la ligne nouvelle harmonieusement dans son environnement humain et naturel.

Le tracé d'une ligne nouvelle ferroviaire prend en compte plusieurs types d'éléments :

- Les enjeux de territoire, particulièrement les enjeux humains,
- Les fonctionnalités du projet (services rendus par les lignes nouvelles),
- La topographie (relief) des territoires traversés,
- Le référentiel technique de la grande vitesse.

## ***II. LE RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE :***

Pour garantir le confort et la sécurité des voyageurs, le tracé d'une ligne nouvelle doit être conforme au référentiel technique régissant la construction des lignes à grande vitesse ou des lignes mixtes.

Celui-ci définit en particulier les caractéristiques géométriques du tracé comme le rayon des courbes, les pentes à respecter...

Une ligne nouvelle ferroviaire présente des caractéristiques géométriques qui se mesurent sur deux plans :

- Sur un plan horizontal, la ligne est définie par son « tracé en plan »,
- Sur un plan vertical, la ligne est définie par son « profil en long ».

## ***III. TRACÉ EN PLAN***

Un tracé ferroviaire en plan est constitué de tronçons en alignement et de tronçons de courbes circulaires, entre lesquels il faut généralement intercaler des courbes de raccordement. Ces courbes de raccordement ont une courbure progressive pour permettre de réduire les chocs. En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses  $V_v$  et  $V_m$ .

### III.1. CONDITIONS ET RÉGLES DE TRACÉ :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Utiliser le maximum d'alignements droit,
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'arts,
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement,
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières,
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques,
- Eviter les problèmes de talus ;
- **Talus en déblai** : éviter :
  - Présence de nappe,
  - Terrains plastiques,
  - Présence de roches fissurées.
- **Talus en remblai** : éviter :
  - Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai),
  - Sol compressible.

### III.2. ÉLÉMENTS DE TRACÉ EN PLAN :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : Une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement comme indiqué sur la figure suivant :

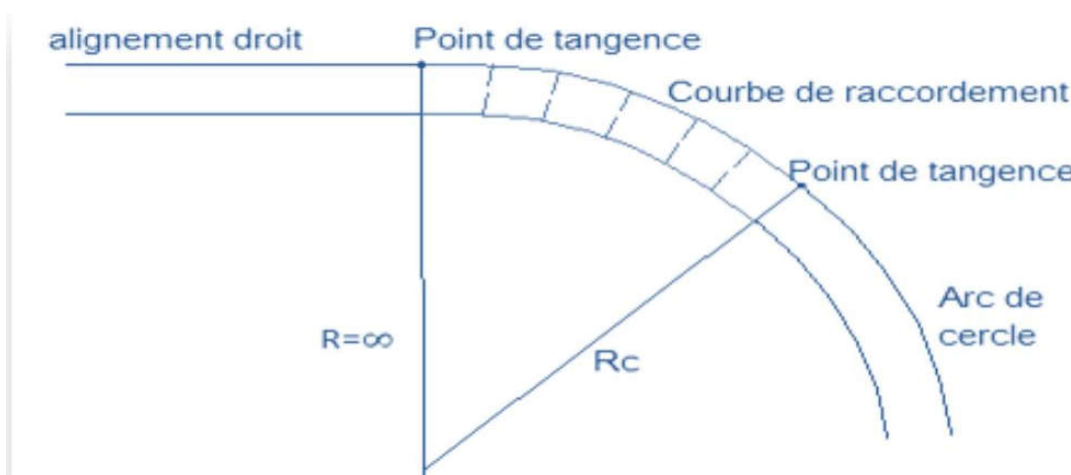


Figure II. 1 ; les éléments de tracé en plan

**III.2.A. L’alignement :**

Parmi les éléments du tracé en plan, l'alignement est le plus simple et le plus favorable à l'exploitation. La conception d'une voie ferrée est préférable en utilisant le maximum d'alignement droit possible afin de procurer à l'usager un meilleur confort et plus de sécurité. Pour les tracés ferroviaires, la seule limitation pour les alignements droits est la longueur minimale des éléments qui doit respecter la condition suivante (Tableau III.1) :

<b>Valeur normale</b>	$\frac{V_v}{2}$
<b>Valeur exceptionnelle</b>	$\frac{V_v}{3}$

**Tableau II. 1 : Valeurs de la longueur minimale de l’alignement (SNTF)**

**III.2.B. L’arc de cercle :**

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recouru au raccordement circulaire. Le raccordement entre les alignements se fait avec les arcs de cercles, ces derniers doivent assurer un passage sécurisé et confortable des trains afin d'éviter le déraillement.

**Le rayon minimal :**

Le rayon minimal autorisé est calculé selon la formule suivante (UIC 719) :

$$R_{min} = \frac{11.8 * v_v}{D_{max} + I_{max}}$$

**III.2.C. Le dévers :**

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à renverser le matériel roulant à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieure de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée **dévers**.

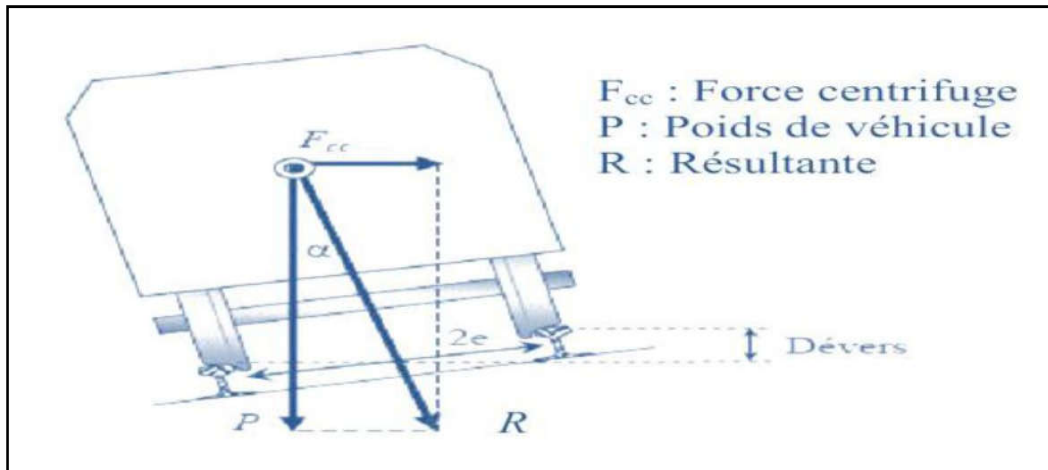


Figure II. 2 : le dévers

**Dévers théorique :**

Pour une vitesse  $V$  du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.

Dans une courbe de rayon  $R$ , la force  $F$  vaut

$$F = \frac{MV^2}{R} ; \operatorname{tg}\alpha = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{Rg}$$

on a:  $d = e \times \sin\alpha$  ( $\alpha$  est petit  $\sin\alpha \cong \operatorname{tg}\alpha$ )

donc  $d = e \times \operatorname{tg}\alpha = e \times \frac{V^2}{Rg}$

A.N:  $e = 1.5m, g = 9.81 \text{ m/s}^2$  et  $V \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{1}{3.6} \times V \left(\frac{km}{h}\right)$

on aura 
$$d_{th} = \frac{11.8V^2}{R} (m)$$

**Dévers pratique**

Sur un même tronçon de voie, la nature et la vitesse des trains étant différentes, le dévers pratique à réaliser doit se situer dans une fourchette tenant compte de l'importance relative des différents trafics réels.

Sa valeur doit ainsi satisfaire aux conditions suivantes :

- Assurer la sécurité, en compensant suffisamment la force
- centrifuge, Éviter l'usure excessive de la voie par les trains,

- Assurer un confort satisfaisant des voyageurs.

Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique. Ce dévers est Calculé suivant la formule :

$$dp = \frac{1000c}{R} (mm)$$

Les valeurs limites du dévers pratique, en voie principale et en voie de circulation sont indiquées ci-dessous :

<b>Valeur normale</b>	160mm
<b>Valeur exceptionnelle</b>	180mm

**Tableau II. 2 : tableau des valeurs limites du dévers pratique (SNTF)**

### Le coefficient de dévers

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

la création d'une ligne, le respect d'un coefficient de dévers commun à toutes les courbes conduit à avoir un rapport constant entre la courbure et l'insuffisance de dévers.

La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort. Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante :

$$C = 0.006 \times V_V^2$$

### Insuffisance de dévers

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensé. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers la différence entre le dévers théorique et le dévers pratique.

$$I = 11.8 \times \frac{V_V^2}{R} - dp (mm)$$

La circulation d'un véhicule avec insuffisance de dévers se traduit par l'apparition de forces transversales, résultat de la force centrifuge non compensée ayant pour effets de :

- Tendre au chavirement du véhicule vers l'extérieur,
- Tendre à faire monter le boudin sur le rail extérieur,
- Tendre à riper la voie vers l'extérieur de la courbe,
- Imposer un confort inacceptable aux voyageurs.

Les valeurs limites de l'insuffisance de dévers pour les trains rapides, en voie principale et en voie de circulation sont indiquées ci-dessous :

<b>Valeur limite normale</b>	120mm
<b>Valeur limite exceptionnelle</b>	160mm

**Tableau II. 3 : tableau des valeurs limites**

**Variation de l'insuffisance de dévers :**

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

$$\Delta I / \Delta t = \frac{I \times V}{3.6 \times L} \quad \text{Dans un RP entre alignement et courbe}$$

$$\Delta I / \Delta t = \frac{|I1 - I2| \times V}{3.6 \times L} \quad \text{Dans un RP entre deux courbes de même sens}$$

$$\Delta I / \Delta t = \frac{(I1 + I2) \times V}{3.6 \times L} \quad \text{Dans un RP entre deux courbes de sens contraire}$$

**Excès de dévers :**

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

On appelle excès de dévers la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique.

$$E = dp * 11.8 \times \frac{Vm^2}{R} \quad (mm)$$

<b>Valeur limite normale</b>	110mm
<b>Valeur limite exceptionnelle</b>	130mm

**Tableau II. 4 : Tableau des valeurs limites de l'excès du dévers**

**La courbe de raccordement :**

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort du voyageur que pour le transport des marchandises et pour l'inscription des véhicules en voie.

Un véhicule qui se déplace sur une voie en alignement n'est soumis à aucune force centrifuge.

S'il abordait une courbe circulaire faisant suite sans transition à l'alignement, il subirait instantanément l'action de la force centrifuge.

Le choc résultant appliqué aux masses en mouvement aurait des conséquences aussi bien sur le tracé de la voie, que sur la tenue du matériel et sur le confort du voyageur.

Aussi pour éviter ce choc, on doit rendre l'action de la force centrifuge progressive, ce qui n'est pas possible qu'en faisant varier progressivement la courbure, **M** et **V** étant des données fixes.

Cette variation progressive de la courbure sur une certaine distance, permet en outre de faire varier progressivement le dévers depuis sa valeur nulle en alignement à la valeur « dp » prescrite pour la courbe considérée, ainsi que l'insuffisance correspondante.

Les propriétés de ce raccordement doivent donc :

- Assurer une courbure progressive entre l'alignement et l'arc de cercle,
- Être tangent à l'alignement et à l'arc de cercle,
- Avoir au point de tangence à l'alignement une courbure nulle ( $R=\infty$ ),
- Avoir au point de tangence à l'arc de cercle le même rayon **R** que lui.

**Géométrie des courbes de raccordement :**

Les courbes de raccordement de la voie en plan doivent être conçues pour limiter la variation de l'accélération transversale non compensée, afin de répondre à des exigences de confort. Ces courbes de raccordement de la voie en plan peuvent être réalisées de différentes manières .

La courbe satisfaisant aux conditions définies ci-dessus est la clotoïde. Son équation mathématique est compliquée et difficilement utilisable en pratique ferroviaire.

Les clothoïdes sont des courbes homothétiques, c'est-à-dire géométriquement semblables entre elles, le paramètre de la clothoïde étant le rapport d'homothétie ou facteur de similitude.

**Gauchissement et variation du dévers :**

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste.

Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport  $\Delta d/\Delta l$  appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m).

La variation de dévers doit satisfaire aux 2 conditions suivantes :

- 1ère condition : fonction de la vitesse  $V$  du mouvement le plus rapide :
  - Valeur limite normale :  $\Delta d/\Delta l = 180/v_v$
  - Valeur limite exceptionnelle :  $\Delta d/\Delta l = 216/v_v$
- 2ème condition : en fonction des valeurs du dévers et du rayon de la pleine courbe adjacente aux raccordements considérés :

Valeur du dévers en pleine courbe (dévers $dp$ en mm, rayon $R$ en m)	Valeur limite de la variation de dévers (mm/m)
$\frac{R - 100}{2} \geq dp > \frac{R - 150}{2}$	2
$\frac{R - 150}{2} \geq dp > \frac{R - 250}{3}$	3

Tableau II. 5 : valeurs limites de variation de dévers (SNTF)

**Longueur de la rampe de dévers :**

La longueur de la rampe de dévers doit être déterminée à partir des valeurs limites imposées par les paramètres suivants :

- Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps  $\Delta l/\Delta t$ ,
- Variation de dévers en fonction de la longueur  $\Delta d/\Delta l$ ,
- Variation de dévers en fonction du temps  $\Delta d/\Delta t$ .

Et à l'aide des formules suivantes :

- $L \geq \frac{I \times V_v}{3.6 \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)}$
- $L \geq \frac{d_p}{\left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)}$
- $L \geq \frac{d_p \times V_v}{3.6 \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)}$

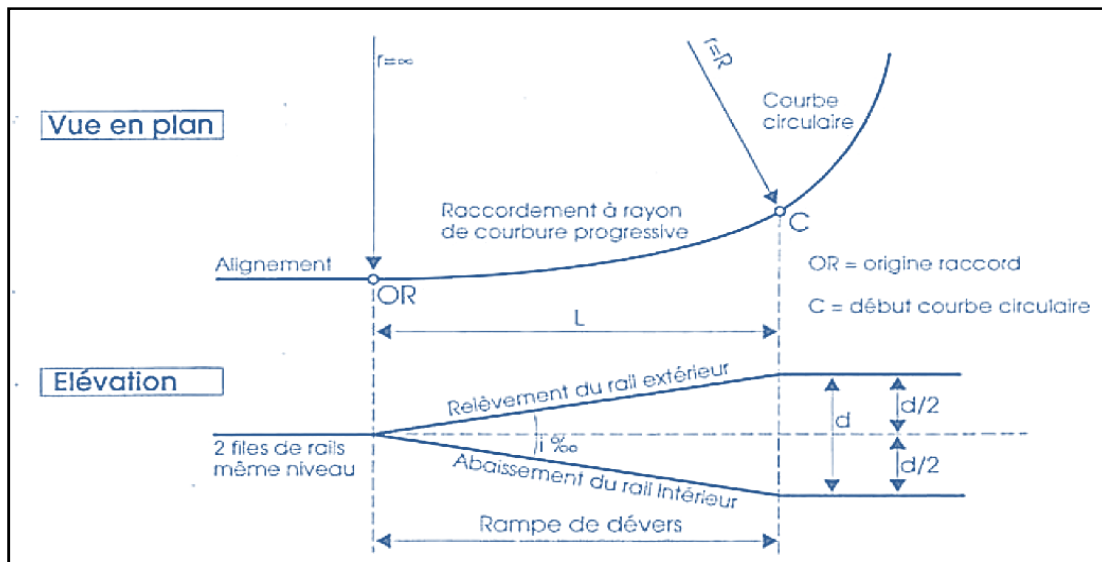


Figure II. 3 : illustration d'une rampe de dévers

D'après la fiche EN 13803-1, les valeurs limites sont :

Paramètre	$\Delta l / \Delta t$	$\Delta d / \Delta l$	$\Delta d / \Delta t$
Valeur limite normal	50	$180 / v_v$	50
Valeur limite exceptionnel	75	$216 / v_v$	60

Tableau II. 6 : les valeurs limites (EN 13803-1)

## IV. APPLICATION AU PROJET

### IV.1. CALCULE LES PARAMETRE DE TRACE EN PLAN :

- Longueur minimale de l'alignement droit :

$$L_{\min} = V/2$$

$$L_{\min} = 220/2 = 110 \text{ m}$$

- Le coefficient de dévers :

$$C = 0.006 \times V_v$$

$$C = 0.006 \times (220)^2 = 290.4$$

Valeur	Normale	Exceptionnelle
I(mm)	120	160
E(mm)	110	130
d(mm)	160	180
$\Delta d/\Delta l$ (mm/m)	2.25	2.5
$\Delta I/\Delta t$ (mm/s)	50	75
$\Delta d/\Delta t$ (mm/s)	50	60

**Tableau II. 7 : Les valeurs limites des éléments caractéristique du tracé en plan (SNTF) pour une vitesse de 220 km/h**

**- Le rayon minimal :**

Pour une vitesse maximale de 220km/h, le rayon minimal horizontal est calculé selon la formule suivante avec les paramètres de dévers sélectionnés ci -dessus. Le rayon minimal recommandé est de 2050m avec insuffisance maximale de dévers de 120 mm et un dévers maximum de 160mm.

En cas de relief difficile ou de contraintes majeures, on peut utiliser le rayon minimal exceptionnel de 1800 m avec une insuffisance maximale de dévers de 160 mm et dévers maximum de 160mm (dans le cas où le tracé approche de la route national RN1).

- En utilisons les valeurs limites normales :

$$R_{min} = \frac{11.8 \times v_v}{d_{max} + I_{max}}$$

AN:  $R_{min} = \frac{11.8 \times 220^2}{160 + 120} = 2040 \text{ m}$

- En utilisons les valeurs limites exceptionnels :

$$R_{min} = \frac{11.8 \times v_v}{d_{max} + I_{max}}$$

AN:

$$R_{min} = \frac{11.8 \times 220^2}{160 + 160} = 1785 \text{ m}$$

- Dévers pratique dp :

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

**NB:** On fait le calcul pour un rayon de 2500 m :

**- L'insuffisance de dévers :**

$$I = 11.8 \times \frac{v_v^2}{R} - d_p$$

$$I = 11.8 \times \frac{220^2}{2500} - 116.16 = 112.28 \text{ mm}$$

**- L'excès de dévers :**

$$E = d_p - 11.8 \times \frac{v_m^2}{R}$$

$$E = 116.16 - 11.8 \times 2500/1002 = 68.96$$

**-La longueur de la clotoïde :**

D'après la fiche (**UIC 703R**) :

$$\Delta d / \Delta t \leq 50$$

$$\Delta I / \Delta t \leq 50$$

$$\Delta d / \Delta I = 180 / V_v = 0.81$$

Il faut que les 3 conditions soient Vérifiées :

On a:

$$\text{➤ } \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_p \times V_v}{3.6 \times L} \leq 50$$

$$\text{➤ } \Delta I / \Delta t = \frac{I \times V}{3.6 \times L} \leq 50$$

$$\text{➤ } \frac{\Delta d}{\Delta I} = \frac{d_p}{L} \leq 0.81$$

AN:  $L \geq 142 \text{ m}$

**- Paramètre de clotoïde A :**

$$A = \sqrt{L \times R}$$

AN:  $A = \sqrt{142 \times 2500} = 595.81$

Rayon	C	dp	d <sub>th</sub> V	I	d <sub>th</sub> m	E	L1	L2	L3	L	A
5000	290.4	58.1	114.2	56.1	23.6	34.4	71	68.5	71	71	595.8
1800	290.4	160	317.2	157.2	65.5	94.5	162.9	128	162.9	192	587.8

Tableau II. 8 : les valeurs des éléments du tracé en plan

**IV.2. CALCUL D'AXE :**

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe.

**IV.2.A. Procèdes 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.

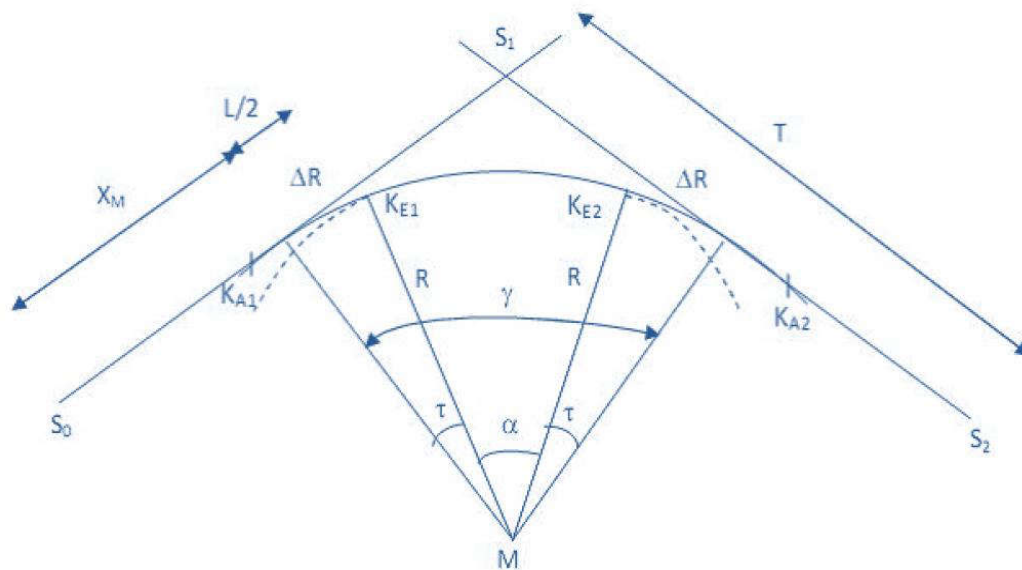


Figure II. 4 : caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements

$\gamma$  : Angle entre les alignements.  
**T** : Grande tangente.  
 $\Delta R$  : Ripage.  
**R**: Rayon de la courbe.  
**SL** : La corde à la clothoïde.  
 $\sigma$ : L'angle polaire.  
**L** : longueur de clothoïde.  
**XM** : Abscisse du centre de cercle.  
**KA** : début de clothoïde.  
**KE** : Fin de clothoïde.  
 $\tau$  : Angle de tangente.

Tout calcul d'axe doit suivre les étapes suivantes :

- Calcul de gisements,
- Calcul de l'angle  $\gamma$  entre les alignements,
- Calcul de l'angle  $\tau$ ,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la distance S0KA1,
- Calcul de la corde SL,
- Vérification de non chevauchement,
- Calcul de l'angle polaire s,
- Calcul de  $\alpha$ ,
- Calcul de La longueur de l'arc,
- Calcul des coordonnées des points singuliers.

#### IV.2.B. calcul d'axe :

D'après le tracé en plan du présent projet, On a choisi le premier virage. Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

- R=5000m.
- A=595.76.
- S0 (496230,117 ; 3768837,776).
- S1 (496591.602; 3,767,152.000).
- S2 (493815,017 ; 3765983,46).

**Calcul de gisement :**

$$|\Delta X| = |XS1 - XS0| = 923.832\text{m.}$$

$$|\Delta Y| = |YS1 - YS0| = 1368.53\text{m.}$$

$$|\Delta X1| = |XS2 - XS1| = 1491.268\text{m.}$$

$$|\Delta Y1| = |YS2 - YS1| = 1485.786\text{m.}$$

D'où :

$$G_{S0}^{S1} = 200 + \arctg |\Delta X| / |\Delta Y| \implies G_{S0}^{S1} = 237.801\text{ gr.}$$

$$G_{S2}^{S1} = 200 + \arctg |\Delta X1| / |\Delta Y1| \implies G_{S2}^{S1} = 250.11\text{ gr.}$$

Alors :

$$\overline{s1s0} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} \implies \overline{s1s0} = 1631.163\text{m}$$

$$\overline{s2s1} = \sqrt{(\Delta X1^2 + \Delta Y1^2)} \implies \overline{s2s1} = 2105.098$$

**Calcul de l'angle  $\gamma$  :**

$$\gamma = |G_{S1S2} - G_{S0S1}| \Rightarrow \gamma = 12.309\text{ gr.}$$

**Calcul de l'angle  $\tau$  :**

$$\tau = 200 \cdot L / 2 \pi \cdot R \implies \tau = 0.452\text{ gr}$$

Avec :  $L = A^2 / R = 595.76^2 / 5000 = 70.98\text{m.}$  On prend  $L = 71\text{m.}$

**Calcul de la tangente  $T$  :**

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

avec  $X_m = L / 2 = 35.50\text{m}$

$$\Delta R = L^2 / 24R = 0.0420\text{m}$$

$$\text{D'où : } T = 520.004\text{m}$$

**Calcul de la distance  $S_{0kA1}$  :**

$$S_{0kA1} = \overline{s1s0} - T = 1131.159\text{m}$$

**Calcul de la corde  $SL$  :**

$$SL = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \text{avec } X = L = 71\text{m.}$$

Et  $Y = L^2 / 6R = 0.168\text{m.}$  D'où  $SL = 71\text{m.}$

**Vérification de non chevauchement :**

Il faut que  $\tau < \gamma / 2$ . Et on a  $\tau = 0.452\text{ gr}$  et  $\gamma / 2 = 6.15\text{gr}$

Alors la condition est vérifier => pas de chevauchement.

**Calcul de l'angle polaire  $\sigma$  :**

$\sigma = \arctg Y/X$  alors  $\sigma = 0.1506$  gr.

**Calcul de  $\alpha$  :**

$\alpha = \gamma - 2\tau = 11.40$  gr.

**Calcul de La longueur de l'arc :**

$B = K_{E1}K_{E2} = [\pi.R (\gamma - 2\tau)]/200 \Rightarrow B = 894.90m.$

**Calcul des coordonnées des points singuliers :**

- Le point KA1 : Le point KA2  
 $X_{KA1} = X_{S1} - T \sin G_{s1s0}$   $X_{KA2} = X_{S1} + T \sin G_{S2S1}$   
 $Y_{KA1} = Y_{S1} + T \cos G_{s1S0}$   $Y_{KA2} = Y_{S1} + T \cos G_{S2S1}$   
 $X_{KA1} = 495556.17$   $X_{KA1} = 495586.112m$   
 $Y_{KA2} = 3767840.06$   $Y_{KA1} = 3767883.99m$

- Le point KE1 : Le point KE2 :  
 $X_{KE1} = X_{KA1} + SL \sin (G_{s1s0} + \sigma)$   $X_{KE2} = X_{KA2} + SL \sin (G_{s1s0} - \sigma)$   
 $Y_{KE1} = Y_{KA1} + SL \cos (G_{s1s0} + \sigma)$   $Y_{KE2} = Y_{KA2} + SL \cos (G_{s1s0} - \sigma)$   
 $X_{KE1} = 494986.602$   $X_{KE1} = 494937.5766$   
 $Y_{KE1} = 3,767,152.000$   $Y_{KE2} = 3\ 767\ 101.56$

**IV.2.C. Résultats du calcul manuel :**

Eléments	Caractéristique	Longueur (m)	Abscisse	X	Y
DR1	-	-	75000.00	496.23.117	3.768.837.776
	ANG=237.801 (g)	1.131.59	-	-	-
			76130.51	495586.112	3767135.99
Clo2	A=595.76				
	R=5.000.000	71.000			
			76201.51	495556.17	3767840.06
ARC3	XC=491.433.554				
	Yc=3.770.668.894				
	R=5.000.000	894.90			
			77097.78	494986.602	3.767.152.000
CL04	A=595.819				
	R=5.000.000	71.000			
			77168.78	494937.576	377103.56
DR5	ANG=250.11 (g)	898.086			
			77995.87	494.351.536	3.766.518.007

**Tableau II. 9 : Eléments Caractéristique Longueur (m) Abscisse XY**

**IV.2.D. Résultats du calcul automatique :**

Element	Caractéristique	Longueur (m)	Abscisse	X	Y
DR1			75000.00	496.23.117	3.768.837.776
	ANG=237.801 (g)	1.130.514			
			76130.51	495.597.590	3767.900.774
Clo2	A=595.819				
	R=5.000.000	71.000			
			76201.51	495.557.726	3767.842.022
ARC3	XC=491.433.554				
	Yc=3.770.668.894				
	R=5.000.000	896.263			
			77097.78	494987.630	3.767.152.000
CL04	A=595.819				
	R=5.000.000	71.000			
			77168.78	494937.452	3.767.101.769
DR5	ANG=250.1172 (g)	827.089			
			77995.87	494.351.536	3.766.518.007

**Tableau II. 10 : : Résultats du calcul automatique**

**NB :** L’intégralité du calcul a été fait à l’aide du logiciel CIVIL 3D, les résultats sont jointes dans l’annexe 1, On remarque bien que les résultats de calcul avec le logiciel sont identiques avec les résultats de calcul manuel.

**V. PROFIL EN LONG :**

**V.1. INTRODUCTION :**

La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique ou apparait l’importance des terrassements (quantité de déblais et de remblais), les ouvrages d’art ...etc. Soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l’emplacement des gares.

Le profil en long d’une voie ferrée est constitué de segment de droites raccordées par des cercles caractérisés par leur rayon. Pour les segments de droite, on parle de pente ou de rampe suivant que la voie descend ou mente dans le sens de la marche. L’ensemble des pentes et rampes constitue les déclivités. Un parcours horizontal est appelé palier.

## **V.2. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :**

Afin d'avoir une meilleure conception du profil en long il faut tenir compte des règles suivantes « sauf dans des cas exceptionnels qu'il faut justifier » :

- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités) préconisées par la réglementation en vigueur,
- Eviter au maximum les angles rentrant dans le cas des déblais à fin d'éviter la stagnation des eaux,
- Un profil en long en léger remblai est préférable qu'un profil en long en légère déblai qui complique l'évacuation des eaux,
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un tracé en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE+0.5m .

## **V.3. ÉLEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG :**

### **V.3.A. Déclivités :**

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur (selon la norme SNTF CH.6)

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3000 m et 15000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰

### **V.3.B. La longueur minimale des pentes :**

Entre deux accélérations verticales brutales, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir le choc et d'éviter les effets conjugués de plusieurs accélérations rapprochées, sources d'oscillations importantes du véhicule.

- Valeur minimale normal =  $V/2$
- Valeur minimale exceptionnel =  $V/2.5$

### **V.3.C. Rayon admissible en raccords de profil en long:**

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules, alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise.

Selon la SNTF le rayon minimal se calcule suivant le tableau ci-dessous :

<b>valeur normale</b>	<b><math>0.35 v^2</math></b>
<b>valeur exceptionnel</b>	<b><math>0.25 v^2</math></b>

**Tableau II. 11 : : Rayon verticale minimal (SNTF)**

**V.3.D. 4. 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 :

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan,
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan,
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

**V.4. APPLICATION AU PROJET :**

- 1-Rayon vertical minimal==> $R_{vmin}=0.35V_v^2 =0.35 \times (220)^2 =16940m.$
- 2- La déclivité max ==>de 1.6%
- 3- La longueur maximale de la déclivité maximale ==> 3 000m.
- 4- La longueur minimale de éléments ==>  $V_v/2=220/2=110m.$

**calcul des éléments du profil en long :**

Le calcul qui suit est fait pour le premier raccordement.

1-  $R=17\ 000\ m.$

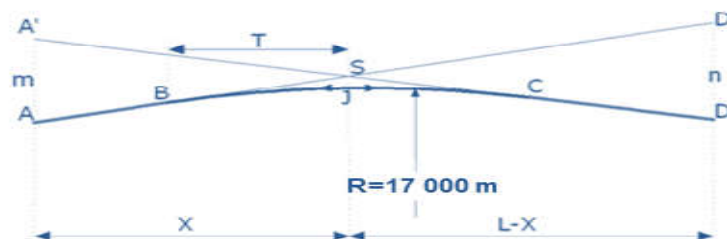
Point A :

$X_a = 53572324.167m.$

$Z_A = 894.06m.$

Point S

$X_s = 535930.950m.$



$$Z_s = 894.19m.$$

Point D

$$X_D = 536284.193m.$$

$$Z_D = 897.08m.$$

**Calcul des pentes :**

$$i_1 = (Z_s - Z_A) / (X_s - X_A) = (894,06 - 894,06) / (535929,45 - 535724,167) = 0.00\%.$$

$$i_2 = (Z_s - Z_D) / (X_s - X_D) = (894,06 - 897,08) / (535929,45 - 536285,05) = 0.84\%.$$

**Calcul des tangentes :**

$$T = (|i_1 - i_2|) \times R / 2$$

$$T = 72.18m.$$

**Calcul de la flèche :**

$$H = T^2 / 2R$$

$$H = 0.15$$

**Calcul des coordonnées des points de tangentes :**

- Calcul des coordonnées du point B

$$X_B = X_s - T = 535857.26m.$$

$$Z_B = Z_s + T \times |i_1\%| = 894.06m.$$

- Calcul des coordonnées du point C

$$X = X_s + T = 536001.638m.$$

$$Z_B = Z_s + T \times |i_2\%| = 894.673m.$$

**Calcul de la longueur de la courbe :**

$$L = 2 \times T = 144.37m.$$

❖ **NB** : l'intégralité du calcul à été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D 2016 » et les résultats sont jointes dans l'annexe 2.

## **VI. PROFIL EN TRAVERS**

### **VI.1. INTRODUCTION**

Le profil en travers est une coupe transversale, menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, il nous renseigne sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, sur les valeurs des pentes des talus, sur le mode d'assainissement et sur les systèmes éventuels de protection de la voie (Zones inondables).

Les profils en travers permettent de calculer les paramètres suivants :

- La position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements ;
- L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel.
- Les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

### **VI.2. PROFIL EN TRAVERS TYPE :**

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

- ✓ **Eléments de l'infrastructure :**
  - On mentionne :
  - La dénomination et les épaisseurs de chaque couche.
  - Les pentes transversales de chaque couche
  - La pente latérale de la plateforme.
- ✓ **Eléments de la superstructure :**
  - Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
  - Le type de travers utilisé.
  - Epaisseur de la couche de ballast.
  - La valeur du dévers maximum en courbe.
  - La longueur des butées du ballast.
- ✓ **Eléments du talus :**
  - La pente de chaque talus.
  - La longueur des bermes.
- ✓ **Eléments d'assainissement :**
  - On indique le type et dimension des fossés.

#### **Remarque :**

On doit établir le long de notre tracé plusieurs profils en travers type et cela selon la nature topographique et géologique du terrain naturel.

### VI.3. LES PROFILS EN TRAVERS TYPES AFFECTES AU PROJET :

#### Profil 1 :

La voie unique repose sur une plate-forme d'une largeur de 8,00 m. La voie 1 est posée sur le côté gauche de la plateforme par rapport du sens de Djelfa vers Laghouat et la voie 2 sera la voie perspective.

Au-dessus du fond de déblai respectivement de la surface supérieure de remblai nivelé, la plateforme est constituée d'une couche de forme et d'une de sous ballast. La superstructure est posée sur le sous ballast. Chaque couche présente une pente de 4 % vers l'extérieur du corps de la plateforme. La superstructure se compose de rails UIC-60 E et de traverses en béton monobloc sur le ballast. Les talus de remblai et de déblai auront des pentes définies selon les différents types de sol. Dans les zones de déblai, des fossés longitudinaux sont prévus pour l'évacuation des eaux de ruissellement. De même, pour la protection des pieds de talus de remblai contre le trempage, des fossés d'écoulement ont été prévus..

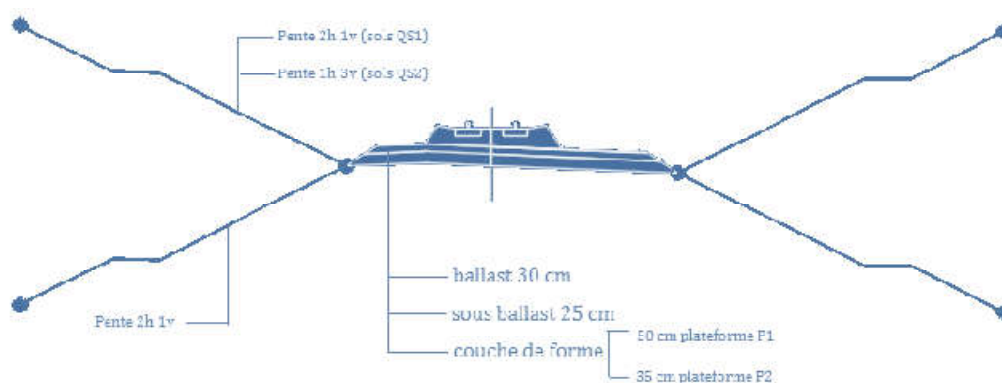


Figure II. 6 : profil en travers type 1

#### Profil 2 :

Pont ferroviaire :

L'ouvrage d'art a été dimensionné pour une ligne à double voies pour une vitesse de 220km/h et un entraxe de 4.20 m.

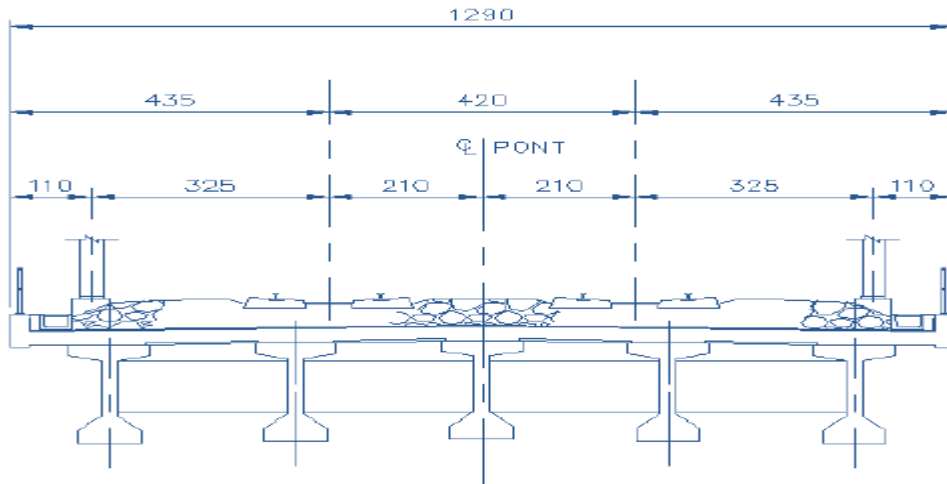


Figure II. 7 : profil en travers du pont ferroviaire

**c. Profil 3 :**

Le tracé passe par une zone inondable :

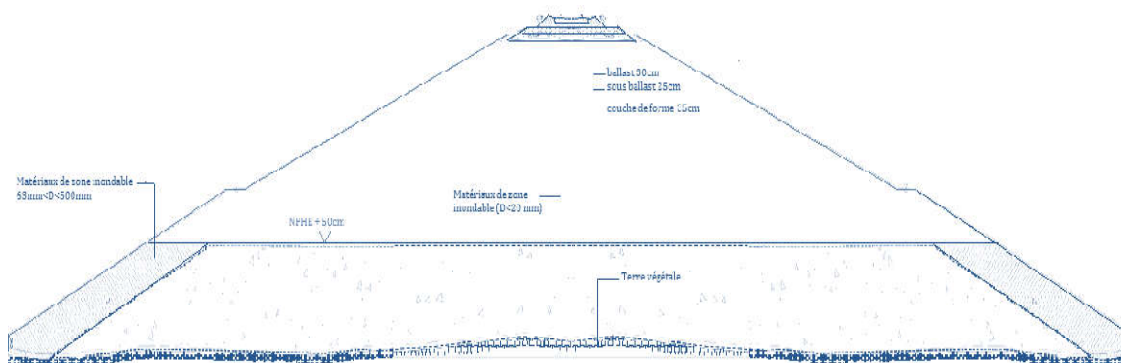


Figure II. 8 : profil en travers type dans le cas où le tracé passe par une zone inondable

**VII. APPLICATION AU PROJET :**

A l'aide de civil 3d 2016 on a désigné tout les profils en travers chaque 25 m ou long de tracé et sont joints dans l'annexe 3

### **VIII. CONCLUSION :**

Les trains à grande vitesse ne peuvent exister et rouler que parce qu'on a su développer et réaliser une voie ferrée moderne. C'est la qualité de cette voie ferrée composée d'un système dont les quatre composants principaux, le rail, les traverses, le ballast et la plateforme permettent d'irriguer le territoire par un réseau ferré modernisé en alternative au développement du réseau aérien et routier.

***CHAPITRE III . ÉTUDE***  
***GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE***

## I. 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 le couloir choisi afin que le tracé évite les difficultés dans la mesure du possible.

Ce présent rapport établit la synthèse des résultats des essais et la classification pour chaque terrain et chaque type de matériau rencontré le long du tracé.

## II. LA GÉOLOGIE DU SITE DE TRACÉ

La région du site du trcé se situe dans une zone caractérisée par des formations géologiques du Crétacé et du Quaternaire.

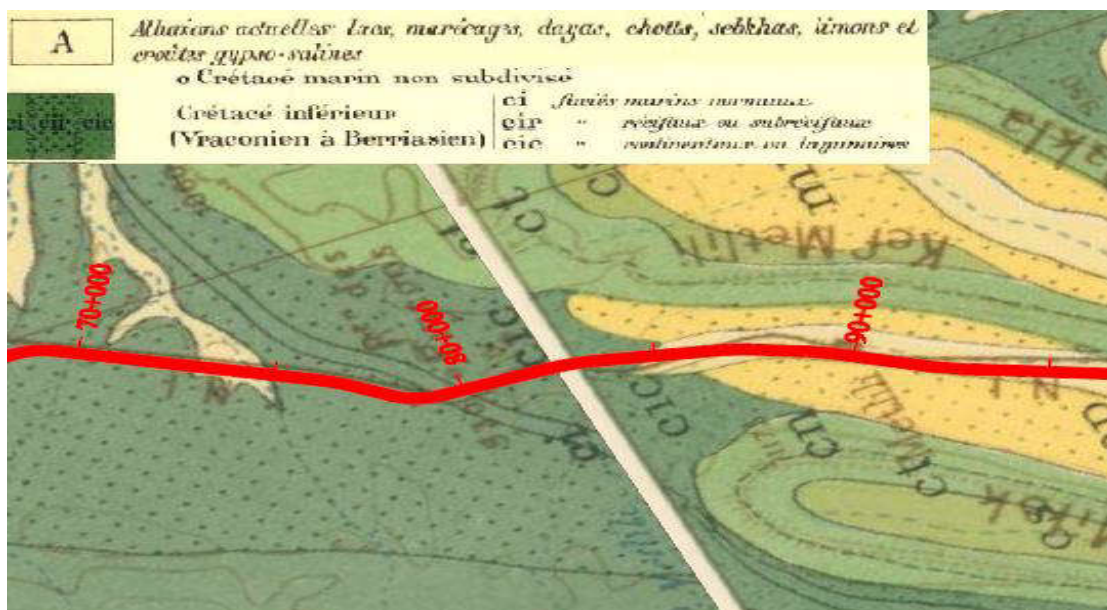


Figure III. 1 : Carte géologique de la zone

### II.1. QUATERNAIRE :

Le Quaternaire se constitue de :

- Encroûtement alluvions,
- Encroûtement calcaire,
- Alluvions/Colluvions récentes,
- Accumulations sableuses,
- Terre végétale.

Des encroûtements alluvions sont des conglomérats polygéniques du quaternaire ancien. Il s'agit de roches sédimentaires détritiques formées par plus de 50% de roches > 2 mm liés par un ciment calcaire. Le conglomérat est très dur et compact. L'épaisseur varie entre 0,5 et 2 m, des fois on peut l'observer jusqu'au 5 m.

Il s'agit du sable limoneux et graveleux-caillouteux qui sont encroûtés par des croûtes calcaires surfacées blanchâtres. Ces encroûtements peuvent pénétrer tous les sédiments et roches. Il se trouve aussi dans des alluvions et même dans du grès. L'épaisseur est de 0 à 3 m, des fois on les observe jusqu'au 8,5 m de profondeur.

Il s'agit du limon sableux-argileux-graveleux aux sable graveleux-limoneux avec des blocs ( $D > 63$  mm). La couleur est marron. La composition est très changeante.

Les accumulations sableuses du quaternaire se trouve à côté des affleurements rocheuse ou dans des zones inondables avec des cours d'eau temporaire. Il s'agit du sable meuble éolien.

La terre végétale se compose des argiles limoneuses-gréseuses avec du gravier. La couleur est noire à marron et il contient de matière organique. L'épaisseur est entre 0,1 et 0,5 m.



**Figure III. 2 : Des encroûtements alluvions (a) PK 78+850**



**Figure III. 3 : Des encroûtements calcaires (b) PK 77+405**



**Figure III. 4 : Des alluvions récentes (c) PK 79+447**



**Figure III. 5 : Accumulations sableuses (d) PK 80+000**

**la crétacé :**

Le Crétacé apparaît comme collines rocheuses de 5 à 30 m. de PK 75 au PK 86+200 d'Albien inférieur. Le grès est rougeâtre à beige et marron du sable fin à moyen avec des couches isolées du gravier moyen, l'épaisseur des couches peut varier entre 10 et 100 cm. Le grès est une roche sédimentaire constituée par une agrégation de grains de sable fin à gros liés par un ciment calcaire, il est en alternance avec des argilites. Les argilites peuvent être sableux, ils ont une couleur verdâtre à rougeâtre. L'épaisseur des couches est entre 5 et 150 cm.



**Figure III. 6 : Grès rougeâtre PK 80**

### **III. RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE :**

La reconnaissance géotechnique du sol est une opération qui consiste, grâce à des mesures issues d'essais normalisés, à déterminer leur nature et à dégager ses caractéristiques physiques, et pour cela on doit déterminer :

Les paramètres de nature qui sont intrinsèques au sol et traduisent les propriétés physiques de ce sol et de ses phases indépendamment de l'aspect durée.

Les paramètres d'état qui donnent, à un instant donné, la répartition des phases d'un sol entre elles et l'arrangement des grains de la phase solide.

L'étude géotechnique doit connaître les caractéristiques globales des sols de la plateforme, avec classification des sols de diverses manières. Afin de prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet du chemin de fer.

### III.1. PUIITS DE RECONNAISSANCE :

Une campagne de 7 puits de reconnaissance pour l'étude de la géotechnique du couloir a été réalisée. Pendant leur exécution, une description visuelle des matériaux affectés, et une prise d'échantillons pour leur analyse en laboratoire ont été effectuées. L'analyse des puits de reconnaissance a permis l'établissement des coupes géologiques montrant la lithologie des terrains traversés en profondeurs ainsi que leurs épaisseurs, ce qui nous permet de reconnaître la nature du sol support.

Nous présentons ci-après un tableau résumant la position des puits :

Puits	PK	Profondeur (m)	Description
PU1	PK 75+253	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-0.5</li> <li>• 0.5-1.6</li> <li>• 1.6-3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alluvions constituées de sable et de gravier avec des traces de limon, de couleur grisâtre.</li> <li>• Limon argileux et sableux de couleur brunâtre.</li> <li>• Argile sableuse et limoneuse de couleur brunâtre.</li> </ul>
PU2	PK 76 +266	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-0.2</li> <li>• 0.2-1.6</li> <li>• 1.6-3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terre végétale, de couleur brunâtre.</li> <li>• Limon argileux avec des traces de sable et de gravier, de couleur brunâtre.</li> <li>• Argilite sableuse de couleur rougeâtre.</li> </ul>
PU3	PK 77+405	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-0.5</li> <li>• 0.5-1.2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sable limoneux avec des traces de gravier, de couleur brunâtre. présence de traces de carbonates.</li> <li>• Grès friable et altéré, de couleur rougeâtre. Présence de grès durs en fond de fouille.</li> </ul>
PU4	PK 78+472	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-0.5</li> <li>• 0.5-1.9</li> <li>• 1.9-2.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limon argileux de couleur brunâtre. Présence des traces de carbonates.</li> <li>• Limon argileux avec des traces de graviers, de couleur brunâtre. Présence de traces de carbonates.</li> <li>• Encroûtement calcaire constitué de sable limoneux, de couleur blanchâtre à nuance grisâtre, récupéré sous forme de fragments décimétriques.</li> </ul>
PU5	PK79+447	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-0.7</li> <li>• 0.7-1.3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limon sableux avec des traces de gravier, de couleur brunâtre.</li> <li>• Grès friable, de couleur rougeâtre. Présence de grès dur en fond de fouille.</li> </ul>
PU6	PK 80+476	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-1.1</li> <li>• 1.1-3.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sable limoneux, avec un peu de gravier, de couleur brunâtre.</li> <li>• Limon sableux avec des traces d'argile et de gravier, de couleur brunâtre.</li> </ul>
PU7	PK 82+256	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-.03</li> <li>• 0.3-1.2</li> <li>• 1.2-3.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sable limoneux avec des traces de gravier, de couleur brunâtre.</li> <li>• Limon sableux, avec des traces de gravier, de couleur brunâtre.</li> <li>• Limon argileux, avec des traces de sable, de couleur brunâtre. Présence de traces de carbonates.</li> </ul>

Tableau III. 1 : Implantation et description des puits

**III.2. SONDAGES CAROTTES :**

Les sondages carottés réalisés, nous ont permis de déterminer la nature des formations en place.

N° Sondage	PK	Profondeur (m)	Formations
S1	80+075	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-0.4</li> <li>• 0.4-4</li> <li>• 4-9</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sable éolien rougeâtre</li> <li>• Sable fin à grossier, rougeâtre issus de la désagrégation des grès altérés.</li> <li>• Grès sableux, friables, assez dure, rougeâtre</li> </ul>

**Tableau III. 2 : implantation et description des sondages (1)**



**Figure III. 7 : Sondage S1 – Caisse N°1 : 0.00 – 6.00 m**



**Figure III. 8 : Sondage S1– Caisse N°2 : 6.00 – 9.00 m**

N° Sondage	PK	Profondeur (m)	Formations
S2	81+650	0-3.45	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sable avec un peu de limon, de couleur ocre et de compacité moyenne.</li> </ul>
		3.45-6.40	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sable avec un peu de limon et des traces d'argile, de couleur brun rougeâtre et de compacité moyenne.</li> </ul>
		6.40-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sable fin à moyen, de couleur rougeâtre et de compacité moyenne.</li> </ul>

Tableau III. 3 : implantation et description des sondages (2)



Figure III. 9 : Sondage S2- Caisse N°1 : 0.00 – 10.00 m



Figure III. 10 : Sondage S2- Caisse N°2 : 10.00 – 12.00 m

Le terrain montre une géologie très variable. Le relief de la roche gréseuse est très ondulé et la profondeur de la roche dans le sous-sol se trouve entre 0 et 13 m. Au-dessus

il y a des limons sableux, du sable limoneux et des alluvions encroutées. En plus on trouve de la marne ou des argilites qui existe en alternance avec du grès.

### **III.3. ESSAI DE PENETRATION AU CAROTTIER (SPT) :**

L'essai de pénétration au carottier est un essai géotechnique qui teste le terrain en place et fournit une caractéristique conventionnelle et un échantillon remanié du sol. L'essai consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu en fond d'un forage préalable.

L'essai de pénétration au carottier permet d'établir une relation entre la résistance à la pénétration d'une part et les caractéristiques et la variabilité des sols d'autre part.

Sondage	Profondeur (m)	N (SPT)		Nature	Compacité
		N0	N1+N2		
S1	1.50-1.77	38	Refus	Sable fin à grossier	Dense
	5.00-5.23	44	Refus	Grès sableux	Très dense
	9.00-9.13	Refus	-	Grès sableux	Très dense

**Tableau III. 4 : Récapitulation des essais de pénétration au carottier**

Les résultats des essais SPT obtenus montrent un sol dense à très dense.

### **III.4. ESSAIS DE LABORATOIRE :**

Sur les échantillons provenant des puits, ont été réalisé des essais d'identification (granulométriques, limites d'Atterberg)

#### **III.4.A. Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à **80 µm** et par sédimentation pour les grains **< 80 µm**.

#### **III.4.B. Limites d'Atterberg :**

Compte tenu de leur structure, les formations meubles (fraction fine) ont la propriété d'absorber l'eau ou se dessécher, ceci en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises, et passent ainsi d'un état à un autre.

Le but de cet essai est la détermination expérimentale la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP).

La détermination de WL et WP nous donnent une idée approximative des propriétés du

matériau étudié, elle permette de le classer grâce à l’abaque de plasticité de casagrande.

WP : sépare l’état solide de l’état plastique.

WL : sépare l’état plastique de l’état liquide.

Puits	Prof (m)	Nature des sols	Analyses granulométriques			Wp	Limites d’Atterberg			Classification NF P 11 300300	Classification UIC
			< 80µm	< 2mm	Dmax		wl	IP	Ic		
PU1	1.8-2.5	Argile sableuse et limoneuse	62	98	8	15.7	34.1	13.6	1.35	A2s	QS1
PU4	0.9-1.4	Limons argileux	96	99	8	11.9	46.8	14.2	2.45	A2s	QS1
PU7	1.3-1.7	limons sableux	21	99	8	6.8	20.8	8.4	1.66	B5ts	QS2

**Tableau III. 5 : Résultats des essais de laboratoire**

**III.5. CLASSIFICATION SELON LA NORME NF P 11-300 :**

Selon les graphiques obtenus à l’issue des analyses effectuées, les matériaux testés sont des sols avec  $D_{max} \leq 50mm$ , ils renferment un pourcentage d’éléments fins ( $< 80\mu m$ ) compris entre 10% et 96% au niveau des puits de reconnaissance ce qui correspond à des matériaux de la classe A, et B selon les sections investiguées.

Les indices de plasticités «IP %» mesurés sur des échantillons prélevés de la formation naturelle en place varient entre 5.28% et 14.26%, ce qui révèle un sol non à peu plastique.

La teneur en eau naturelle «W%» mesurée des échantillons intacts est comprise entre 1.4% et 15.7%.

**III.6. CLASSIFICATION SELON L’UIC 719 R :**

Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

- D’apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme.

- D'apprécier la qualité de la plateforme complète :couche de forme +sol sous-jacent.

### **III.6.A. Classification des sols pour la plateforme**

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

- La nature géotechnique du sol.  
Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales, ces conditions sont réputées bonnes si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
  - La plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué)) naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives.
- Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

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

On distingue selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon les modalités de tableau, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

- QS0: Sols "impropres" à la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.). Pour cette raison, ces sols ne sont pas mentionnés ici lors du dimensionnement des couches d'assise et des couches de forme.
- QS1 : Sols "médiocres" acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié (traitement aux liants).
- QS2 : Sols moyens.
- QS3 : Bons sols.

<b>Classification des sols (Identification géotechnique)</b>	<b>Classe de qualité des sols</b>
<p><b>0.1 Sols organiques</b></p> <p><b>0.2 Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonnés, humides et donc non compactables</b></p> <p><b>0.3 Sols thixotropes (quick-Clay par exemple)</b></p> <p><b>0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sels gemme ou gypse)</b></p> <p><b>0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)</b></p> <p><b>0.6 Sols mixtes « minéraux organiques »</b></p>	<b>QS0</b>
<p><b>1.1 sols comportant plus de 40% de fines (sauf sols 0.2)</b></p> <p><b>1.2 Roches très évolutives</b>  <b>par exemple :</b>                      - craies de <math>\rho_d &lt; 1.7 \text{ t/m}^3</math> et de friabilité forte                      - Marnes                      - Schistes altérés</p> <p><b>1.3 sols comportant de 15 à 40% de fines (sauf sols 0.2)</b></p> <p><b>1.4 roches évolutives</b>  <b>par exemple :</b>                      -Craies de <math>\rho_d &lt; 1.7 \text{ t/m}^3</math> et de friabilité faible                      -Schistes non altérés</p> <p><b>1.5 Roches tendres</b>  <b>par exemple :</b>                      Si micro Deval en présence d'eau (MDE)&gt;40 et Los Angeles (LA) &gt;40</p>	<b>QS1</b>
<p><b>2.1 Sols comportant de 5 à 15% de fines</b></p> <p><b>2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniforme (<math>C_u &lt; 6</math>)</b></p> <p><b>2.3 Roches moyennement dures</b>  <b>Par exemple :</b>                      Si <math>25 &lt; \text{MDE} \leq 40</math> et <math>30 &lt; \text{LA} \leq 40</math></p>	<b>QS2</b>
<p><b>3.1 Sols comportant moins de 5% de fines</b></p> <p><b>3.2 Roches dures</b>  <b>Par exemple : Si <math>\text{MDE} \leq 25</math> et <math>\text{LA} \leq 30</math></b></p>	<b>QS3</b>

**Tableau III. 6 : : Classification de la qualité des sols (UIC 719R)**

La classification des sols de la plateforme du projet étudié révèle la présence de la classe QS1 et QS2

**III.6.B. Classe de portance de la plateforme :**

La portance d'une plateforme dépend :

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

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

- P1 : une portance médiocre
- P2 : une portance moyenne.
- P3 : une portance bonne.

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette class de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale(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	-

**Tableau III. 7 : La classe de portance de la plateforme (fiche 719R)**

\* Pour le projet étudié, la plateforme est de classe P1 ou P2, d'où la nécessité d'une couche de forme, d'une épaisseur :

- 50 cm de matériau QS3 pour les plateformes de classe P1.
- 35 cm de matériau QS3 pour les plateformes de classe P2

#### **IV. CONCLUSION :**

La reconnaissance géotechnique détaillée a permis d'avoir une coupe longitudinale du tronçon étudiée avec toutes ses caractéristiques géométriques et géotechniques, et de classer la plateforme selon la norme UIC 719R qui révèle la présence des plateformes de classe P1 ou P2.

- Les plateformes de classe P1 : sont des plateformes constituées de sols fins peu plastiques QS1 (limon argileux, argile sableux) de qualité médiocre, ce sont des plateformes d'une portance médiocre qui nécessitent une couche de forme pour les amener à la qualité P3.

- Les plateformes de classe P2 : sont des plateformes constituées de sols de moyenne qualité QS2 (sable graveleux, sable limoneux, grés), ce sont des plateformes d'une portance moyenne qui nécessitent une couche de forme pour les amener à la qualité P3.

***CHAPITRE IV . TÉRRASSEMENTS***  
***ET COUCHES D'ASSISES***

## **I. LES TERRASSEMENTS**

### **I.1. INTRODUCTION :**

Les principales zones de déblais/remblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal. La succession de déblais et de remblais est caractérisée par des hauteurs pouvant être importantes.

La plupart du tracé entre PK 75 et PK 83 se trouve dans un terrain plat à peux vallonner, interrompue par des collines rocheuses en grès de 5 à 20 m.

### **I.2. DEBLAIS :**

L'étude des déblais dépend de la nature des formations recoupées. Il faut distinguer les sols meubles des terrains rocheux.

#### **I.2.A. Caractéristiques des déblais :**

Les caractéristiques des déblais sont visibles dans le tableau suivant :

PK Déblai		Hauteur max a l'axe (m)	Longueur (m)	Nature des sols	Classification UIC
Debut	Fin				
<b>78+960</b>	79+100	1.5	15	Limon argileux	QS1 (1.1)
<b>79+280</b>	79+500	1.92	35	Limon argileux	QS1 (1.1)
<b>79+680</b>	79+740	2.10	60	Limon sableux a sable limoneux	QS1 (1.1)
<b>80+000</b>	80+126	17.86	126	Grès	QS2 (2.3)
<b>80+210</b>	80+238	1.95	28	Limon sableux à sable limoneux	QS1 (1.3)

**Tableau IV. 1 : Caractéristiques des déblais**

#### **I.2.B. Stabilité des déblais :**

Le calcul a été fait que pour le déblai de PK80, dont la hauteur excède 17 m, les autres déblais ont des faibles hauteurs < 2.5 m (ne nécessitent pas une étude de stabilité).

Le déblai au PK 80 se trouve dans des roches du grès compacte d'Albien inférieur. Une

alternance avec des argilite n'est pas visible au rocher des pigeons. Le grès a une couleur rougeâtre à l'extérieur et l'intérieur. La roche est légèrement à faiblement altéré. Aux affleurements on voit des couches avec des laminations entrecroisées qui peuvent agir comme discontinuités.

Considérant la nature des matériaux en place et l'absence des déblais provisoires, l'analyse de stabilité à court terme n'a pas été réalisée.

Les paramètres géotechniques des terrains de déblais ont été déterminés en considérant la fracturation du massif rocheux et l'indice de la qualité de la roche (RQD) et la résistance à la compression ( $R_c$ ) pour les matériaux rocheux.

Quatre familles de joints sont présentes. Ils sont subverticales à inclinées, plats à ondulés et rugueux à polis. La roche est peu cassée et de la qualité bonne formant des blocs prismatiques. Les couches sédimentaires sont presque horizontales au faiblement inclinées vers le sud-est.

Types	Orientation		Rugosité		Espacement (cm)	Extension(m)
	Azimut	Pendage	Macro	Micro		
Couches	150°	15°	ondulé	rugueuse	40-200	1-8
Joint1	335°	85°	Ondulé	Rugueuse	150-200	4-5
Joint	130°	30°	plat	Rugueuse	5-10	1-3
Joint	90°	55°	plat	poli	-	>5
Joint	300°	65°	Ondulé	poli	-	>5

**Tableau IV. 2 : propriétés des joints de discontinuité**

Le réseau de discontinuités divise le massif rocheux en un ensemble de blocs.

La création d'une excavation dans le massif expose sur la surface libre un nombre de blocs dont certains par leur géométrie sont susceptibles de se déplacer vers le vide, et peuvent entraîner la chute d'une partie ou la totalité de l'ensemble des blocs du massif. Si ces blocs sont fixés d'une manière ou d'une autre, le massif sera stable. Ces blocs sont alors les clés de la stabilité, ils sont appelés "blocs clés".

Ce sont R. E. Goodman et G. H. Shi (1985) qui ont développé cette théorie dite "Théorie des blocs clés", qui permet de détecter les blocs qui mettent en danger la stabilité du massif.

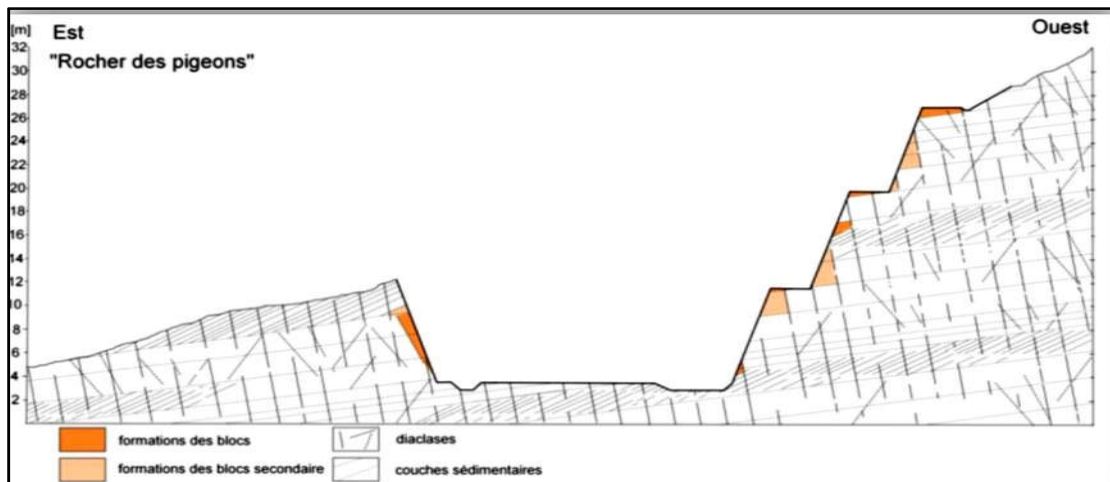


Figure IV. 1 : Profil géotechnique schématisé montrant les discontinuités mesurées (rapport géotechnique)

Le profil schématisé montre des discontinuités explorées sur place en connexion avec le déblai prévu. Les lignes noires représentent les joints de discontinuités et les couches sédimentaires. La couleur orange représente les blocs qui possiblement sont instables après avoir fait le déblai.

**I.2.C. Classification du massif rocheux avec le système RMR :**

Le RMR (Rock Mass Rating System) a été développé par Bieniawski dans les années 1970.

Le RMR résulte de la somme de cinq notes de caractérisation (de A1 à A5) et d'une note d'ajustement). Ces paramètres sont illustrés sur la figure ci-dessous :

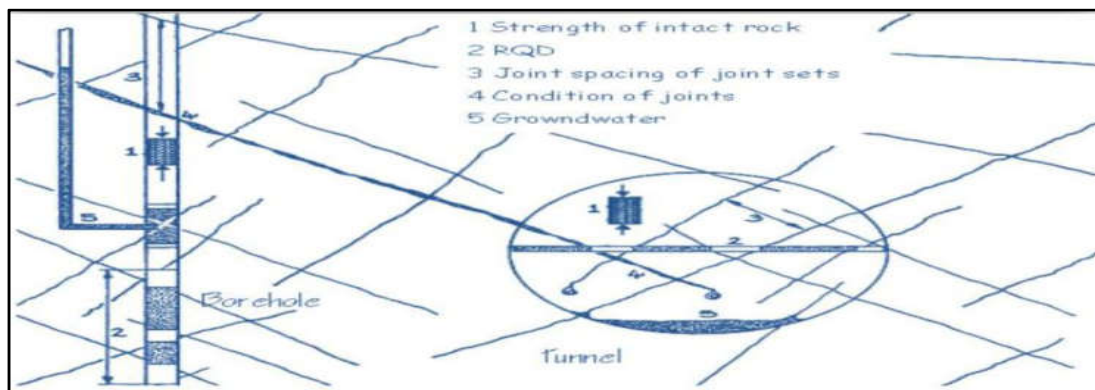


Figure IV. 2 : Illustration graphique des paramètres de caractérisation du RMR ( Bieniawski [1973])

La somme de ces notes attribue une valeur comprise entre 0 et 100 au massif. Cette valeur utilise à plus de 70% la fracturation et elle accorde 15% d'influence aux propriétés de la matrice rocheuse et 15% à la présence d'eau.

Quant à la signification des indices du RMR, ils sont définis comme suit :

- A1 (*Strength of intact rock material*) : la résistance à la compression simple de la matrice rocheuse est obtenue, soit par procédure d'écrasement d'un échantillon, soit par procédure de chargement ponctuel.
- A2 (*Rock Quality Designation RQD, Deer [1964]*): il caractérise la qualité des carottes de sondage en calculant le rapport entre la longueur cumulée des carottes supérieures à dix centimètres et la longueur totale considérée.
- A3 (*Spacing of discontinuities*) : dans le cas de plusieurs familles de fractures le minimum des notes attribuées à l'espacement des fractures est considéré.
- A4 (*Conditions of discontinuities*) : cet indice caractérise l'extension, l'ouverture, la rugosité, le matériau de remplissage et l'altération des épontes des discontinuités.
- A5 (*Groundwater conditions*) : Il est en rapport avec les conditions hydrogéologiques et consiste à réaliser des mesures de flux d'eau ou de pressions interstitielles des joints.
- B (*Adjustement for joint orientation*) : c'est un facteur correctif qui est en rapport avec l'effet de l'azimut et du pendage des familles de discontinuités sur la stabilité de l'ouvrage.

Pour chacun de ces paramètres on se réfère à une valeur ou une rangée de valeurs par lesquelles on définit les deux valeurs de l'indice RMR :

$$\text{RMR}_{\text{base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR}_{\text{correct}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B$$

A. classification parameters and their ratings									
Parameter range of values									
A1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range-uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp strength	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	rating		15	12	7	4	2	1	0
A2	Dril core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
A3	Spacing of disconnuities		>2m	0.6-2m	200-600 mm	60-200mm	<60mm		
	rating		20	15	10	8	5		
A4	Conditions of discontinuités		Very rough surfaces not continuous no séparations unweathered wall rock	Slightly rough surfaces séparations <1 mm slightly weathered walls	Slightly rough surface séparation <1 mm highly weathered walls	Slickensided surfaces or gouge <5mm thick or séparation 1-5 mm continuous	Soft gouge >5mm thick or séparation >5mm continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
A5	Ground water	Inflow per 10m tunnel length(l/min)	None	<	1010-25	25-125	>125		
		(Joint water press) /(major principal $\sigma$ )	0	<0.1	0.1-0.2	02-05	>0.5		
		Generale conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS									

Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Faire	Unfavourable	Very unfavourable	
ratings	Tannels et mines	0	-2	-5	-10	-12	
	Foundati oins	0	-2	-7	-15	-25	
	Slopes	0	-5	-25	-	-	
C ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS							
rating	100-81	80-61	60-41	40-21	<21		
class number	I	II	III	IV	V		
Description	Very good rock	Good rock	Fain rock	Poor rock	Very poor rock		
E - GUIDE LINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUTY CONDITIONS							
Discontinuity length ( persistance)			<1 m	1-3 m	3.10 m	10-20 m	>20
Rating			6	4	2	1	0
Séparation ( aperture)			None	<0.1 mm	0.1-10mm	1-5 mm	>5mm
Rating			6	5	4	1	0
roughness			Very rough	rough	Slightly rough	smooth	Slickensided
Rating			6	5	3	1	0
Infilling (gouge)			none	Hard filling<5 mm	Soft filling <5 mm	Soft filing < 5 mm	Soft filing >5 mm
Rating			6	4	2	2	0
Weathering			unweat hered	Slightly weathered	Moderatety weathered	Highly weathered	Decomposed
Rating			6	5	3	1	0

Tableau IV. 3 : Classification des masses rocheuses selon la méthode de Bieniawski

**Estimation des caractéristiques mécaniques à partir du RMR :**

Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre les paramètres mécaniques du massif Rocheux et la valeur du RMR. Nous avons retenu les relations suivantes qui permettent D’estimer une cohésion et un angle de frottement, ainsi qu'un module d'Young :

$$C \text{ (kPa)} \approx 5 \text{ RMRBASE (Beniawski, 1979, cité par Beniawski, 1989)}$$

$$\phi \approx 0.5 \text{ RMRBASE} + 8,3 \pm 7,2 \text{ (Trunck \& Hônish, 1989, cité par Beniawski, 1989)}$$

$$E \text{ (MPa)} = 10(\text{RMR} - 10) / 40 \text{ (Serafim \& Pereira, 1983, cité par Beniawski, 1989)}$$

**I.2.D. Application de calcul sur la stabilité :**

La classification RMR (Bieniawski , 1989) a été utilisée pour déterminer la classe du massif rocheux ainsi que les paramètres mécaniques qui sont nécessaires pour les calculs de stabilité avec le logiciel « PHASE2 ».

Il y a un réseau de fracture espacée à très espacée. Le RQD est de l'ordre de 75% à 90% et la résistance à la compression est de l'ordre de 4 à 20 MPa.

Paramètre	Propriétés des joints	Valeurs
A1	la résistance à la compression est de 4 à 20 MPa	2
A2	Le RQD est de 75% à 90%	17
A3	L'espacement des discontinuités est de 60 à 200	8
A4	L'extension des joints est de 1 à 8 m	2
	Joints fermés	6
	Les joints sont rugueux à polis 1	1
	Pas de remplissage	6
	Faible altération	6
	Total	21
A5	L'absence de la nappe (la masse rocheuse est dans l'état sec)	15
B	On a des joints qui ont une direction favorable et des autres joints qui ont une direction non favorable	-25

**Tableau IV. 4 : Classification RMR du rocher de pigeons**

- $RMR_{BASE}=2+17+8+21+15=63$
- $RMR_{CORRECT}=2+17+8+20+15-25=38$
- $C \approx 5 \times 69 \approx 310 \text{ KPa}$
- $\phi \approx 46.4^\circ$
- $E \approx 17.30 \text{ MPa}$

**LOGICIEL DE CALCUL :**

Les calculs géotechniques ont été réalisés avec le logiciel « PHASE2 », Version 8.016 du développeur « Roc science, Toronto, Canada ».

**Sismicité :**

Le coefficient d'accélération est  $A=0,15g$  (RPOA2008).

Les coefficients d'accélération  $k_v$  et  $k_h$  sont :

- $k_h = 0,5 \times A = 0,5 \times 0,15 = 0,075$
- $k_v = 0,3 \times k_h = 0,3 \times 0,075 = +/-0,0225$

**Facteurs de sécurité globaux :**

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique sont les suivants :

- $F_s \geq 1,5$  pour la stabilité à long terme.
- $F_s \geq 1,0$  pour l'analyse en conditions sismiques.

**Résultats :**

- Condition statique :

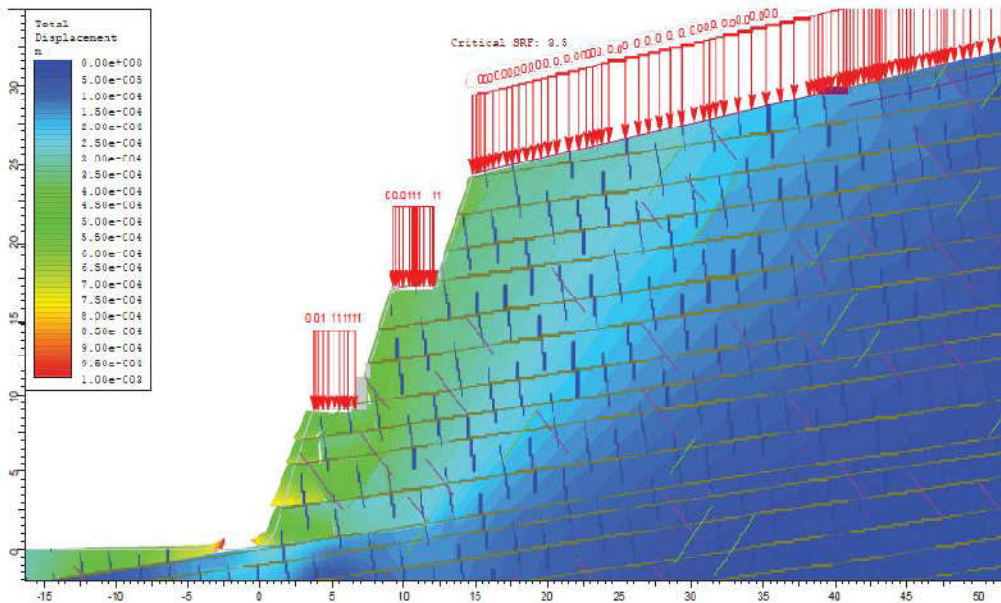


Figure IV. 3 . modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel « PHASE2 » à long terme

- Condition sismique :

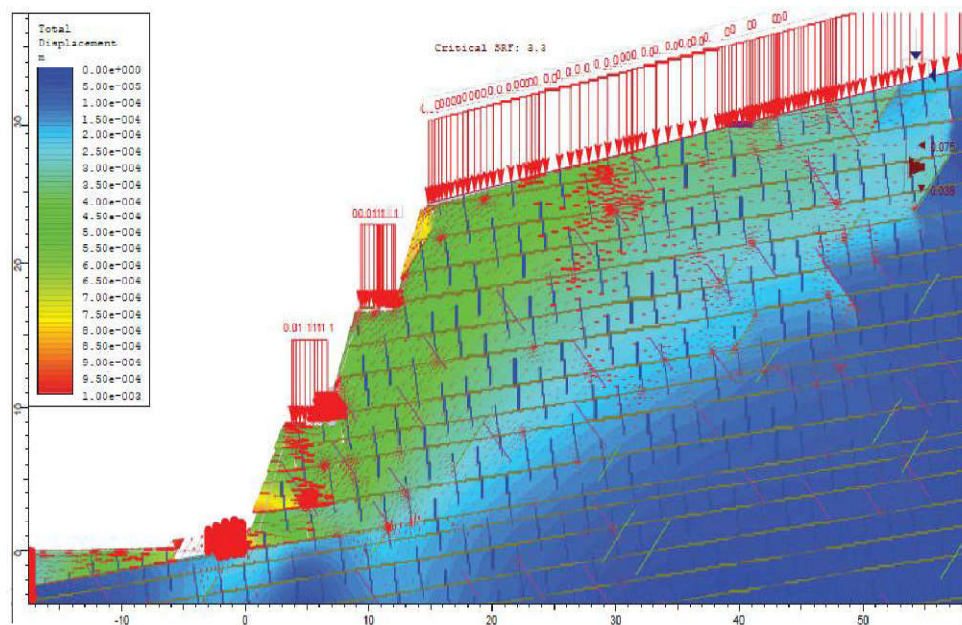


Figure V. 4: modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel « PHASE 2 » à long terme avec prise en compte de l'effet sismique

PK déblai	Facteur de sécurité		Pente talus (H/V)	Largeur berme (m)/ Hauteur talus
	Condition statique	Condition sismique		
80+000 au 80+126	3.5	3.3	1H/3V	Berme 3m/ talus 8m

**Tableau IV. 5 : synthèse des résultats de stabilité au glissement**

**I.2.E. Classification des matériaux de déblais UIC 719R :**

La classification des matériaux en vue de leur réutilisation (et non réutilisation) est celle de la norme UIC 719R. On distingue, eu égard à leur aptitude à la réutilisation :

- Les sols non réutilisables : sols 0.1 à 0.6, 1.1 (lorsque ces sols sont très plastiques ou moyennement plastiques) et 1.2,
- Les sols réutilisables sous certaines conditions (teneur en eau, conditions climatiques, hauteur limitée de remblai, enveloppe de matériaux médiocres par une protection de meilleure qualité), sols 1.1 (lorsque ces sols sont peu plastiques), 1.3 à 1.5, 2.1 et 2.2,
- Sols toujours réutilisables : sols 2.3, 3.1 et 3.2.

La dimension des plus gros blocs ou pierres ne doit pas dépasser un chiffre compatible avec une épaisseur de couche rendant possible un compactage correct. On ne dépasse pas en général une dimension de blocs de 60 cm ; de plus, il est recommandé que la dimension des blocs ou pierres ne dépasse pas la moitié de l'épaisseur des couches. Le matériau de remblaiement près des maçonneries des ponts doit en outre être un matériau insensible au tassement (classe de qualité QS3).

Le tableau montre pour chaque zone de déblai, la nature des matériaux, la pente du talus ainsi que la classe de la plateforme de déblais.

Les sols 1.1, 1.3 sont non réutilisables à cause de la faible teneur en eau.

Les sols 2.3 sont réutilisables.

PK Déblai		Talus (H/V)	Classification UIC	Nature de matériaux	Taux de réutilisation %
Début	Fin				
78+992	79+052	2/1	QS15(1.1)	limon argileux	0
79+280	79+500	2/1	QS1(1.1)	limon argileux	0

79+680	79+740	2/1	QS1(1.1)	Limon sableux à sable limoneux	0
80+000	80+126	1/3	QS2(1.3)	grés	70%
80+210	80+238	2/1	QS1(1.3)	Limon sableux à sable limoneux	0

**Tableau IV. 6 : Matériaux des déblais**

Les matériaux qui ne peuvent être utilisés en remblai, soit du fait de leur nature, soit parce que les conditions d'utilisation en remblai ne sont pas respectées, soit parce qu'ils sont excédentaires dans le mouvement des terres, doivent être mis en dépôt définitif ou utilisés pour des aménagements annexes n'affectant pas la partie technique et la stabilité des ouvrages en terre.

#### **I.2.F. Mode d'excavation des matériaux de déblais :**

Selon la nature géologique et les caractéristiques mécaniques des matériaux de déblais, ils seront classés comme suit selon leur mode d'excavation :

**Déblai meuble** : Ils comprennent tous les déblais extractibles avec une pelle mécanique.

**Déblais semi dur** : on considère les déblais semi durs quand les matériaux ne peuvent pas être enlevés par les engins de terrassement utilisés pour les déblais meubles. Matériaux nécessitant l'emploi d'un ripper. Les formations suivantes seront considérées comme semi dur : grés friable, alternance marnes/calcaire.

**Déblais rocheux dur** : sont considéré comme déblais rocheux dur, tous les matériaux qui nécessitent pour leur extraction l'utilisation d'explosifs et/ou de brise roche. Les formations suivantes font partie de cette catégorie : calcaires et grés.

**1.3. REMBLAIS**

Les caractéristiques de remblais sont visibles dans le Tableau :

PK remblai		Hauteur max à l'axe (m)	Longueur (m)	Talus (H/V)
Début	Fin			
75+000	78+980	5.34	3980	2/1
79+080	79+240	3.91	160	2/1
79+520	79+660	2.70	140	2/1
79760	79+980	4.20	220	2/1
80+140	80+200	2.37	60	2/1
80+260	83+260	6.72	3000	2/1

Tableau IV. 7 : les caractéristiques des remblais

**I.3.A. Stabilité des remblais :**

Les méthodes d'étude de la stabilité des pentes permettent, à un stade donné de la construction, de déterminer le coefficient de sécurité d'un remblai vis-à-vis d'une rupture intéressant à la fois le sol de fondation et le remblai, connaissant :

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

Les conditions de stabilité des remblais ont été évaluées par l'analyse des surfaces de glissement. L'analyse selon la méthode simplifiée de Bishop a été effectuée en utilisant le Logiciel SLIDE 6.0. La surface de glissement la plus critique a été obtenue en déterminant la surface dotée du coefficient de sécurité minimal parmi une série de surfaces de glissement probables.

Dans l'analyse de stabilité des remblais sous charge statique, on a pris en considération l'effet d'une surcharge additionnelle de 30 kPa, correspondant aux charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse monobloc, afin de simuler le trafic sur la voie ferrée.

La stabilité des remblais a été analysée sous conditions statiques et aussi vérifiée sous des conditions sismiques. Selon les « Règles Parasismiques Algériennes, RPOA 2008 », Les coefficients d'accélération  $k_v$  et  $k_h$  sont :

- $A=0.15g$
- $k_h= 0,5 \times A = 0,5 \times 0,15 = 0,075$
- $k_v = 0,3 \times k_h = 0,3 \times 0,075 = +/-0,0225$

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique sont les suivants :

- $F_s \geq 1,5$  pour la stabilité à long terme.
- $F_s \geq 1,3$  pour la stabilité à court terme.
- $F_s \geq 1,0$  pour l'analyse en conditions sismiques.

Le calcul de stabilité à court terme se fait en particulier dans le cas de la phase de montée des remblais sur sols compressible. Dans notre cas et considérant l'absence de zones de sols compressible le long du tracé, seuls les calculs de stabilité à long terme et en conditions sismiques ont été réalisés.

**I.3.B. Calcul de coefficient de sécurité :**

Le calcul de stabilité de talus s'effectue sur le profil au PK 80+260 (le plus grand remblai  $H_r = 6.72$  m) pris comme profil représentatif.

Les propriétés mécaniques adoptées pour les calculs sont comme suit : (rapport géotechnique).

Sol	Remblai	Substratum calcaire
<b>C (kPa)</b>	5	200
<b><math>\Phi</math> (°)</b>	30	45
<b><math>\gamma</math> (KN/m<sup>3</sup>)</b>	20	22

**Tableau IV. 8 : Caractéristiques des matériaux**

**I.3.C. Résultats :**

Condition statique :

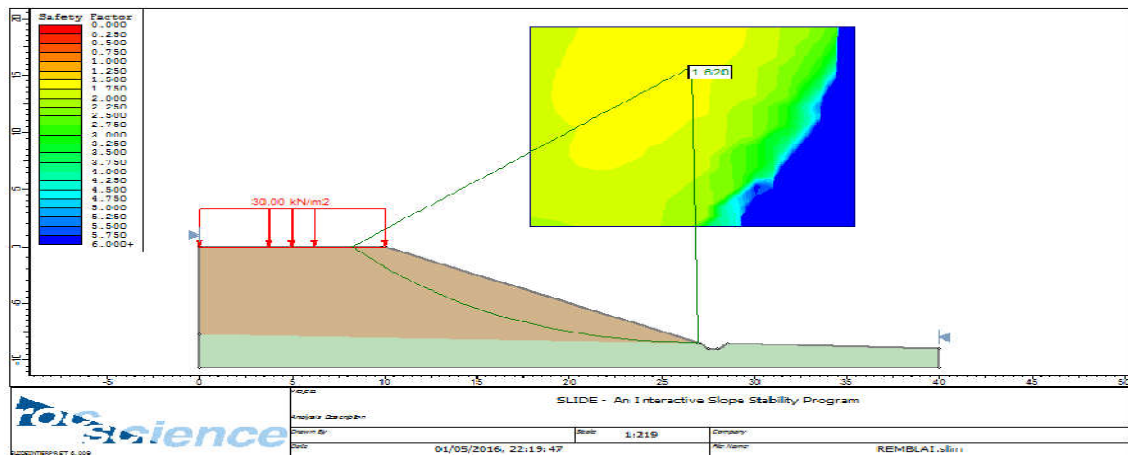


Figure IV. 4 : modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel SLIDE à long terme

Condition sismique :

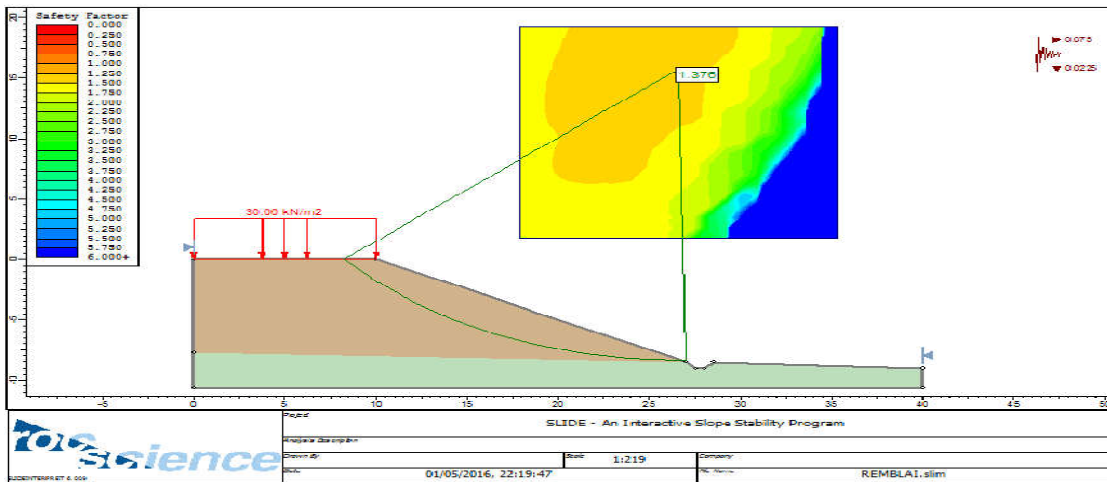


Figure IV. 5 : modèle de calcul de coefficient de sécurité avec le logiciel SLIDE à long terme avec prise en compte de l'effet sismique

PK déblai	Facteur de sécurité		Pente talus (H/V)	Largeur berme (m)/ Hauteur talus
	Condition statique	Condition sismique		
PK80+000 au PK80+400	1.62	1.37	2H/1V	Berme 3m/ talus 8m

Tableau IV. 9 : synthèse des résultats de stabilité au glissement

### I.3.D. Caractéristiques du sous-sol des remblais :

Le terrain montre une géologie très variable. Le relief de la roche gréseuse est très ondulé et la profondeur de la roche dans le sous-sol se trouve entre 0 et 13 m. Au-dessus

il y a des limons sableux, du sable limoneux et des alluvions encroutées. En plus on trouve de la marne ou des argilites qui existe en alternance avec du grès.

Selon les sondages et puits réalisés, l'épaisseur de la couverture à décapier est variable le long du tracé. La couverture est constituée des couches suivantes :

- Terre végétale brune dont l'épaisseur moyenne est de 0,30 m.
- Sable et sable limoneux dont l'épaisseur moyenne est de 0,30 m et rarement dépassant les 0,50 m

Les terres végétales seront décapées et stockées, puis réutilisées comme couverture végétale sur les talus de déblais. L'épaisseur de la purge sera variable le long du tracé; elle va dépendre des propriétés mécaniques du matériau. Elle sera déterminée durant la phase de construction en se basant sur les essais en place.

**I.3.E. Conclusion :**

Après l'étude de stabilité, on conclut qu'on n'a pas un risque de glissement dans les conditions statiques ( $F_s=1.62>1.5$ ) et dans les conditions sismiques ( $F_s = 1.37>1$ ).

**I.4. CALCUL DES CUBATURES :**

Les cubatures de terrassement présente l'évolution des quantités de terre (volume) à déblayer et celle à remblayer, dans le but d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous-adjacente à la ligne projet.

Les cubatures des terrassements est calculée après définition du terrain naturel, et du projet par :

- Un tracé en plan.
- Un profil en long.
- Des profils en travers.

Le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D ».

Terrassement	Volume (m <sup>3</sup> )
Volume des déblais	66180
Volume des déblais réutilisable	19619
Volume des remblais	792036
Remblais provient des gites d'emprunt	772417

**Tableau IV. 10 : récapitulatif des cubatures des terrassements**

Assise ferroviaire	Volume (m <sup>3</sup> )
Ballast	30940
Sous ballast	33905
Couche de forme	53555
Matériau de zone inondables (noyau)	40660
Les enrochements	31968

**Tableau IV. 11 : récapitulatif des cubatures des couches d'assise**

### **1.5. GÎTES D'EMPRUNTS ET CARRIERES :**

#### **1.5.A. Gîtes d'emprunts :**

En tenant compte du volume important des remblais prévus le long du tracé d'une part et de l'absence de gîte pour plusieurs autres sections en remblais importants, il a été prévu un complément de puits de reconnaissance et le prélèvement d'échantillons pour les essais de laboratoire pour fournir plus de précision en matière des réserves au niveau de chaque site potentiel. deux zones d'emprunt ont été repérées sur ce tronçon.

Zones d'emprunt	PK	nature	Réserves prévisionnelles
ZE-06	75+000	Tuf (encroutement calcaire )	400000 m <sup>3</sup>
ZE-07	87+800	Tuf (encroutement calcaire )	300000 m <sup>3</sup>

**Tableau IV. 12 : Liste des Zones d'emprunts**

Les puits exécutés au niveau de chaque zone d'emprunt sont présentés dans le tableau ci-dessous :

puits	Pk	Profondeur (m)	nature
		<b>0-0.4</b>	<b>-Sable limoneux, avec des traces de gravier, de couleur jaunâtre</b>
		<b>0.4-1.7</b>	<b>-Encroûtement calcaire, de couleur brunâtre,</b>

PZE-06	75+00	1.7-1.9	constitué de graviers avec un peu de sable et de limon. Présence de traces de cailloux et de blocs. -Calcaire dolomitique blanchâtre, friable, récupéré sous forme de fragments centimétriques à décimétrique
--------	-------	---------	--

Tableau IV. 13 : Implantation et description des puits de reconnaissance

Les résultats des essais de laboratoire réalisés sur les différents échantillons, prélevés à partir des puits de reconnaissance sont résumés dans le tableau suivant :

puits	Profondeur (m)	Analyse granulométriques			Wp	Limites d'atterberg			Proctor modifié		Classe NFP11-300
		<80 µm	<2 mm	Dmax		WL	WP	IP			
PZE-06	1.0-1.50	22	50	40	6.9	36.9	21.6	15.3	21.5	7.3	B5s

Tableau IV. 14 : : Résultats des essais de laboratoire des zones d'emprunts

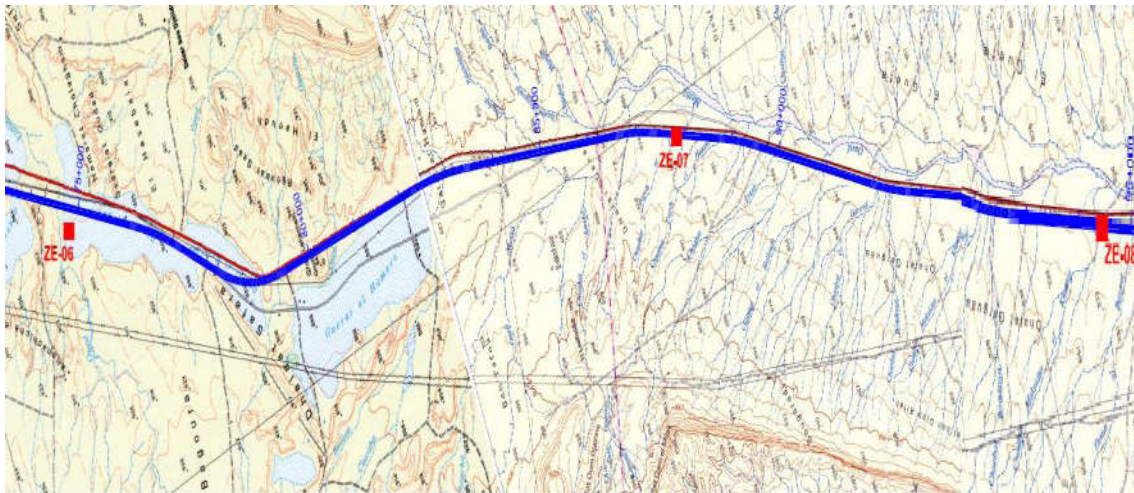


Figure IV. 6 : situation de gites d'emprunt

**I.5.B. Les Carrières :**

Un recensement des différentes carrières à agrégats pour la construction des différentes couches de l'assise de la plateforme et pour la confection du béton, a été effectuée. Le détail des exploitations minières implantées sur le territoire de la Wilaya de Laghouat, et la situation de ces sites sont donnés au tableau ci-après.

Sur le tableau de synthèse ci-après, est présenté un inventaire de carrières pour les besoins de granulats les plus proches du tracé avec les caractéristiques des granulats produits.

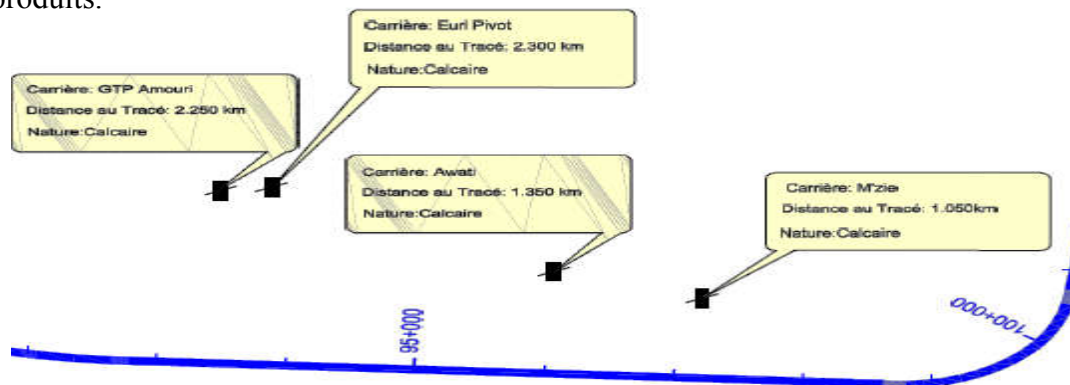


Figure IV. 7 : Situation des carrières

Provenance	Fraction	LA(%)	MDE(%)	A(%)	P(%)	Utilisation possible
Carrière m'zie	15/25	31.54	27.60	9.22	0.50	- Agrégats pour béton
	8/15	29.73	25.40	7.12	1.13	- Couche de sous-ballast
	3/8	27.00	24.00	12.06	0.28	- Couche de forme
Carrière awati	15/25	32.56	25.20	6.10	0.32	- agrégats pour béton
	8/15	31.61	23.60	7.92	0.80	- couche de sous-ballast
	3/8	31.70	25.90	11.10	1.75	- couche de forme
Carrière eurl pivot	15/25	26.88	21.00	5.39	0.32	- agrégats pour béton
	8/15	30.88	22.80	8.06	0.64	- couche de sous-ballast
	3/8	29.24	23.90	10.13	1.76	- couche de forme
Carrière GTP amouri	15/25	34.78	25.80	6.30	0.26	- agrégats pour béton
	8/15	35.13	24.32	7.90	1.38	- couche de sous-ballast
	3/8	30.20	22.26	11.80	0.60	- couche de forme

Tableau IV. 15 : Résultats des essais mécaniques et physiques des carrières

**NB :** Selon les exigences techniques, il s'avère que les résultats des essais au laboratoire obtenus ci-dessus, sont loin des valeurs demandées pour une éventuelle utilisation en ballast.

### **1.6. CONCLUSION :**

Après l'étude de la stabilité du talus rocheux on a conclu qu'on n'a pas un risque de glissement du massif global dans les conditions statique ( $F_s=3.5>1.5$ ), et dans les conditions sismiques ( $F_s=3.3>1$ ), mais on a risque de détachement des blocs « éboulement rocheux ».

Afin de se prémunir contre les risques d'éboulements rocheux, il convient de prévoir au niveau de cette zone, une protection adéquate des talus rocheux. Les mesures préventives à adopter au niveau de ces zones consiste en :

Travaux d'écaillage, consistant à faire chuter les blocs instables du massif.

Réalisation d'une protection consistant en l'installation d'un grillage métallique tout le long de la zone instable, en combinaison avec un clouage comme protection active doit être installée.

## **II. LES COUCHES D'ASSISE**

### **II.1. INTRODUCTION**

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

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

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel),
- Des caractéristiques globales de la plateforme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site,
- Des conditions climatiques du site,
- Du trafic (tonnage, charges, vitesses),
- De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses,...).

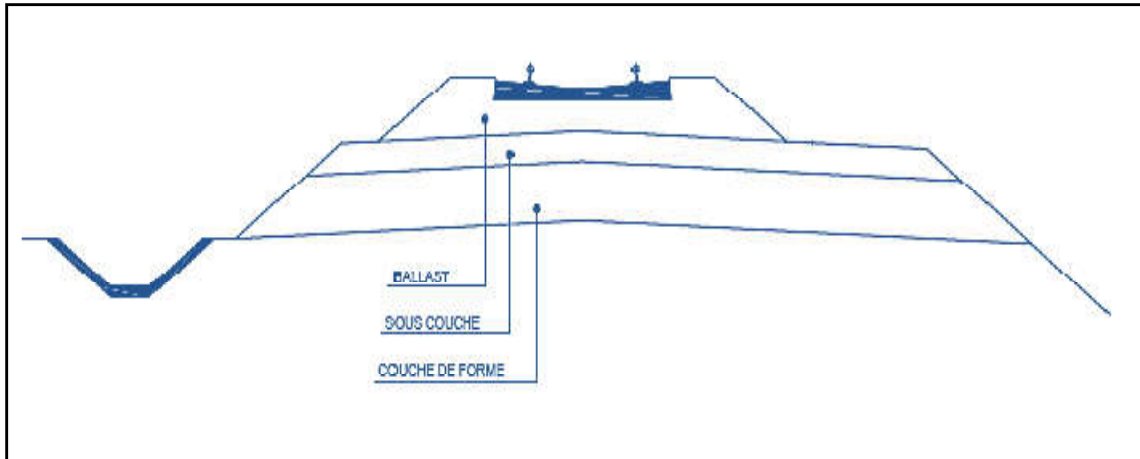


Figure IV. 8 : profil en travers type des couches d'assise

## II.2. **BALLAST :**

Le ballast est un matériau granulaire placé dans la partie supérieure des structures d'assises et entre les traverses. Ce granulat provient du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granit, diorite, rhyolite, quartzite, grès, calcaire).

Le ballast doit avoir des qualités de haute résistance et d'usure ; Il ne devra pas contenir des matières comme les matériaux organiques, métaux ou plastiques. Pour être compatible avec des longs rails soudés, la granulométrie du ballast devra être comprise entre 22.4 et 63 mm avec environ la moitié de gros éléments (à partir de 40 mm).



Figure IV. 9 : Ballast 22.4/63 mm

La couche de ballast joue un rôle très important dans le système de la voie ballastée.

Elle a différentes fonctions :

- Permettre l'ancrage longitudinal et latéral de la voie,
- Amortir une part des vibrations mécaniques et acoustiques induites par les circulations,
- Transmettre jusqu'à la plateforme les charges concentrées appliquées sur les traverses, avec des niveaux d'effort acceptables pour la sous-couche, en limitant le tassement permanent de la voie,
- Faciliter les opérations de maintenance et de mise en place de la voie,
- Assurer le drainage immédiat des eaux pluviales dans la voie.

La performance du ballast, pour arriver à répondre à ces fonctions dépend des caractéristiques des particules et notamment de leur granulométrie, forme (angularité), dureté et état de surface (texture, propreté).

#### **II.2.A. Caractéristiques du matériau du ballast :**

Le ballast est composé d'une roche concassée et la qualité du ballast devrait respecter la norme de l'EN 13450 :2002 : « Granulats pour ballasts de voie ferrées ». Le choix du matériau de ballast dépend des résultats des essais de contrôle en matière de résistance mécanique, de granularité et de forme.

##### **❖ La Forme :**

Les grains de ballast sont de forme polyédrique avec des arêtes vives. La présence de grains allongés nuit à la stabilité de la couche compactée du fait de la possibilité d'attrition de ses particules. La forme du ballast de voie ferrée doit être déterminée par le coefficient d'aplatissement, Ce coefficient doit être l'essai de référence pour la détermination de la forme du ballast de voie ferrée. Il doit être exprimé par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau suivant :

Coefficient d'aplatissement	Catégorie FI
$\leq 15$	<b>FI<sub>15</sub></b>
$\leq 20$	<b>FI<sub>20</sub></b>
$\leq 35$	<b>FI<sub>35</sub></b>
$\geq 35$	<b>FI<sub>Déclaré</sub></b>

Aucune exigence	<b>FI<sub>NR</sub></b>
-----------------	------------------------

Tableau IV. 16 : : Ballast 22.4/63 mm

❖ **La granulométrie :**

La granularité du ballast de voie ferrée, déterminée conformément à l'EN 933-1, doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau suivant :

Maille de tamis mm	Ballast voie ferée 31.5 mm/ 50 mm		Ballast de voie ferrée 31.5mm/63mm			
	Pourcentage en masse passant					
	Catégorie de granularité					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97 a100	95a100	97a99	95a99	93a99
50	70a99	70a99	70a99	65a99	55a99	45a70
40	30a65	30a70	25a75	30a65	25a75	15a40
31.5	1a25	1a25	1a25	1a25	1a25	0a7
22.4	0a3	0a3	0a3	0a3	0a3	0a7
31.5a50	≥50	≥50	≥50	-	-	-
31.5a63	-	-	-	≥50	≥50	≥50

Tableau IV. 17 : Catégories pour la granularité (Norme EN 13 450)

**NOTE 1 : l'exigence pour le passant au tamis de 22.4 mm s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de production**

**NOTE 2 : dans certains cas, il est permis d'utiliser un tamis de 25 mm au lieu du tamis de 22.4 mm si une tolérance de 0 à 5 s'applique**

❖ **La Propreté :**

Les grains de ballast doivent être expurgés du sable, de la terre, des poussières, des débris et des fines pouvant influencer la rugosité et le frottement entre grains qui sont à l'origine de la résistance macroscopique. La teneur en fines déterminée par tamisage doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau VI.2

Maille de tamis (mm)	Pourcentage maximal passant en masse				
	Catégorie de teneur en grains fins				
0.063	A	B	C	Déclaré	D
	0.5	1.0	1.5	>1.5	Aucune exigence

**Tableau IV. 18 : Catégories pour la teneur en grains fins (Norme EN 13450)**

❖ **La dureté :**

Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage. Les différents essais de résistance mécanique sont l'essai pour la résistance à la fragmentation « l'essai Los Angeles (LA) » et l'essai pour la résistance d'usure « l'essai d'usure micro Deval (MDE) ». Les valeurs de LA et MDE sont définies en fonction des trafics : LA≤22, MDE≤8.5, C'est la valeur pour une voie à trafic mixte comprenant la circulation de trains voyageurs à une vitesse de 220km/h, et de trains marchandises à vitesse maximale de 100km/h..

❖ **Perméabilité :**

Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme de la boue d'où instabilité des traverses qui s'y appuient (traverses boueuses ou danseuses) ;

Aussi, cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. En outre, la voie gelée perd son élasticité.

Si le ballast est insuffisamment perméable, les pluies y creusent des ravinelements qui créent des portes à faux compromettant l'assiette de la voie.

Un ballast souillé est un ballast qui a perdu sa perméabilité parce que ses vides se sont remplis de cendrées tombant des foyers des locomotives, de poussières de charbon, de déchets de ballast, de matières étrangères de toute nature. Après avoir traversé le ballast, les eaux viennent au contact de la plateforme et s'écoulent vers les fossés d'assèchement à la faveur de la pente de 4 % donnée à la plateforme.

❖ **Elasticité :**

Celle-ci dérive de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées.

Le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une masse compacte, comprimée sous le poids des trains et ne revenant pas lorsque la charge a disparu.

**II.3. LA SOUS-COUCHE :**

La sous couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche. La sous-couche est constituée de plusieurs couches :

- La couche sous-ballast : constituée de grave propre de tranche granulométrique 0/31.5 bien graduée avec une valeur de propreté  $\leq 1$  et un coefficient de forme  $A \leq 25$ , compactée à 100% de l'optimum Proctor modifié (OPM). Elle permet d'améliorer la portance du sol et la répartition des charges transmises ainsi que la protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.
- La couche de fondation : constituée de grave compactée à 95% de l'optimum Proctor, d'une épaisseur minimale de 15 cm. Elle protège la plateforme contre l'action des engins lors de la construction de la voie et n'est généralement pas nécessaire pour des substrats rocheux ou les sols de bonne qualité.
- La couche anti-contaminant : constituée de sable dont le rôle est de protéger les sous-couches supérieures de la remontée de particules fines de la plateforme. Cette couche est facultative mais peut être doublée d'un tapis géotextile ou géomembrane.

- La sous-couche a des rôles multiples :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises,
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires,
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast,

- Protection de la plateforme contre l'érosion et le gel, Évacuation des eaux de pluies.

- L'épaisseur et la nature de la sous-couche d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme,
- Des conditions climatiques du site,
- Des caractéristiques hydrologique et hydrogéologique du site.

#### II.4. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE :

Afin de réaliser une assise correcte pour la superstructure ferroviaire, permettant des vitesses élevées et assurant le confort des circulations, il convient d'interposer entre celle-ci et l'ouvrage en terre (ou l'ouvrage d'art) une ou plusieurs couches de matériaux de bonne qualité et d'épaisseur suffisante.

L'objet est de donner les règles de dimensionnement des différentes couches constituant cette assise.

##### II.4.A. Différents types de structures d'assise :

Lors de la construction d'une ligne nouvelle, il convient de mettre en place des structures d'assise de caractéristiques appropriées et d'épaisseurs suffisantes.

On distingue :

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

##### Les structures d'assise normales :

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

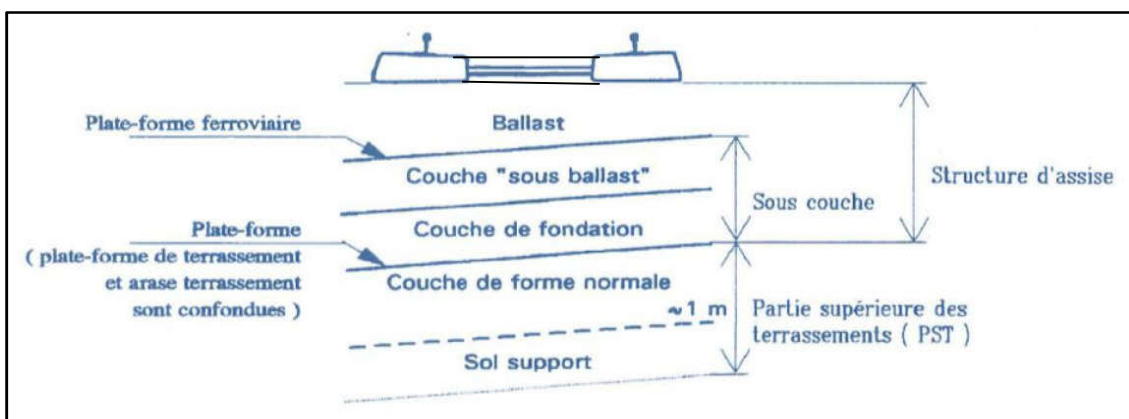


Figure IV. 10 : structure d'assise normale

**Les 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.

Pour des lignes nouvelles parcourues à grandes vitesses, on recherche généralement par cette technique à obtenir une plateforme de classe de portance P3.

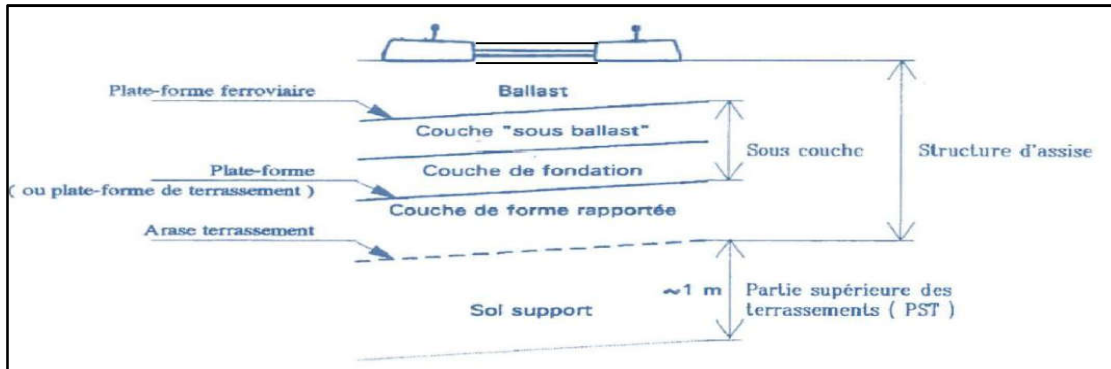


Figure IV. 11 : structure d'assise avec couche de forme rapportée

**Structures particulières :**

Dans la construction de lignes nouvelles, une géo-membrane peut être utilisée pour protéger de l'action des eaux de pluies des plateformes sensibles à l'eau.

Pour être efficace, cette technique nécessite de bonnes conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ; il faut alors apporter un soin particulier au rabattement et à la collecte des eaux de la nappe ou de percolations naturelles, pour éviter que celles-ci soient piégées sous la géo-membrane, il est également prudent d'aménager en plus de ces dispositifs une couche drainante sous la géo-membrane.

**III. APPLICATION AU PROJET**

**III.1. CALCUL DE L'ÉPAISSEUR MINIMALE DE LA COUCHE D'ASSISE :**

L'épaisseur de la couche d'assise « e=épaisseur du ballast+ épaisseur du sous couche » dépend des facteurs suivants :

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3),
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC 714),
- b : facteur dépendant de type de traverse,
- c : facteur dépendant des conditions de travail,
- d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules,
- f : facteur dépendant de la vitesse.

g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

L'épaisseur de la couche d'assise «e» est donnée par la formule :

$$e = E + a + b + c + d + f + g \text{ (Norme UIC 719R)}$$

**Valeurs de E est tiré du tableau de la fiche( UIC 719 R) :**

- E= 0.45 m pour une plateforme P3,
- E=0.55 m pour une plateforme P2,
- E=0.70 m pour une plateforme P1.

**valeur de a :**

a= 0 m ==> lignes de groupe UIC 1 et 2 , V> 200 Km/h,

a= -0,05 m ==> lignes de groupe UIC 3,

a = -0,1 m ==> lignes de groupe UIC 4, 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs,

a= - 0.15 m==> lignes de groupe UIC 7, 8,9 sans voyageurs.

**Valeur de b :**

b = 0 m : traverses bois de longueur L=2.60 m,

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

**Valeurs de C :**

c = 0 m: dimensionnement normal,

c = 0.1 m: lignes de groupe UIC 7, 8,9 sans voyageurs, et pour les voies de service de catégorie B, C.

**Valeurs de d :**

d = 0 m : si la charge nominale maximale d'essieu  $\leq 200$  kN,

d = 0,05 m : si la charge nominale maximale d'essieu = 225 kN,

d = 0,12 m : si la charge nominale maximale d'essieu = 250 kN,

d = 0,35 m : si la charge nominale maximale d'essieu = 300 kN.

**valeur de f :**

f = 0 m : pour toutes les lignes parcourues à une vitesse  $\leq 160$  km/h et pour la plateforme de classe de portance P3 des lignes quelles que soit la vitesse,

f = 0,05 : pour toutes les plates-formes de classe de portance P2 ou bien des lignes parcourues à grande vitesse  $V > 160$  km/h,

f=0,10 m : pour toutes les plates-formes de classe de portance P1.

**valeur de g :**

g =+ présence de géotextiles lorsque la couche de forme est en sol QS<sub>1</sub> ou QS<sub>2</sub>,

g =0 pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS<sub>3</sub>.

### III.2. APPLICATION AU PROJET :

#### III.2.A. Couche de forme

L'objectif de niveau de plate-forme est P3. Ce niveau sera atteint:

- Pour des plateformes de classe P1, avec 50 cm de couche de forme de matériau type QS3.
- Pour des plateformes de classe P2, avec 35 cm de couche de forme de matériau type QS3.

#### III.2.B. Classe de la plateforme :

La détermination de la qualité des plateformes et des sols types se fera comme suit :

- Détermination du type de sol à partir des caractéristiques géotechniques par la méthode décrit dans la fiche UIC 719 « ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires ».
- Détermination de la classe de la plateforme,
- En remblai, la PST sera réalisée par des matériaux non évolutifs ou peu évolutifs, ce qui permet de la classer au QS2.
- En déblai, Le tableau ci-après, synthétise la classification du sol selon l'UIC 719R:

PK déblai		Nature de matériaux	Classe de la plateforme (UIC 719 R)
début	Fin		
78+992	79+052	Limon argileux	QS1
79+280	79+500	Limon argileux	QS1
79+680	79+740	Limon sableux à sable limoneux / Grès	QS1
80+000	80+126	Grès	QS2
80+210	80+238	Limon sableux à sable limoneux	QS1

Tableau IV. 19 : : La classification des sols de la plateforme

#### III.2.C. Calcul de l'épaisseur minimale selon la fiche UIC 719 R :

L'étude des couches de la plateforme a été réalisée en accord avec la fiche UIC 719, où l'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche est donnée par l'expression :

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

#### ❖ Epaisseur des différentes couches :

Avec une qualité moyenne de sol type QS1 et QS2, et pour une voie rapide ( $V > 220 \text{ km/h}$ ), la plateforme doit être de type P3, ce qui nécessite de mise en place d'une couche de forme de type QS3.

Les données de base pour l'élaboration des coupes transversales types à prendre en considération sont :

- Système de la voie : rail UIC sur des traverses en béton.
- Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 E = 0.45\text{m pour les plateformes de classe de portance P3} \\
 a = 0 \text{ (V=220km/h)} \\
 b = \text{type et longueur de la traverse : } L = 2,40 \text{ m } \implies b = 0,05 \text{ m} \\
 c = \text{ligne nouvelle} = 0 \text{ m} \\
 d = 0.05 \text{ m la charge maximale à l'axe (22.5 t/essieu)} \\
 g = (\text{QS1})=0.01\text{m} = \text{Géotextile nécessaire}
 \end{array} \right.$$

====> L'épaisseur calculée est de 0.55m comme suit :  $e = 0.45 + 0.05 + 0.05 = 0.55 \text{ cm}$

➤ **Remblais et déblais classe QS1 :**

L'épaisseur des différentes couches est :

Ballast: 30 cm (sous traverse),

Sous-ballast: 25 cm,

Couche de forme de type QS3 : 50 cm,

Géotextile : 1 cm,

Épaisseur totale de la plateforme : 101 cm.

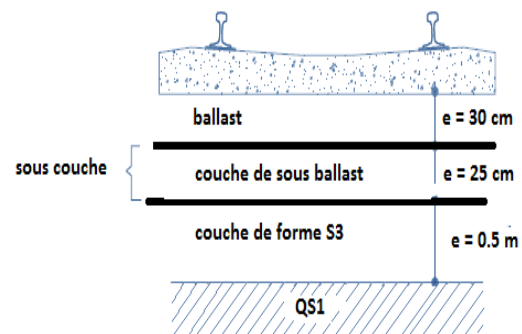


Figure IV. 12 : Schéma Remblais et déblais classe QS1

➤ **Remblais et déblais classe QS2 :**

L'épaisseur des différentes couches est :

Ballast: 30 cm (sous traverse),

Sous-ballast: 25 cm,

Couche de forme de type QS3 : 35 cm,

Épaisseur totale de la plateforme : 90 cm.

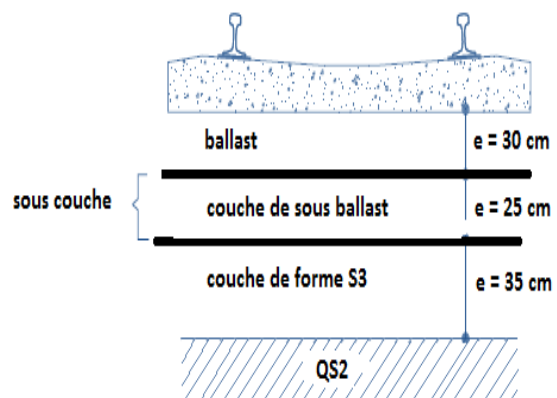


Figure IV. 13 : Schéma Remblais et déblais classe QS1

#### **IV. CONCLUSION :**

Les travaux de terrassements représentent une part importante du coût global de réalisation des projets ferroviaires. Cette importance justifie une recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts.

L'optimisation des solutions techniques consiste d'abord en un choix judicieux de tracé en plan et de profil en long des terrassements pour limiter au maximum les mouvements de terre en fonction de la qualité des matériaux exigés.

***CHAPITRE V . ÉTUDE***  
***HYDROLOGIQUE ET***  
***AMÉNAGEMENT LA ZONE***  
***INONDABLES***

## I. ÉTUDE HYDROLOGIQUE

### I.1. INTRODUCTION :

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

L'objectif principal de la présente étude est donc la prédétermination des débits de crues tout le long du nouveau tracé de cette voie ferrée afin d'éviter toute inondation de celle-ci.

### I.2. BASSIN VERSANT :

La nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat, Dans sa partie du PK75 au PK83, traverse le bassin versant du « chott Melhrir », qui s'étend sur sept wilayas : Biskra, Tebessa, Khenchla, Laghouat, Batna, M'sila et El Oued, présente une superficie de 68 750 km<sup>2</sup>. Le chott Melhrir est considéré parmi les grands bassins versants de l'Algérie. Ce bassin n'est pas constitué d'une seule unité, mais il se subdivise en une trentaine de sous-bassins versants. Il est caractérisé par des crues violentes, parfois dévastatrices. Tant dis que le réseau hydrographique est principalement de type endoréique.

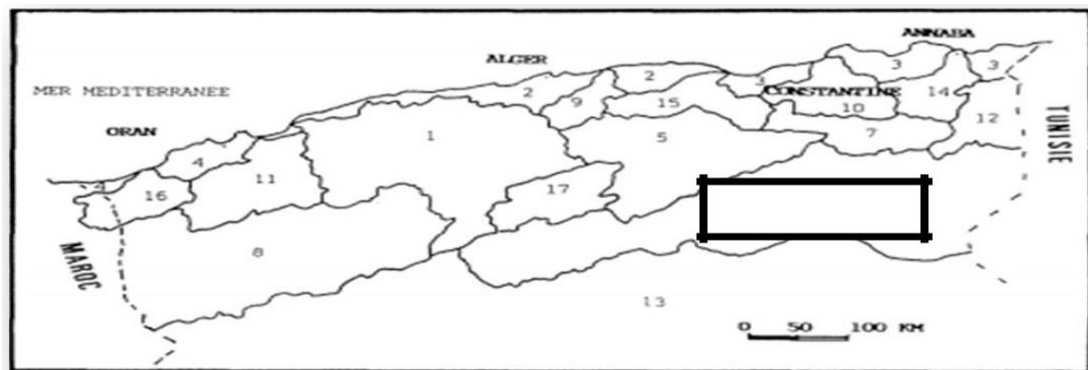


Figure V. 1 : les bassins versant du nord de l'Algérie

### I.3. LE CLIMAT :

Le climat de la zone d'étude est typique de la région des hauts plateaux à l'intérieur de laquelle elle se situe. Il s'agit d'un climat dit semi-aride qui est caractérisé par un hiver normalement froid et humide et par un été sec et chaud.

Mois	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	décembre
T°min(c°)	2.9	3.8	6.4	9.3	13.8	19.6	22.6	22.3	17.9	11.9	6.4	3.2
T°max(c°)	13.6	19.8	18.2	22.3	27.6	33.8	37.1	36.8	31.4	24.1	17.7	14.3
T°moy(c°)	8.2	11.8	12.8	15.8	20.7	26.7	29.8	29.5	24.6	18	12	8.7

**Tableau V. 1 : Les températures moyennes mensuelles**

L'examen du tableau précédent révèle qu'en période hivernale, le mois de janvier est le plus froid, avec des valeurs comprises entre 2,9°C et 13.6°C. Cela est dû aux altitudes plutôt élevées des stations de référence qui appartiennent toutes à l'Atlas saharien. À l'opposé, en période estivale, c'est le mois de juillet qui est le plus chaud, avec des moyennes de température maximale atteignant 37,1°C.

#### **1.4. LES PRÉCIPITATIONS :**

Les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité interannuelle et inter mensuelle. Elles sont plus grandes et abondantes en hiver alors qu'en été la sécheresse est dominante.

Cela est typique du climat décrit précédemment (semi-aride).

Mois	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	décembre
Précipitation (mm)	11.1	12.5	14.8	14.7	19.2	9.2	12	5.2	15.5	17.9	15.6	6.8

**Tableau V. 2 : Moyennes mensuelles des précipitations**

L'analyse des résultats du tableau précédent démontre l'existence d'une période pluvieuse s'étalant de septembre à mars, avec un maximum pluviométrique observé pendant le printemps, soit au mois de mai (19,2 mm). Tandis que les minimums sont observés durant la période estivale soit au mois de juillet (1.2mm), c'est la caractéristique essentielle du régime pluviométrique du climat semi-aride. Le nombre de jours de pluie est réduit pendant cette saison.

**1.5. PLUVIOMETRIE :**

L'étude de la pluviométrie de la zone du projet à la base des enregistrements de la station de Sidi Mekhlouf qui est la plus proche au tronçon étudié nous a donné les résultats suivants

Période de retour	Pimax(mm)
Pj 10	29.4
Pj50	42.4
Pj100	48.8

**Tableau V. 3 : pluie journalier maximale de la station de sidi Makhloof.**

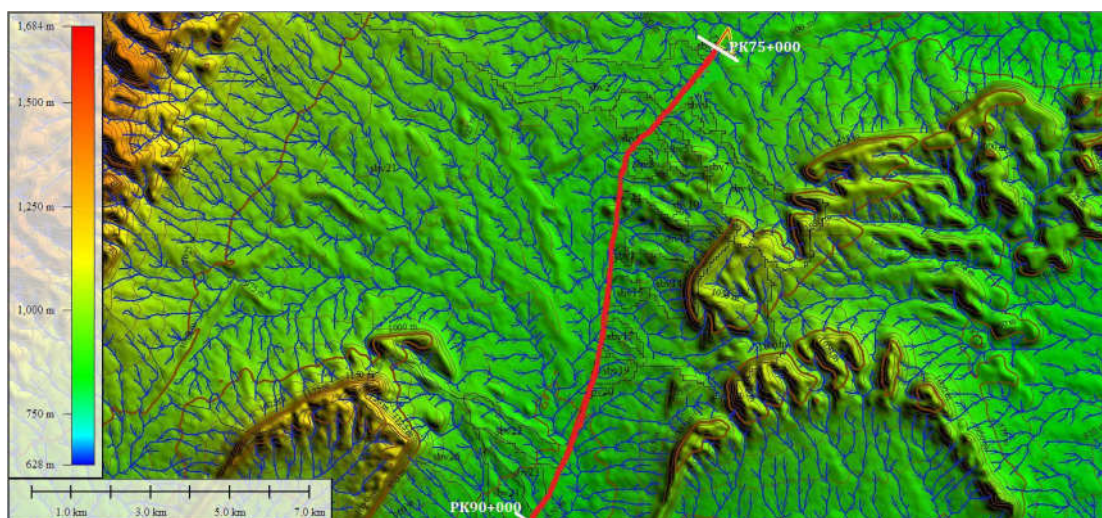
L'exposante climatique « b » est prise égale à 0.20

**1.6. CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANT :**

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

- Surface ,
- Périmètre,
- Longueur de talweg,
- Pente moyenne,
- Altitude max,
- Altitude min.

Ces derniers ont été calculé on utilisant un système d'information géographique « le global mapper V15.0».



**Figure V. 2 : image STRM des bassins versant**

Les caractéristiques de bassin versant sont récapitulées dans le tableau suivant :

PK	A	P	Hmax	Hmin	Hmoy	Imoy(%)	Ltalweg
75+212	0.1574	2.112	899	890	894.5	1.61	0.18
75+630	4.742	18.16	938	893	915.5	1.52	5.6
76+240	0.3309	3.844	916	896	906	1.31	1
76+440	0.0645	1.301	903	895	899	1.58	0.1
77+380	5.897	18.094	1081	896	988.5	7.79	6.31
77+580	0.921	6.27	960	894	927	4.57	1.82
78+300	8.342	21.95	1079	891	985	6.39	7.3
78+590	0.528	3.558	939	890	914.5	3.18	0.8
79+200	2.573	10.809	1074	893	983.5	6.26	3.34
79+760	0.112	1.507	925	893	909	6	0.18
80+475	2.94	10.279	1074	888	981	8	3.02
81+140	0.0967	1.429	905	883	894	3.73	0.1
82+040	9.888	18.737	1093	880	986.5	7.61	8.61
83+000	0.3304	3.181	908	884	896	2.66	0.7

**Tableau V. 4 : Caractéristiques des bassins versant**

## **II. CONCEPTION GÉNÉRALE D'UN SYSTEME D'ASSAINISSEMENT :**

On distingue les trois cas suivants :

### **II.1. TRACÉ EN REMBLAI :**

- Buse sous le tracé sur les points bas du terrain d'un diamètre calculé selon le débit.
- Dalots sous le tracé au franchissement des oueds, de dimensions calculées en fonction de l'importance de l'oued et des quantités d'eau arrivants.
- Fossés de drainage au pied du remblai.

### **II.2. TRACÉ EN DEBLAI :**

Fossés de drainage de part et d'autre de la plate-forme de la voie, de dimensions calculées en fonction de la quantité d'eau.

Fossés de crêtes avec merlon de protection sur l'arête supérieure du talus de déblai. Cascades dans le talus de déblai pour les évacuations transversales à partir des points bas des fossés de crête.

**NB** : la couche de forme est toujours inclinée d'une pente de 4% de part et d'autre pour un drainage rapide des eaux ruisseler au niveau de la plateforme.

### **III. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUE :**

Les dimensions des ouvrages retenus sont celle qui répond à la condition suivante :

$$Q_a < Q_s$$

Tels que :

Q<sub>a</sub> : débit d'apport en (m<sup>3</sup>/s).

Q<sub>s</sub> : débit de saturation de l'ouvrage en (m<sup>3</sup>/s).

#### **III.1. REGLES A RESPECTER DANS LE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUE :**

Selon le référentiel technique Chapitre 7.2.3 – Hydraulique drainage, 5 règles essentielles doivent impérativement être respectées et prise en considération pendant le dimensionnement des ouvrages hydraulique. Ils sont comme suit:

- L'écoulement doit se faire à surface libre, pour le débit de projet considéré en régime permanent, La hauteur d'eau (y compris le remous) correspondant à ce débit ne doit pas dépasser 90 % de la hauteur de l'ouvrage. Pour les dalots et cadres une revanche de 0.50m doit être respectée (corps flottants ...).
- Pour les buses ou dalots, le fil d'eau à l'amont en entrée de collecteur doit respecter les contraintes de tirant d'air. Le fil d'eau à l'amont de la tête est déterminé en considérant une vitesse d'écoulement nulle.
- La hauteur d'eau à l'amont de la tête doit alors rester inférieure à 1,2xDN de l'ouvrage lorsqu'il s'agit d'un buse circulaire et 1,0xhauteur de l'ouvrage s'il s'agit d'un dalot.
- Les vitesses d'écoulement pour le débit de projet doivent être inférieures à 5 m/s. Dans les zones considérées comme sensibles du point de vue de la sécurité de la ligne ou des riverains, un test de vulnérabilité à 1.8\*Q100 est effectué. Ce test

doit permettre de vérifier que le niveau atteint à l'amont est inférieur au niveau de plateforme - 0,50m.

Les petits ouvrages comportent une tête à chacune de leurs extrémités.

Ces têtes ont pour fonction :

- D'améliorer les conditions hydrauliques d'entonnement.
- De raccorder l'ouvrage aux dispositifs amont et aval (géométrie, altitude).
- De protéger le talus contre les érosions.

### **III.2. ÉSTIMATION DES DEBITS D'APPORTS :**

Pour dimensionner un ouvrage d'assainissement il est indispensable de prévoir des débits d'apport en eau pour une période de retour de 100 ans (les ouvrages hydraulique dans les chemins de fer sont dimensionné pour des crues centennale, selon le référentielle technique chapitre 7.2.3 – Hydraulique drainage). Pour l'estimation de ces débits on utilise la méthode dite « *Méthode rationnelle* », qui prend en considération l'intensité (I), la période de retour (T), et la durée de l'averse (prise égale au temps de concentration du bassin versant considère  $T_c$ ).

$$Q_a = K.C.I. A$$

### **III.3. DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE RUISSELEMENT :**

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 :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Cette méthode prend en considération la pente du terrain naturelle « C1 », la perméabilité « C2 » et la couverture végétale « C3 », du bassin versant. Les paramètres C1, C2, C3 sont déterminé à partir des tableaux suivants :

Pente	C1
P < 3.5%	0.01-0.03-0.05
3.5% < P < 11%	0.06-0.08-0.1
11% < P < 35%	0.12-0.16-0.20
35% P	0.22-0.26-0.30

**Tableau V. 5 : Coefficient C1**

Nature de terre	Coefficient C2
Imperméable	0.22-0.26-0.30
Imperméable presque	0.06-0.08-0.1
Perméable	0.12-0.16-0.20
Bonne perméabilité	0.22-.026-0.30

**Tableau V. 6 : Coefficient C2**

Etat de la végétation	Coefficient C3
Couvert de roches	0.22-0.26-0.30
Gazon	0.17-0.21-0.25
Champs cultivé	0.07-0.11-0.15

**Tableau V. 7 : Coefficient C3**

### **III.4. CALCUL DE L'INTENSITE DE LA PLUIE :**

La détermination de l'intensité de la pluie, comprend les différentes étapes de calcul suivantes :

#### **III.4.A. Temps de concentration(Tc)**

Par définition, c'est le temps que met la goutte d'eau la plus lointain dans le bassin versant pour atteindre l'exutoire, il est estimé respectivement par la formule de petites bassin, Passing et Giandothi, comme suit :

$$T_c = \begin{cases} 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{I_{MOY}}}, & \text{si } A < 5 \text{ km}^2. \\ \frac{0.108 \times \sqrt[3]{A L_{talweg}}}{\sqrt{I_{MOY}}}, & \text{si } 5 \text{ km}^2 < A < 25 \text{ km}^2. \\ \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L_{talweg}}{\sqrt{I_{moy}}}, & \text{si } 25 \text{ km}^2 < A < 200 \text{ km}^2. \end{cases}$$

Où :

$T_c$  : temps de concentration (heurs).

$A$  : superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

$L_{talweg}$  : longueur du talweg (km).

$I_{moy}$  : pente moyenne du bassin versant (m/m).

$H$  : la différence entre la côte moyenne et la côte minimale (m).

#### III.4.B. Pluie maximale :

$$P_t(f\%) = P_j(f\%) \times \left(\frac{t}{24}\right)^2$$

- $P_t(f\%)$  : pluie maximale de durée « t » de fréquence « f » en (mm).
- $P_j(f\%)$  : hauteur de pluie journalière maximale de fréquence « f » en (mm).
- $b$  : paramètre climatique.
- $t$  : durée de l'averse égale au temps de concentration (heures).

#### III.4.C. Calcul de l'intensité de pluie :

$$I(t) = \frac{P(t)}{T_c}$$

### III.5. ESTIMATION DU DÉBIT DE SATURATION :

Le débit de saturation ou le débit capable de l'ouvrage est calculé par la formule de Manning-Strickler.

$$Q_s = K_{st} \times S \times R_h^{2/3} \times i^{1/2}$$

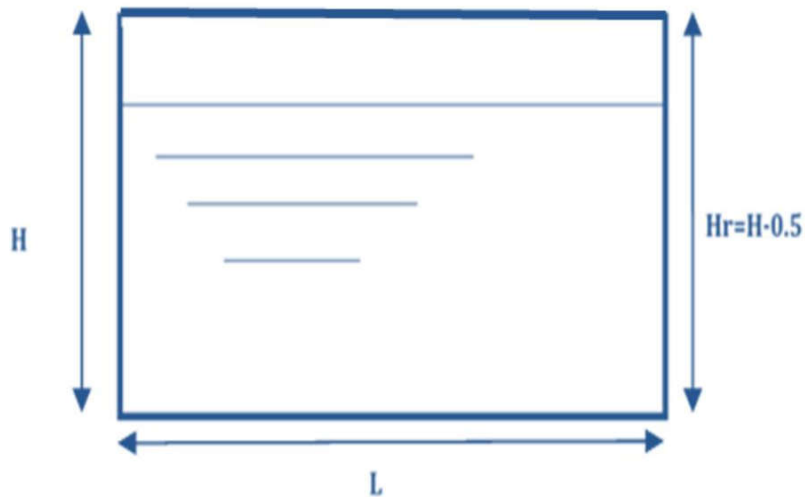
avec 
$$R_h = \frac{S_m}{P_m}$$

Pour faciliter la tâche on propose les éléments préfabriqués avec les dimensions et les débits de saturation définie dans les tableaux ci-dessous .

**Dalots :**

Type dalot	H(m)	L(m)	Hauteur de remplissage H(m)	Périmètre mouillée $P_m$ (m)	Section mouillée $S_m$ (m)	Rayon hydraulique	Pente de pose de l'ouvrage (i)			
							Vitesse (m/s)		Débit de saturation $Q_s$ (m <sup>2</sup> /S)	
							0.5%	1%	0.5%	1%
C1	2.0	1.5	1.50	4.70	2.40	0.51	2.89	4.09	6.51	9.21
C2	2.5	2.0	2.00	6.00	4.00	0.67	3.50	4.96	14.03	19.84
D5	5.00	2.50	4.5	11.50	11.25	0.98	4.53	6.41	50.96	72.06

**Tableau V. 8 : calcul hydraulique pour les dalots**



**Figure V. 3 : schéma d'un dalot**

**III.6. BUSE :**

type de buse	Diamètre nominale (mm)	Hauteur de remplissage $H_r$ (m)	$P_M$ (m)	$S_m$ (m <sup>2</sup> )	$R_h$	Pente de pose de l'ouvrage i			
						Vitesse (m/s)		Débit de saturation $Q_s$ (m <sup>3</sup> /s)	
						0.5%	1%	0.5%	1%
B2	1500	0.8 DN	3.31	1.51	0.46	2.72	3.85	4.11	5.81

**Tableau V. 9 : calcul hydraulique pour les buses**

**NB :** Le coefficient de rugosité de Manning Strickler ( $k_{st}$ ) est égal à 65 dans le cas des ouvrages hydraulique en béton.

#### IV. VERIFICATION DES CONDITIONS D'AUTO CURAGE

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier que la vitesse d'écoulement a  $0.1Q_{ps}$  et a  $0.01Q_{ps}$  :

$$\text{soit : } \begin{cases} v > 0.7 \text{ m/s pour } Q = 0.1 Q_{ps} \\ v > 0.3 \text{ m/s pour } Q = 0.01 Q_{ps} \end{cases}$$

De plus il faut que la vitesse d'écoulement dans les ouvrages hydrauliques ne dépasse pas les 5m/s.

#### V. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE TRAVERSE :

Le tableau suivant récapitule les résultats de calcul hydraulique et les aménagements proposés pour les rétablissements des écoulements naturels.

PK	Tc(h)	I(mm/h)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Aménagement proposé	Pente de pose l'ouvrage	Condition auto curage
75+200	0.397	49.11	0.924	B2	0.5	Vérifié
75+630	2.243	12.29	6.96	C1	0.5	Vérifié
76+240	0.638	33.60	1.17	B2	0.5	Vérifié
76+440	0.256	69.68	0.636	B2	0.5	Vérifié
77+380	1.276	19.30	12.02	C3	0.5	Vérifié
77+580	0.570	36.77	4.80	C1	0.5	Vérifié
78+300	1.658	15.65	15.61	C3	0.5	Vérifié
78+590	0.517	39.74	2.50	C1	0.5	Vérifié
79+200	0.814	27.65	8.11	C1	1	Vérifié
79+800	0.173	95.25	1.27	B2	1	Vérifié
80+475	0.769	28.92	10.16	Pont ferroviaire 30 m	-	
81+100	0.204	83.52	0.853	B2	0.5	Vérifié
81+620	0.597	35.41	6.37	C1	0.5	Vérifié
82+040	1.696	15.36	18.16	C3	1	Vérifié
83+000	0.447	44.63	1.55	B2	1	Vérifié

Tableau V. 10 : dimensionnement des ouvrages de traversé

**V.1. DIMENSIONNEMENT DES FOSSÉS :**

**V.1.A. Fossés de pied de remblais et de déblais :**

Pour le dimensionnement des fossés on prend le cas le plus défavorable, dans le cas des déblais et le cas des remblais.

	Cas de déblais (PK80+080)			Cas de remblais (PK82+020)		
	Donnés	Intensité [mm/(h*ha)]	Débit d'apport(m <sup>3</sup> /s)	Donnés	Intensité [mm/(h*ha)]	Débit d'apport (m <sup>3</sup> /s)
<b>talus</b>	H=20m I=300% L=120m	78.34	0.0261	H=13.40m I=50% L=1288m	78.3	0.1879
<b>berme</b>	L=3m I=2% L=120m	78.34	0.00392	L=3m I=2% L=1288m	78.3	0.0420
<b>plateforme</b>	L=6m L=120m I=4%	78.34	0.00784	L=6m L=1288m I=4%	78.3	0.0841
<b>totale</b>	Qa=Qtalus+Qbermes+Qplate forme. Qa=0.0418			Qa=Qtalus+Qbermes+Qplate forme. Qa=0.3141		

**Tableau V. 11 : calcul des débits d'apports pour les déblais et les remblais**

Pour la forme géométrique on prend des fossés trapézoïdales d'une pente de 1 :1.5 de chaque côté.

On appliquant la formule de maning-strickler ( $Q_s = K_{st} \cdot S \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$ ) et l'inégalité ( $Q_a < Q_s$ ), on obtient la formule itératif suivant qui nous permet de tirer les dimensions des fossés.

$$h_{n+1} = \left[ \frac{Q_a}{K_{st} \cdot b \sqrt{i}} \right]^{3/5} \frac{\left( 1 + \frac{2h_n \sqrt{1+m^2}}{b} \right)^{2/5}}{1 + \frac{mh_n}{b}}$$

Tels que :

ks = 70 (fossé en béton).

b : largeur du fossé (prise égale à 0.5m).

h : Profondeur du fossé (m).

Pour le cas des déblais on prend des fossés trapézoïdales de 0.5m/0.5m (largeur/profondeur) et une pente de 1 :1.5 de chaque côté.

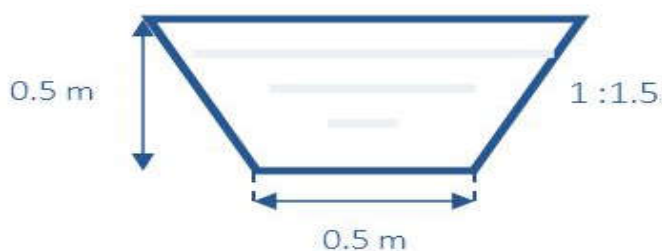


Figure V. 4 : schéma d'un fossé en déblais

Pour le cas des remblais, on prend des fossés trapézoïdales de 0.5m/0.9m (largeur/profondeur) et une pente de 1 :1.5 de chaque côté.

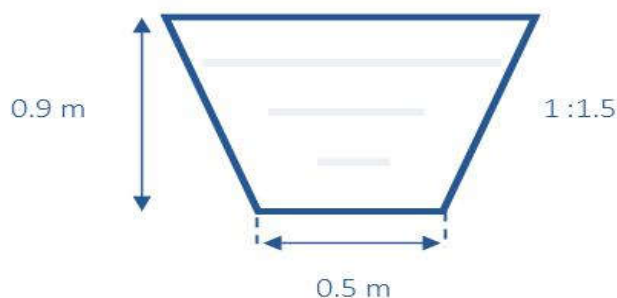


Figure V. 5 : schéma d'un fossé en remblais

#### **V.1.B. Fossés de crête de déblais :**

On prévoit des fossés trapézoïdaux de 0.5m/0.5m (largeur/hauteur), consolider sur toute la longueur pour éviter l'érosion, la pente longitudinale des fossés est adapté à la pente naturelle de terrain.



Figure V. 6 : schéma d'un fossé de crête de déblais

Les eaux collectées par les fossés doivent être acheminé vers un exutoire (point de rejet) pour les éloigner de l'assise ferroviaire, et les remettre dans un écoulement naturel. Le tableau VII. 12 représente les points de rejet pour le cas en remblais, et le tableau VII.13 pour le cas en déblais.

Début	Fin	Longueur	Pente	Point de rejet
75+311	75+880	569	1%	75+311
75+880	76+100	220	1%	75+880
76+487	77+112	625	-1%	76+440
77+112	78+200	1088	1%	78+300
78+825	79+200	375	1%	79+570
79+200	79+250	50	1%	79+200
79+520	79+660	140	1%	79+200
79+760	79+990	230	1%	81+100
79+990	80+000	10	-1%	81+100
80+130	81+100	970	1%	81+100
81+100	81+620	520	-1%	81+620
81+620	82+040	420	-1%	82+040
82+040	83+000	960	1%	82+040
83+000	83+180	180	1%	83+000

**Tableau V. 12 : points de rejet des fossés de remblais**

Début	Fin	Longueur	Pente	Pont de rejet
79+250	79+520	270	1%	79+520
79+660	79+760	100	1%	79+760
80+000	80+130	130	1%	80+130

**Tableau V. 13 : point de rejet des fossés de déblais**

## **VI. OUVRAGES D'ART :**

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

- Ponts rail
- Ponts routiers
- Passages inférieur (pont cadre)

➤ Des ouvrages hydraulique

Le tracé retenu totalise un ouvrages d'art pour franchir des oueds et des ouvrage busé ou dalots pour assurer le parcours les eaux du bassins

Tous les ouvrages d'art ont été dimensionnés pour une extension par une deuxième voie et une électrification ultérieure.

**VI.1. LOCALISATION DE L'OUVRAGE :**

L'ouvrage se situe au PK 80+452, il franchit la vallée de Oued EL OUARENA.

L'étude géotechnique révèle la présence des formations de sables limoneux peu graveleux .



Figure V. 7 : Photo reel de culée

**VI.2. PROFIL EN TRAVERS :**

Cet ouvrage est composé d'un tablier unique supportant deux voies, L'entre axe des deux voies est de 4.20m. Un entraxe d'au moins 3.25 m est établi entre l'axe des poteaux caténaire et l'axe de la voie. La largeur du tablier est de 12.90m.

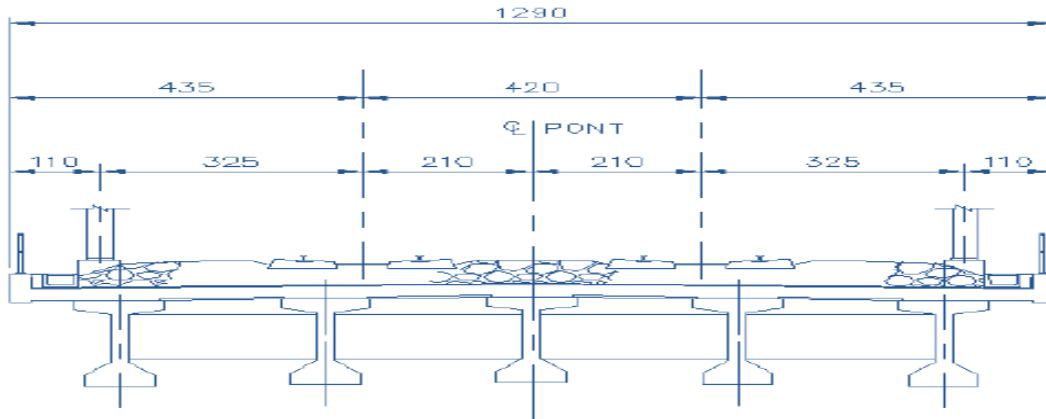


Figure V. 8 : profil en travers du pont

### **VI.3. PROFIL EN LONG :**

C'est une coupe verticale passant par l'axe de pont développée et représentée sur un plan à une certaine échelle.

L'ouvrage est composé d'une travée de 30m de longueur.

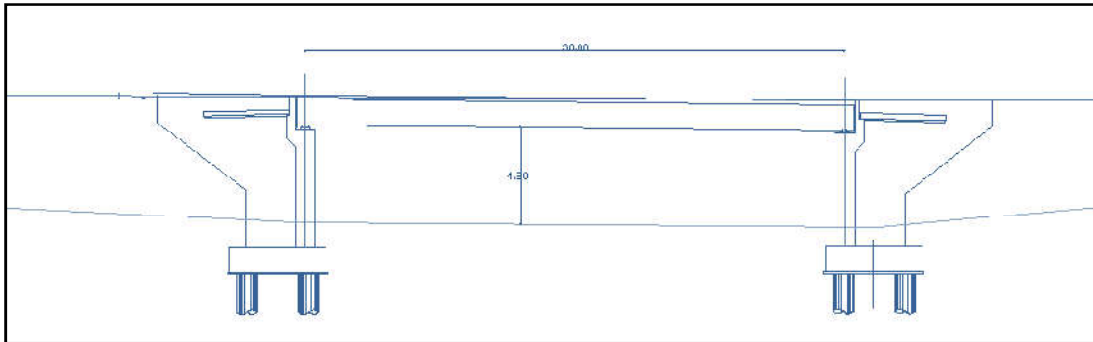


Figure V. 9 : profil en long du pont (PK 80+452)



Figure V. 10 : coupe longitudinale de pont au cours de réalisation

## ***VII. OUVRAGES EN TERRE DES ZONES INONDABLES :***

### ***VII.1. ZONES INONDABLES :***

Une inondation est une submersion plus ou moins rapides d'une zone, avec des hauteurs d'eau variables, elle est provoquée par des pluies importantes.

Face aux phénomènes d'inondations, les voies ferrées présentent une vulnérabilité plus forte que les routes.

En cas d'inondation d'une plateforme ferroviaire, c'est la stabilité de la voie elle-même qui est compromise.

En cas de sur-averse des écoulements sur le remblai, ce dernier sans revêtement risque très fortement de « s'effacer » par entraînement du ballast, puis des matériaux du remblai lui-même. Les dégâts sont conséquents et impliquent soit une régénération des structures d'assise de la voie soit une reconstruction complète de l'ouvrage.

Une zone inondable est décrite comme une dépression naturelle alimentée par un oued ou un cours d'eau dont le bassin versant varie. Cette zone est aussi appelée Dhaia.

## **VII.2. LOCALISATION DES ZONES INONDABLE :**

Le long du tracé on remarque la présence de quelque zones inondable, en utilisant la carte d'état-major et le rapport géotechnique, on a localisé quatre zones inondables, La localisation de ces zones est donnée dans le tableau suivant:

Zone inondable	PK	NPHE (m)
Z1- ELboura	75+000 au 75+311	1.513
Z2- EL BOURA	76+100 au 76+487	1534
Z3- EL hassiane	78+200 au 78+825	1.277

**Tableau V. 14 : localisation des zones inondables**

*NPHE : Niveau des plus hautes eaux par rapport à la cote du terrain naturel.*

## **VII.3. OUVRAGE PROPOSÉ :**

Face à ce phénomène qui menace la stabilité et la durabilité du projet. Les terrassements et le tracé dans ces zones doivent être traités d'une façon spéciale selon le référentiel technique de la SNTF « ouvrages en terre pour plateforme ferroviaire -chapitre 7 .2.2 – », pour assurer la stabilité de l'assise ferroviaire, le passage dans ces zones doit se faire par des Remblais avec noyau et enveloppe.

De plus pour assurer une meilleur circulation des eaux de part et d'autre de l'assise ferroviaire on prévoit des buses d'équilibres le long de la zone inondable.

### **VII.3.A. Remblais en zones inondables :**

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité, ils doivent être protégés par des enrochements latéraux avec interposition d'un dispositif anti-contaminant entre le corps de remblai et les enrochements.

Le géotextile, améliore la qualité anti-contaminant des structures d'assise ; il facilite également la mise en œuvre des couches d'assise en évitant l'orniérage des couches de forme en sol QS1 et QS2. Cette solution d'utiliser le géotextile permet d'augmenter la capacité de support des terrains de fondation des remblais.

Les blocs de protection (« Enveloppe ») ainsi que le matériau filtrant ont une hauteur de 0,5 m au-dessus de la hauteur de l'eau maximale. La largeur de zone d'enveloppe doit être 4 m à cause de raisons statiques. Le matériau filtrant correspond au gravier

anguleux sableux argileux, qui est compacté et moyennement dense, avec une granulométrie vaste échelonnée et une grandeur  $< 20$  mm, Le matériau d'enveloppe est défini comme 63 – 500 mm.

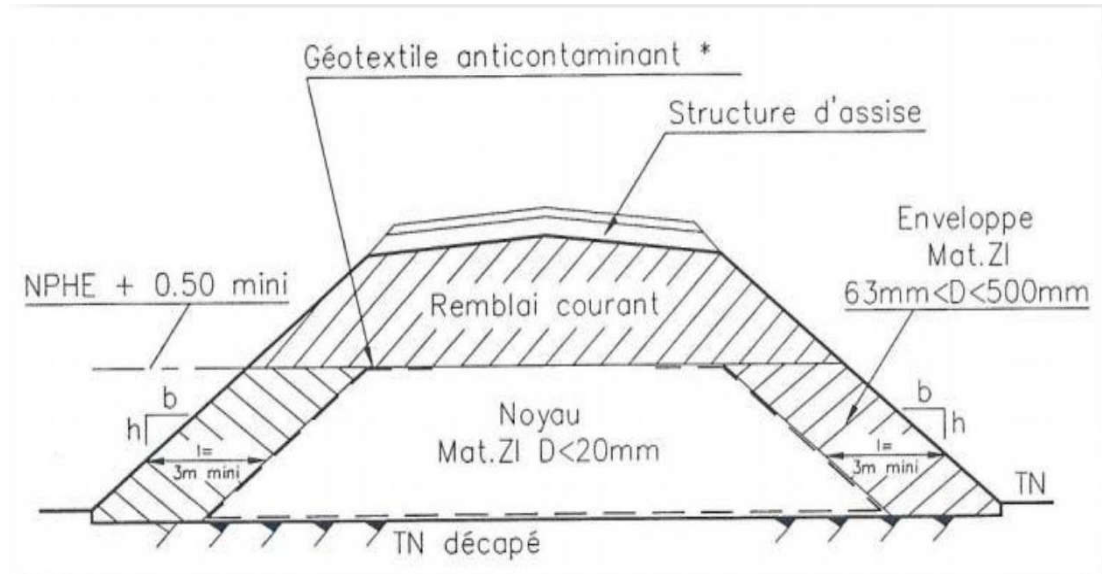


Figure V. 11 : remblai dans les zones inondables

de même; il faut prévoir une purge des alluvions et des argiles marneuses qui sont des sols impropres de qualité QS0, pour assurer une base non déformable, et une substitution par un matériau granulaire.



Figure V. 12 : remblai dans les zones inondables



Figure V. 13 : photo réel de remblai en noyau central

### VII.3.B. Les buses d'équilibre

On préconise des buses de  $\varnothing 1500$  pose chaque les 50m le long de la zone inondable.il faut vieller que la hauteur maximale des buses soit au même niveau que celui des eaux plus haut (NPHE) de la zone inondable.



Figure V. 14 : buse d'équilibre



*Figure V. 15 : Photo de buse après remplissage*

### ***VIII. APPLICATION AU PROJET :***

On a jointe un annexe 4 pour déterminer la localisation exact des buses et leurs plans .

### ***IX. CONCLUSION :***

Vu que le tracé croise de nombreux oueds, affluents oueds, qui nécessiteront l'aménagement d'un nombre considérable d'ouvrages hydraulique (10 dalots, 8 buses) et un ouvrage d'art ( pont ferroviaires) sont réalisés pour assurer le drainage des eaux

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

L'étude détaillée de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat du PK 75+000 au PK 83+000 dans les zones inondables qui ont été traitées par élévations du tracé avec création des ouvrages hydrauliques et des ouvrages d'arts pour assurer la stabilité de tracé et éliminer la probabilité de submersion, nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nos connaissances acquises durant notre formation, mais aussi de mieux appréhender notre avenir dans le monde professionnel. De plus, ce travail nous a permis de développer notre expérience sur le domaine et comprendre l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, CIVIL3D, GLOBAL MAPPER, SLIDE, PHASE2.

Pour notre étude nous avons respecté toutes les normes (U.I.C, SNTF) qu'on ne peut pas négliger, en évitant les contraintes rencontrées sur le terrain par des solutions techniques et économiques comme sur notre projet et dans les zones inondables on a fait des traitements techniques sur le remblai au long du tracé par réalisation des ouvrages hydrauliques au lieu de faire un grand viaduc qui serait plus coûteux.

Enfin, dans notre étude on a pris en considération, le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'économie et l'environnement, qui sont nos principes essentiels.

# RÉFÉRENCES

## **I. MEMOIRES ET THESE :**

Anciens mémoire de Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics sous les titres suivants :

**1-** Etude en APD de la nouvelle ligne à voie unique Tissemssilt-Boughzoul du pk 15 au pk 40 avec la conception de la gare du Colonel Boughara ( présenter par Dadda Abdelali , Djiribia Moussa Amine ).

**2-** Etude de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique BOUGHEZOUL-M'SILA (Pk 235+100 au Pk 250+100) Avec aménagement de la gare de AIN EL HADJEL ( présenter par Boudjellal Mohamed et Youcef Khaled ).

**3-** Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Double Voie Électrifiée (KHEMIS MILIANA- EL AFROUN) (Du pk 116+000 au pk 123+000) Avec L'aménagement de la gare de Khemis Miliana .

## **II. FICHE UIC:**

1. 719R : Ouvrages en terre et couches d'assises ferroviaire (2ème éditions du 01/01/1994).
2. UIC 709 Caractéristique géométriques du tracé parcourus par des trains de voyageurs rapides, union international de chemin de fer,

## **III. REFERENCES TECHNIQUES :**

1. Référence technique Chapitre 6 : Géométrie de la voie Version 2, SNTF, 22/12/2005.
2. -Référence technique Chapitre 7.2.2 – Ouvrages en Terre pour plates forme ferroviaires Version 2, SNTF, 22/12/2005.
3. Révérenciel technique Chapitre 9 : Constituants de la voie Version 2, SNTF, 22/12/2005.
4. Rapport géologique et géotechnique sur le tracé APD la ligne nouvelle à voie unique Djelfa-Laghouat, DESSAU, Octobre 2009.
5. Rapport Hydrologique sur le tracé APD la ligne nouvelle à voie Djelfa-Laghouat,DESSAU, Octobre 2009.

6. Conception du tracé de la voie courante  $V \leq 220$  km/h, Édition du 12-09-2006  
Version 01, SNCF.
7. [Alias, 1984] Alias, J. (1984). La voie ferrée. Eyrolles.

#### **IV. SITES INTERNET :**

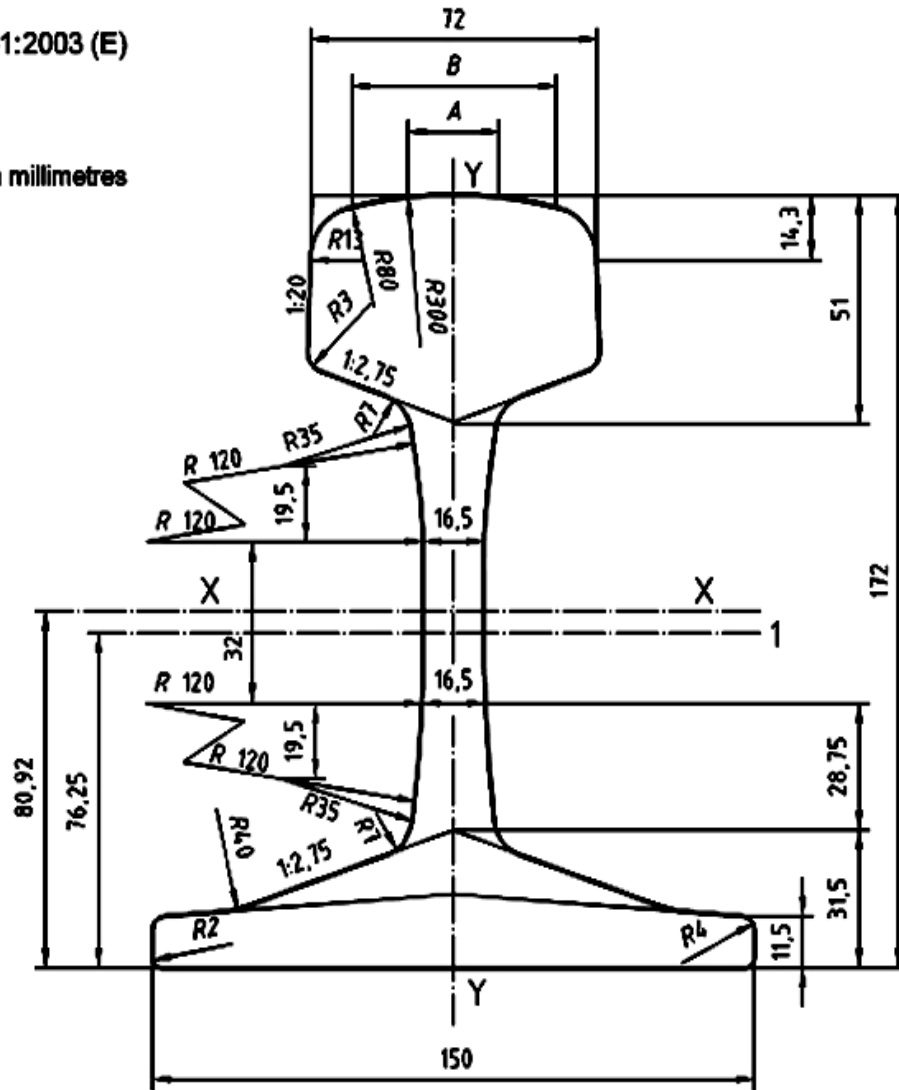
1. Société nationale des transports ferroviaire [<http://www.sntf.dz>].
2. Ministère des transports algériens [[www.ministere-transport.gov.dz](http://www.ministere-transport.gov.dz)].
3. ANESRIF [[www.anesrif.dz](http://www.anesrif.dz)].
4. Ainsi que d'autres sites (**Google, Wikipédia....etc.**).

# ANNEXE A

## (GEOMETRIQUES DU RAIL UIC 60)

EN 13674-1:2003 (E)

Dimensions in millimetres



**Key**

1 Centre line of branding

Cross-sectional area	: 76,70	cm <sup>2</sup>
Mass per metre	: 60,21	kg/m
Moment of inertia x-x axis	: 3038,3	cm <sup>4</sup>
Section modulus - Head	: 333,6	cm <sup>3</sup>
Section modulus - Base	: 375,5	cm <sup>3</sup>
Moment of inertia y-y axis	: 512,3	cm <sup>4</sup>
Section modulus y-y axis	: 68,3	cm <sup>3</sup>

Indicative dimensions : A = 20,456 mm  
B = 52,053 mm

## ANNEXE 1 « AXE EN PLAN » :

élément	Caractéristiques	Longueur (m)	Abscisse	X	Y
			75000.00	496230.117	3768837.776
DR1	ANG= 237.8017 (g)	11305.514			3767900774
			76130.51	495597.590	3767900.774
CLO2	A= 595.819				
	R=5000.000	71.000			
			76201.51	495557.726	3767842.022
ARC3	XC=491433.554				
	YC=3770668.894				
	R=5000.000	896.263			
			77097.78	494987.630	3767152.000
CLO4	A=595.819				
	R=5000.000	71.000			
			77168.78	494937.452	3767101.769
DR5	ANG=250.1172 (g)	827.089			
			77995.87	494351.536	3766518.007
CLO6	A+587.878				
	R=18000.000	192.000			
			78187.87	494217.969	3766380.114
AR7	XC=495554.584				
	Yc=3765174.518				
	R=18000.000	1075.061			
			79262.93	493771.363	3765419.723
CLO8	A=587.878				
	R=18000.000	192.000			
			79454.93	493751.989	3765228.728
DR9	ANG=205.3041 (g)	3377.780			
			82832.71	493470.888	3761862.665
CLO10	A=595.819				
	R=2500.000	142.000			
			82974.71	493457.732	3761721.281
ARC11	XC=490973.317				
	YC=3761999.993				
	R=2500.000	683.962			
			83658.67	493290.030	3761060.396

## ANNEXE 2 ( PROFIL EN LONG )

Elément	Caractéristiques Des Eléments	Longueur	Abscisse	Z
			75000.00	894.054
D1	PENTE= 0.00%	134.162		
			75134.16	894.058
PAR1	S=75206.78 Z=894.058			
	R = -17000.000	145.240		
			75279.40	894.678
D2	PENTE=0.85%	570.437		
			75849.84	899.552
PAR2	S=75878.82 Z+899.799			
	R=6390.946	57.955		
			75907.79	899.784
D3	PENTE=-0.05%	528.539		
			76436.33	899.507
PAR3	S=76472.27 Z=899.488			
	R=-17000.000	71.881		
			76508.21	899.621
D4	PENTE=0.37%	586.239		
			77094.45	901.792
PAR4	S=77148.85 Z=901.994			
	R=-8195.218	108.800		
			77203.25	901.473
D5	PE?TE=-0.96%	728.001		
			77931.25	894.504
PAR5	S=77976.02 Z=894.075			
	R =-9312.661	89.530		
			78020.78	894.077
D6	PENTE=0.00%	2396.968		
			80417.75	894.176
PAR6	S= 80468.25 Z=894.178			
	R=-11551.096	101.000		
			80518.75	893.739
D7	PENTE= -0.87 %	847.369		
			81366.12	886.364
PAR7	S= 81416.62 Z=885.925			
	R=-11605.863	101.000		
			81467.12	885.925
D8	PENTE= 0.00%	873.433		
			82340.55	885.925
PAR8	S=82372.55 Z=885.925			
	R= -6400099.478	64000		
			82404.55	885.925
D9	PENTE= 0.00%	746.326		
			83150.88	885.932

## **ANNEXE NUMÉRIQUE**

Le cd contient les annexes suivants :

- Annexe 2 : les plans des profil en longs de pk 75 au pk83 .
- Annexe 3 : les plans de profil en travers de pk75 au pk83 .
- Annexe 4 : les plans de buse et leur localisation sur le tronçons étudier .