

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية  
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics  
Francis Jeanson



**Mémoire**  
**Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat**  
**Filière : Travaux Publics**  
**Spécialité : Infrastructures de Base**

**Thème**

**Étude en APD de la nouvelle ligne minière ferroviaire BECHAR-GARA  
DJEBILET (TINDOUF) du PK787+700 au PK 799+700 avec la conception et  
l'aménagement  
de la gare des voyageurs Tindouf**

**Présenté par :**

M<sup>elle</sup>. ALLOUTI Chaima  
M<sup>elle</sup>. SOUIKI Ghada

**Encadré par :**

Mr. GOUMETTRE Ahmed  
Mr. RAHMANI Douadi

**Promotion 2023/ 2024**

# *Remerciements*

*Au premier lieu, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir aidé et donné la force et la volonté Patience pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement nos promoteurs **Mr. GOUMETTRE** et **Mr. RAHMANI** pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nous tenons à exprimer en particulier nos sincères remerciements à **Mr. OUALI Adel**, **Mr. SAADAOUI Houcine**, **Mr. OUAFI Mahieddine**.*

*Je remercie aussi tout le personnel de INFRAFER et SETIRAIL pour leur soutien et leurs remarques pendant toute la période du stage.*

*Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude aux professeurs de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics, qui nous ont fourni les outils essentiels à la réussite de notre étude. Nous adressons particulièrement nos sincères remerciements à **Mr. MORSLI Rabe** pour son soutien, son aide précieuse, ses conseils avisés et le temps qu'il nous a généreusement consacré.*

*Nous aimerions remercier le service de scolarité DIB, en particulier **Mme. MAKOUDI** et **Mme. BOUREBIA**, ainsi que tout le personnel de l'ENSTP pour leur appui et leur collaboration tout au long de notre parcours.*

*Nous tenons également à remercier toute l'équipe de la bibliothèque pour leur soutien et pour les nombreux ouvrages mis à notre disposition, qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.*

*Enfin, un grand merci à tous ceux et celles qui nous ont apporté leur soutien et leur aide, de près ou de loin, pour l'achèvement de ce projet. Nous vous exprimons ici notre vive et sincère reconnaissance.*

# *Dédicace*

## *Je dédie ce travail :*

*À mon défunt père en premier lieu À celui dont l'amour et le soutien ont été mes piliers inébranlables, Tes encouragements ont été la lumière qui a éclairé mon chemin académique, et ton souvenir restera à jamais gravé dans chaque page de ce mémoire. Ton héritage de dévouement et de persévérance continue de m'inspirer à chaque étape de ma vie. Ton absence est profondément ressentie, mais ton impact sur moi demeure vivant et puissant.*

*À ma mère, pour son soutien et sa compassion sans faille. Elle a été ma lueur dans l'obscurité, éclairant mon chemin jusqu'à la destination finale. Chaque pas que j'ai fait était nourri par son amour et sa douceur.*

*À mes frères **RIDA, ABDERRAHMAN**, et ma petite sœur **NADA**,*

*Je tiens à vous remercier pour votre soutien et votre présence. Vous avez su m'accompagner dans cette épreuve, comme vous l'avez fait à chaque étape de ma vie.*

*À ma chère compagne d'ingénierie, **MANEL MERDOUD**, ma meilleure amie.*

***ASMA, CHAIMA, KINA, BOUCHRA, AHMED**, qui ont partagé avec moi les joies, les doutes et les découvertes de cette aventure intellectuelle.*

*Enfin, à l'ingénieur que je suis en train de devenir, je dédie ce mémoire.*

**SOUIKI GHADA**

# *Dédicace*

## *Je dédie ce travail :*

*À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et leurs encouragements sans faille. Vous avez toujours été mes plus grands piliers, et c'est grâce à vous que j'ai pu mener à bien ce projet.*

*A ma grand-mère maternelle, **ZAHRA** qui m'accompagnait avec son douaa sans ennui, qu'Allah prolonge sa vie et lui accorde la santé.*

*À mes deux frères, **ABDERRAHIM** et **ABDERRAOUF**, pour leur présence rassurante et leur soutien fraternel. Vos encouragements et votre compréhension ont été d'une aide précieuse tout au long de ce parcours.*

*À mes amies, **SABRINE**, **GHADA**, **KINA**, **MANEL**, pour les moments partagés, les rires et les discussions enrichissantes. Votre amitié a rendu ce voyage académique beaucoup plus agréable et mémorable.*

*À ma chère **ASMA**, pour tous les moments que nous avons vécus ensemble dans ce court laps de temps. Nos rires, nos pleurs, et les souvenirs que nous avons créés dans notre chambre de cité universitaire resteront gravés dans ma mémoire à jamais. Ta présence a été une source inestimable de réconfort et de joie.*

*Enfin, je dédie ce mémoire à moi-même, en reconnaissance de mes propres efforts et sacrifices. Que ce travail soit le reflet de ma détermination, de ma persévérance et du chemin parcouru pour atteindre cet objectif.*

**ALLOUTI CHAIMA**

## ملخص

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية المنجمية الجديد الرابط بين منجم غار جيبيلات تندوف وبشار مع تهيئة محطة توقف القطارات لنقل المسافرين بمدينة تندوف. المقطع المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية 700+787 الى 700+799 بطول 12 كلم. صمم هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية. وتم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برامج النمذجة الهندسية والحساب

AUTOCAD 2020, COVADIS 2017, et AUTOPISTE et GOOGLE EARTH PRO

الكلمات المفتاحية: سكة حديدية، المحطة.

## RESUME

Le présent projet consiste essentiellement en étude (A.P.D) de la nouvelle ligne ferroviaire minière à voie unique reliant Tindouf à Béchar Le tronçon étudié prend son origine du PK 787+700 et prend fin au PK 799+700, sur un linéaire de 12 Km, sur lequel on prévoit la conception d'une gare de voyageurs de la ville de Tindouf.

Le projet a été élaboré suivant les normes internationales 'UIC' (Union Internationale des chemins de fer), et les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire).

La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels :  
AUTOCAD 2020, COVADIS 2017, et AUTOPISTE et GOOGLE EARTH PRO.

Mots clés : Chemins de fer, Gare.

## ABSTRACT

This project consists essentially of the detailed design study (APD) of the new single-track railway line linking Bechar to Tindouf the section studied originates from PK 787+700 to end at PK 799+700, on a linear of 12 km, on which will be construed a station of passengers of the city of Tindouf.

The project was developed according to the international standards 'UIC' (International Union of Railways), and the Algerian recommendations of the 'SNTF' (National Railway Transport Company).

the geometric modeling of the project was carried out using the software tools:  
AUTOCAD 2020, COVADIS 2017, AUTOPISTE et GOOGLE EARTH PRO.

Key words: Railway, Station.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE :</b>	<b>1</b>
<b>I L'ENSABLEMENT</b>	<b>3</b>
I.1 INTRODUCTION :	3
I.2 L'ENSABLEMENT :	3
I.3 IMPACTS NEGATIFS DE L'ENSABLEMENT SUR LA VOIE FEREE :	4
I.4 MECANISME DE CAUSES DES DEGATS D'ENSABLEMENT :	4
I.4.1 Le vent :	4
I.4.2 Le sol :	6
I.5 L'ETAT DE VEGETATION :	7
I.6 IDENTIFICATION DES SECTIONS SUSCEPTIBLES D'ETRE ENSABLEES :	7
I.7 LES SOLUTIONS POUR LUTTER CONTRE L'ENSABLEMENT :	8
I.7.1 La fixation des dunes :	8
I.7.2 La végétalisation :	9
I.7.3 Haies naturelles :	10
I.7.4 Mise en place de dispositifs physiques :	10
I.7.5 Surveillance et maintenance régulière :	11
I.7.6 Quadrillage :	11
I.8 DES TECHNIQUES EFFICACES UTILISES POUR LA CONCEPTION DES TRACES FERROVIAIRE EN ZONE DESERTIQUE :	11
I.9 CONCLUSION :	13
<b>II PRESENTATION DE PROJET</b>	<b>15</b>
II.1 INTRODUCTION :	15
II.2 DESCRIPTION DU PROJET :	15
II.3 PRESENTATION DE LA ZONE ETUDIEE :	16
II.4 OBJECTIF DU PROJET :	16
II.5 SITUATION GEOGRAPHIQUE :	16
II.5.1 Relief :	16
II.5.2 Climat :	17
II.5.3 Sismicité :	17
II.6 CARACTERISTIQUES DU PROJET :	18
II.7 CONCLUSION :	18
<b>III SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE</b>	<b>20</b>
III.1 INTRODUCTION :	20
III.2 LES ELEMENTS DE VOIE :	20
III.2.1 Le rail :	20
III.2.2 Traverses :	22
III.2.3 Le système d'attache :	24
III.2.4 L'appareil de voie :	24
III.2.5 Appareils de dilatation :	26
III.3 CONCLUSION :	26
<b>IV TRACE EN PLAN</b>	<b>28</b>
IV.1 INTRODUCTION :	28
IV.2 TRACE EN PLAN :	28
IV.3 LES CONDITIONS ET LES REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :	28
IV.4 DESCRIPTION DU TRONÇON DE PK 787+700 AU PK 799+700 :	28
IV.5 LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN :	29
IV.5.1 L'alignement :	29
IV.5.2 Arc de rayon :	29
IV.5.3 La courbe de raccordement :	29

IV.6	PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ :	30
IV.6.1	Longueur minimum des éléments de tracé :	30
IV.6.2	Rayon minimale :	30
IV.6.3	Dévers :	31
IV.7	RACCORDEMENTS PROGRESSIFS :	34
IV.8	APPLICATION AU PROJET :	35
IV.8.1	Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan :	36
IV.8.2	Les raccords progressifs :	37
IV.9	CONCLUSION :	37
<b>V</b>	<b>PROFIL EN LONG :</b>	<b>41</b>
V.1	INTRODUCTION :	41
V.2	REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :	41
V.3	ELEMENT GEOMETRIQUE DU PROFIL EN LONG :	41
V.3.1	Les déclivités droites :	41
V.3.2	Raccords de déclivités :	42
V.4	PARAMETRE DU TRACE A RESPECTER :	42
V.4.1	La déclivité maximale :	42
V.4.2	Longueur minimale des déclivités :	42
V.4.3	Rayon admissible en raccords de profil en long :	43
V.5	LE PROFIL EN LONG RETENUE :	43
<b>VI</b>	<b>ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.....</b>	<b>47</b>
VI.1	INTRODUCTION :	47
VI.2	ETUDE GEOLOGIQUE :	47
VI.2.1	Situation géographique :	47
VI.2.2	Formes géomorphologiques :	47
VI.2.3	Cadre géologique :	48
VI.2.4	Litho stratigraphie :	50
VI.2.5	Sectorisation géologique :	51
VI.2.6	Risques géologiques :	52
VI.3	ETUDE GEOTECHNIQUE :	52
VI.3.1	Travaux de reconnaissance et campagne d'essai :	52
VI.3.2	Sondages réalisés :	54
VI.3.3	Essai in-situ :	55
VI.3.4	Essais laboratoire :	56
VI.3.5	La lithologie de terrain :	60
VI.3.6	Zone à risque :	60
VI.3.7	Les matériaux de déblai :	62
VI.3.8	Les matériaux de remblais :	62
VI.3.9	L'importance de l'arasement de terrassement :	63
VI.4	CONCLUSION :	63
<b>VII</b>	<b>DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE .....</b>	<b>65</b>
VII.1	INTRODUCTION :	65
VII.2	CONSTRUCTION GENERALE DE LA STRUCTURE D'ASSISE :	65
VII.2.1	La couche d'assise :	65
VII.2.2	La plateforme ferroviaire :	68
VII.3	DIMENSIONNEMENT DES COUCHES D'ASSISE :	69
VII.3.1	Calcul de l'épaisseur du ballast:	69
VII.3.2	Calcul de l'épaisseur de sous couche :	69
VII.4	CONCLUSION :	71
<b>VIII</b>	<b>ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE .....</b>	<b>73</b>
VIII.1	INTRODUCTION :	73
VIII.2	DESCRIPTION HYDROGRAPHIQUE DE ZONE DE PROJET :	73
VIII.3	CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE :	74

VIII.3.1	La Température :	74
VIII.3.2	Analyse des données pluviométriques :	74
VIII.3.2.2	La Pluie annuelle	75
VIII.3.2.3	Les pluies maximales journalières	76
VIII.4	LE BASSIN VERSANT :	77
VIII.4.1	Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :	77
VIII.4.2	Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :	77
VIII.4.3	Caractéristiques des bassins versants :	78
VIII.5	CALCULE HYDRAULIQUE :	78
VIII.5.1	Calcule le Temps de concentration « Tc » :	79
VIII.5.2	Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :	80
VIII.5.3	Coefficients de ruissellement :	82
VIII.6	APPLICATION AU PROJET :	83
VIII.7	DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE :	86
VIII.7.1	Types d'ouvrages transversaux :	86
VIII.7.2	Types d'ouvrages longitudinaux :	86
VIII.7.3	Ouvrages de raccordement :	87
VIII.7.4	Dimensionnement des ouvrages transversaux :	87
VIII.7.5	Dimensionnement des ouvrages longitudinaux :	91
VIII.8	LES ZONES INONDABLES :	94
VIII.9	CONCLUSION :	94
<b>IX</b>	<b>PROFIL EN TRAVERS</b> .....	<b>96</b>
IX.1	INTRODUCTION :	96
IX.2	PROFIL EN TRAVERS TYPE :	96
IX.3	LE PROFIL EN TRAVERS COURANT :	96
IX.4	LES ELEMENTS DE PROFIL EN TRAVERS :	96
IX.5	CONSTITUANTS DE PROFIL EN TRAVERS :	97
IX.6	PROFIL EN TRAVERS AFFECTES AU PROJET :	97
<b>X</b>	<b>TERRASSEMENT ET OUVRAGE D'ART</b> .....	<b>103</b>
X.1	TERRASSEMENT :	103
X.1.1	INTRODUCTION :	103
X.1.2	SECTION EN DEBLAI :	103
X.1.3	SECTION EN REMBLAI :	103
X.1.4	TASSEMENT :	103
X.1.5	ETUDE DE STABILITE DE REMBLAIS (LOGICIEL) :	103
X.1.6	CALCULE DE VOLUMES DE TERRASSEMENT :	103
X.2	LES OUVRAGES :	104
X.2.1	INTRODUCTION :	104
X.2.2	METHODOLOGIE DE CONCEPTION CHOISIES :	104
X.2.3	LES OUVRAGES DU PROJET :	105
X.2.4	PROTECTION DES RÉSEAUX :	108
X.3	CONCLUSION :	109
<b>XI</b>	<b>CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE</b> .....	<b>111</b>
XI.1	INTRODUCTION :	111
XI.2	TYPES DE GARE :	111
XI.3	AMENAGEMENT DE LA GARE :	111
XI.4	RESEAU DE VOIE :	112
XI.4.1	La marge de glissement à l'aval des signaux :	112
XI.4.2	Garage franc :	112
XI.4.3	Longueur utile d'une voie de stationnement :	112
XI.5	CARACTERISTIQUE DES INSTALLATIONS DE LA GARE :	113
XI.5.1	Heurtoir :	113
XI.5.2	Les Quais :	113
XI.6	DESCRIPTION DE LA GARE DE TINDOUF :	114

XI.7	CONCEPTION DE LA GARE DE TINDOUF :	114
XI.8	APPAREIL DE VOIE :	115
XI.8.1	Choix des appareils de voie :	115
XI.9	TRACE EN PLAN :	116
XI.10	PROFIL EN LONG :	116
XI.11	ASSAINISSEMENT DE LA GARE :	116
XI.11.1	Assainissement transversal :	116
XI.11.1	Assainissement longitudinal :	116
XI.12	CONCLUSION :	116
<b>XII</b>	<b>SIGNALISATION FERROVIAIRE.....</b>	<b>119</b>
XII.1	INTRODUCTION :	119
XII.2	SIGNALISATION :	119
XII.2.1	Rôles de l'installation de signalisations :	119
XII.2.2	Types de signalisation :	119
XII.3	FONCTION DES SIGNAUX :	120
XII.4	IMPLANTATION DES SIGNAUX :	120
XII.5	PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRE ET LEURS INDICATION :	120
XII.6	CANTONNEMENT :	121
XII.7	LE PRINCIPE DU SYSTEME ERTMS :	121
XII.8	SYSTEME DE SIGNALISATION PROPOSER POUR NOTRE PROJET :	122
XII.9	CONCLUSION :	122
<b>XIII</b>	<b>ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>124</b>
XIII.1	INTRODUCTION :	124
XIII.2	LES ZONES URBANISEES PRISE EN COMPTE :	124
XIII.3	L'IMPORTANCE D'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :	124
XIII.4	DESCRIPTION DU MILIEU .....	124
XIII.4.1	L'environnement physique :	124
XIII.4.2	L'environnement biologique :	125
XIII.4.3	Environnement socio-économique.....	125
XIII.4.4	Infrastructures de transport .....	125
XIII.5	ANALYSE DES IMPACTS DIRECTES ET INDIRECTES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT .....	126
XIII.5.1	IMPACTS DE LA PHASE DE REALISATION :	126
XIII.5.2	IMPACTS DE LA PHASE EXPLOITATION :	127
XIII.6	MESURES PRISES POUR LA COMPENSATION DES IMPACTS :	128
XIII.7	CONCLUSION :	129
<b>XIV</b>	<b>DEVIS ESSTIMATIF QUANTITATIF : .....</b>	<b>131</b>
<b>XV</b>	<b>PLANIFICATION DU PROJET .....</b>	<b>135</b>
XV.1	INTRODUCTION :	135
XV.2	DEFINITION DU MS-PROJECT :	135
XV.3	LES ETAPES DE PLANIFICATION D'UN PROJET PAR MS-PROJECT :	135
XV.4	DIAGRAMME DE GANTT :	135
XV.5	LES OBJECTIFS DE LA CONCEPTION DE MS PROJECT :	136
XV.6	APPLICATION SUR NOTRE PROJET :	136
XV.7	LE SCHEMA EXPLICATIF DE PROGRAMME PROPOSE.....	136
	<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>139</b>
	<b>ANNEXE</b>	



## *Liste des figures*

Figure I-1 : La zone de projet Béchar – Gara Djebilet (ENSABLEMENT INTENSE).....	3
Figure I-2 : Déraillement d’un train à cause d’ensablement.....	4
Figure I-3 : Distribution de vitesse .....	5
Figure I-4 : Distribution de fréquence de classe de vent .....	6
Figure I-5 : Spécification de palissades typique .....	8
Figure I-6 : Dunes longitudinales dans la région de Tindouf (Image Landsat 8) .....	9
Figure I-7 : Végétalisation d’un remblai.....	10
Figure I-8 : Détail d’haie naturelle.....	10
Figure I-9 : Carroyage de palmes destinées à protéger la section routière à Tindouf .....	11
Figure I-10 : Les zones ont risque d’ensablement le long de tracé entre PK787+700 à 800+000 .....	12
Figure I-11: Les mesures prise en compte Pour la protection de la ligne Ferroviaire contre l’ensablement....	13
Figure II-1 : la ligne ferroviaire GARA DJEBILET(Tindouf)-Béchar -Arzew .....	15
Figure II-2 : le tronçon Béchar-GARA DJEBILET (Tindouf) .....	16
Figure II-3 : Géologie de la zone d’étude .....	17
Figure II-4 : Température moyenne calculée durant la période de 1991 – 2021 .....	17
Figure II-5 : Carte zonage sismique de l’Algérie.....	18
Figure III-1 : Rails Vignole.....	21
Figure III-2 : La soudure aluminothermique .....	22
Figure III-3 : Travers en bois .....	23
Figure III-4 : Travers en béton.....	23
Figure III-5: Traverse bibloc.....	23
Figure III-6 : Traverse monobloc.....	24
Figure III-7 : : Les attaches Nabla .....	24
Figure III-8 : L’appareil de voie ADV .....	25
Figure IV-1 : Les éléments de tracé en plan .....	28
Figure IV-2 : Schéma du dévers .....	31
Figure V-1 : les éléments de profil en long.....	42
Figure VI-1 : Situation administrative du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000. ....	47
Figure VI-2 : Formes géomorphologiques rencontrées dans la zone traversée par le tracé du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000. ....	48
Figure VI-3 : Cadre géologique général de la zone du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000. ....	49
Figure VI-4 : Cadre local du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000. ....	50
Figure VI-5 : différentes caractéristiques de sol de la région de tindouf.....	51
Figure VI-6 : classification de matériaux selon leur nature .....	58
Figure VI-7 : zone inondable du Pk 794+225 au Pk 795+000 .....	60
Figure VI-8 : zone inondable du Pk 797+975 au Pk 798+400 .....	61
Figure VII-1 : Elément de la superstructure .....	65
Figure VII-2 : infrastructure superstructure type de projet Béchar-Gara Djebilet.....	71
Figure VIII-1 : Réseau hydrographie de la Wilaya de Tindouf. ....	73
Figure VIII-2 : la topographie de la Wilaya de Tindouf.....	73
Figure VIII-3 : diagramme de variation des températures moyennes mensuelles.....	74
Figure VIII-4 : diagramme de pluviométrie mensuelle moyenne à Tindouf.....	75
Figure VIII-5 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF). ....	77
Figure VIII-6: La délimitation des bassins versants sur les cartes d’état-major. ....	79
Figure VIII-7 : fosse trapézoïdale. ....	92
Figure X-1: La Vue en plan de Viaduc 797+780 AU PK 798+165 .....	105

Figure X-2 : PASSAGE SUPERIEUR au niveau du Pk 788+755 .....	107
Figure X-3 : PASSAGE INFERIEUR au niveau du PK 791+090 .....	107
Figure X-4 : Croisement de conduite de gaz avec l'axe .....	108
Figure XI-1 : Schéma illustratif du garage franc .....	112
Figure XI-2 : Schéma illustratif de la longueur utile .....	113
Figure XI-3 : Figures représentatives d'un heurtoir .....	113
Figure XI-4 : schéma illustratif de la distance entre le quai et l'entraxe de la voie .....	115
Figure XI-5 : schéma illustratif de la géométrie de l'ADV .....	115
Figure XII-1 : Schéma illustratif de cantonnement.....	121
Figure XII-2 : Les trois niveaux de système de contrôle des trains ERTMS .....	122
Figure XV-1: exemple de diagramme de GANTT .....	135

## *Liste des tableaux*

Tableau I-1 : sections de la voie ferrée susceptibles d'être ensablées de notre tronçon étudié.....	7
Tableau I-2 : Implantation des mesures de végétalisation et des haies naturelles par section, par PK projet .	12
Tableau IV-1 : Paramètres de conception du projet.....	29
Tableau IV-2 : Valeurs limites des longueurs minimales des éléments du tracé (SNTF) .....	30
Tableau IV-3 : Valeurs limites du dévers .....	32
Tableau IV-4 : Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).....	33
Tableau IV-5 : Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).....	33
Tableau IV-6 : Valeurs limites de l'Insuffisance du devers (SNTF).....	34
Tableau IV-7 : Valeurs limites de la variation de l'insuffisance du devers (SNTF).....	34
Tableau IV-8 : Valeurs limites de l'excès du devers (SNTF).....	34
Tableau IV-9 : valeurs recommander par SNTF et la fiche UIC 703 .....	35
Tableau IV-10 : Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan .....	36
Tableau V-1 : Paramètres du profil en long.....	42
Tableau V-2 : Longueur minimale des déclivités .....	42
Tableau V-3 : Valeurs de Rayon vertical minimale.....	43
Tableau VI-1 : programme géotechnique des sections en remblai .....	53
Tableau VI-2 : programme géotechnique pour les ouvrages d'art .....	53
Tableau VI-3 : résultats de la lecture piézométrique .....	55
Tableau VI-4 : résultats d'essai PDL.....	55
Tableau VI-5 : résultats d'essai SPT .....	56
Tableau VI-6 : résultats des essais physiques de sondage carotté .....	56
Tableau VI-7 : résultats des essais physiques des puits de reconnaissance .....	57
Tableau VI-8 : résultats d'essais chimique.....	59
Tableau VI-9 : gites utilisés sur chantier .....	62
Tableau VII-1 : exigences de fabrication de ballast.....	66
Tableau VII-2 : La classe la portance de la plate-forme.....	69
Tableau VII-3 : épaisseurs et matériaux de couche d'assise de la plateforme.....	70
Tableau VIII-1 : Températures moyenne mensuelles de Tindouf (1992-2020) .....	74
Tableau VIII-2 : Pluviométrie mensuelle moyenne de la période 1992-2020.....	75
Tableau VIII-3 : Caractéristiques de pluies annuelles .....	75
Tableau VIII-4 : estimation des pluies annuelle pour des périodes de retour données.....	75
Tableau VIII-5 : pluies maximales journalières.....	76
Tableau VIII-6 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour.....	76
Tableau VIII-7 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour .....	76
Tableau VIII-8 : Les caractéristiques des bassins versants.....	78
Tableau VIII-9 : Le Temps de concentration calculé en 3 méthodes .....	80
Tableau VIII-10 : récapitulatif des paramètres hydrauliques des bassins versants pour les trois périodes de retour .....	84
Tableau VIII-11: Récapitulatif des résultats de calcul du débit des bassins versants la méthode rationnelle axe principal du PK 787+700 au PK 799+700.....	84
Tableau VIII-12: récapitulatif des résultats de calcul de débit des bassins versants la Méthode crupédix axe principal du PK 787+700 au PK 799+700.....	84
Tableau VIII-13 : Tableau récapitulatif des résultats de calcul de débit des bassins versants la méthode de Mallet – Gautier axe principal du PK 787+700 au PK 799+700.....	85
Tableau VIII-14 : Tableau récapitulatif des débits max des écoulements qui traversent le tracé pour des périodes de retour 10ans, 50ans, 100ans.....	85
Tableau VIII-15: Liste des Ouvrages prédimensionnés.....	87
Tableau VIII-16 : Valeur de KS selon SETRA .....	88

Tableau VIII-17 : Schéma d'un Dalot .....	89
Tableau VIII-18 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage. ....	90
Tableau VIII-19 : Liste globale des ouvrages projetés. ....	90
Tableau VIII-20 : Caractéristique hydraulique de notre viaduc .....	91
Tableau VIII-21 : débit apport cas remblai .....	93
Tableau VIII-22: Dimensionnement du fossé proposé pour la gare. ....	94
Tableau VIII-23: niveau NPHE .....	94
Tableau X-1 : Les cubatures de terrassement .....	104
Tableau X-2 : Les cubatures des couches d'assise .....	104
Tableau X-3 : caractéristique de l'ouvrages hydrauliques (viaduc) .....	105
Tableau X-4 : caractéristique de l'ouvrages hydrauliques (dalot) .....	106
Tableau X-5 : caractéristique de rétablissements routiers .....	106
Tableau X-6 : Liste des conduites de GAZ.....	107
Tableau X-7 : Liste des lignes électriques .....	108
Tableau X-8 : Liste des lignes de Télécom.....	108
Tableau XI-1 : les longueurs utiles de différentes voies de la gare .....	114
Tableau XI-2 : valeurs de données géométrie d'ADV .....	115
Tableau XI-3 : Tableau récapitulatif des résultats de l'étude hydraulique des ouvrages hydrauliques axe du gare voyageur Tindouf. ....	116
Tableau XIII-1 : Identification des impacts de la phase de réalisation.....	126
Tableau XIII-2 : Identification des impacts sur milieu physique .....	127
Tableau XIII-3 : Identification des impacts de la phase d'exploitation .....	127
Tableau XIII-4 : les mesures d'atténuation.....	128

## *Liste des symboles*

Symbole	Désignation	Unité
Lmin	Longueur minimale des alignements et des pleines courbes	m
R min	Rayon minimum de l'alignement circulaire	m
dth	Dévers théorique	mm
dp	Devers pratique	mm
dmax	Dévers maximum	mm
E	Excès de dévers	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
$\frac{\Delta d}{\Delta t}$	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dl}{dt}$	Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dd}{dl}$	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
A	Paramètre de la clothoïde	m
C	Coefficient de dévers	-
a <sub>v</sub>	Accélération centrifuge verticale	m/s <sup>2</sup>
Rv min	Rayon vertical minimum	m
p	Déclivité Pente	-
GF	Garage franc.	m
<b>Lu</b>	Longueur utile	m
W <sub>P</sub>	Limite de plasticité	-
W <sub>L</sub>	Limite de liquidité	-
I <sub>P</sub>	Indice de plasticité	-
γ h	Poids volumique humide	t/m <sup>3</sup>
γ d	Poids volumique sec	t/m <sup>3</sup>
γ opt	Poids volumique optimum	t/m <sup>3</sup>
ES	Equivalent de sable	-
Wn	Teneur en eau naturel	-
ωopt	Teneur en eau optimum	-
φ	Angle de frottement	°
C	Cohésion du sol	Bars
Sr	Degré de saturation	-
Rc	Résistance à la compression	Bars
Caco3	Carbonate de calcium	-
So4	Sulfate	-
Insolub	Pourcentage insoluble	-
T	Période de retour	ans
tc	Temps de concentration	h

V	Vitesse d'écoulement	m/s
Su	Section mouillée	m <sup>2</sup>
Pu	Périmètre mouillé	m
Rh	Rayon Hydraulique	m
P max,j	Pluies maximales journalières	mm
i	L'intensité de pluie	mm/h
I	La pente moyenne	m/m
Kc	L'indice de compacité de GRAVELIUS	-
K <sub>St</sub>	Coefficient de rugosité	-
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Q	Débit de crue	m <sup>3</sup> /s
Q <sub>ps</sub>	Débit a plein section	m <sup>3</sup> /s
Q <sub>a</sub>	Débit d'apport	m <sup>3</sup> /s

# Abréviations

**SNTF** : Société Nationale des Chemins de Fer.  
**ANESRIF** : Agence Nationale des Etudes et Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.  
**UIC** : Union Internationale des Chemins de fer.  
**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.  
**ONM** : l'Office National de la Météorologie.  
**COV** : composés organique volatils  
**APD** : Avant-Projet Détaillé  
**Pk** : Point kilométrique  
**FSR** : Face supérieure de roulement  
**ADV** : Appareils de voie  
**GF** : Garage franc.  
**VP** : Voie principale.  
**RN** : Route nationale.  
**PS** : Passage supérieur  
**PST** : Partie supérieure du terrassement  
**GTR** : Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme  
**QSi** : Classe du sol selon UI  
**LA** : Essai Los Angelos  
**MDE** : Essai Micro – deval.  
**CBR** : Essai de CBR  
**BV** : Bassin versant  
**RPOA** : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.  
**TN** : Terrain Naturel.  
**GPS** : Géo - Positionnement par satellite.  
**IDF** : Intensité - Durée – Fréquence.  
**Qps** : Débit pleine section.  
**VPs** : Vtesse pleine section.  
**H/V** : Horizontal / Vertical.  
**VBS** : Essai bleu de méthylène.  
**PU** : Puit de reconnaissance.  
**SC** : Sondage Carotté.  
**SPT** : Essai de Pénétration Standard.  
**B.V** : Bâtiment Voyageurs.  
**Lu** : Longueur Utile.  
**ERTMS** : Européen Railways Traffic Management System.  
**MT** : moyenne tension  
**HT** : haute tension

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## INTRODUCTION GENERALE :

Dans le monde moderne, l'infrastructure de transport joue un rôle vital pour plusieurs raisons. Son importance est inestimable. Elle a une influence directe sur la qualité de vie, la compétitivité économique et la durabilité environnementale. De ce fait, il est considéré comme une base incontournable pour le développement des investissements nationaux et étrangers.

Parmi ces infrastructures, le transport ferroviaire constitue de nos jours, un moyen de transport sûr et fréquemment utilisé, aussi bien pour les voyageurs que pour le transport des marchandises. La rapidité de ses déplacements par rail est l'atout que le ferroviaire a de tout temps cherché à développer pour concurrencer à la fois la route et le transport aérien.

Dans le cadre de l'exploitation de la mine de fer de Gara Djebilet située au Sud-Ouest de l'Algérie, une étude de conception de cette nouvelle ligne ferroviaire Bechar / Gara Djebilet a été décidée par les autorités de notre pays. La ligne Bechar / Gara Djebilet desservant les villes de Béchar, Abadla , Hassi Khebi Oum El Assel et Tindouf, d'une longueur d'environ neuf cent cinquante (950) km pour une vitesse d'exploitation à 160Km/h.

Notre sujet a porté sur étude en phase d'Avant-Projet Détaillé (APD) d'un tronçon de 12 km, débutant au PK 787+700 et se terminant au PK 799+700. Il est également prévu l'étude de conception d'une gare de voyageur.

Le travail s'articule sur les aspects suivants :

- Etude géométrique, géologique et géotechnique ;
- Etude de phénomène de l'ensablement ;
- Etude des contraintes ;
- Dimensionnement de la structure d'assise et Terrassement ;
- Etude hydrologique et hydraulique ;
- Profils en travers de la ligne projetée ;
- Aménagement de la nouvelle Gare voyageurs ;
- Signalisation et Impact sur l'environnement ;
- Enfin devis estimatif du projet.

---

# Chapitre I

# RECHERCHE

# BIBLIOGRAPHIQUE

# L'ENSABLEMENT

# I L'ENSABLEMENT

## I.1 INTRODUCTION :

Tous, au moins par des photos ou des images de télévision, connaissons les étendues de dunes qui forment une mer de sable typique des déserts. Les formes récurrentes, sculptées par le vent, s'étendent sur d'immenses espaces et leurs mouvements sont dangereux pour les zones agricoles, les habitations, mais aussi pour les infrastructures routières, ferroviaires et même pétrolières. La détérioration de l'environnement est causée par leurs effets et peut compromettre toute possibilité de développement socio-économique dans de vastes régions.

Malgré les efforts financiers considérables du gouvernement pour lutter contre ce phénomène et stabiliser les dunes, des ajustements sont nécessaires. Les vastes étendus sablonneuses du Grand Erg Occidental à l'ouest et du Grand Erg Oriental à l'est sont menacées par la mobilisation du sable par le vent, mettant en péril les infrastructures des régions arides comme Tindouf, Cette menace rapide compromet le développement économique, affectant les routes, les projets hydro-agricoles, les oasis et les agglomérations.

Dans notre Cas La voie ferrée BECHAR -GARA DJEBILET en construction est régulièrement interrompue après les tempêtes de sable. L'ensablement, priorité pour les régions arides et semi-arides, nécessite l'identification de techniques efficaces et de solutions abordables pour répondre aux besoins socioéconomiques locaux et lutter contre la désertification, Le défi majeur réside dans l'ensablement de notre ligne, principalement en raison de la localisation des régions de Tindouf et Béchar dans une zone désertique caractérisée par un climat aride, des températures élevées et des vents forts. Au fil du temps, les déplacements des dunes de sable peuvent obstruer les voies ferrées, perturbant ainsi le fonctionnement normal du transport ferroviaire.



Figure I-1 : La zone de projet Béchar – Gara Djebilet (ENSABLEMENT INTENSE)

## I.2 L'ENSABLEMENT :

Le phénomène d'ensablement c'est une manifestation spectaculaire de la désertification, pose un défi majeur en Algérie, couvrant actuellement 56% de sa superficie. On dit qu'il y a ensablement lorsque les grains de sable transportés par les vents ou par les eaux, s'accumulent quelque part, sur le littoral, au bord d'un cours d'eau, sur des terres cultivées ou incultes. Dans cette situation, les vents transportent les grains de

sable.

### **I.3 IMPACTS NEGATIFS DE L'ENSABLEMENT SUR LA VOIE FERREE :**

L'ensablement de la liaison ferroviaire entre Bechar et Gara Djebilet présente un risque significatif pour les activités ferroviaires de la région. La zone d'étude, en particulier du côté Ouest, est exposée à des conditions météorologiques extrêmes, notamment des tempêtes de sable et des vents puissants. Ces conditions météorologiques peuvent entraîner le dépôt de sable sur les voies ferrées, perturbant ainsi le fonctionnement habituel du réseau ferroviaire :

- ✓ Risque de déraillement et déviation hors la voie ;
- ✓ Dégradation accélérée des équipements ;
- ✓ Circulation avec une vitesse réduite et limitée ou arrêt complet ;
- ✓ Incidence sur la sécurité ferroviaire.

L'accumulation de sable peut endommager les rails, traverses et aiguillages, entraînant une usure prématurée et des réparations fréquentes.



**Figure I-2 : Déraillement d'un train à cause d'ensablement**

### **I.4 MECANISME DE CAUSES DES DEGATS D'ENSABLEMENT :**

Le déplacement des dunes est provoqué par le fait que les grains de sable sont entraînés par le Vent dans sa direction. En général, les sables commencent à déplacer lorsque la vitesse de Vent dépasse 12km/hr - 20km/hr. La quantité de sables déplacés augmente en proportion au Cube de la vitesse du vent, et plus de 90% de sables sont déplacés à l'inférieur de seuil de 30 Cm de hauteur par rapport au sol.

Il existe deux grands types de mécanismes de causes des dégâts du déplacement de dunes dans notre zone d'étude.

- Phénomène de l'ensablement apparu dans des conditions d'environnement en Tindouf ou les régions qui l'entourent (déplacement macroscopique des dunes)
- Phénomène de l'ensablement apparu dans ses conditions géographiques de chaque zone où micro-topographique au niveau des champs (déplacement microscopique des dunes).

#### **I.4.1 Le vent :**

En ce qui concerne les vents, la région de Tindouf est fréquemment exposée à des vents puissants, notamment le sirocco, un vent sec et chaud soufflant de l'Ouest-Nord-Ouest. Ces conditions peuvent

donner lieu à des tempêtes de sable et de poussière, réduisant ainsi la visibilité.

- Dans le cas de projet les vitesses de vent sont supérieures à 4m/s.

### I.4.1.1 La vitesse des vents à Tindouf :

La vitesse horaire moyenne du vent à Tindouf diminue rapidement durant l'été, diminuant de 20,4 kilomètres par heure à 16,4 kilomètres par heure au cours de la saison.

Pour référence, le 3 juin, le jour le plus venteux de l'année, la vitesse quotidienne moyenne du vent est 20,5 kilomètres par heure, tandis que le 12 décembre, le jour le plus calme de l'année, la vitesse quotidienne moyenne du vent est 13,9 kilomètres par heure.

La vitesse quotidienne moyenne du vent la plus haute durant l'été est de 20,5 kilomètres par heure le 4 juin.

Des vitesses élevées du vent augmentent la capacité de transport des particules de sable, ce qui favorise leur déplacement et leur accumulation sur la voie ferrée.

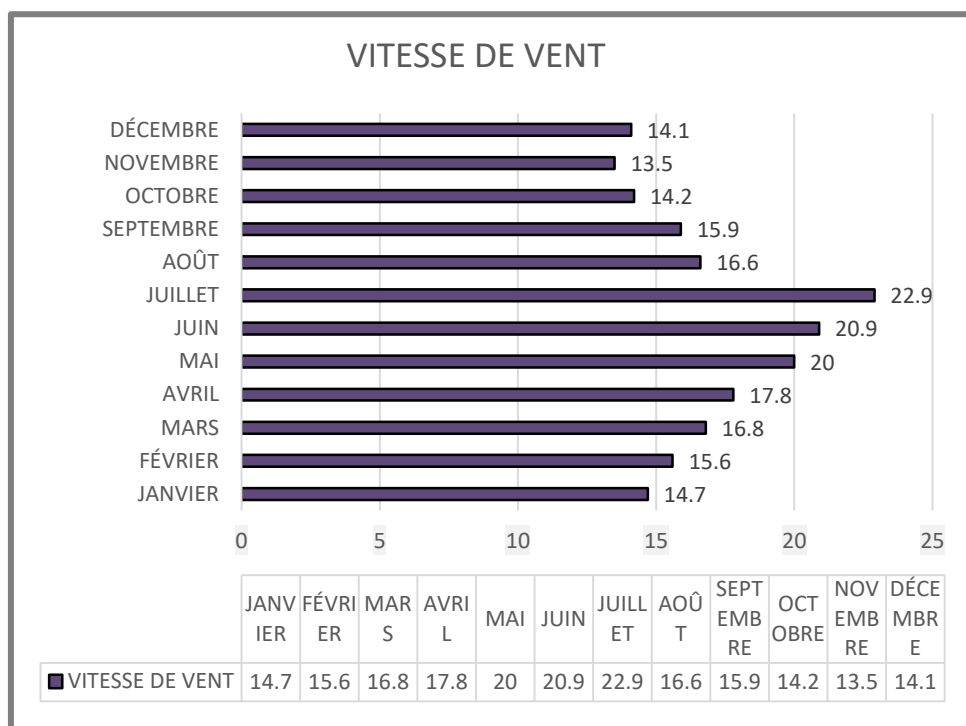


Figure I-3 : Distribution de vitesse (LES DONNES SETIRAIL)

### I.4.1.2 La fréquence des vents à Tindouf :

L'évaluation de la probabilité d'occurrence de vents forts ou de tempêtes de sable, susceptibles de contribuer à l'ensablement, repose sur l'analyse des fréquences des vents. Des fréquences élevées de vents forts signalent une probabilité accrue d'ensablement. Les vents dominants, soufflant régulièrement dans une direction spécifique, peuvent transporter le sable sur de longues distances, créant des amoncellements sur la voie ferrée.

#### ➤ Les classes de fréquences de vent :

Selon les données du vent fournies pour l'année 2020 pour la wilaya de Tindouf, les vents non efficaces représentent 1840 occurrences, ce qui correspond à 20,95% du total. Les vents efficaces représentent 6836 occurrences, soit 77,83% du total. Les périodes de calme représentent 106 occurrences, soit 1,21% du total.

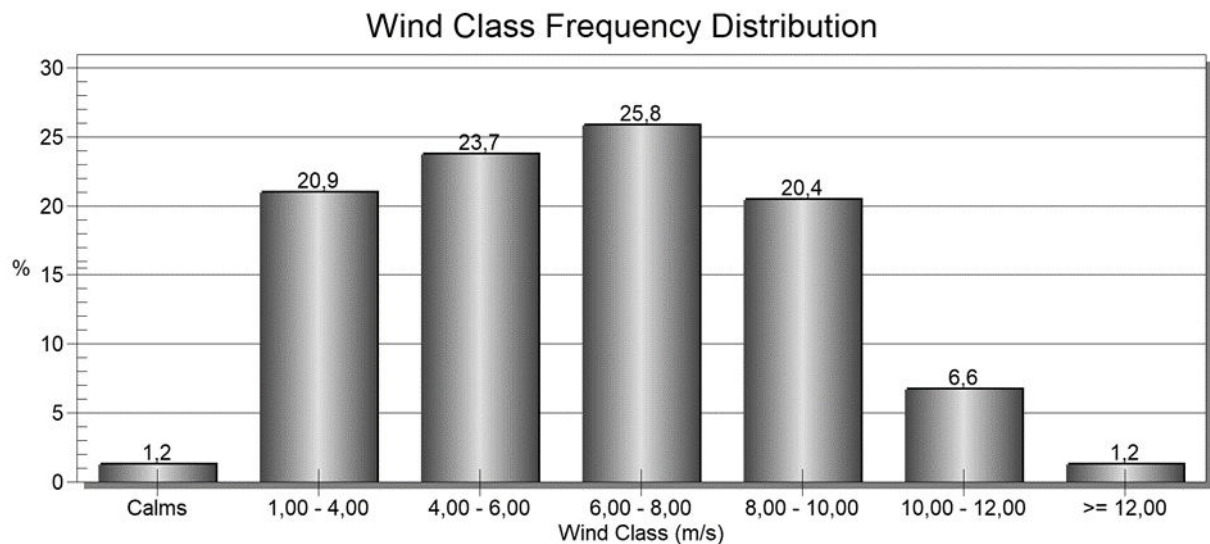


Figure I-4 : Distribution de fréquence de classe de vent

### I.4.1.3 La direction des vents à Tindouf :

Généralement la direction du vent à Tindouf en août vient principalement de l'est du 1 août au 18 août et de l'ouest du 18 août au 31 août.

Le pourcentage d'heures durant lesquelles la direction du vent moyen provient de chacun des quatre points cardinaux, excepté les heures au cours desquelles la vitesse du vent moyen est inférieure à 1,6 km/h. Les zones légèrement colorées au niveau des limites représentent le pourcentage d'heures passées dans les directions intermédiaires correspondantes (nord-est, sud-est, sud-ouest et nord-ouest).

### I.4.2 Le sol :

L'ensablement est largement influencé par ce facteur déterminant, à savoir l'érosion éolienne, résultant de l'impact du vent sur le sol. Ce type d'érosion se manifeste principalement lorsque le sol présente certaines caractéristiques, à savoir une texture meuble, sèche et finement émietée, une surface uniforme, une couverture végétale absente ou clairsemée, et une étendue suffisante dans le sens du vent.

Les régions arides et semi-arides sont particulièrement sujettes à cette forme d'érosion, où les sols, privés de protection superficielle pendant de longs mois de dessiccation, sont particulièrement vulnérables.

## I.5 L'ETAT DE VEGETATION :

La végétation dans notre zone de projet est principalement adaptée à un climat aride et semi-aride. Cette région est caractérisée par des précipitations rares et des températures élevées, ce qui influence directement la diversité et la densité de la végétation présente, Dans les zones les plus arides, la végétation est souvent limitée à des plantes adaptées à la sécheresse, telles que des arbustes épineux, des plantes succulentes, et des herbes résistantes. Ces plantes sont souvent dispersées et présentent une croissance limitée en raison des conditions environnementales difficiles, Dans les zones où l'eau est plus disponible, comme le long des cours d'eau ou dans les oasis, la végétation peut être plus diversifiée. On peut y trouver des palmiers, des tamaris et d'autres arbres et arbustes adaptés à des conditions plus humides.

Cependant, il est important de noter que la végétation dans la wilaya de Tindouf est souvent soumise à des pressions anthropiques telles que le surpâturage, la déforestation et l'exploitation excessive des ressources naturelles. Ces activités peuvent entraîner une dégradation de l'écosystème et une diminution de la biodiversité végétale dans la région.

## I.6 IDENTIFICATION DES SECTIONS SUSCEPTIBLES D'ETRE ENSABLEES :

Afin d'identifier les sections de la voie ferrée susceptibles d'être ensablées nous avons exploité les sources de données qui suivent :

- L'imagerie satellitaire de Google : utilisée pour examiner visuellement les zones potentiellement touchées par l'ensablement.
- Les cartes topographiques fournies par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT)
- Les données topographiques spécifiques au site recueilli à partir de levés réalisés par la technique LIDAR. Ces données nous ont permis d'identifier les zones basses et les dépressions là où l'ensablement pourrait être plus probable.
- Les données météorologiques issues de la station de Tindouf, de l'IEM et de la station NASA ont été exploité afin de mieux comprendre les conditions météorologiques locales en particulier les vents qui ont un impact sur les déplacements de sable le long de la voie ferrée ».

**Tableau I-1 : sections de la voie ferrée susceptibles d'être ensablées de notre tronçon étudié**

SECTION	LOCALISATION		LINEAIRE (M)
	PK DEBUT	PK FIN	
1	PK 787 +150	PK 787 +725	575
2	PK 788 +600	PK 789 +325	725
3	PK 789 +425	PK 793 +650	4225
4	PK 794 +100	PK 795 +025	925
5	PK 795 +050	PK 795 +150	100
6	PK 795 +200	PK 796 +075	875
7	PK 796 +550	PK 797 +375	825
8	PK 797 +650	PK 800 +400	2750
<b>TOTAL</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>11000</b>

## I.7 LES SOLUTIONS POUR LUTTER CONTRE L'ENSABLEMENT :

La lutte contre l'ensablement est considérée dans le cadre des problèmes environnementaux de la désertification dans toutes les wilayas sahariennes notamment dans notre cas les deux wilayas de Tindouf et Béchar, Pour assurer le bon fonctionnement de la ligne ferroviaire Bechar – Gara Djebilet.

-**Défecteurs de vent** : L'installation de déflecteurs de vent, tels que des clôtures ou des rangées d'arbres, ces derniers peuvent aider à réduire la vitesse du vent et à minimiser le transport de sable sur les voies ferrées

-**Barrages à sable** : La construction de barrages à sable ou de haies vives le long des zones sujettes à l'ensablement peut aider à intercepter et à retenir le sable avant qu'il n'atteigne la voie ferrée

- **Fixation végétale** : L'utilisation de techniques de fixation végétale, telles que la plantation de végétation adaptée, cette technique aide à stabiliser le sol et à réduire l'envol de sable sur la voie ferrée.

-**Utilisation de structures de protection** : L'utilisation de structures de protection, telles que des caniveaux ou des digues, peut aider à dévier le sable et à empêcher son accumulation sur les voies ferrées.

-**Surveillance et entretien réguliers** : Une surveillance régulière des zones sujettes à l'ensablement, ainsi qu'un entretien adéquat des voies ferrées, peuvent aider à identifier et à résoudre les problèmes d'ensablement dès qu'ils se produisent.

-**Nettoyage mécanique** : Utilisation de machines spécialisées pour enlever régulièrement le sable des voies ferrées. Cela peut inclure l'utilisation de balais rotatifs, de souffleuses d'air ou de balayeuses pour éliminer le sable accumulé.

✓ Dans le cas de notre projet nous proposons les techniques Particulièrement suivantes :

### I.7.1 La fixation des dunes :

Le concept fondamental de stabilisation des dunes consiste à empêcher le déplacement du sable sur une période suffisante pour permettre l'établissement d'une végétation naturelle ou plantée. Pour contrôler l'ensablement, il faut réduire le phénomène de déplacement du sable, soit en stabilisant le sol, soit en atténuant le gradient de vitesse du vent près de la surface du sol. Les techniques de Gestion du sable et des dunes peuvent également exploiter la vitesse du vent;

Les vents forts emportent le sable, dégageant ainsi les zones ensablées, tandis que leur diminution de vitesse entraîne le dépôt du sable.

- **Nécessité de fixation des dunes :**

Les deux méthodes de fixation des dunes et de prévention contre l'ensablement qui sont :

1. **La méthode mécanique** à savoir l'installation des palissades faites en feuillages de palmiers dattiers.

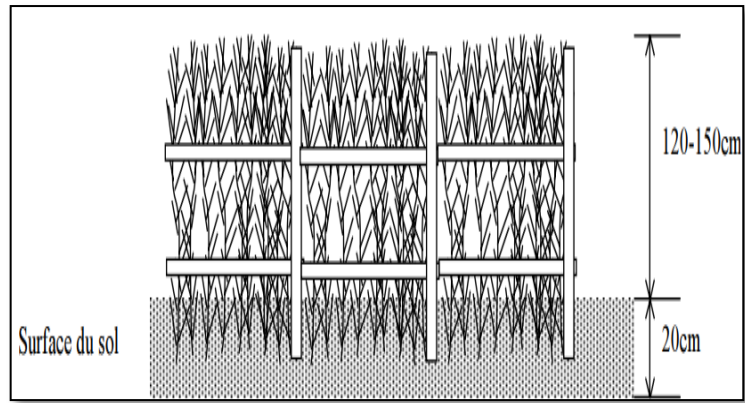


Figure I-5 : Spécification de palissades typique

Comme le montre la Fig I-4, les palissades de la protection contre les sables qui se trouvent dans les zones boisées sont du type barreaux croisés. La distance entre chaque haie est déterminée suivant la situation du vent de la région d'étude. Contrairement aux régions où la direction du vent est à peu près stable durant toute l'année, celle des régions où les directions changent selon la période est plus étroite. Les distances de 50m, 20m et de 10m entre chaque haie ont été constatées dans les zones de l'étude.

**2- la méthode biologique** : par plantation d'arbres et d'arbustes. Ces deux ont été utilisées soit séparément ou associées selon les spécificités des conditions environnementales des sites ciblés du projet ferroviaires. Les objectifs principaux de la fixation des dunes et la prévention de l'ensablement se résument comme suit :

- Fixation des dunes et prévention contre l'ensablement des zones de ligne ferroviaire.
- Prévention contre l'ensablement pour but de la protection de l'environnement de la vie en protégeant les infrastructures routières et urbaine.
- Fixation des dunes et prévention contre l'ensablement pour but de la protection des surfaces cultivables contre l'ensablement ou l'allègement des dégâts aux produits agricoles.
- Amélioration de conditions de vie des populations en exécutant les mesures précitées.

Notamment, comme le montre la Fig. I.5 la région de Tindouf subisse des dégâts importants causés par le déplacement des dunes. Les mesures contre les vents et les sables sont donc très importants dans cette région.

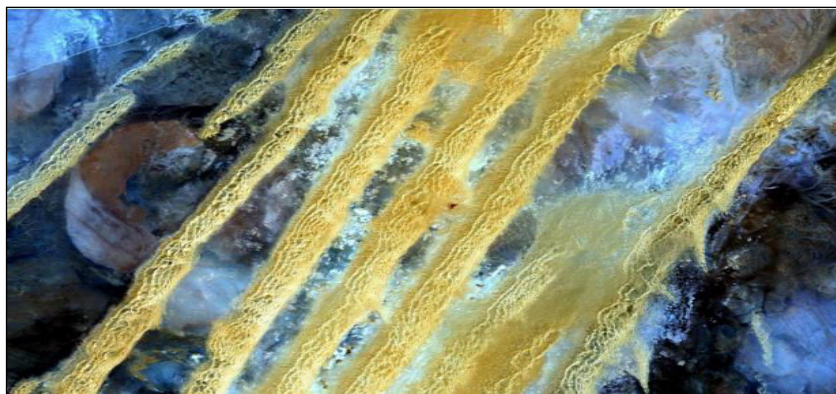


Figure I-6 : Dunes longitudinales dans la région de Tindouf (Image Landsat 8)

### I.7.2 La végétalisation :

Émerge comme une solution prometteuse pour contrer l'ensablement. En introduisant des espèces végétales adaptées le long de la ligne ferroviaire, on peut réduire efficacement l'ensablement. Ces plantes jouent **un rôle essentiel** en stabilisant le sol, empêchant ainsi le sable de se déplacer et de s'accumuler sur les voies.

Leurs racines agissent comme un ancrage, retenant le sable et renforçant la structure du sol. De plus, la végétalisation peut ralentir la vitesse du vent près de la voie ferrée, limitant ainsi le dépôt de sable. Il est essentiel de sélectionner des espèces végétales adaptées au climat local, résistantes à la sécheresse et capables de prospérer dans des conditions sableuses.

### I.7.2.1 Végétalisation des talus :

Lors des travaux de définition du corps de chaussée, des déblais et/ou des remblais seront réalisés afin de garantir les meilleures pentes, pour la bonne intégration de ces talus dans la protection et la sécurité de La Voie ferrée, des reboisements doivent être effectués au niveau de chaque talus créé. En plus d'aspect esthétique, cette végétalisation assurera la fixation et la protection des talus contre l'érosion liée au gel-dégel d'une coté et d'une autre coté assurera la Protection des Rails contre l'ensablement, La matrice meuble des talus est responsable du déchaussement de pierres, de petits blocs ou d'argiles lors de fortes précipitations.

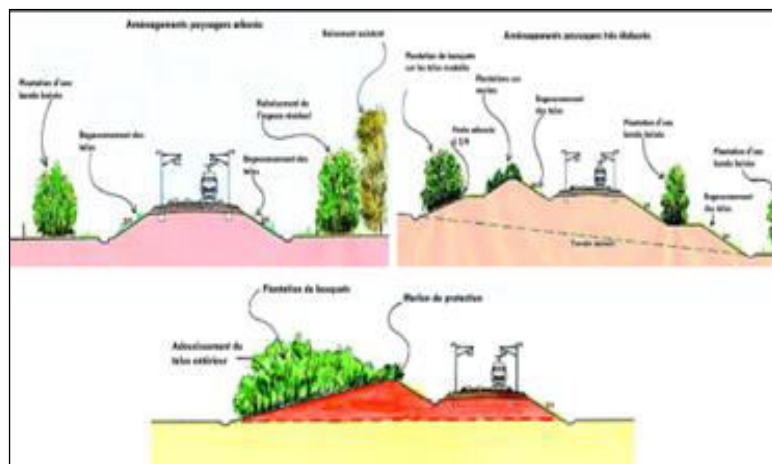


Figure I-7 : Végétalisation d'un remblai

### I.7.3 Haies naturelles :

Une haie naturelle est une barrière composée de feuilles de palmier ou de branchages d'arbres, utilisée pour protéger les arbres et arbustes nouvellement plantés et lutter contre l'ensablement de la voie ferrée. Elle offre à la fois une fonction pratique et esthétique en créant une barrière physique et en améliorant l'apparence des zones environnantes. La haie naturelle est généralement installée le long de la voie ferrée pour créer une barrière physique entre la voie et les éléments environnants, tels que les vents forts et les dépôts de sable.

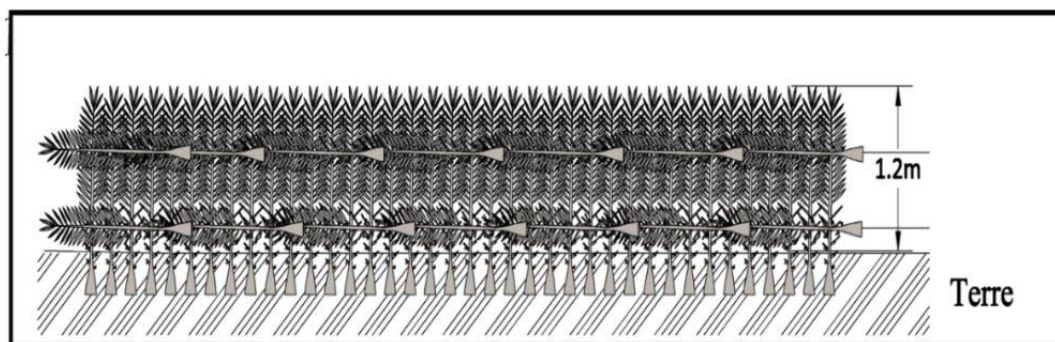


Figure I-8 : Détail d'haie naturelle

#### I.7.4 Mise en place de dispositifs physiques :

Une alternative consiste à ériger des barrières physiques le long de la voie ferrée afin d'empêcher l'accumulation de sable sur les rails. Cette approche pourrait impliquer l'utilisation de barrières spécifiquement conçues en métal ou en plastique pour retenir le sable. Cependant, il est important de noter que cette solution demanderait un entretien Régulier afin de retirer le sable qui pourrait s'accumuler sur ces barrières.

### **I.7.5 Surveillance et maintenance régulière :**

Une solution de base consiste à mettre en place un programme de surveillance et de maintenance régulière de la ligne ferroviaire. Cela impliquerait l'inspection fréquente de la voie ferrée et le dégagement manuel du sable accumulé. Cette approche nécessiterait un personnel dédié et des ressources suffisantes, mais pourrait être un moyen efficace de gérer l'ensablement à court terme.

### **I.7.6 Quadrillage :**

Pour fixer le sable sur de grandes surfaces, des palissades parallèles successives sont implantées. Afin d'éviter le déplacement latéral du sable (tourbillons, changements dans la direction du vent), des palissades secondaires sont disposées perpendiculairement aux premières. On aboutit ainsi à un « carroyage » dont la dimension de la maille est fonction de l'intensité du vent et de sa position sur le profil de la dune. Le quadrillage peut couvrir systématiquement l'ensemble du front dunaire comme il peut être installé par bande.

Les palissades peuvent être un grillage synthétique résistant aux rayons solaires.

Les conditions d'approvisionnement en matériaux et les prix de revient, incluant le transport et la maintenance, déterminent le choix de réalisation des palissades.



**Figure I-9 : Carroyage de palmes destinées à protéger la section routière à Tindouf**

## **I.8 DES TECHNIQUES EFFICACES UTILISES POUR LA CONCEPTION DES TRACES FERROVIAIRE EN ZONE DESERTIQUE :**

On peut réduire les risques d'ensablement comme suit :

- Suivre le terrain en léger remblai, en évitant les dunes.
- Eviter les champs des dunes mobiles.

Tableau I-2 : Implantation des mesures de végétalisation et des haies naturelles par section, par PK projet.

N° de section	Localisation		Linéaire (m)	Mesures appliquées	Longueur des palissades			Nombre d'arbre		
	Pk début	Pk fin			A droit	A gauche	Totale	A droit	A gauche	Total
1	PK 786 +450	PK 787 +050	600	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	240	515	755	429	417	/
2	PK 787 +150	PK 787 +725	575	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	564	728	1292	445	495	/
3	PK 788 +600	PK 789 +325	725	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	615	884	1499	527	630	/
4	PK 789 +425	PK 793 +650	4225	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	4227	4069	8296	3171	3069	312
5	PK 794 +100	PK 795 +025	925	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	601	939	1540	450	705	/
6	PK 795 +050	PK 795 +150	100	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	238		238	81	0	4616
7	PK 795 +200	PK 796 +075	875	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	797	897	1694	570	657	8514
8	PK 796 +550	PK 797 +375	825	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	598	844	1442	492	630	9449
9	PK 797 +650	PK 800 +400	2750	Végétalisation (3 lignes d'arbres) + une haie naturelle	2663	2664	5327	2018	1978	/
10	PK 800 +975	PK 801 +000	25	Haies naturelles	/	124	124	/	/	/

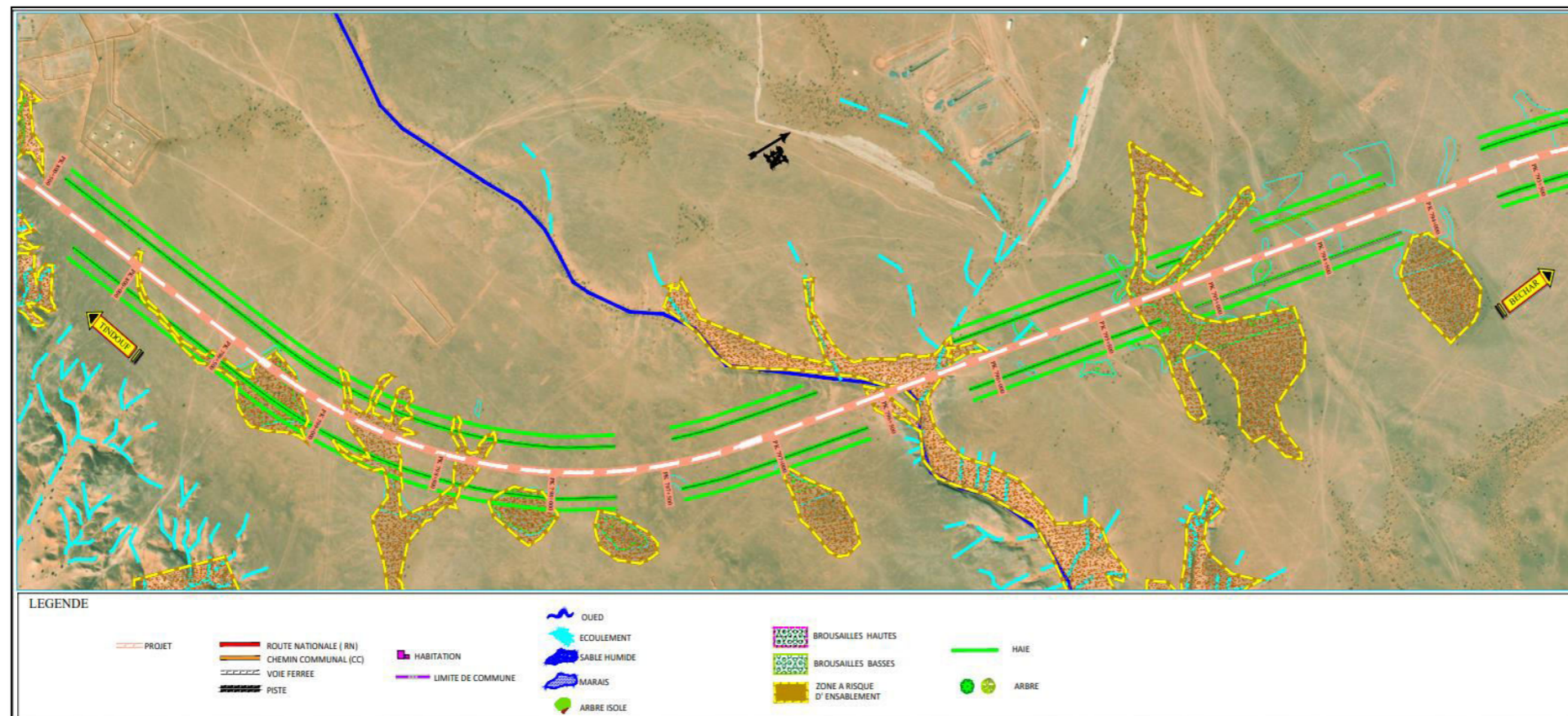


Figure I-10 : Les zones ont risque d'ensablement le long de tracé entre PK787+700 à 800+000

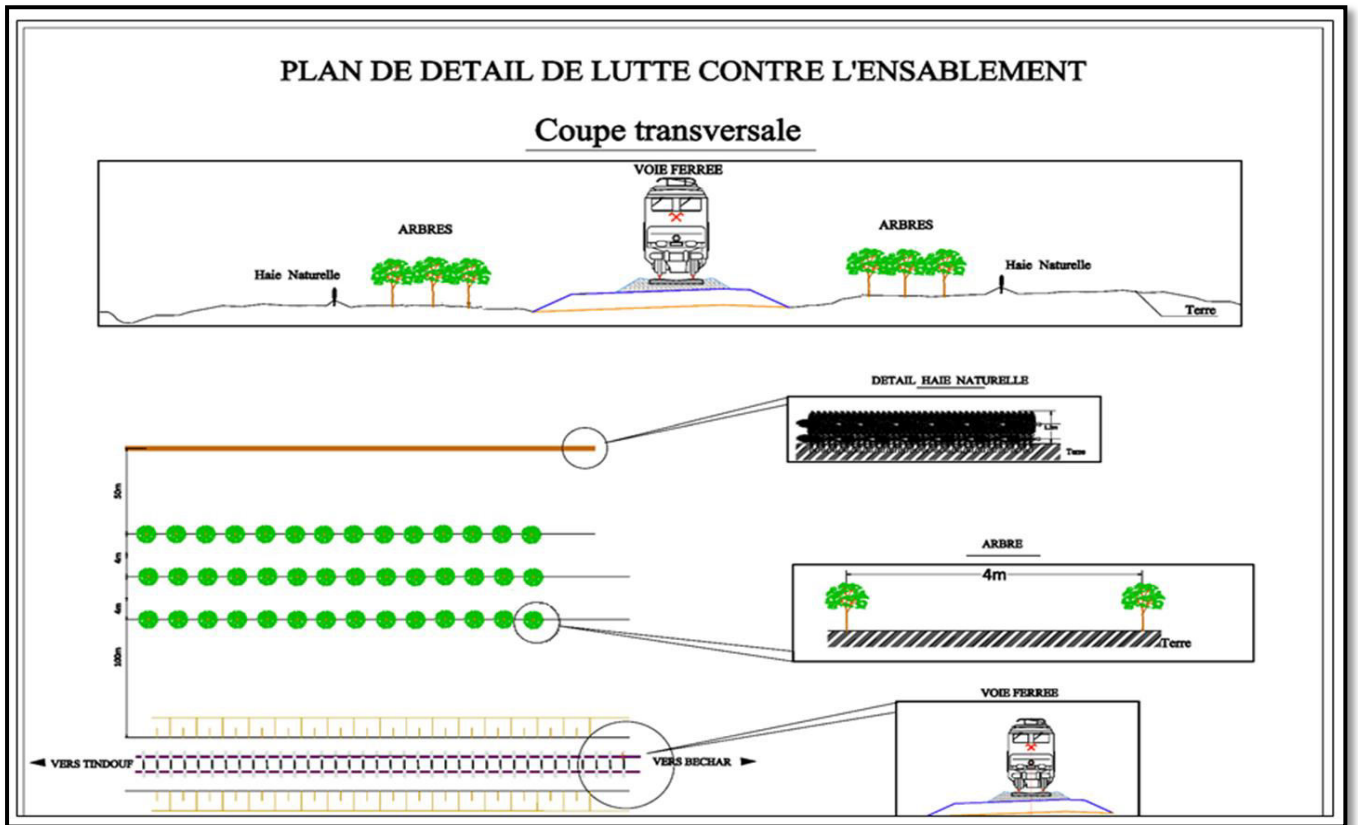


Figure I-11: Les mesures prise en compte Pour la protection de la ligne Ferroviaire contre l'ensablement

## I.9 CONCLUSION :

L'Algérie est confrontée à un phénomène d'ensablement et de désertification qui affecte une grande partie du territoire national en raison de son relief et de sa situation géographique. Ainsi, il est nécessaire d'adopter une stratégie globale de lutte contre l'ensablement qui se résume comme suit :

- Création d'un guide spécifique pour la conception de routes ferroviaires en zone Dunaire.
- La mise au point des approches pour le suivi et l'évaluation des projets de protection des chemins de fer contre l'ensablement.

---

# CHAPITRE II :

# PRESENTATION DE

# PROJET

## II PRESENTATION DE PROJET

### II.1 INTRODUCTION :

L'Algérie est actuellement un pays en pleine mutation pour laquelle l'accroissement économique passe par la modernisation et le développement de son réseau ferroviaire. En conséquence, le gouvernement a lancé un ambitieux programme de développement dans le secteur ferroviaire.

Dans le secteur des transports, le projet du chemin de fer BECHAR-GARA DJBILET (TNDOUF) est considéré comme l'un des projets majeurs qui favoriseront la reprise de la mobilité économique dans le sud.

### II.2 DESCRIPTION DU PROJET :

Dans le but d'exploiter le minerai de fer de Gara Djebilet, les autorités Algériennes ont décidé de réaliser une ligne ferroviaire permettant de relier la mine de Gara Djebilet à Bechar pour transférer ce minerai dont la destination finale le port d'Arzew, l'évolution et la répartition du flux de trafic fret sont composée de deux étapes :

- Etape 1 : Tindouf (Gara Djebilet) – Bechar (Complexe FERRAL Toumiat) d'une longueur de 970km (940 km jusqu'à Béchar-bifurcation +30 km vers le complexe FERRAL Toumiat )
- Etape 2 : Bechar (Complexe FERRAL Toumiat) - Oran (Port d'Arzew) d'une longueur de 732 km,

La ligne ferroviaire minière Bechar-Tindouf-Gara Djebilet, est bien plus qu'un simple projet d'infrastructure. L'Algérie a un besoin pressant de ce projet qui vise à faciliter le déplacement des minéraux précieux depuis la région de Gara Djebilet vers les centres industriels et portuaires. Il s'agit d'un défi majeur pour la réalisation de cette ligne, en particulier en ce qui concerne les délais et la qualité de la mise en œuvre.

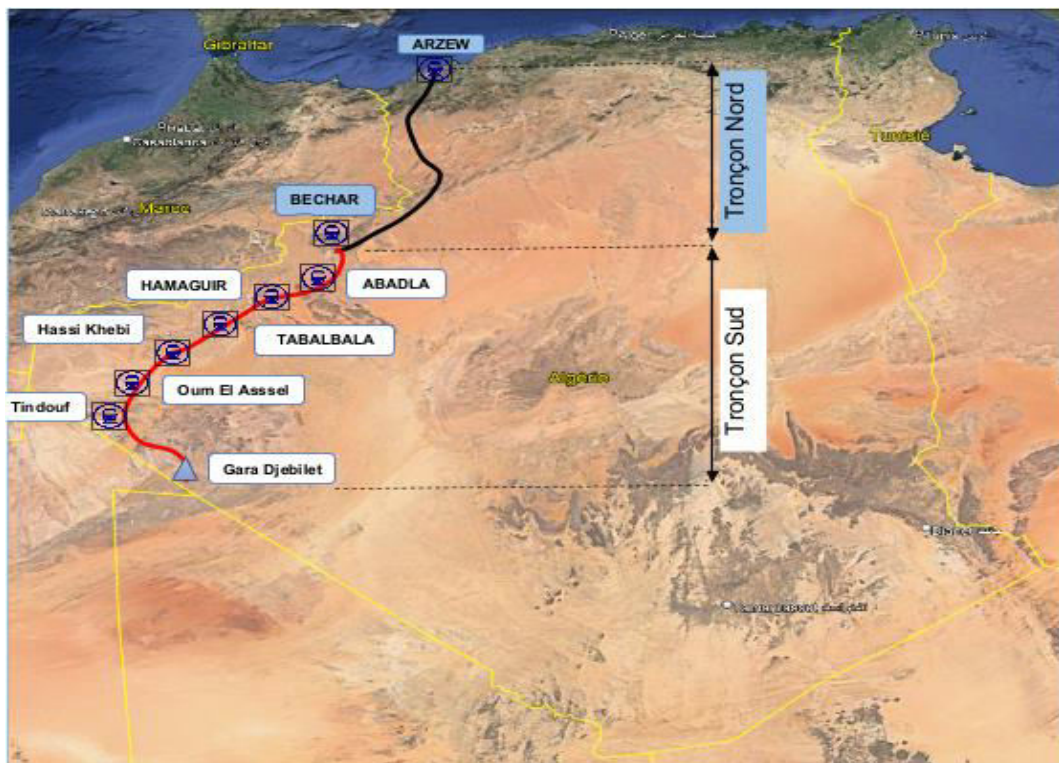


Figure II-1 : la ligne ferroviaire GARA DJBILET(Tindouf)-Béchar -Arzew

### II.3 PRESENTATION DE TRANÇON ETUDIEE :

Le projet consiste en la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar-Tindouf-Gara Djebilet, qui entre dans le cadre de la boucle ferroviaire Sud-ouest pour le développement de l'axe de la rocade Sud.

Le tronçon de notre projet concernant l'étude de la ligne ferroviaire entre Tindouf et Béchar sur une longueur de 12km du (PK 787+700 au PK 799+700) est situé dans la wilaya de Tindouf.

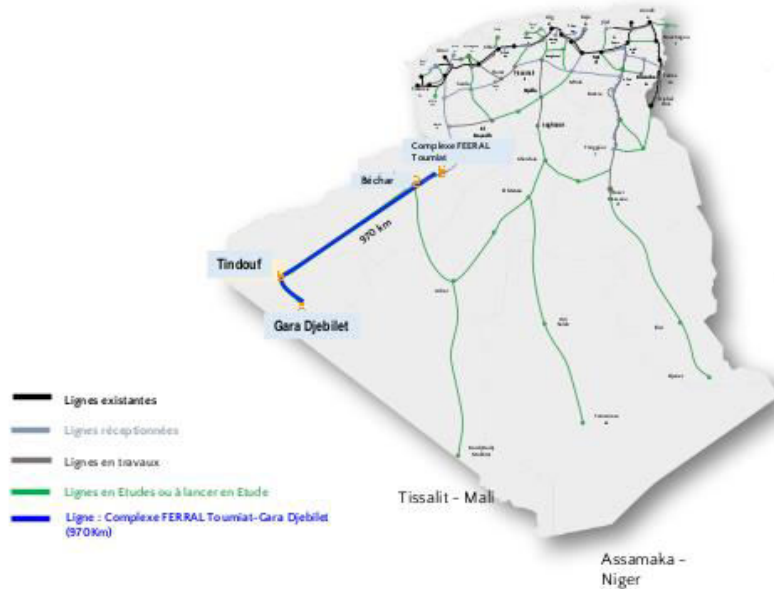


Figure II-2 : le tronçon Béchar-GARA DJEBILET (Tindouf)

### II.4 OBJECTIF DU PROJET :

- Désenclavement des villes du Sud.
- Augmenter la part du transport ferroviaire dans cette région.
- Développement socio-économique des zones traversées.
- Le développement des zones industrielles, et transport des marchandises.
- Transport rapide en toute sécurité et confort. « Du Sud au Nord ».

Le mégaprojet de la voie ferrée Béchar-Tindouf-Gara Djebilet, qui s'étend sur 950 km, apportera un nouveau dynamisme à l'économie nationale. Son caractère stratégique lui permet d'ouvrir des perspectives pour le développement et l'exploitation d'une des plus grandes mines de fer au monde.

### II.5 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

#### II.5.1 Relief :

La géologie de la wilaya de Tindouf est composée d'un vaste plateau empâté de terrains paléozoïques et d'une bonne partie de l'axe cristallin (socle). On y distingue trois unités géologiques :

- La Hamada de Tindouf au Nord-Ouest : c'est un complexe grès argileux débutant à la base par un conglomérat et supportant une ou plusieurs dalles calcaires tufeux ou dolomitique avec des lits de silex.
- La Hamada El Aroueta au Sud-Est : C'est un plateau formé d'un grès grossier à stratification

## CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

entrecroisée. La puissance de cette formation géologique croît irrégulièrement d'Ouest en Est, de quelques mètres à environ 200 m.

- La cuvette (dépression) de Tindouf : Située entre les deux plateaux précédents, elle résulte de l'action combinée de la déflation et de l'érosion, qui ont creusé une dépression fermée, où s'est formée la sebka de Tindouf. La sebka constitue le bas-fond collecteur des oueds où s'évaporent les eaux de ruissellement, d'où leur salinité marquée par différentes concentrations de sels.

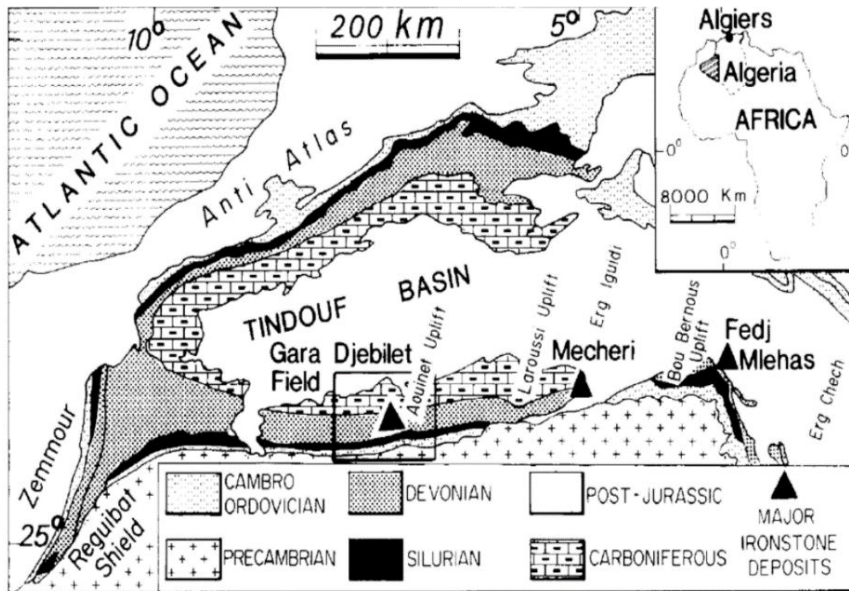


Figure II-3 : Géologie de la zone d'étude

### II.5.2 Climat :

De par sa position géographique, le climat de la commune de Tindouf est de type saharien, il se caractérise par un été sec et chaud, et un hiver aride et froid.

Les températures de la zone d'étude reflètent le climat Saharien avec des valeurs très élevées en été. Le mois le plus chaud est Juillet avec une moyenne mensuelle de 34°C. Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 12.03°C.

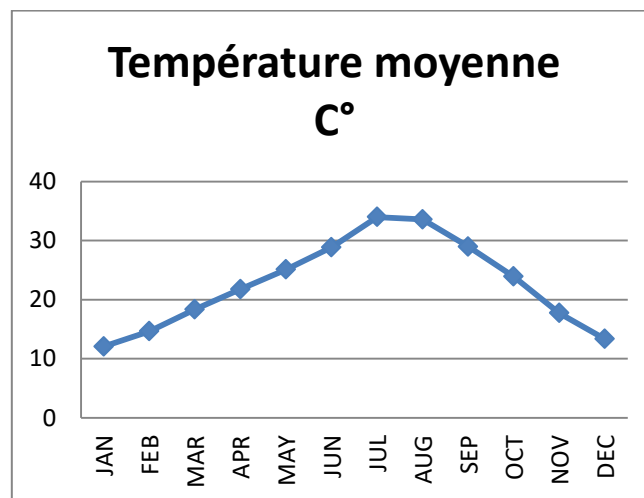


Figure II-4 : Température moyenne calculée durant la période de 1991 – 2021

### II.5.3 Sismicité :

## CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

La zone d'étude est située au sud-ouest de l'Algérie. D'après le RPOA 2008, la wilaya de TINDOUF est classée en zone 0 ; Cela signifie que le risque de séisme y est considéré comme étant très faible.

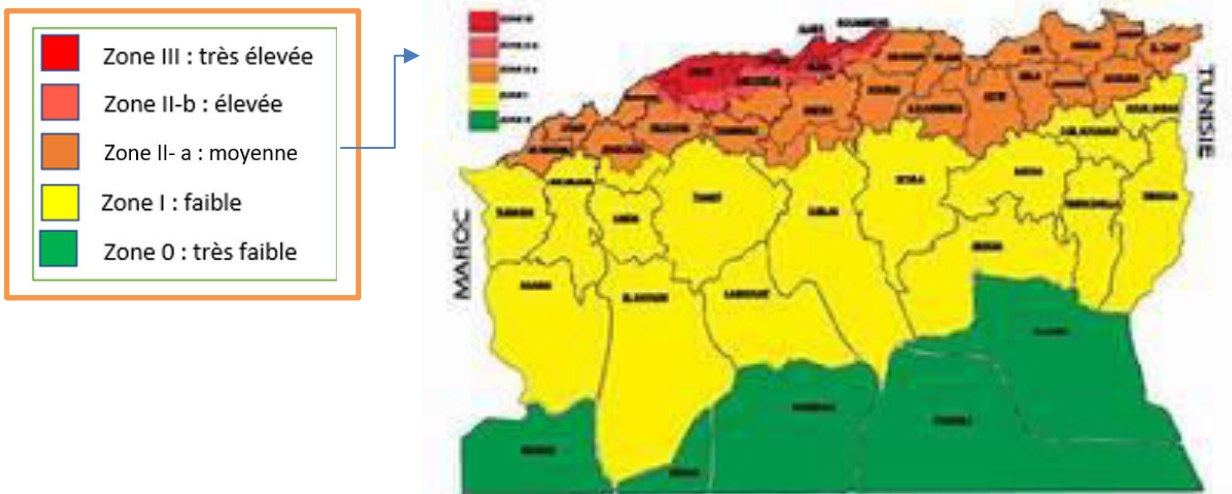


Figure II-5 : Carte zonage sismique de l'Algérie

### II.6 CARACTERISTIQUES DU PROJET :

Les caractéristiques du projet sont :

- Plateforme à voie unique sur le tronçon reliant la Gare d'Oum El Assel à la gare de Tindouf ;
- Ecartement standard (1 435 mm) ;
- Charge à l'essieu de 32.5 tonnes (charge importante exceptionnel) ;
- Gabarit d'obstacle UIC incluant la caténaire en 25 kV ;
- Voies armées de rails 60-E1 fixés sur des traverses Monobloc (béton armé précontraint) ;
- Trafic mixte (à prédominance Minière) ;
- Vitesse d'exploitation de 160 km/h pour le transport passager et de 70 km/h pour le transport de marchandises (selon le rapport de transport) ;
- Sous-couche : Sous-ballast, couche de fondation, géotextile si nécessaire ;
- Croisement de routes : Le croisement de la ligne avec les routes et chemins se fera par des passages dénivelés (passage supérieur, passage inférieur).

### II.7 CONCLUSION :

Le développement et l'exploitation des potentialités minières de la région sont grandement encouragés grâce au projet de la ligne ferroviaire Bechar-Gara Djebilet (Tindouf). L'implantation de la voie ferrée devra stimuler le développement dans la région travers l'exploitation et le transport du produit du fer de Gara-Djebilet vers les installations industrielles.

# CHAPITRE III

# SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

## III SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

### III.1 INTRODUCTION :

La voie ferrée est constituée par deux parties distinguées (la superstructure et infrastructures).

L'infrastructure de la voie ferrée comporte en plus de l'ouvrage en terre, les ouvrages d'arts, les galeries souterraines et les tranchés. La superstructure est constituée par la plateforme, le sous ballast, le ballast, les traverses et les rails plus les accessoires d'attache et de fixation.

La superstructure de la voie ferroviaire est conçue pour supporter divers types de contraintes, notamment verticales, transversales et longitudinales. Pour ce faire, elle est composée de deux files de barres en acier appelées "rails", dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des "traverses". Ces traverses sont disposées le long de la voie et reposent sur une couche de ballast. Les rails sont solidement fixés aux traverses à l'aide d'attaches. De plus, pour permettre les changements de direction et les jonctions entre les voies, des "appareils de voie" sont introduits.

Le but de ce chapitre est d'apporter au lecteur des notions simples mais indispensables de ce qui est la voie ferrée et ses composantes.

### III.2 LES ELEMENTS DE VOIE :

#### III.2.1 Le rail :

Le rail est en effet l'élément clé de la voie ferrée, assurant à la fois le roulement et le guidage des trains. Sa caractéristique principale est son poids par mètre linéaire, qui détermine sa résistance et sa capacité à supporter les charges.

Concernant leurs dimensions, les rails ont généralement une longueur standard de 18 mètres ou 36 mètres.

Ils sont caractérisés par :

- Leur profil
- La nuance d'acier qui les

#### III.2.1.1 L'objet de rail :

Les rails jouent le Rôle de Chemin de roulement et de guidage : Les roues des trains roulent sur les rails, assurant ainsi leur mouvement le long de la voie avec précision.

Ainsi les rails servent de conducteurs électriques pour le retour de traction, permettant le fonctionnement des locomotives électriques. De plus, ils peuvent également servir de support pour le courant de signalisation, utilisé pour la commande et le contrôle des trains.

#### III.2.1.2 Différents types de rails :

##### ➤ Rail DC (double champignon) :

Le rail à double champignon est un type de rail caractérisé par sa forme symétrique comportant un champignon supérieur et un champignon inférieur. À l'origine, ses concepteurs pensaient qu'il pourrait être retourné après l'usure du champignon supérieur, mais cette possibilité s'est avérée infructueuse en raison de l'encochage rapide du rail dans les coussinets qui le supportent.

Actuellement, le rail à double champignon n'est plus utilisé dans les nouvelles installations.

➤ **Rail Vignole :**

Le rail moderne est généralement du type « Vignole » dans une section transversale, on distingue le patin qui s'appuie sur la traverse, le champignon qui constitue le chemin de roulement, et l'âme, filet vertical qui relie le champignon au patin.

✓ **Pour notre projet Le rail utilisé est du type 60 E1 (60,21 kg/m).**

Les caractéristiques de ces rails utilisés dans le projet de Bechar -gara Djebilet seront les suivantes :

- Géométrie : rail -60E 1
- Surface de la section : 76.70 cm<sup>2</sup>
- Moment d'inertie (Axe X – X) : 3038,3 cm<sup>4</sup>
- Module d'Inertie champignon : 333.6 cm<sup>3</sup>
- Module d'inertie patin : 375.5 cm<sup>3</sup>
- Moment d'inertie (Axe- Y-Y) : 512,3 cm<sup>4</sup>
- Dimension indicative A : 20.456 mm
- Dimension indicative B : 52.053 mm
- Dressage : classe A
- Nuance : 260 (carbone-manganèse)
- Propriétés mécaniques selon la norme EN 13674-1

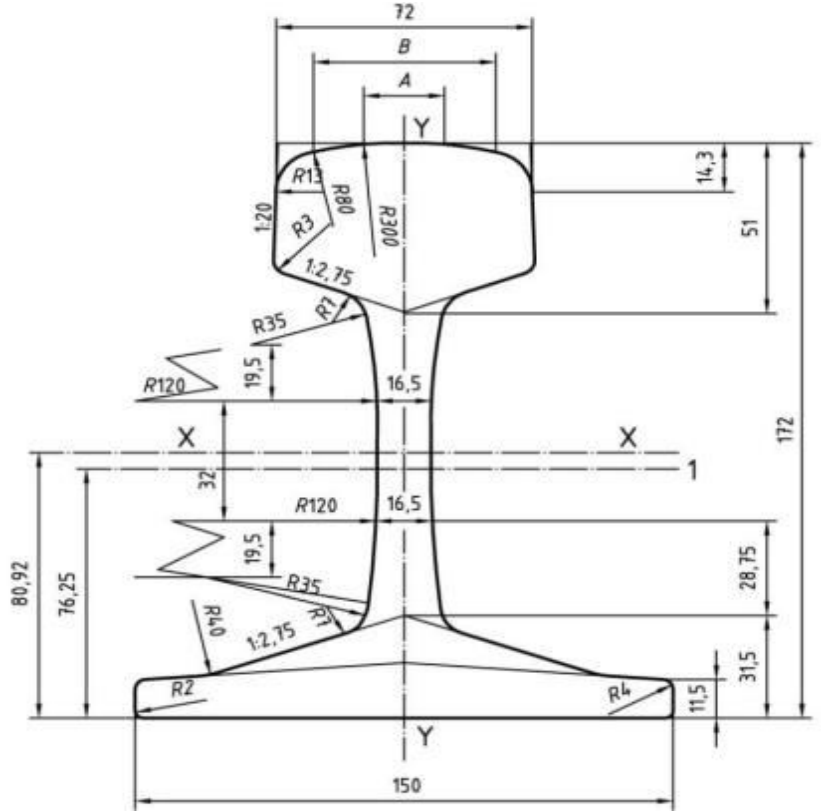


Figure III-1 : Rails Vignole

- Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW,
- Résistance à la traction  $\geq 880$  N/mm<sup>2</sup> et
- Allongement  $\geq 10\%$ .
- Longueur minimum des barres élémentaires : 18 m.
- Barres élémentaires soudées électriquement en atelier en barre continue de longueur  $\geq$
- 288 m et soudure aluminothermique en voie

**III.2.1.2 Le LRS et le soudage des rails :**

➤ **LRS :**

Les LRS (longs rails soudés) sont largement utilisés sur les réseaux ferroviaires dans le monde parce qu'ils présentent des avantages importants, la fiche code UIC 774-3R et UIC 720, est un document qui fournit les directives pour la pose et l'utilisation de LRS sur la voie ballastée ainsi que les méthodes d'inspection et les critères de sécurité.

## CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

La longueur d'un rail est en général de 18m ou de 36 m. La longueur de rail livré au site varie selon la méthode de transport (le moyen de transport disponible). Lorsque le rail est transporté et stocké sur site, le soudage des rails est nécessaire afin de former les longs rails soudés (LRS). La longueur de rail soudé en voie doit être la plus longue possible. Elle peut varier pour tenir compte des règles qui concernent les points particuliers de la voie, (ex les ouvrages d'art) sa fixation, la maintenance, la condition de surveillance ainsi que les influences de la température et les paramètres du matériel roulant.

### ➤ Les techniques de Soudage :

#### 1. La soudure aluminothermique :

Constitue la dernière étape permettant de réaliser une voie continue à partir des LRS (longues barres soudées) électriquement. Le procédé est simple de mise en œuvre, exige peu de personnel, mais du personnel qualifié. Il permet une remise en service provisoire ne ralentissant les circulations que peu de temps après son exécution, ceci étant particulièrement apprécié dans le cas de soudage de coupons de réparation.

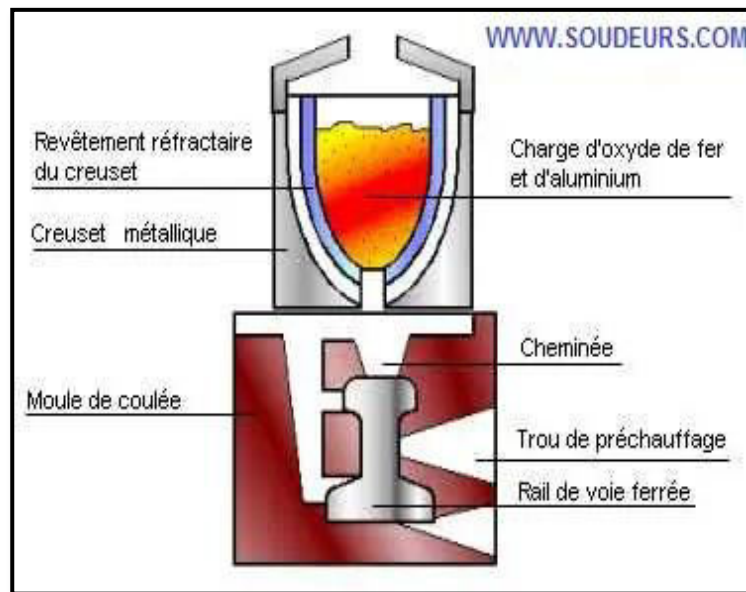


Figure III-2 : La soudure aluminothermique

#### 2. La soudure électrique :

Le soudage électrique également connu sous le nom de soudage à l'arc électrique, est une méthode largement utilisée pour assembler les rails de chemin de fer permet de créer des joints solides et durables entre les rails, assurant ainsi la stabilité et la sécurité des voies. Cette technique est largement utilisée dans l'Algérie et la maintenance des réseaux ferroviaires à travers le monde.

**NB :** Les joints de rail sont utilisés seulement dans les gares ou dans les rayons de courbe horizontale qui ne sont pas compatibles avec l'exigence d'installation de LRS reformulation

### III.2.2 Traverses :

Les traverses sont essentielles pour soutenir la voie ferrée, transmettre les charges au ballast et maintenir l'écartement entre les rails. Elles remplissent plusieurs rôles comme la transmission des charges au ballast, le maintien de l'écartement des rails et le maintien de l'inclinaison spécifique des rails de type Vignole, généralement de 1/20.

## CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Il existe plusieurs types de traverses, notamment :

### III.2.2.1 Traverse en bois :

Traditionnellement utilisées mais souvent remplacées par des traverses en béton pour des raisons de durabilité. Mais elles sont faciles à mettre en œuvre.

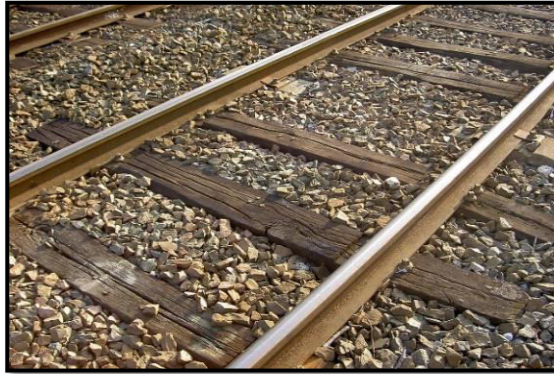


Figure III-3 : Travers en bois

### III.2.2.2 Traverse en béton :

Les traverses en béton, du fait de leur poids considérable, assurent une excellente ancre pour la voie ferroviaire dans le ballast. Elles sont spécialement privilégiées pour les nouvelles lignes à grande vitesse, où la stabilité et la résistance sont élevés. Pour fixer les rails sur ces traverses, on utilise des attaches élastiques équipées de dispositifs isolants en caoutchouc.



Figure III-4 : Travers en béton

Il existe deux principaux types de traverses en béton :

1. **Les traverses bibloc** : Constituées de deux parties distinctes qui sont reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse généralement reliées entre elles sur le chantier.



Figure III-5: Traverse bibloc

## 2. Les traverses monobloc :

Sont fabriquées d'une seule pièce, offrant ainsi une unité structurelle continue ainsi elle offre une meilleure résistance à la flexion que la traverse bibloc et une meilleure répartition des charges verticales (pas de poinçonnages).



Figure III-6 : Traverse monobloc

### III.2.3 Le système d'attache :

Le système d'attache est la partie qui transmet les charges entre le rail et les traverses et qui maintient l'écartement. Le système de fixation du rail appliqué sur ce projet se confirme à la norme EN13481-2 (système de fixation des traverses en béton). Plusieurs types et techniques d'attache sont disponibles sur le marché. Mais l'attache élastique est recommandée selon l'exigence du type de traverse en béton armé ainsi que pour la pose en LRS

Des attaches élastiques de type NABLA seront utilisées pour Notre projet pour créer un intermédiaire élastique entre le rail et la traverse "semelle", et des butées en plastique seront également employées pour assurer le maintien latéral du rail.



Figure III-7 : : Les attaches Nabla

### III.2.4 L'appareil de voie :

Un appareil de voie est un équipement essentiel pour permettre aux trains de changer de voie. Les appareils de voie se présentent sous deux formes principales : les branchements et les traversées, Le type de l'appareil est désigné par la valeur de la tangente d'implantation exprimée sous la

Forme décimale, et ce dernier se compose de trois parties : l'aiguillage, la partie intermédiaire et la partie cœur (croisement)

## CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

Il existe deux catégories d'appareils de voie :

- ❖ Les branchements.
- ❖ Les traversées.



Figure III-8 : L'appareil de voie ADV

**III.2.4.1 Le branchement** : un branchement est le changement d'itinéraire le plus simple.

Les branchements sont comme des carrefours où les trains peuvent emprunter différents itinéraires à partir d'une même branche commune.

**III.2.4.2 La Traversée :**

La traversée est un dispositif ferroviaire qui permet aux trains de circuler sur des voies qui se croisent. C'est comme une intersection pour les trains, où ils peuvent changer de direction et continuer leur route. Cela permet aux trains de passer d'une voie à une autre en toute sécurité et en évitant les collisions.

**III.2.4.3 Conditions d'implantation :**

Les appareils de voie seront installés sur des pentes constantes. De même, les communications suivront cette même configuration.

En règle générale, les appareils de voie seront installés en ligne droite. Cependant, dans des situations exceptionnelles, notamment lorsqu'il s'agit de zones difficiles telles que les points de jonction entre une nouvelle ligne et une ligne existante, ils pourront être installés en courbe.

Par ailleurs, près des ouvrages d'art, tels que les ponts ou les tunnels, les appareils de voie devront être positionnés à des distances minimales qui dépendent de la longueur de la section de voie, désignée par « L ».

**III.2.4.4 Règles d'implantation :**

### 1. En tracé en plan

L'implantation des appareils de voie s'effectuera conformément aux longueurs minimales du Tracés retenus ci-dessous :

## CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

- **En pointe** : La longueur minimale d'alignement ( $L_1$ ) devra être égale à  $V_d/2$ ,  $V_d$  étant la vitesse exprimée en km/h de franchissement en voie déviée.
- **En talon de la branche déviée** :
- **Si la sortie d'appareil est en alignement**, la longueur minimale d'alignement à respecter devra être égale à  $V_d/2$ .
- **Si la sortie d'appareil est en courbe** :

$V_d < 100$  : il conviendra de réserver un alignement de longueur minimale égale à  $V_d / 2$  ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie elle-même d'un raccordement progressif.

$100 \leq V_d < 160$  : il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens et ce pour toute situation nouvelle

$V_d \geq 160$  : la condition ci-dessus est obligatoire. Quelle que soit  $V_d$ , la longueur des raccords sera calculée afin d'obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers  $\Delta I/\Delta t$  de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

### 2. En Profil en long :

En profil en long, les appareils de voie ne doivent pas se situer à moins de 100 m d'un raccordement ou d'un point de changement de déclivité.

### III.2.5 Appareils de dilatation :

Les dispositifs de dilatation sont conçus pour les ouvrages d'art particulièrement longs, comme ceux rencontrés sur les lignes à grande vitesse. Leur nécessité se limite à des tabliers spécifiques, à la fois de type déterminé et d'une certaine longueur. Ainsi, une étude spécifique doit être réalisée pour évaluer les besoins en dispositifs de dilatation sur ces tabliers en particulier.

## III.3 CONCLUSION :

La superstructure de Notre projet « **TINDOUF-GARA DJEBILET** » se compose de rails UIC-60 E1 et de traverses en monobloc sur le ballast. Du côté droit de la voie (dans le sens du kilométrage), une bande latérale est prévue pour l'installation d'une conduite de câble pour les télécommunications.

Le Bon choix des éléments garantis la sécurité et la durabilité de voie.

# CHAPITRE IV :

# TRACE EN PLAN

## IV TRACE EN PLAN

### IV.1 INTRODUCTION :

L'analyse du tracé en plan d'une voie ferrée est essentielle pour déterminer sa forme géométrique. Cette représentation horizontale sur un système des points qui composent le tracé permet de viser des lignes droites et des courbes douces autant que possible. L'objectif est de choisir des options économiques tout en garantissant la sécurité, la stabilité et le confort, et en s'intégrant bien au terrain environnant. En réduisant les virages et en optimisant les courbes, on améliore la fluidité de la circulation des trains, ce qui rend le voyage plus agréable pour les passagers et simplifie la maintenance de la voie.

### IV.2 TRACE EN PLAN :

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

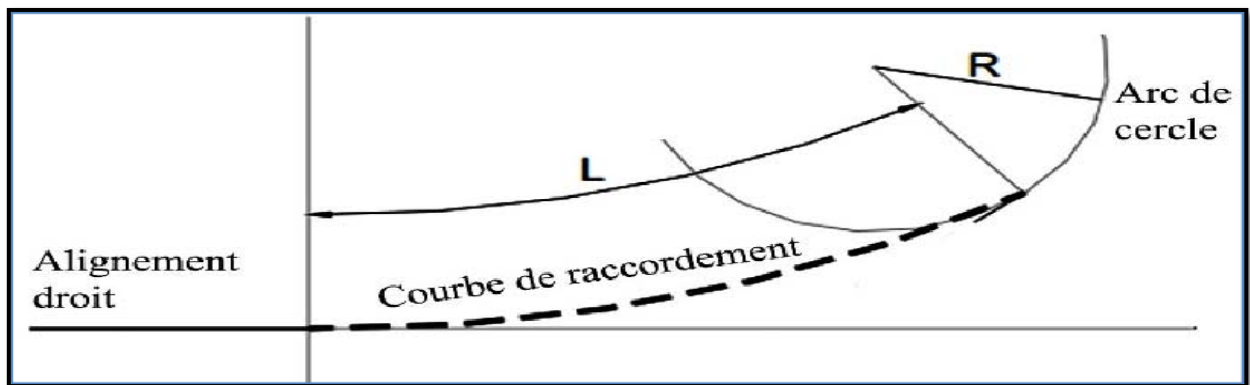


Figure IV-1 : Les éléments de tracé en plan

### IV.3 LES CONDITIONS ET LES REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de sécurité :

- Respecter scrupuleusement les territoires traversés sans déborder du couloir prédéfini.
- Éviter soigneusement les passages sur des terrains agricoles, des zones forestières et des propriétés privées.
- Éviter tout franchissement de zones stratégiques telles que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Privilégier autant que possible les tracés droits pour optimiser l'alignement.
- Prioriser la sécurité et le confort des usagers à chaque étape du processus.
- Éviter les zones à risque géologique et limiter les problèmes potentiels liés aux talus.

### IV.4 Description du tronçon de PK 787+700 au PK 799+700 :

Notre tronçon situé à la Section 4 de projet qui prend son origine au niveau de la commune d'Oum el ASSEL. Sur les 200 kilomètres Jusqu'à Tindouf le tracé traverse les 02 gares d'Oum el ASSEL et TINDOUF et 06 PCG (Point de Croisement et Garage).

- Paramètres de conception du tracé de la voie Bechar\Tindouf gara Djebilet :

Tableau IV-1 : Paramètres de conception du projet

Paramètres	Caractéristique
Nouvelle Ligne Ferroviaire Bechar/ Tindouf (Gara Djebilet) 950 km	Voie unique
Vitesse de conception du tracé pour le Traffic voyageurs 160 km/h	160 km/h
Vitesse de conception du tracé pour le Traffic marchandise 70 km/h	70 km/h
Charge à l'essieu de conception en pleine voie	32.5 t
Charge à l'essieu de conception pour les ouvrages	32.5 t
Ouvrage d'art	Pour double voie

#### IV.5 LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN :

##### IV.5.1 L'alignement :

Est un élément fondamental et avantageux pour l'exploitation des voies ferrées. Il s'agit du tracé idéal qui s'adapte le mieux aux chemins de fer d'un point de vue technique, en offrant confort et sécurité aux utilisateurs.

##### IV.5.2 Arc de rayon :

Dans les zones où la topographie ne permet pas d'établir des alignements directs, le tracé comprend souvent des arcs de cercle de rayon aussi large que possible. La valeur minimale du rayon est liée à la vitesse de base des trains. Dans certains cas, des rayons plus petits doivent être utilisés en fonction de la vitesse de circulation des trains dans les courbes.

##### IV.5.3 La courbe de raccordement :

La courbe de raccordement, élément géométrique essentiel, établit la transition entre l'alignement et l'arc de cercle. Elle permet à la courbure de passer progressivement d'un rayon infini à la fin de l'alignement à une valeur constante au début de l'arc de cercle, Il existe différents types de courbes de raccordement, mais la clothoïde (parabole cubique) est la plus couramment utilisée en raison de son aspect esthétique et de sa variation uniforme de courbure. Elle assure stabilité et confort aux passagers.

Les avantages de ce type de raccordement sont nombreux :

- Introduire progressivement le devers.
- Concevoir un tracé esthétiquement agréable.
- Garantir des conditions de confort et de sécurité adéquates.

Pour garantir la sécurité et le confort des voyageurs ainsi que la stabilité de la voie, certains paramètres

## CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

géométriques du tracé sont limités. Les critères suivants ont été définis pour chaque paramètre géométrique afin de respecter ces exigences :

- **Valeur limite normale** : C'est la valeur à ne pas dépasser pour permettre aux trains de circuler à des vitesses maximales ou minimales autorisées en toute sécurité.
- **Valeur limite exceptionnelle** : C'est une valeur plus restrictive que la valeur limite normale, utilisée dans des situations particulières. Par exemple, lors de l'établissement des vitesses maximales sur les lignes existantes, il peut être nécessaire d'autoriser des valeurs supérieures aux valeurs maximales normales pour éviter une réduction indésirable de la vitesse dans certaines zones, ce qui pourrait nuire au trafic.

### IV.6 PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ :

Le but d'étude est d'identifier un tracé le plus optimiser. La nouvelle ligne ferroviaire Bechar -Gara Djebilet circulée par des trains voyageurs et marchandise à des vitesses respectivement de 160 Km/h et 80Km/h.

Les paramètres géométriques applicables selon SNTF à la nouvelle ligne ferroviaire Bechar – gara Djebilet pour une vitesse de 160 km/h sont les suivants :

#### IV.6.1 Longueur minimum des éléments de tracé :

Les règles sur les longueurs minimales des alignements pour amortir suffisamment le roulis de la caisse des véhicules varient selon la vitesse des véhicules et le type d'alignement. Pour donner des recommandations générales pour les longueurs minimales, il est nécessaire de considérer deux types d'alignements :

##### 1. Alignements droits :

- Les alignements droits doivent être suffisamment longs pour garantir une visibilité adéquate et permettre aux trains de rouler à des vitesses élevées en toute sécurité.

##### 2. Courbes et Raccordement progressive :

- Les rayons de courbure doivent être suffisamment grands pour assurer des vitesses sûres et confortables dans les courbes. Plus la vitesse est élevée, plus le rayon de courbure doit être grand.
- Les longueurs minimales des courbes sont fonction du rayon de courbure et de la vitesse de conception. En général, plus la vitesse est élevée, plus la courbe doit être longue.

Pour notre projet la vitesse de conception de train est fixée à 160kmh.

Tableau IV-2 : : Valeurs limites des longueurs minimales des éléments du tracé (SNTF)

Valeur limite Normal	Valeur limite exceptionnelle
$V/2 = 160/2=80$	$V/3=160/3=53.33$

#### IV.6.2 Rayon minimale :

Le rayon de courbe minimum dépend de la vitesse maximale d'exploitation est calculé pour assurer le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants. La

## CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

formule généralement utilisée pour déterminer le rayon minimum de courbe en fonction de la vitesse maximale d'exploitation d'un train et d'autres paramètres de conception est la suivante :

$$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + I_{max}}$$

- $R_{min}$  : Rayon minimum de courbe (m).
- $V_{max}$  : Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- $d_{max}$  : Dévers maximal (mm).
- $I_{max}$  : Insuffisance de dévers maximum (mm)

### IV.6.3 Dévers :

Le dévers est un élément important dans la conception des voies ferrées, en particulier dans les courbes. Il s'agit de l'inclinaison transversale des rails de la voie en courbe, en autre maniéré le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie En courbe, destinée à compenser une partie de la force centrifuge qui agit sur les trains circulant dans la courbe.

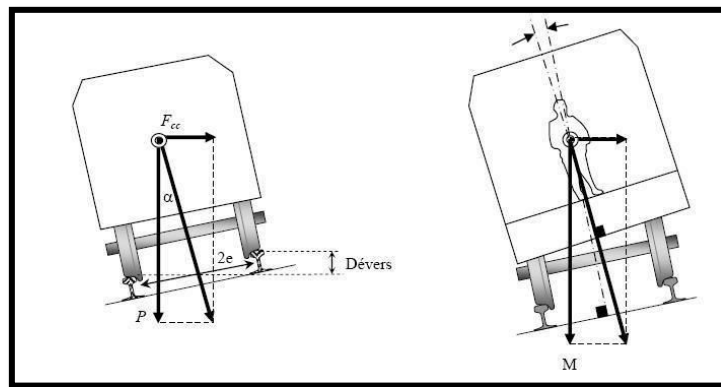


Figure IV-2 : Schéma du dévers

#### IV.6.3.1 Le dévers théorique :

Ou dévers d'équilibre, noté  $d_{th}$ , est le dévers qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors du passage d'un train dans une courbe. Il est calculé en fonction de la vitesse constante du train dans la courbe et du rayon de la courbe. La formule généralement utilisée pour calculer le dévers théorique est la suivante :

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

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

#### IV.6.3.2 Le dévers Pratique :

Le dévers pratique, aussi appelé dévers réel ou dévers de fonctionnement, est le dévers mis en œuvre dans la voie ferrée en prenant en compte les différentes vitesses et types de trains circulant dans la courbe (trafic mixte comprenant des trains de voyageurs et de marchandises). Il diffère du dévers théorique, qui annule complètement la force centrifuge, en ce qu'il cherche à atteindre un compromis pour répondre à divers objectifs tels que :

## CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

- ✓ **Éviter la fatigue excessive de la voie** : Un dévers trop faible pour les trains rapides peut entraîner une charge excessive sur le rail extérieur de la courbe, provoquant une usure prématurée et une fatigue de la voie. À l'inverse, un dévers trop élevé pour les trains lents peut causer une charge excessive sur le rail intérieur, ce qui peut également endommager la voie.
- ✓ **Assurer la sécurité des trains** : Un dévers insuffisant pour les trains à grande vitesse peut entraîner un risque de déportation du train vers l'extérieur de la courbe, pouvant aboutir à une sortie de voie. En revanche, un dévers excessif peut entraîner des problèmes pour les trains lents et plus de fatigue de la voie.
- ✓ **Assurer le confort des voyageurs** : Un dévers pratique équilibré contribue au confort des passagers en minimisant les forces latérales ressenties lors du déplacement du train dans une courbe :

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

$d_p$  : devers pratique

$R$  : Rayon de courbe (m)

$K$  : est le coefficient de la ligne.  $K=1000 \times C$

$C$  : Coefficient de dévers.

**Aussi le dévers pratique doit être  $0.5d_{th} \leq d_p \leq 0.7d_t$**

### ➤ Facteurs à prendre en compte lors de la mise en œuvre du dévers pratique :

La mise en œuvre du dévers pratique dans une ligne ferroviaire nécessite de prendre en compte plusieurs facteurs pour assurer un équilibre entre la sécurité, le confort et la durabilité de la voie notamment la **Vitesse de circulation**.

- ✓ **Trains de voyageurs rapides** : Les trains de voyageurs ont tendance à circuler à des vitesses élevées. Un dévers pratique doit donc être suffisamment élevé pour compenser la force centrifuge lorsque ces trains circulent dans les courbes.
- ✓ **Trains de marchandises lents** : Les trains de marchandises, qui circulent généralement à des vitesses plus lentes, nécessitent un dévers plus faible pour éviter de soumettre le rail intérieur à des charges excessives.
- ✓ **Compromis** : Le dévers pratique est un compromis entre les besoins des trains rapides et lents. Cela peut nécessiter des ajustements pour trouver un équilibre entre la sécurité, le confort et la durabilité de la voie.

**Tableau IV-3 : Valeurs limites du dévers**

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

### IV.6.3.3 Le coefficient de dévers :

Le choix du coefficient de dévers constant, noté  $C$ , est essentiel pour établir une relation proportionnelle entre le dévers pratique et la courbure  $1/R$ , de manière à assurer une conduite sûre et confortable pour les trains sur une section de voie donnée.

➤ **Calcul du coefficient de dévers constant :**

Selon la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), le coefficient de dévers constant, noté  $C$ , peut être calculé à l'aide de la formule suivante :  $C = 0.006 \times V_{max}^2$

Où :

- $C$  : Le coefficient de dévers constant sur une section de voie donnée.
- $V_{max}$  : La vitesse maximale de circulation des trains sur la section de voie (en km/h).

**Remarque : le coefficient de devers adopté doit être un multiple de 15.**

Pour notre projet on a ➔  $C = 0.006 \times 160^2 = 153,33$  en prend  $C = 165$

**IV.6.3.4 Variation de devers :**

La variation du dévers (ou inclinaison transversale) dans les courbes de transition est importante pour assurer la stabilité des trains. Une transition fluide dans la variation du dévers est nécessaire pour éviter les problèmes de stabilité dus à la vitesse de rotation des trains autour de leur axe longitudinal

➤ **Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction de longueur  $\Delta d/\Delta l$  :**

La longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible.

Tableau IV-4 : Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
180/V=1,125	216/V=1,35

➤ **Variation de dévers dans les courbes de transition en fonction de temps  $\Delta d/\Delta T$**

La variation de dévers en fonction du temps (notée  $\Delta d/\Delta T$ ) est généralement limitée pour assurer une transition en douceur entre différentes sections de voie, de manière à éviter les changements brusques dans l'inclinaison latérale et ainsi maintenir la stabilité du train.

$$\frac{dd}{dl} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L}$$

Où  $L$  est la longueur de la courbe de transition exprimé en (m).

Tableau IV-5 : Valeurs limites de la variation du devers (SNTF).

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
50mm	60mm

**IV.6.3.5 Insuffisances de devers (i) :**

Lorsque la vitesse d'un train rapide (notée  $V_r$ ) dans une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, le train est soumis à une force centrifuge non compensée. Cette situation survient lorsque le dévers de la voie est insuffisant pour compenser la force centrifuge créée par la vitesse élevée du train dans la courbe.

## CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

La différence entre le dévers théorique requis pour les trains rapides et le dévers Pratique est appelée insuffisance de dévers. Elle peut être calculée à l'aide de la formule suivante :  $I = d_{th} - d_p$ .

$$I = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} - d_p \leq I_{lim} [mm]$$

**Tableau IV-6 : Valeurs limites de l'Insuffisance du dévers (SNTF).**

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
150mm	160mm

### IV.6.3.6 La variation de l'insuffisance de dévers :

La variation de l'insuffisance de dévers, notée  $dt \setminus d\Delta e$ , est le taux de changement de l'insuffisance de dévers en fonction du temps. C'est-à-dire, elle mesure la vitesse à laquelle l'insuffisance de dévers change pendant que le train circule à une certaine vitesse sur une courbe. Cette variation de l'insuffisance de dévers est généralement exprimée en millimètres par seconde (mm/s).

**Tableau IV-7 : : Valeurs limites de la variation de l'insuffisance du dévers (SNTF).**

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

### IV.6.3.7 Excès de dévers :

Lorsque le train de marchandise qui sont dans notre projet les Minéraliers roule très lentement en courbe, il ressent le dévers Installé pour le train rapide comme un excès de dévers noté « E » Cela signifie que le dévers de la voie est trop élevé pour la vitesse à laquelle le Train circule. Dans ce cas, le Train est soumis à une force centripète non compensée, ce qui entraîne une résultante des forces qui se déplace vers l'intérieur de la courbe.

$$E = d_p - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} \leq E_{lim} [mm]$$

**Tableau IV-8 :**  
de l'excès du dévers

Valeur limite normale (mm)	Valeur limite exceptionnelle (mm)
110mm	130mm

**Valeurs limites**  
(SNTF).

## IV.7 RACCORDEMENTS PROGRESSIFS :

Le raccordement progressif dans les voies ferrées permet de passer de façon graduelle entre un alignement droit (ou une courbe avec un rayon différent) et une courbe avec un certain rayon et dévers. Ils sont essentiels pour assurer une transition douce pour les trains, tant en termes de changement de courbure que de changement de dévers, et ainsi offrir aux voyageurs confort et sécurité.

La longueur d'un raccordement progressif est définie par les Caractéristiques suivantes :

- Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.
- Taux de variation de dévers en fonction du temps.

## CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

- Taux de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.
- Des raccordements progressifs (RP), de type clothoïde avec variation linéaire du dévers des voies, seront mis en œuvre entre alignements et courbes.

D'après les conditions exigées par la norme (SNCF/IN0272) on a :

$$LDD = \frac{D \times V_{max}}{3.6 \times \frac{dd}{dt}}$$

### IV.8 APPLICATION AU PROJET :

D'après la fiche UIC 703 et les recommandations SNTF on a les données suivantes :

Tableau IV-9 : valeurs recommander par SNTF et la fiche UIC 703

Vitesse des trains rapides (voyageurs)	$V_{max} = 160km/h$
Vitesse des trains lents (marchandise)	$V_{min} = 70km/h$
Excès de dévers (valeur limite normale) $E$	$E = 110m$
Insuffisance de dévers maximum	$I_{max} = 150m$
Dévers max $d_{max}$	$d_{max} = 160m$
Variation de dévers en fonction du temps (valeur limite)	$\frac{dd}{dt} = 50mm/s$
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	$\frac{dI}{dt} = 70mm/s$
Paramètres du gauchissement (valeur limite normale)	$1.125 mm/s$

Calcul du rayon minimal :

- D'après la formule suivante de rayon on va trouver :

$$R_{min} \geq \frac{11,8 \times v_{max}^2}{I_{max} + d_{max}} \quad \text{d'où} \quad R_{min} \geq \frac{11,8 \times 160^2}{160 + 150} = 974.45 \text{ m}$$

On prend  $R_{min} = 1100 \text{ m}$

- On calcule le dévers associé au rayon minimum  $R_{min} = 2000 \text{ m}$

Selon la formule :  $dp = \frac{1000 \times C}{R_{min}}$  avec  $C$  : c'est le coefficient de dévers.

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

La valeur de  $C$  doit être multiple de 15 donc on prend une valeur de  $C = 165$

$$\text{D'où} \quad dp = \frac{1000 \times 165}{2000} = 82.5 \text{ mm} < d_{max} = 160 \text{ mm} \longrightarrow \text{vérifié}$$

**On adopte une valeur de  $dp=30mm$**

- Calcule de devers théorique des trains rapides :

$$d_{th(r)} = \frac{11,8 \times V^2_{max}}{R_{min}} = \frac{11,8 \times 160^2}{2000} = 151,04 \text{ mm} \approx 152 \text{ mm}$$

- Calcule de devers théorique des trains lents :

$$d_{th(l)} = \frac{11,8 \times V^2_{min}}{R_{min}} = \frac{11,8 \times 70^2}{2000} = 28,91 \approx 29 \text{ mm}$$

- Calcule l'insuffisance de devers :

$$I = d_{th(r)} - dp = 152 - 30 = 122 \text{ mm} < I_{max} \longrightarrow \text{vérifié}$$

- Calcule l'excès de devers :

$$E = dp - d_{th(l)} = 30 - 29 = 97 \text{ mm} < E_{max} \longrightarrow \text{vérifié}$$

- Calcul la longueur minimale et le paramètre de raccordement progressif :

$$L_{Rp} = \frac{dp \times V_{max}}{3,6 \times \frac{dd}{dt}} = \frac{30 \times 160}{3,6 \times 50} = 30 \text{ m} \quad \text{On prend : } L = 100 \text{ m}$$

- Paramètre de la clothoïde :

$$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{2000 \times 100} = 447,213$$

- Variation de devers :

✓ En fonction de temps :  $\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \times V_{max}}{3,6 \times L_{adp}} = \frac{30 \times 160}{3,6 \times 100} = 13,33 < 50 \text{ mm/s}$

✓ En fonction de longueur :  $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{dp}{L_{Rp}} = \frac{30}{100} = 0,30 < 1,12 \text{ mm/m}$

➤ Nous reprenons la même méthode de calcul pour la totalité des autres rayons.

**IV.8.1 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan :**

Ci-dessous le tableau récapitulatif des rayons en plan établis pour notre tronçon du PK 787+700 AU PK 799+700, avec longueurs de clothoïde correspondantes, ainsi que toutes les vérifications nécessaires Selon la SNTF.

**Tableau IV-10 : Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan**

Rayon (m)	Vitesse KM/H		dth (V)	dth (M)	C adopté	dp (mm)	dp adopté	I (mm)	E (mm)
	Voy	Mar							

## CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

<b>2300</b>	160	70	131,34	25,14	165,00	71,74	26	105,34	0,86
<b>2000</b>	160	70	151,04	28,91	165,00	82,50	30	121,04	1,09
<b>3000</b>	160	70	100,69	19,27	165,00	55,00	20	80,69	0,73

Lrp (m)	Lrp adopté	dd/dL (mm/m)	dl/dt (mm/s)
17,33	100	0,26	46,82
30,00	100	0,30	53,80
13,33	60	0,33	59,77

### IV.8.2 Les raccordements progressifs :

Le raccordement progressif est recommandé Si  $\Delta C > \frac{2000}{V^2_{max}}$

Le raccordement progressif est obligatoire Si  $\left\{ \begin{array}{l} V_{max} \leq 100 \text{ km/h} \Rightarrow \Delta C > \frac{9000}{V^2_{max}} \\ V_{max} > 100 \text{ km/h} \Rightarrow \Delta C > \frac{7000}{V^2_{max}} \end{array} \right.$

Pour notre Cas la valeur de  $\Delta C$  pour un Alignement / courbe est calculée comme suit :  $\Delta C = \frac{1000}{R}$

Le cas de notre projet c'est  $V_{max} > 100 \text{ km/h}$  on va vérifier la nécessité des clothoïdes :

$$\Delta C = \frac{7000}{160^2} = 0,273$$

$$R1=2300\text{m} \quad \Delta C = \frac{1000}{2300} = 0,43 > 0,273$$

$$R2=2000\text{m} \quad \Delta C = \frac{1000}{2000} = 0,5 > 0,273$$

$$R3=3000\text{m} \quad \Delta C = \frac{1000}{3000} = 0,33 > 0,273$$

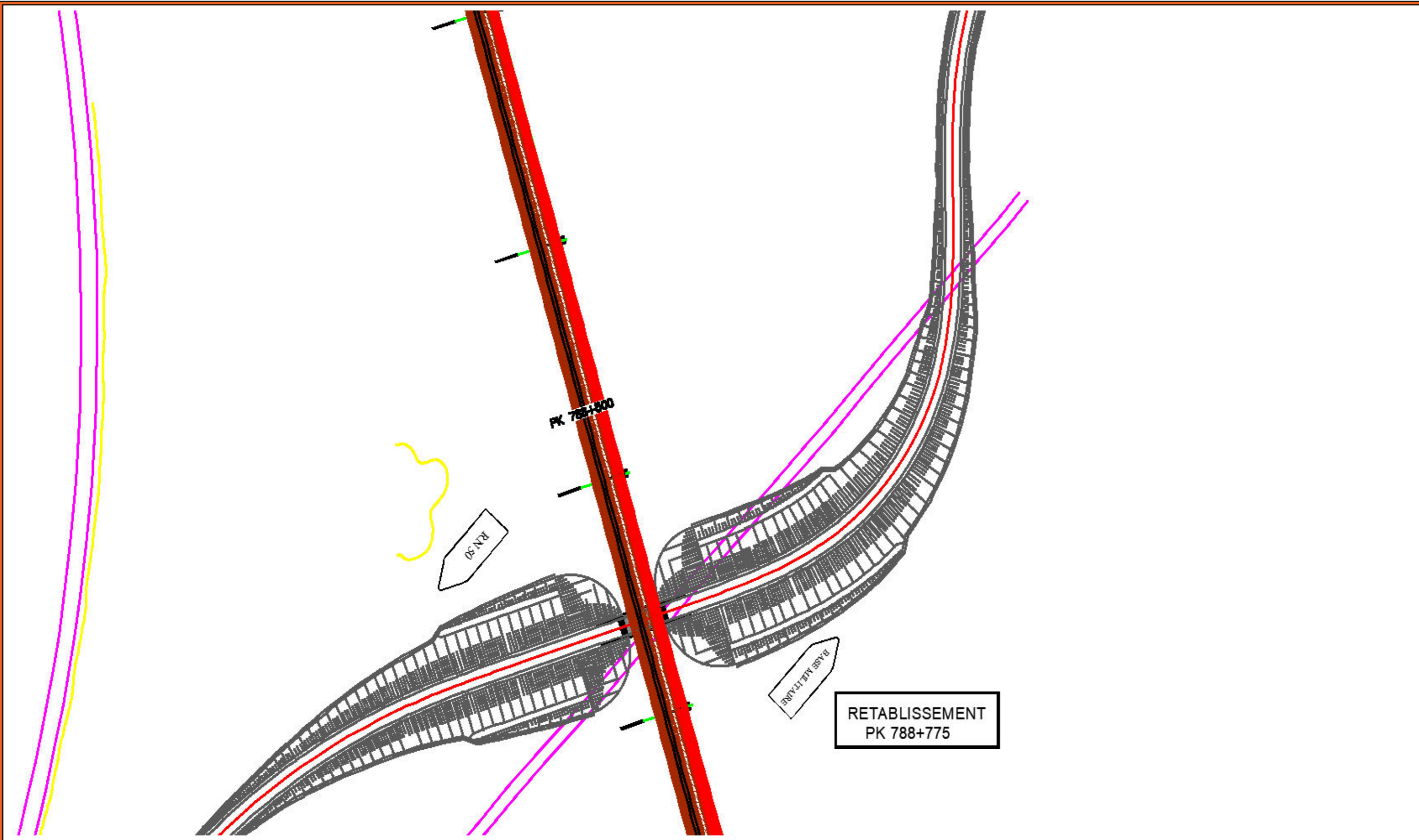
Donc les clothoïdes de rayons sont obligatoires.

**NB :** le tracé en plan est joint en format A3 dans l'annexe.

### IV.9 CONCLUSION :

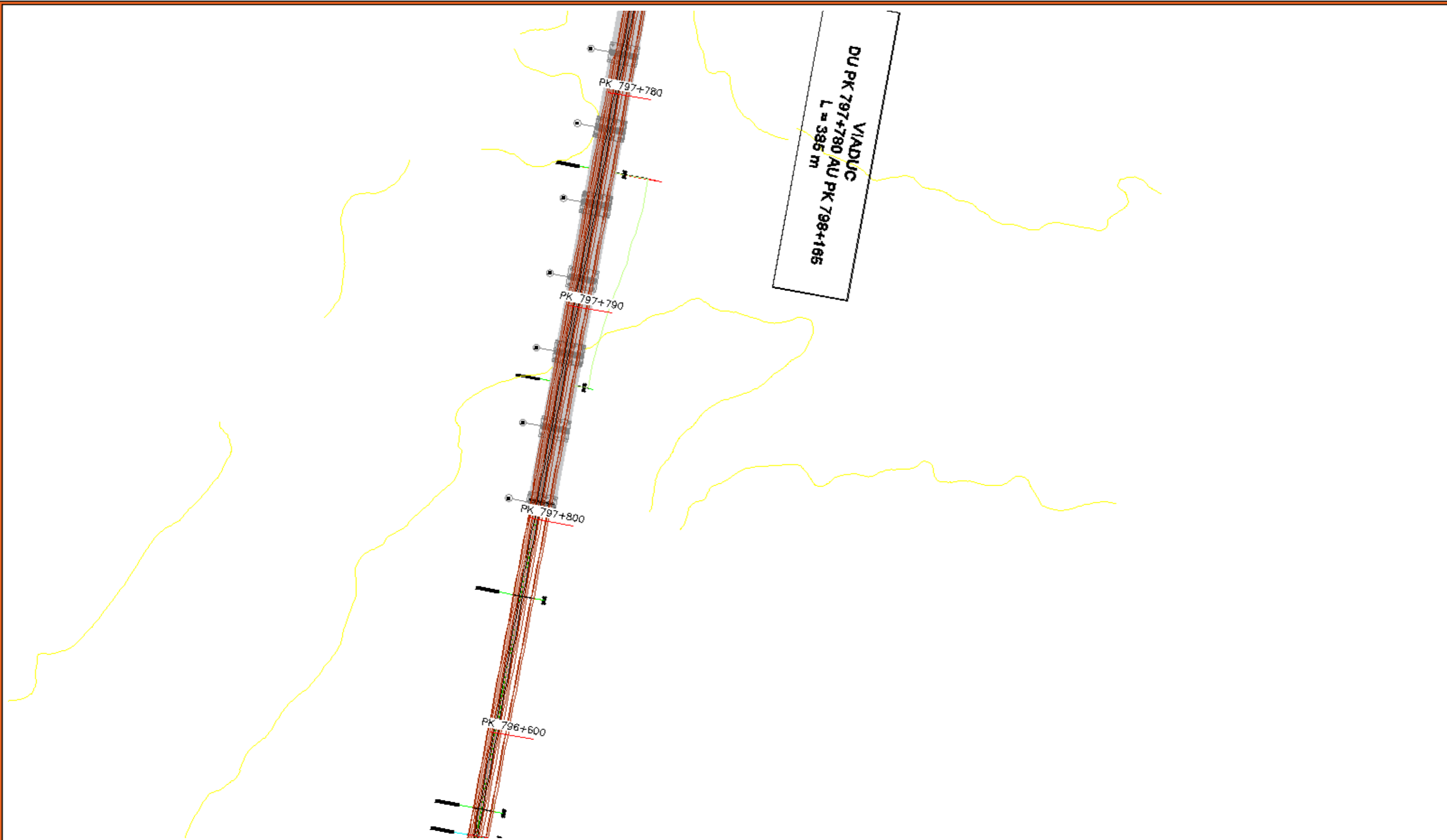
Notre tronçon se situe dans la Wilaya de Tindouf . Il débute à PK787+700 et se termine à PK799+700. Notre tronçon a dû faire face à plusieurs défis, notamment la construction de deux viaducs pour traverser les cours d'eau importants situés aux PK791+975 et PK796+375. Nous avons également dû contourner les routes menant aux centrales à gaz et aux casernes de services du Ministère de la Défense Nationale, qui possède plusieurs zones militaires dans la région.

Ensuite, nous nous dirigeons vers la mine de Gara Djebilet, située au PK950. Nous prévoyons d'établir une gare à la wilaya de Tindouf, Cette gare sera située à l'est de la ville, ce qui permettra aux habitants d'y accéder plus facilement.



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

PROJET DE FIN D'ETUDES		Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
étude APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE BECHAR GARA DJBILET TINDOUF DE PK 787+700 à PK799+700 Avec conception de la gare Tindouf		SOUIKI GHADA ALLOUTI CHAIMA	GOUMETTRE AHMED	1/100	Tracé en Plan	2023/2024



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

PROJET DE FIN D'ETUDES		Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
étude APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE BECHAR GARA DJBILET TINDOUF DE PK 787+700 à PK799+700 Avec conception de la gare Tindouf		SOUIKI GHADA ALLOUTI CHAIMA	GOUMETTRE AHMED	1/100	Tracé en Plan	2023/2024

# CHAPITRE V :

# PROFIL EN LONG

### V PROFIL EN LONG :

#### V.1 INTRODUCTION :

Le profil en long d'une voie ferrée est une ligne continue obtenue en réalisant un profil en long fictive, de sorte qu'elle représente l'évolution de l'altitude de l'axe en fonction de l'abscisse de la courbe.

L'objectif principal du profil en long est d'assurer la continuité du conducteur dans l'espace de la voie ferrée afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et d'avoir une bonne perception des points singuliers.

Le profil en long est constitué d'une série de segments droits (rampes et pentes) reliés par des courbes circulaires. Pour chaque point du profil en long il faut déterminer :

- L'altitude du terrain naturel
- L'altitude de la ligne du projet
- La déclivité de la ligne du projet

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

Le tracé de la ligne rouge qui constitue la ligne projet retenue n'est pas arbitraire, mais elle doit répondre à certaines conditions concernant le confort, la visibilité, la sécurité et l'évacuation des eaux pluviales. Parmi ces conditions il y a lieu :

- D'adapter au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement qui peuvent être coûteux ;
- De rechercher l'équilibre adéquat entre le volume de remblais et de déblais ;
- De ne pas dépasser une pente maximale préconisée par les règlements ;
- D'éviter de maintenir une forte déclivité sur une grande distance ;
- D'éviter les hauteurs excessives de remblais ;
- Prévoir le raccordement avec les réseaux existants ;
- Au changement de déclivité (butte ou creux) on raccordera les alignements droits par des courbes paraboliques ;
- D'assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

#### V.3 ELEMENT GEOMETRIQUE DU PROFIL EN LONG :

Les éléments géométriques du profil en long sont :

##### V.3.1 Les déclivités droites :

Sont caractérisées par leur longueur et leur inclinaison, le sens de cette inclinaison dépend de la direction de la circulation.

- Pente : « déclivité négative » ; pour un tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans la direction de circulation.
- Rampe : « déclivité positive » pour une section où la hauteur augmente.
- Palier : « déclivité nulle » c'est la section où la hauteur est constante, cas des gares.

**V.3.2 Raccordements de déclivités :**

- Courbes de raccordement vertical : Les raccordements des pentes et des rampes se fait par des courbes circulaires ou paraboliques.

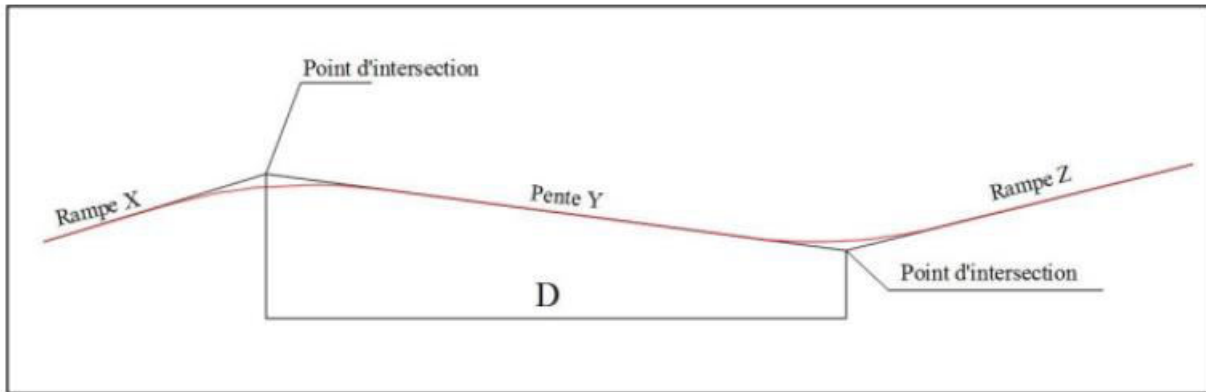


Figure V-1 : les éléments de profil en long

**V.4 PARAMETRE DU TRACE A RESPECTER :**

**V.4.1 La déclivité maximale :**

Le profil en long de notre ligne est soumis à des exigences plus contraignantes que le tracé en plan. Les trains minéraliers long de 2200 m et tractant une charge de 22 100 tonnes circulent 8 fois par jour de Gara Djebilet à Bechar, ce qui demande d’après le plan de transport étudié (dans le sens chargé) :

- Les rampes sont inférieures ou égales à 6-8 ‰
- Les pentes sont inférieures ou égales à 6-10 ‰

Tableau V-1 : Paramètres du profil en long

Paramètres du profil en long	
Pente maximale dans le sens chargé	10 ‰
Rampe maximale dans le sens chargé	8 ‰
Pente et Rampe dans les PCG	0 ‰
Pente et Rampe dans les Gares	0 ‰

**V.4.2 Longueur minimale des déclivités :**

Afin de permettre l’amortissement des oscillations des suspensions il convient de définir une longueur minimale des rampes et de pentes :

Tableau

V-2 :

Longueur  
minimale  
déclivités

Longueur minimum des éléments du profil en long	
Valeur maximale normale	$V/2=80$ m
Valeur maximale exceptionnelle	$V/3=53,33$ m

des



## CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

### V.4.3 Rayon admissible en raccordements de profil en long :

Il est nécessaire de raccorder deux déclivités en profil en long afin de garantir le confort et la sécurité. Les rayons minimaux autorisés pour les raccordements circulaires en profil en long sont restreints afin de prendre en compte les facteurs suivants :

- Quand un véhicule ferroviaire traverse un raccordement de profil en long de rayon  $R_v$  à une vitesse «  $V$  », il est soumis à une accélération centrifuge.
- Afin de limiter les accélérations verticales en caisse des véhicules ferroviaires les raccords de déclivité du profil en long doivent respecter les valeurs de rayon du tableau suivant :

Tableau V-3 :

Rayon vertical

Rayon minimum vertical	
Valeur maximale normale	$0.35 * V^2 = 8960 \text{ m}$
Valeur maximale exceptionnelle	$0.25 * V^2 = 6400 \text{ m}$

Valeurs de  
minimale

**NB. Sauf cas exceptionnel, il ne doit pas y avoir d'interférences entre les courbes de transition en plan (clothoïde) et les courbes de raccordement en profil en long (raccord circulaire).**

### V.5 LE PROFIL EN LONG RETENUE :

Le terrain de la région d'étude est pratiquement plat, Le profil en long de la pleine voie aura des déclivités au moyenne qui varieront de 0,9 ‰ jusqu'à 1.1 ‰.

-Afin de limiter les accélérations verticales en caisse des véhicules ferroviaires les raccords de déclivité du profil en long sont fixés a 25000m.

- La côte est de FSR.

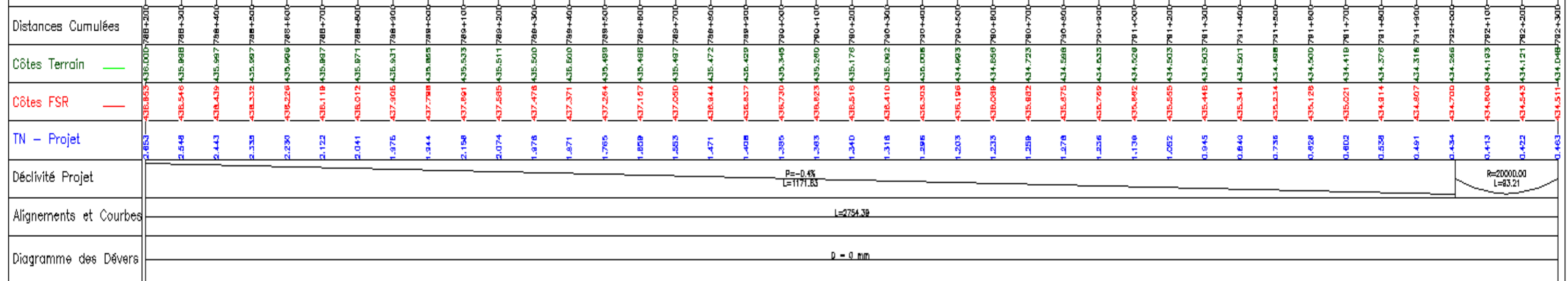
- Le profil en long est entièrement en remblais à cause de la situation de notre tronçon dans une zone inondable qui nous obligé de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

Le NPHE est définie et calculé dans le chapitre d'étude hydraulique, ainsi à cause des raisons liées à l'ensablement.

**le profil en long est joint en format A3 dans l'annexe.**

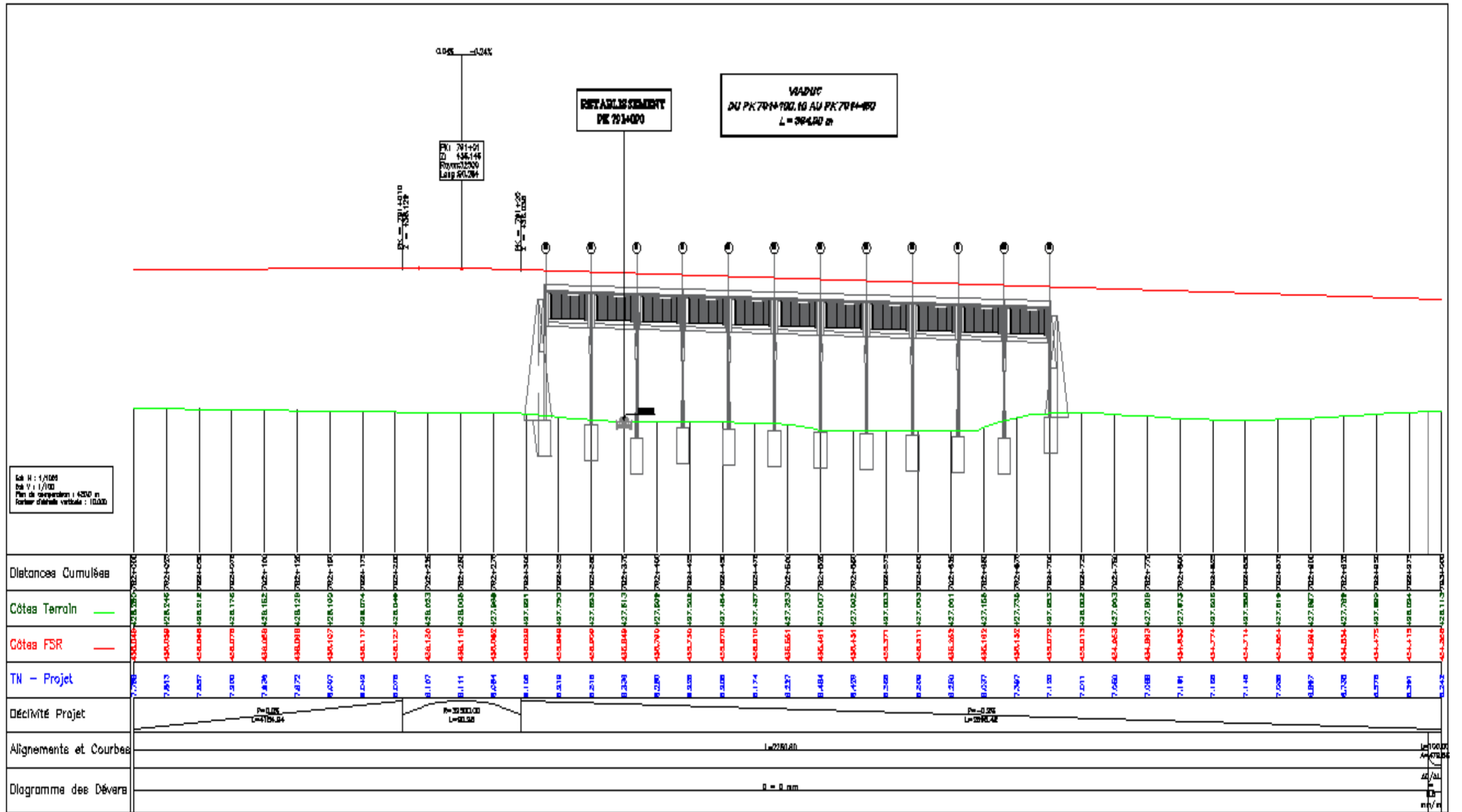
RETABLESSEMENT  
PK 788+775

Ech H : 1/1000  
Ech V : 1/100  
Plan de comparaison : 4330 m  
Facteur d'échelle verticale : 10.000



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

PROJET DE FIN D'ETUDES		Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
étude APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE BECHAR GARA DJBILET TINDOUF DE PK 787+700 à PK 799+700 Avec conception de la gare Tindouf		SOUIKI GHADA ALLOUTI CHAIMA	GOUMETTRE AHMED	1/100	PROFIL EN LONG	2023/2024



# CHAPITRE VI :

## ETUDE

# GEOLOGIQUE ET

# GEOTECHNIQUE

## VI ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

### VI.1 INTRODUCTION :

L'étude géotechnique et géologique représente sans doute l'étape la plus importante, elle permet la reconnaissance du terrain et régira tous les choix de conception qui en résulteront. Elle nous fournit les caractéristiques du sol et du sous-sol qui sont indispensables pour garantir la stabilité de la construction.

Les données recueillies permettent d'évaluer la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa résistance à l'érosion, ainsi que d'autres paramètres importants pour la conception des fondations, des remblais, des talus, et autres structures associées au projet ferroviaire.

### VI.2 ETUDE GEOLOGIQUE :

#### VI.2.1 Situation géographique :

Le tracé du projet Béchar - Tindouf se situe au Sud-ouest de l'Algérie. Notre zone du projet entre le PK 787+700 et le PK 799+700 parcourt le territoire de la wilaya de Tindouf, et elle est limitée au Nord par le Maroc, au Nord-est par la wilaya de Béchar, à l'Ouest par le Sahara occidental, à l'Est par la wilaya d'Adrar et au Sud par la Mauritanie.

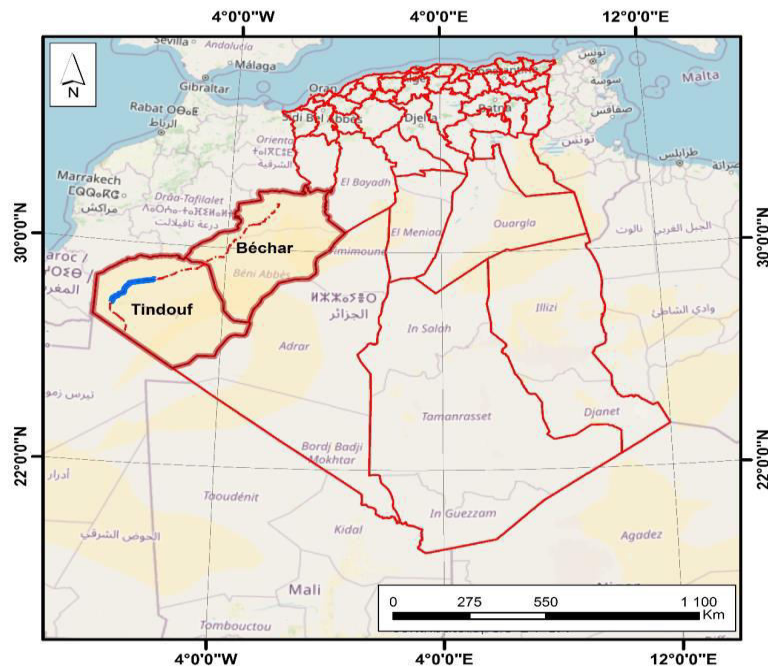


Figure VI-1 : Situation administrative du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000.

#### VI.2.2 Formes géomorphologiques :

Le territoire traversé par la ligne du tracé du projet Béchar – Tindouf entre le PK 787+700 au PK 799+700 se caractérise par les formes géomorphologiques suivantes :

- **Les massifs** : Au Nord, le tracé passe entre les versants du djebel OUARKZIZ en sa partie orientale, au niveau OUM EL ASSEL. Il est constitué de calcaire qui forme au Nord un immense arc de cercle, sous forme d'une cuesta dont la surface structurale plonge vers le Sud. C'est une surface régulièrement ravinée et coupée par des cluses qui draine vers l'OUED DRA les oueds qui viennent du sud. Une deuxième cuesta moins haute est séparée de la première par un niveau de marnes gypseuses plus tendres déterminant une dépression qui suit d'Est en Ouest.

## CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

• **Les hamadas** : la zone d'étude s'intègre dans un ensemble désertique, fortement dominé par les hamadas, dont la surface est tabulaire, comportant parfois quelques ondulations. L'étendue de la hamada est très vaste et a pour limites au Nord Est le piémont de l'Atlas, et au Sud-ouest le massif de Yetti. Le tracé passe essentiellement par la Hamada de Tindouf.

• **Les Sebkhhas** : La zone d'étude compte plusieurs sebkhhas qui sont généralement des dépressions dans les Hamadas, parmi ces dépressions, on note la sebkhha de TINDOUF, la sebkhha d'AIN BELBELA.

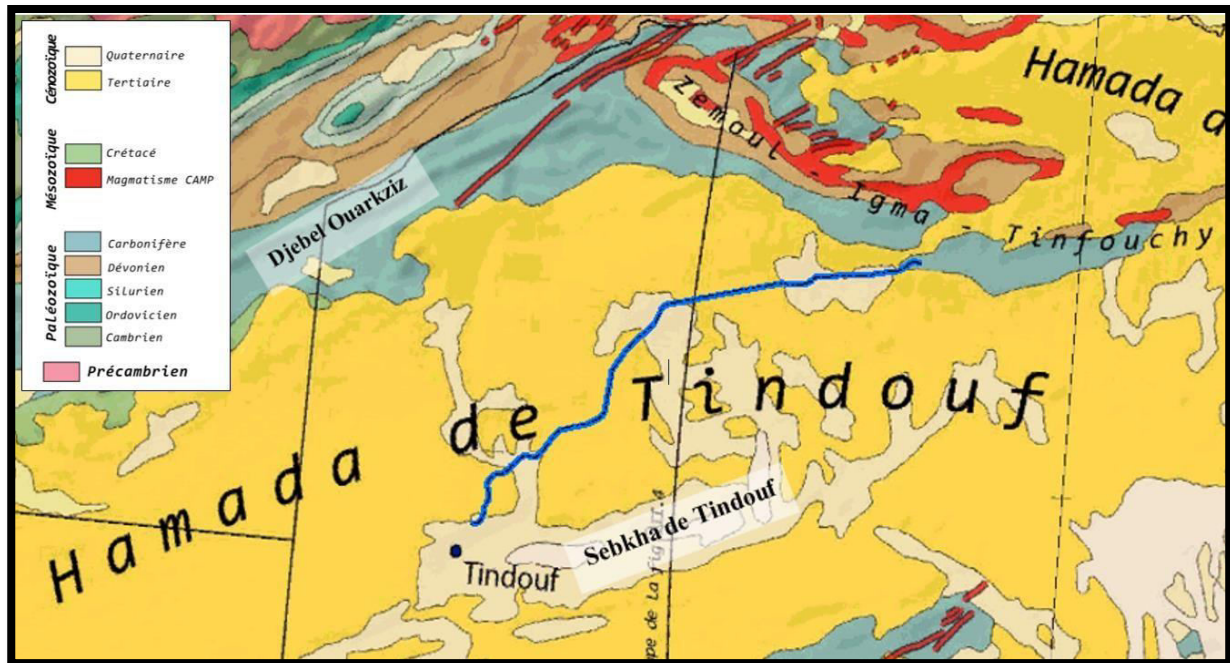


Figure VI-2 : Formes géomorphologiques rencontrées dans la zone traversée par le tracé du projet Béchir – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000.

### VI.2.3 Cadre géologique :

#### VI.2.3.1 Cadre géologique général :

Le bassin de Tindouf est situé à l'extrême Ouest de la plate-forme saharienne. Ce bassin forme une vaste dépression orientée Est-Ouest couvrant une superficie de plus 130 000 km<sup>2</sup>. Il est limité :

- A l'Est et au Nord-est, par l'ensellement de KRETTAMIA BOU BERNOUS et les monts de l'OUGARTA;
- A l'Ouest, par les frontières algéro-marocaines et algéro-république arabe sahraouie démocratique(RASD);
- Au Nord, par l'Anti-Atlas marocain ;
- Au Sud, par le massif des REGUIBAT.

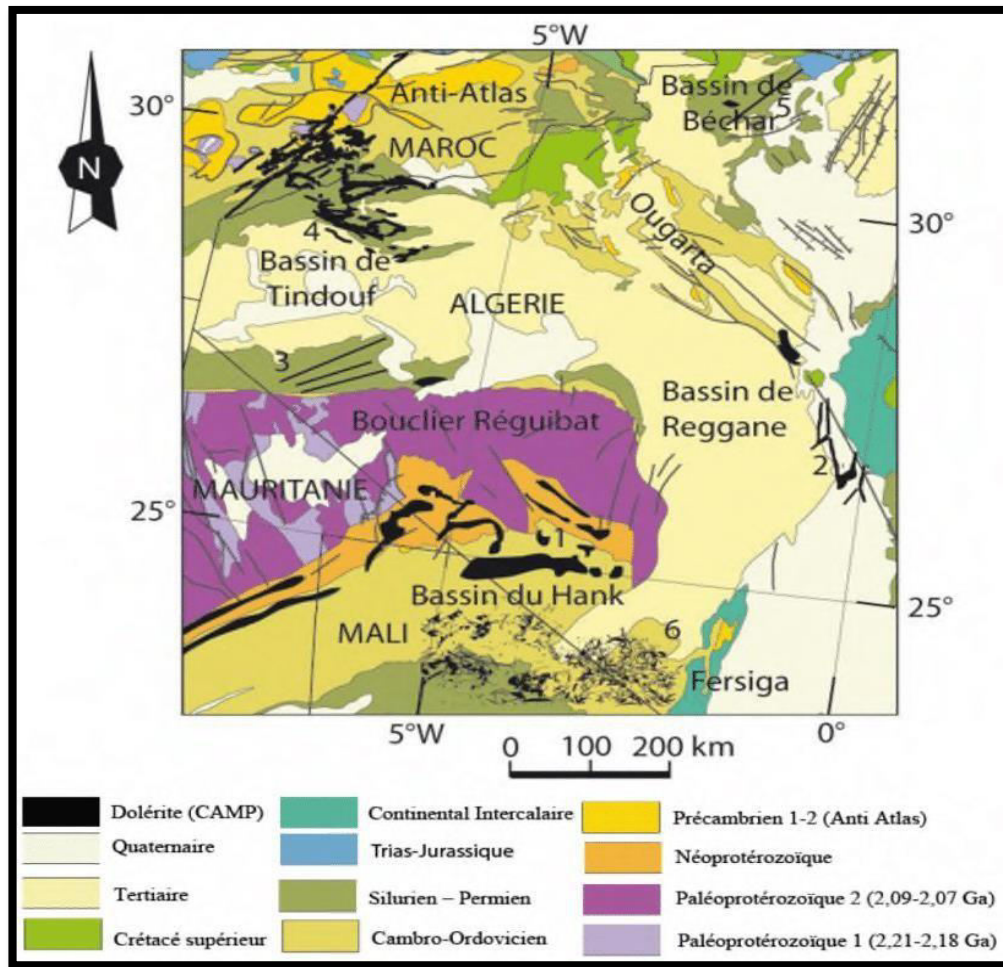


Figure VI-3 : Cadre géologique général de la zone du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000.

C'est un bassin de type péricratonique, dissymétrique, avec un flanc Sud à très faible pendage (3° maximum) et un flanc Nord très redressé et fortement structuré, en relation avec une série de failles complexes de direction globale Est-Ouest à Nord-est – Sud-ouest.

### VI.2.3.2 Cadre géologique local :

La zone traversée par Le tracé de la ligne Béchar – Tindouf, entre le PK 787+700 au PK 799+700 appartient essentiellement au bassin de Tindouf. Il se situe dans le Sud-ouest de l'Algérie, dans la partie la plus à l'Ouest du Sahara algérien. Il s'agit d'une grande dépression orientée Est -Ouest qui s'étale sur quatre pays à savoir : l'Algérie (la majeure partie du bassin se situe dans le territoire algérien), le Maroc, le Sahara occidental et la Mauritanie. Il est limité au Nord par l'anti Atlas marocain, au Sud par la dorsale REGUIBAT, à l'Est par la chaîne de l'OUGARTA et à l'Ouest par les monts d'ES-SEMARA au Maroc.

Le bassin de Tindouf est un bassin de type péricratonique, dissymétrique, avec un flanc sud appartenant à la zone cratonique stable de l'Ouest-africain. Les affleurements sont essentiellement d'âge Paléozoïque et reposent au Sud en discordance sur le socle précambrien. Ces affleurements sont recouverts dans la partie centrale du bassin par les formations de la Hamada d'âge Tertiaire.

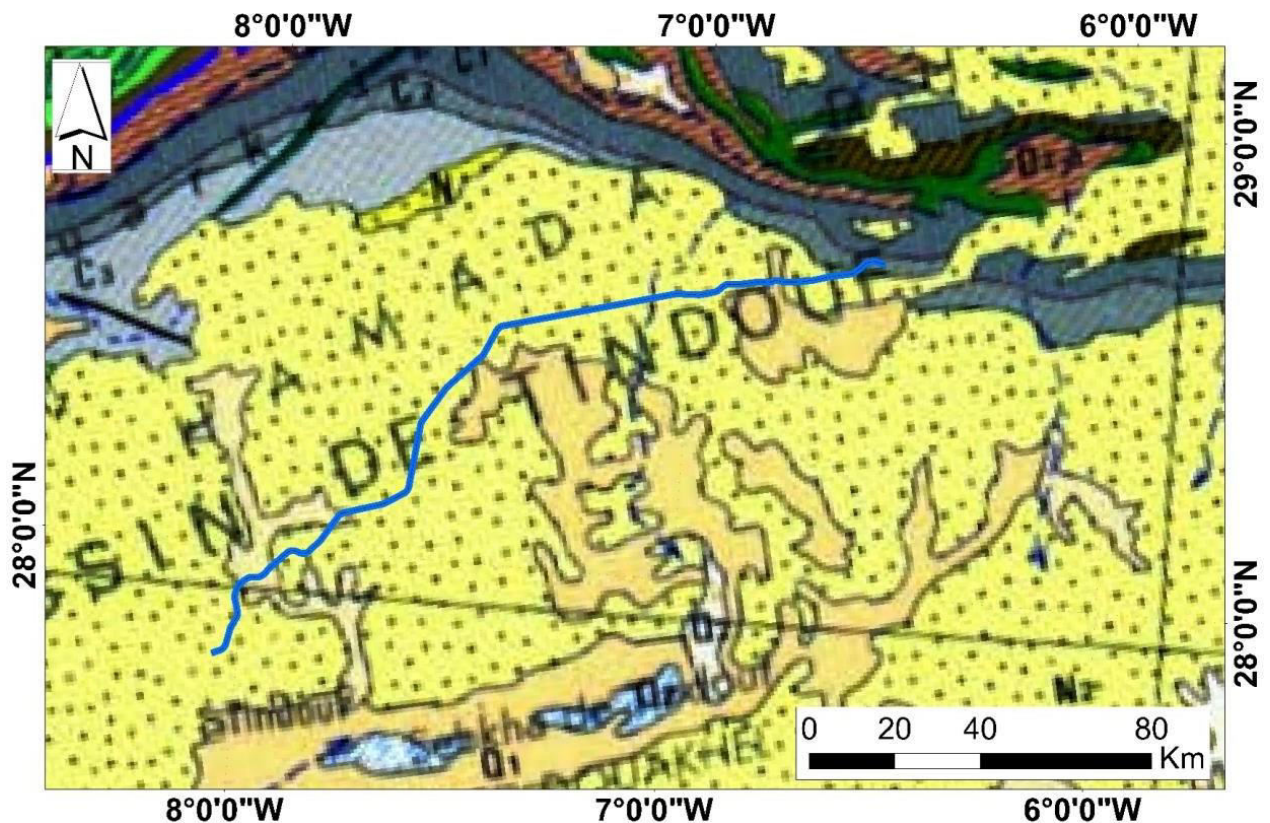


Figure VI-4 : Cadre local du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000.

#### VI.2.4 Litho stratigraphie :

- **Carbonifère :**

Sur le Flanc Nord : il débute par un ensemble argilo-gréseux à rare intercalations carbonatées, surmonté par des grès fins suivi d'une alternance d'argiles silteuses (Formations du Jbel Tazout et Betaina). Une épaisse série de calcaires alternant avec des grès forment l'ossature de l'alternance argilo-gréseuse et carbonatée de la série de l'Ouarkziz. La série de la Bétana formées à la base par des grès rouges et des argiles bariolées, avec une alternance de grès et d'argiles rouges au sommet, viennent recouvrir le tout ;

Sur le Flanc Sud : il débute par une zone conglomératique constante suivie d'une épaisse formation de grès et de calcaires passant à des argiles (Formation de Kreb es Slouguia). Cette dernière est surmontée par une alternance d'argiles et de passées de calcaire gréseux (Formation de Kreb es Sefiat), des marnes et marnes gréseuses (Formation d'Aïn el Barka) qui devient argilo-gréseuse (Formation de Hassi Aoulouel).

- **Cénozoïque :**

Il correspond au vaste remplissage continental qui venait recouvrir au Tertiaire les reliefs du bassin de Tindouf. Ce sont les terrains de Hamada correspondant à des formations marno-gréseuses supportant une dalle calcaire plus au moins tuffeuse. L'épaisseur de cette formation est très variable, mais elle ne dépasse probablement pas 130 mètres, sachant que les fossiles recueillis lui confèrent un âge Pliocène. Une deuxième phase de remplissage beaucoup moins étendue recouvre la première et est daté paléontologiquement du Quaternaire. Les regs, les alluvions, les éboulis, les sebkhas et les dunes (ergs) sont aussi des formations à rattacher au Quaternaire.

Ages	Stratigraphie	Epaisseurs (m)	Lithologie	Description
Quaternaire	Hamada	40 à 100		Calcaires silicifiés Grès et sables tufolimoneux
Eocène				<b>Discordance hercynienne</b>
Paléocène				
Stéphanien	Merkala*	350 à 500		Argiles bariolées à passées de grès fins
Westphalien	Hassi Aouelouel			
Namurien	Djebel Rouina*	100		Grès à stratifications entrecroisées et obliques
Serpukhovien	Ouarkziz*	500 à 700		Calcaires, marnes à anhydrite, Coraux et <i>Gigantoproductus</i>
Viséen supérieur	Ain El Barka			
Viséen inférieur	Bétaina* Kerb Es Sefiat	300 à 500		Argiles à passées de grès et de calcaires
Tournaisien	Tazout III*	80 à 160		Grès, quartzites et siltes
	Kerb Es Slougia			
Dévonien supérieur	Kerb En Naga Oued Ghazal Oued Tsabia	280 à 450		<b>Anneaux de Liesegang</b> Dolerite
Dévonien moyen	Oued Talha	40 à 100		Argiles à passées calcaires et gréseuses
Dévonien inférieur	Djebilet	50 à 100		<b>Muraille de Chine</b>
				Grès et argiles silteuses
Silurien	Sebka Mabbes	120 à 700		Argiles noires à Graptolithes
Ordovicien supérieur	Ghezziane	0 à 200		Grès glaciaires à figures de cryoturbation au sommet
Précambrien	Yetti- Eglab	?		Granites et séries

Figure VI-5 : différentes caractéristiques de sol de la région de tindouf

### VI.2.5 Sectorisation géologique :

Le tracé du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000 traverse essentiellement les formations tertiaires du bassin Hamadien de Tindouf supportant une dalle calcaire, surmontée par des formations quaternaires au niveau des écoulements superficiels :

Des formations tertiaires des formations tertiaires ce tronçon traverse le plateau hammadien de Tindouf. Cette hamada est constituée par des calcaires sableux ou calcaires siliceux avec intercalation argileuses, argilo-sableuses ou marneuses.

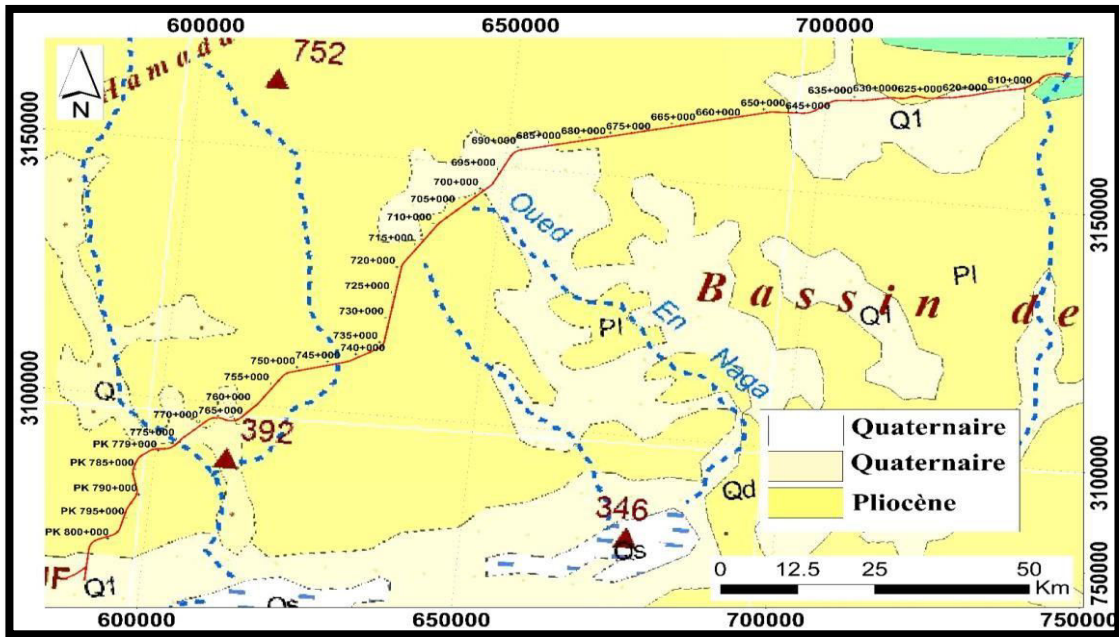


Figure VI-7 : tracé du projet Béchar – Tindouf entre le PK 640+000 au PK 805+000 sur carte géologique (source ASGA- Echelle 1/2100000ème).

### VI.2.6 Risques géologiques :

De manière générale, on peut distinguer deux catégories de risques qui pourraient avoir un impact sur l'environnement de la zone étudiée.

- Tempêtes de sable et poussière. Dues au fait que le tracé se déroule en zone désertique, ces phénomènes pourraient causer des dommages matériels considérables.
- Dissolution de la croûte et hydratation de sel. Étant donné que la pluie est habituellement sporadique et que l'évaporation agit intensivement, il se forme des croûtes évaporatoires susceptibles de se dissoudre. D'un autre côté, il peut aussi se produire des phénomènes d'hydratation avec le gonflement.

### VI.3 ETUDE GEOTECHNIQUE :

L'étude géotechnique est une étape essentielle dans le processus de construction. Elle vise à évaluer les caractéristiques et les risques géotechniques du site afin de fournir des recommandations pour la construction.

L'objectif principal de l'étude géotechnique est d'obtenir des informations précises sur les caractéristiques du sol et du sous-sol du site. Cela permet d'évaluer la faisabilité de la construction en fonction des contraintes géologiques et géotechniques. L'étude vise également à identifier et à évaluer les risques tels que les mouvements de terrain, les affaissements ou la liquéfaction du sol. Les résultats de cette étude sont utilisés pour élaborer des recommandations de construction adaptées au site spécifique.

#### VI.3.1 Travaux de reconnaissance:

##### VI.3.1.1 Levé de surface :

L'ensemble des travaux réalisés et les résultats obtenus de la campagne géotechnique ont été synthétisés et exposés dans le présent rapport de telle manière à déterminer :

- La nature et les propriétés des sols en place avec la classification des matériaux ;

## CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

- Le dimensionnement de la structure de plateforme ferroviaire.

### VI.3.1.2 Plate-forme :

- **Section déblais :**
- ✓ Il est noté qu'aucun déblai a été constaté le long de notre tracé
- **Section remblais :**

Tableau VI-1 : programme géotechnique des sections en remblai

PK début	PK fin	Hauteur max (m)	Essai géotechnique		
			Essai in situ	Prof (m)	Essai au laboratoire
PK 787+000	PK 792+350	5.83	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés avec installation piézomètre -Essais SPT selon la nature du sol et les détails de reconnaissances ciblés	15m	-Essais d'identification physique (G, $\gamma$ , W, Ip..). - Essai chimique (VBS). - Essai Œdométrique.
			Puit de reconnaissance	2.00-3.00m	
PK 796+500	PK 799+700	6.73	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés avec installation piézomètre -Essais SPT selon la nature du sol et les détails de reconnaissances ciblés	15 m	-Essais d'identification physique (G, $\gamma$ , W, Ip..). - Essai chimique (VBS). - Essai Œdométrique.

- **Lot ouvrage d'art**

Tableau VI-2 : programme géotechnique pour les ouvrages d'art

Ouvrage	Localisation	Essai géotechnique		
		Essais in situ	Prof (m)	Essais au laboratoire
Passage supérieur (Rétablissement Routier)	PK 791+090	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés avec installation piézomètre -Essais SPT selon la nature du sol et les détails de reconnaissances ciblés	15 m	-Essais d'identification physique (G, $\gamma$ , W, Ip..). - Essai chimique (VBS). - Essai Œdométrique.
		Puit de reconnaissance	2.00-3.00m	

<b>Ouvrage d'art (Viaduc)</b>	Du PK791+100 au PK 791+450	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés avec installation piézomètre -Essais SPT selon la nature du sol et les détails de reconnaissances ciblés	15 m	-Essais d'identification physique (G, $\gamma$ , W, Ip..). - Essai chimique (VBS). - Essai Œdométrique.
<b>Ouvrage d'art (Viaduc)</b>	Du PK797+810 au PK 798+195	-Des sondages pressiométriques -Des sondages carottés avec installation piézomètre -Essais SPT selon la nature du sol et les détails de reconnaissances ciblés	15 m	-Essais d'identification physique (G, $\gamma$ , W, Ip..). - Essai chimique (VBS). - Essai Œdométrique.
<b>Ouvrages hydrauliques (Dalot)</b>	PK 788+125	-Des sondages pressiométriques	5 m	-Essais d'identification physique (G, $\gamma$ , W, Ip..). - Essai chimique (VBS). - Essai Œdométrique.

**VI.3.1.3 Programme d'essais :**

La campagne géotechnique sur le terrain a été menée sur la base d'un programme de travail établi en fonction de terrassements envisagées le long du tracé où il a été scindé en deux partie :

- Sondages carottés de 10 m à 15 m de profondeur avec piézomètre et des essais SPT.
- Essais de pénétration dynamique jusqu'au refus.
- Puits de reconnaissances creusés jusqu'à une profondeur de 4 m.
- Des essais de laboratoires.

**VI.3.2 Sondages réalisés :**

**VI.3.2.1 Sondage pressiométrique :**

Les essais pressiométriques seront réalisés dans les trous de sondages préalablement forés soit à l'aide du foreur/tarière monté sur pressiomètre de profondeur de 15m.

**VI.3.2.2 Sondage carotté :**

Un sondage carotté est une technique d'investigation du sous-sol qui permet de **prélever des échantillons de sol intacts** en continu à différentes profondeurs. Contrairement aux autres types de sondages, qui broient ou fragmentent, le sol le sondage carotté préserve la structure et les propriétés naturelles du sol, ce qui permet une analyse plus précise de ses caractéristiques. Les mesures seront relevées à des intervalles de 15m de profondeur.

**VI.3.2.3 Les puits de reconnaissance :**

Les puits sont réalisés à l'aide d'un Retro–chargeur tout au long du tracé (endroits accessibles) sur une profondeur de 2m à 3m.

**VI.3.3 Essai in-situ :**

**VI.3.3.1 Lecture piézométrique :**

Pour déterminer le niveau de la nappe phréatique nous avons placé des tubes au niveau de sondage suivant F78-LM/TB :

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après :

**Tableau VI-3 : résultats de la lecture piézométrique**

N° sondage	Niveau de l'eau / niveau du terrain naturel actuel (m)		
	20/05/2023	21/05/2023	22/05/2023
F 78-LM/TB	6.40	8.50	10.00

➤ L'analyse des données du tableau (résultats de sondages en piézomètre) indique que la **nappe phréatique se situe à un niveau adéquat et n'est pas menacée.**

**VI.3.3.2 Essai pénétromètre Dynamique (PDL) :**

Les sondages pénétrométriques devront être réalisés conformément à la norme NFP 94-113, NFP 94-114 ou NFP 94-115 selon la méthode proposée.

L'essai devra être réalisé avec un pénétromètre dynamique jusqu'à la cote prévue. En l'absence de blocs en surface, le pénétromètre sera équipé d'une pointe permettant l'enregistrement en continu de la résistance de pointe au cours du fonçage, avec une saisie des valeurs tous les 20 cm maximums.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après :

**Tableau VI-4 : résultats d'essai PDL**

N° sondage pénétrométrique	PK	Résultats
PDL-400-LM/TB	788+ 000	Refus à 0.6 m
PDL-401-LM/TB	789+ 500	Refus à 1.0m
PDL-402-LM/TB	791+ 000	Refus à 0.6m
PDL-403-LM/TB	792+ 500	Refus à 0.8m
PDL-404-LM/TB	794+ 000	Refus à 0.2m
PDL-405-LM/TB	795+ 500	Refus à 0.6m
PDL-406-LM/TB	797+ 000	Refus à 0.6m
PDL-407-LM/TB	798+ 500	Refus à 0.6m

➤ En conclusion, les résultats indiquent un refus en surface, suggérant ainsi que le **sol est compact.**

**VI.3.3.3 Essais de « Standard Pénétration Test » SPT :**

L'essai de pénétration au carottier consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu au fond d'un forage préalable. En fonction de la profondeur, on donne le nombre de coups de mouton N nécessaire pour enfoncer le carottier de 30 cm. Ce nombre N caractérise la résistance à la pénétration.

## CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Quatre essais SPT ont été exécuté dans la formation argileuse, mise en évidence au droit du sondage carotté réalisé. Les résultats de l'essai SPT sont récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau VI-5 : résultats d'essai SPT**

N° forage	PK	Profondeur (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>spt</sub>
<b>F 78-LM/TB</b>	796+400	9.00 – 9.45	R	R	R	R
		12.00 – 12.45	R	R	R	R
		3.00 – 3.45	50	R	R	R
		6.00 – 6.45	R	R	R	R
		9.00 – 9.45	R	R	R	R

- En conclusion, les résultats de l'essai SPT indiquent généralement un refus, ce qui suggère que **le sol est résistant.**

### VI.3.4 Essais laboratoire :

#### VI.3.4.1 Essais réalisés :

Les essais d'identification et de classification physique :

- ✓ Teneur en eau naturelle (W<sub>n</sub> %)      NF P 94-050
- ✓ Densité sèche ( $\delta_d$  t/m<sup>3</sup>)      NF P 94-053
- ✓ Analyse granulométrique      NF P 94-056
- ✓ Limite d'Atterberg      NF P 94-051

Les essais mécaniques :

- ✓ Essais Proctor Modifié :      NF P 94-093

Sera déterminé au  $\delta_d$  maximum et la teneur en eau correcte des matériaux.

- ✓ Essais de Poinçonnement CBR immédiat      NF P 94-078

Les essais chimiques :

- ✓ Essai au bleu de méthylène (VBS)      NF EN 933-9

#### VI.3.4.2 Résultats des essais obtenus en laboratoire :

##### VI.3.4.2.1 Sondage carotté :

**Tableau VI-6 : résultats des essais physiques de sondage carotté**

N° forages	Unité géo	Profondeur(m)	Densité (t/m <sup>3</sup> )	Limites d'Atterberg			Granulo <80 $\mu$ m	RCS MPa	Classification	
			$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	W <sub>1</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>			UIC	GTR
<b>F-78-LM-TB</b>	Unité1 :	4.00–5.00	1.82	41.40	20.10	21.30	20.13	20.8	-	B6

#### Interprétation les résultats de sondage carotté :

D'après les résultats des essais de laboratoires, on peut conclure ce qui suit :

- La valeur de la densité sèche est 1.82 t/m<sup>3</sup>, ce qui dénote **un sol dense.**
- La granulométrie démontre **un sol grenu et fine.**
- La valeur de l'indice de plasticité (IP) égale à 21.30% ; **elle démontre un sol argileux peu plastique.**
- Le résultat de l'essai RCS donne une valeur de 20.80 MPa ce qui indique que **le sol est un calcaire très dur.** Classe R2 dans la classification uniaxial. ➔ Roches argileuses.

## CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Tableau VI-7 : résultats des essais physiques des puits de reconnaissance

Puits	Unité géo	Granulo	Limites d'Atterberg (%)			Proctor		CBR	VBS	Classification	
		<80 µm	W <sub>l</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	γ <sub>d</sub> (t/m <sup>3</sup> )	W <sub>opm</sub> %			UIC	GTR
PU-403-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	18	15,00	7,00	8,00	11,63	1,91	16,60	0,43	QS2	B5
PU-404-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	12	30,20	21,90	8,30	12,00	1,98	54,00	0,44	QS2	B5
PU-405-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	12	18,00	9,00	9,00	10,60	2,13	46,80	0,33	QS2	B5
PU-406-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	12	20,00	12,00	8,00	10,50	2,23	35,70	0,40	QS2	B5
PU-407-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	19	20,00	10,00	10,00	12,20	2,14	40,10	1,03	QS2	B5
PU-408-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	15	22,00	12,00	10,00	11,90	2,18	34,60	0,36	QS2	B5
PU-409-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	19	19,00	10,00	9,00	11,30	2,11	40,10	0,96	QS2	B5
PU-410-LM/TB	Unité 1 : calcaire Unité 2 : sable	14	20,00	10,00	10,00	12,50	2,19	21,20	0,33	QS2	B5

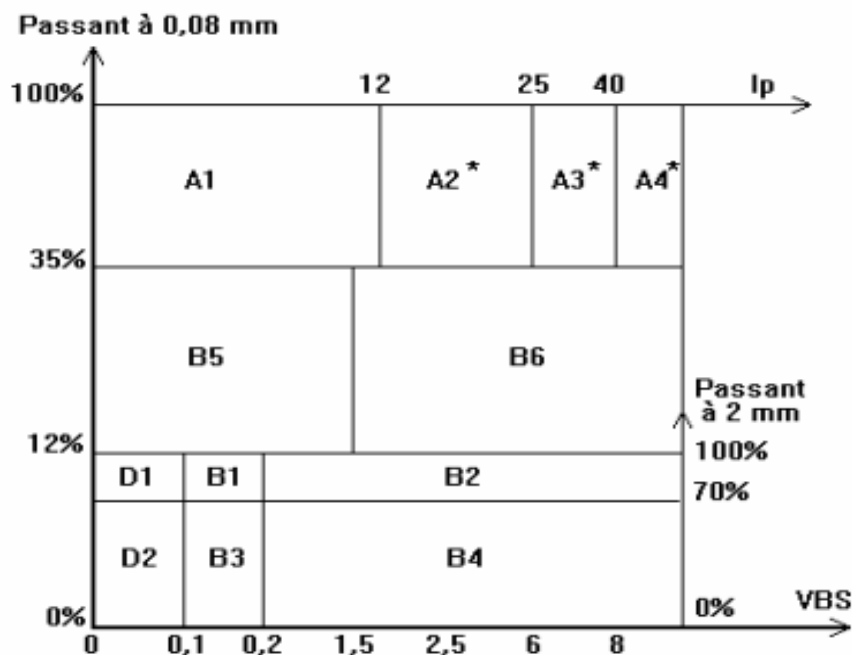


Figure VI-6 : classification de matériaux selon leur nature

**Interprétation des résultats :**

- La granulométrie démontre un sol grenu et fine.
- Les valeurs de l'indice de plasticité (IP) varient entre 8.00% et 10.00% ; elle démontre **un sol argileux non plastique n'est pas sensible à l'eau.**
- Pour l'essai Proctor, les densités sont variables entre : 10.50 t/m<sup>3</sup> et 12.50 t/m<sup>3</sup> donc le sol est peu dense, et les teneurs en eau optimal sont variables entre : 1.91 % et 2.23 % ce qui signifie que **le sol est dur.**
- Les résultats de l'indice de portance CBR immédiat varient entre 16.60 et 54.00 ce qui indique **une portance variant de bonne à très bonne.**
- Les résultats du VBS varie entre : 0.33 et 1.03.

➔ Selon la figure ci-dessus le sol est classé B5 : **sables et graves très silteux.**

**VI.3.4.2.2 Analyses Chimiques:**

L'analyse chimique complète est effectuée dans le but d'apprécier, principalement, l'agressivité du sol de fondation, vis-à-vis du béton et des armatures selon la norme **NF P 18-011 du Juin 1992.**

Les échantillons testés en matière de la détermination de taux des sulfates sont prélevés à des profondeurs coïncidentes le plus probablement, avec la couche d'ancrage des fondations.



Tableau VI-8 : résultats d'essais chimique

Sondage n°	Profondeur (m)	Sulfates SO <sup>-</sup> 4 (%)	Carbonates Ca Co3 (%)	Chlorures Cl- (%)	Matières organiques (%)
01	2.00-3.00	Trace	74	0.035	01
02	2.00-3.00	Trace	90	0.106	03
03	6.00-8.00	Trace	90	0.106	01
04	2.00-3.00	Trace	90	0.071	02
05	2.00-3.00	Trace	96	0.035	01
06	2.00-3.00	Trace	78	0.213	01
07	2.00-3.00	Trace	87	0.213	01
08	2.00-3.00	Trace	76	0.106	01

**Interprétations des résultats :**

- Le sulfate et le chlorures ne posent aucun problème en raison de leur faible pourcentage, ainsi que la matière organique.
- Par contre les pourcentages de carbonate sont élevés donc la nature de sol est un calcaire.
- En conclusion, les résultats de l'analyse chimique du sol indiquent qu'il n'y a pas de problème vis-à-vis du béton et du remblai, ce qui le classe dans la catégorie à **faible agressivité**.

VI.3.5 La lithologie de terrain :

Sondage	Profondeur (m)	Description de sol	Photo de sondage
F 78-LM/TB	0m – 5m	Alternance de calcaire et sable rougeâtre	
	6m – 10m	Calcaire altéré blanchâtre	

VI.3.6 Zone à risque :

**Les zones inondables :** Les reliefs sont relativement très plats avec des dépressions peu apparentes.

Le tronçon identifié comme zones inondables est localisé entre les PK 794+450 jusqu’au PK 799+360. (Voir l’étude hydraulique). Pour cela, l’étude de drainage est bien prise en compte pour ce tronçon dont les ouvrages hydrauliques sont plus fréquents.

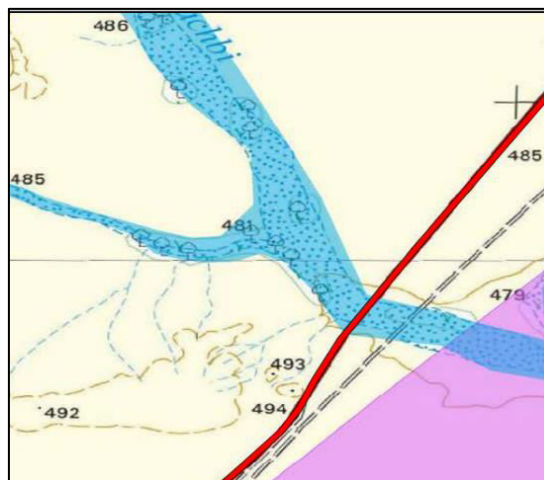


Figure VI-7 : zone inondable du Pk 794+225 au Pk 795+000



Figure VI-8 : zone inondable du Pk 797+975 au Pk 798+400

Sur le plan géotechnique, il est essentiel de dimensionner les remblais en zones inondables de manière à garantir leur stabilité et leur durabilité.

Il est nécessaire de les protéger par des enrochements latéraux ou des perrés, en ajoutant un dispositif anti-contamination entre le corps de remblai et l'enrochement. Le géotextile permet d'améliorer la résistance aux contaminants des couches de forme en sol QS3.

Un programme d'investigation géotechnique complémentaire devra être réalisé pour permettre une meilleure appréciation des couches de sols en place pour pouvoir calculer la stabilité du remblai sur zone inondable.

Des sondages pressiométriques SP1 – PK796+158 AU PK 796+484, SP2– PK796+158 AU PK 796+484 et SC1, PK796+158 AU PK 796+484 ont été exécutés dans le cadre de la campagne géotechnique au niveau du futur remblai sur zone inondable du PK 794+450 jusqu'au PK 799+360 mais spécifique au viaduc.

Les matériaux de zone inondable à utiliser devrait être composé par sols des classes CiB3, D3, R21, R22, R41 et R42 de la classification GTR. ces matériaux doivent être placés à une hauteur correspondant à 0,5 m au-dessus du NPHE.

On suppose que la hauteur maximale de l'eau correspond à la hauteur maximale des dalots.

En utilisant un entonnoir de réduction, la hauteur de l'eau attribuée pour les calculs géostatiques s'ajuste en fonction de la hauteur maximale du matériau filtrant à sa surface.

Selon l'analyse hydraulique effectuée lors de la phase de l'étude d'exécution, les niveaux des eaux les plus élevées (NPHE) sont de +1.09 mètres/ terrain naturel.

Le géotextile doit constituer une strate ségrégative filtrant. Le matériau filtrant correspond au gravier anguleux sablo-argileux, qui est compacté et moyennement denses, avec une granulométrie vaste échelonnée et une grandeur < 20 mm. Le matériau d'enveloppe est défini comme 20 – 500 mm.

### ✓ En phase de réalisation de travaux :

Dans cette phase il faut mettre en place un processus de purge (extraction et substitution du sol par un matériau drainant).

La zone de purge couvre la partie située entre le PK 794+450 jusqu'au PK 799+360, La purge vise

## CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

principalement à fixer le remblai de la desserte ferroviaire au plus près d'un sol ayant des paramètres géotechniques considérés comme acceptables.

La purge doit avoir une épaisseur minimale de 0,50 m et une épaisseur maximale qui correspond à la limite inférieure de la terre végétale (par exemple, au niveau de PK 795+400, la purge doit avoir une épaisseur de 1,80 m), Un ingénieur géotechnicien déterminera cette limite inférieure sur place lors des travaux de terrassement.

Construire un géotextile sur toute la zone considérée comme inondable.

### VI.3.7 Les matériaux de déblai :

D'après les résultats des tests en laboratoire, il est observé que notre terrain présente deux types de sols : un sol meuble jusqu'à 1,5 mètre et un sol semi rocheux à rocheux au-delà de cette profondeur.

Ainsi, deux méthodes d'excavation sont utilisées pour notre sol :

- ✓ Au niveau du terrain meuble (entre 0 et 1,5 mètres) : l'excavation est réalisée à l'aide d'une pelle mécanique ou d'une niveleuse.
- ✓ En ce qui concerne le terrain rocheux : l'extraction se fait en utilisant des explosifs et/ou une brise roche.

### VI.3.8 Les matériaux de remblais :

Pour notre terrain, nous avons opté pour une méthode de remblaiement, Les gites d'emprunt.

➤ Les gites utilisés sur chantier sont déterminés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-9 : gites utilisés sur chantier

Localisation		Essais In Situ		Nature du sol	Classe UIC	Utilisation
Type	A proximité en parallèle	Essai In Situ	Prof. (m)			
Gite 41	PK 791+ 000	PU38	4.0	Grès calcaire	QS2	-Sous ballast -Couche de forme -Couche de fondation -Matériau en zone inondable -Couche supérieur du remblai
Gite 42	PK 800+ 000	PU38	4.0	Grès calcaire	QS2	-Sous ballast -Couche de forme -Couche de fondation -Matériau en zone inondable -Couche supérieur du remblai

### VI.3.9 L'importance de l'arase de terrassement :

L'arase de terrassement, bien que souvent négligée, revêt une grande importance dans la construction et l'aménagement de terrains. Elle consiste à créer une surface plane et horizontale à l'altitude définie par les plans de construction, ce qui représente plusieurs avantages importants :

## CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

1. **Assure la stabilité** : L'arase de terrassement assure une base uniforme pour les traverses et les rails, garantissant une répartition homogène des charges et prévenant les tassements et déformations.
2. **Améliore le drainage** : L'arase de terrassement aide à réguler les eaux de ruissèlement, en permettant une bonne évacuation des eaux de pluie et des eaux de surface.
3. **Durabilité** : Minimise les vibrations et les chocs, réduisant l'usure des rails et des traverses et prolongeant leur durée de vie.

En résumé, l'arase de terrassement joue un rôle essentiel dans la réussite d'un projet de construction. Elle garantit la stabilité, la durabilité, la sécurité et l'esthétique de la structure, tout en facilitant le déroulement des travaux. Négliger cette étape peut entraîner des conséquences graves sur la solidité et la pérennité de la construction.

### VI.4 CONCLUSION :

Le terrain objet de l'étude, destinée pour l'Etude de la nouvelle ligne ferroviaire au niveau de la wilaya de Béchar-Tindouf- Gara Djebilet, concernant la ligne du tracé allant du PK 787+700 jusqu'au PK 799+700.

- La géologie du site objet de l'étude, à révéler une lithologie suite à la réalisation de l'investigation géotechnique par divers essais in situ :
  - ✓ Remblais (sable) de 00 m à 0.20 mètres
  - ✓ Sable carbonaté rougeâtre de 0.20 m à 1.50m mètres
  - ✓ Calcaire gréseux à partir de 1.50m mètres

Il en ressort que le sol est meuble jusqu'à une profondeur de 1,5 mètre, au-delà de laquelle il devient semi-rocheux à rocheux.

- Le sol superficiel est de nature sableux et graveleux avec fine, il est classé QS2 selon l'UIC.
- Le sol en profondeur est de nature rocheux, R2 selon NF P11-300.

En résumé, le terrain présente des conditions géotechniques favorables à la construction du projet envisagé.

# CHAPITRE VII

## DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE

## VII DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE

### VII.1 INTRODUCTION :

L'infrastructure ferroviaire, ou le lit de voie, constitue la base sur laquelle la voie ferrée est posée. Sa principale fonction est de répartir uniformément les charges exercées sur les traverses à travers la plateforme et d'absorber les vibrations générées par la superstructure. De plus, elle joue un rôle essentiel dans la stabilisation longitudinale et latérale de la voie, contribuant ainsi de manière significative à sa rigidité et à son intégrité structurelle globale.

Afin de dimensionner adéquatement les différentes couches de l'infrastructure ferroviaire, il est essentiel de tenir compte de l'étude du trafic à travers le plan de transport. Ces couches comprennent le ballast et la sous-couche. L'épaisseur et le type de ces couches d'assise dépendent de plusieurs facteurs :

- ✓ Les caractéristiques intrinsèques des sols de la plate-forme, telles que leur nature, leur capacité portante, leur sensibilité à l'eau et au gel,
- ✓ Les caractéristiques globales de la plate-forme, qui sont influencées non seulement par les propriétés des sols, mais aussi par les conditions hydrogéologiques du site,
- ✓ Les conditions climatiques locales,
- ✓ Le volume et la nature du trafic ferroviaire, comprenant les tonnages, les charges transportées et les vitesses,
- ✓ Les caractéristiques de l'armement, telles que le profil des rails et le type.

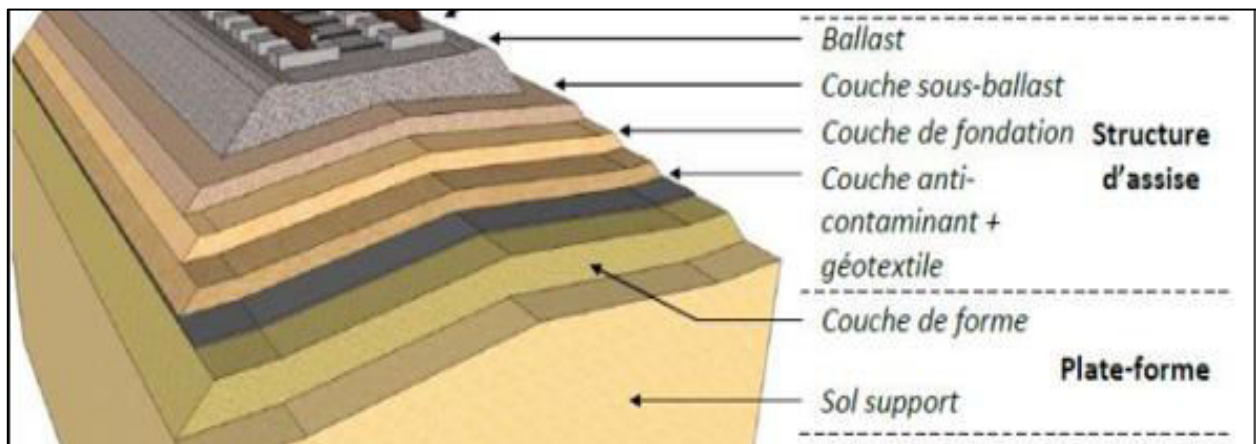


Figure VII-1 : Élément de la superstructure

### VII.2 CONSTRUCTION GENERALE DE LA STRUCTURE D'ASSISE :

Construction de la structure d'assise, d'après la fiche « UIC 719 » :

#### VII.2.1 La couche d'assise :

Par définition, la couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast+ couche de fondation) et la couche anti-contaminante et une couche drainante.

Leurs rôles principaux sont :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rais – Roue ;
- La répartition des charges provenant des traversés d'une manière presque uniforme sur la plateforme ;
- La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée ;
- L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage.

**VII.2.1.1 Couche de Ballast :**

Le ballast est un granulat propre de classe granulométrie de **[31.5/50] mm**, provenant de concassage des roches dures dépourvues de fines. La couche de ballast est d'une hauteur suffisante pour que la pression reçue par les traverses sous l'action des charges roulantes (Les Trains), se répartisse aussi uniformément que possible sur une plus grande surface de la plateforme. Aussi le ballast doit présenter une résistance élevée et une usure minimale.

✓ **Le ballast doit être conforme à la norme EN 53-695**

➤ Pour notre Ligne ferroviaire BECHAR-GARA DJEBILET le ballast sera constitué suivant les exigences mentionnée dans le tableau :

**Tableau VII-1 : exigences de fabrication de ballast**

N°	Description	Proposition spécification pour l'axe haut (32,5 t)
1	Type de roche Matériau	Granit ou basalte
2	Qualité de base	Le ballast doit être propre et calibrée pierre concassée avec des particules dures, denses et anguleuses angulaires, offrant des angles vifs et des fragments cubiques avec un minimum de morceaux plats et morceaux plats allongés. Elle doit être exempte d'impuretés organiques et résidus inorganiques.
3	Forme des particules	Le ballast doit être de forme cubique. Les particules individuelles ne doivent pas être floconneuses et ne doivent pas avoir des faces généralement plates avec au maximum deux faces arrondies/sub-arrondies ou sous-arrondis.
4	Mode de fabrication	Le ballast ne doit être broyé qu'à la machine.
5	Abrasion des agrégats Valeur	25%
6	Impact global Valeur	18%
7	Absorption d'eau	0.5% Maximum
8	Taille et gradation	Retenu sur un tamis à mailles carrées de 65 mm. 30% - 50%. Retenu sur un tamis à mailles carrées de 40 mm. - 70%-90%. Retenu sur un tamis de 20 mm de côté pas moins de 90%.
9	Epaisseur du ballast	30 cm
10	Largeur de l'accotement Ballast	500mm en alignement 700mm en devers

### VII.2.1.2 Le Rôle de ballast :

Les différents rôles du ballast sont :

- Repartir les surcharges concentrées reçues et transmises par les traverses uniformément sur la plateforme ;
- Amortir les efforts dynamiques de la circulation grâce à ces propriétés rhéologiques ;
- Empêcher tout déplacement des traverses ;
- Assurer le bon drainage des eaux de pluies ;
- Faciliter au moyen de bourrage-dressage la rectification du nivellement.

### VII.2.1.3 Caractéristiques physiques :

Granulométrie : En Algérie, on utilise le ballast de classe 25/50 mm

- Forme des granulats : forme poly-hydrique avec des éléments d'arêtes vives, les granulats ne doivent être ni trop longs ni trop plats.
- Homogénéité : un ballast homogène et de même âge et dureté reste exploitable plus longtemps qu'un ballast hétérogène.
- Propreté des granulats : pour éviter la dégradation du ballast ses granulats ne doivent pas contenir des fines.
- Perméabilité : le ballast est trop perméable ; grâce à sa granulométrie, ce qui permet d'assurer le bon écoulement et drainage des eaux de pluie.

### VII.2.1.4 Caractéristiques mécaniques :

Résistance à l'attrition sous l'effet des surcharges concentrées, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux. La résistance à l'attrition est mesurée grâce à un essai effectué au laboratoire, appelé essai DEVAL, elle est caractérisée par un coefficient DEVAL à l'état sec DS. Selon le document SNTF. Pour le ballast on a :

- DS pour Pierres dures > 14DS
- DS pour Pierres carbonatées > 12DS.

### VII.2.1.5 La résistance aux chocs :

Lorsque les contraintes sont transmises au ballast, il se produit un frottement entre les granulats et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs, on doit donc utiliser un ballast adéquat. Pour cela, on réalise l'essai LOS ANGELES, afin de mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats. En Algérie, le coefficient LA pour un ballast acceptable doit être inférieur à **25%** ( $LA < 25$ ).

### VII.2.1.6 La dureté :

Elle est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs, elle est exprimée par le coefficient de dureté relative globale.

Un ballast doit avoir une DRG > 18 (il varie selon la nature des traverses et du trafic).

### VII.2.1.7 LA Résistance à la compression :

Cette résistance est mesurée au laboratoire et doit être suffisante pour que les contraintes verticales transmises au ballast ne puissent provoquer aucune rupture. Selon la SNTF, le ballast doit prévoir une résistance à la compression **CR > 14 KN/cm**.

### VII.2.1.8 La sous couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plate-forme dans le contexte ferroviaire. Elle joue plusieurs rôles essentiels pour assurer le bon fonctionnement de la voie elle améliore la portance du sol en répartissant efficacement les charges transmises par les trains. Ainsi elle contribue à atténuer les vibrations générées par le passage des trains, améliorant ainsi le confort des voyageurs et la durabilité de la voie.

La sous-couche peut être soit une seule couche, soit plusieurs couches. Elle inclure toujours une couche de sous-ballast, puis une couche de fondation, et enfin, si nécessaire, une couche anti-contaminant en sable, complétée par une couche drainante.

### VII.2.1.9 Le Sous Ballast :

La sous-couche de Ballast se trouve sous la couche de ballast, qui regroupe les différentes couches

Les fonctions de la couche de sous-ballast sont les suivantes :

- Préserver la partie supérieure de la plateforme de l'érosion qui peut se produire. Cela peut être causé soit par le poinçonnement effectué par les éléments de ballast, soit par l'action des eaux zénithales.
- Préserver les plateformes des effets du gel.
- Améliorer la répartition des charges transmises, ce qui permet d'obtenir des sollicitations de valeurs admissibles au niveau de la partie supérieure de la plateforme, en fonction de l'indice de portance du sol.

La mise en place du sous-ballast est réalisée en utilisant une grave propre, bien calibrée, avec au moins 30% de concassés d'un calibre 0/31,5 mm, avec les sous-produits les plus prometteurs des carrières ouvertes.

### VII.2.1.10 La couche de fondation :

La couche de fondation est réalisée en utilisant un grave propre et bien élevé. Les matériaux utilisés peuvent être soit des déchets provenant des carrières de ballast, soit des alluvions provenant des rivières. Les matériaux de la couche de fondation doivent être de taille suffisante pour éviter toute contamination par rapport à la couche de forme et à la couche de sous-ballast.

La couche de fondation n'est pas requise sur les sols les plus performants.

### VII.2.1.11 La couche anti-contaminante :

Est une strate intermédiaire placée entre la couche de fondation et la couche de forme de la voie ferrée, utilisée dans la construction de chaussées pour préserver les propriétés mécaniques des matériaux de la structure en empêchant leur contamination par la pénétration des matériaux du sol-support.

## VII.2.2 La plateforme ferroviaire :

La plate-forme correspond à l'étage en terre qui supporte la sous-couche. Ses composantes sont les terres rapportées lors d'un remblai ou le sol en place lors d'un déblai.

Quel que soit son type (déblais ou remblais), le sol de la plateforme doit respecter plusieurs critères :

- D'évaluer la qualité globale de la plateforme : couche de structure + sol sous-jacent.
- De prendre en compte la qualité de chaque sol qui constitue la plate-forme.

### VII.2.2.1 La couche de Forme :

La couche de forme se situe entre la partie supérieure de la terrasse (PST). Elle permet notamment d'ajuster les propriétés aléatoires des matériaux qui composent la PST, lesquels sont répartis de manière dispersée (en remblai ou en terrain en place).

## CHAPITRE VII : DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE

Elle possède diverses caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques.

### VII.3 Dimensionnement des couches d'assise :

#### ➤ Plate- Forme Proposée :

Selon les conclusions de l'étude géotechnique et les données de base sur notre projet BECHAR -GARA DJEBILET la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS2.

Suite aux prescriptions données par les UIC 719R nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P3(bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS3).

Tableau VII-2 : La classe la portance de la plate-forme.

Qualité du sol support	Classe de la Plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Épaisseur min (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	-

➤ D'où si on considère que la qualité du sol est QS3, d'après des exigences préalables, et que la capacité portance requise pour la plateforme est P3, il en résulte 0.35m d'épaisseur pour la couche de forme.

#### VII.3.1 Calcul de l'épaisseur du ballast:

Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R) :

- 35 cm pour une vitesse > 200 km/h ;
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120 et 200 km/h ;
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80 et 120 km/h ;
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60 et 80 km/h.

**On prend e= 30 cm**

#### VII.3.2 Calcul de l'épaisseur de sous couche :

Conformément à la fiche UIC 719 et la IN260 (notice générale EF 2 C 20 N° 03), l'épaisseur requise de la couche d'assise se calcule selon la formule.donnée par :

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

**e** : L'épaisseur de la couche d'assise (épaisseur du ballast+ épaisseur de la sous couche).

Avec :

**E** = (selon classe de la plateforme P1, P2, P3).

**a** = selon la classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).

**b** = selon le type et la longueur de la traverse.

**c** = (selon le type de dimensionnement).

## CHAPITRE VII : DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE FERROVIAIRE

**d** = (selon la charge maximale à l'axe).

**g** = Géotextile.

### ➤ Application sur le Projet :

#### Pour le cas du projet BECHAR -GARA DJEBILET :

- La capacité portante de sol support envisagée est de classe P3. D'où **E=0.45 m**.

- le groupe de trafic fictif selon la classification de la norme UIC 714 R est le Groupe 1 donc **a= 0 m**.

- Pour notre projet les traverses utilisées sont les traverses en béton de **L = 2.415m**

$$b = \frac{2,50-L}{2} = \frac{2,50-2,415}{2} = 0,0425m$$

**b= 0.0425m** soit la valeur de b sera **b = 0.05 m**

- Le cas de dimensionnement normale (nouvelle ligne) donc le paramètre c aura une valeur **c = 0 m**.

- La charge maximale d'essieu des véhicules remorqués est fixée pour le projet en Pleine voie à **32,5tonne\essieu**, donc la valeur de facteur d est de **d =+ 0.15 m**.

- Pour les plateformes de portance **P3** des lignes parcourues à grande vitesse, la valeur de f est nulle, **f=0 m**

- La qualité du sol support est **QS2**, si on considère la qualité de couche de forme est de QS3, alors le facteur g prend la valeur de 0 m. **g = 0m**.

D'où 
$$e[m] = 0.45 + 0 + 0.05 + 0 + 0.15 + 0.05 + 0 = 0.65 m$$

➤ Par la marge de sécurité on prend l'épaisseur de couche d'assise **0.70m**.

Tableau VII-3 : épaisseurs et matériaux de couche d'assise de la plateforme

Couches	Epaisseur	Matériaux
Ballast	30	Granit ou basalte
Sous-ballast	20	Grave propre entièrement concassée (0/31.5mm).
Couche de fondation	20	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme de type QS3	35	Grave 0/D

Après l'étude géologique et géotechnique et les caractéristiques de la voie (traverses, charge d'essieu) nous arrivons à dimensionner le profil type des couches d'assise dans le projet comme suit :

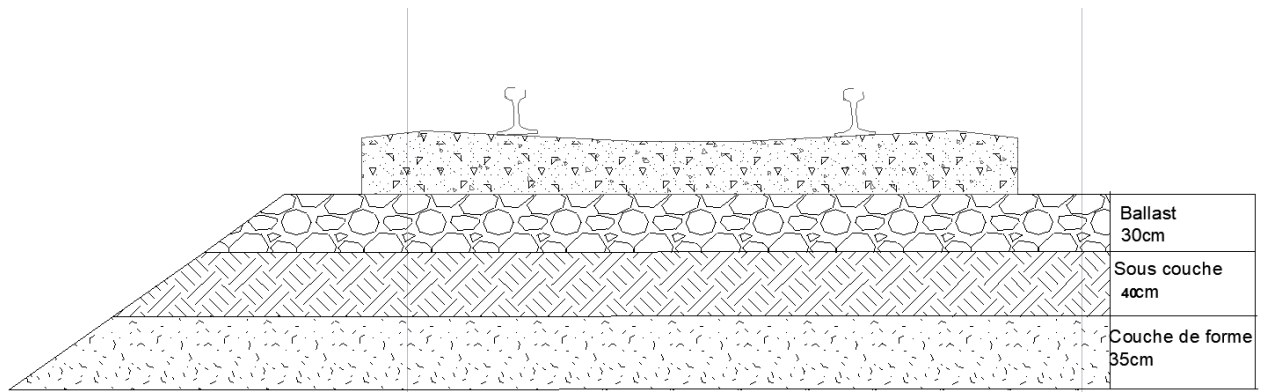


Figure VII-2 : infrastructure superstructure type de projet Béchar-Gara Djebilet

**VII.4 CONCLUSION :**

Ce chapitre nous a permis d'étudier l'importance de l'infrastructure ferroviaire et de son dimensionnement dans la création de lignes de chemin de fer sûres et performantes. De plus, nous avons remarqué que le dimensionnement approprié de l'assise est très important afin de garantir la stabilité structurelle, la résistance aux charges et la durabilité des voies.

Il faut prendre en compte que chaque projet ferroviaire est différent et peut exiger une approche particulière en fonction des conditions locales et des contraintes spécifiques. Dans ce but, nous avons pris connaissance des normes et sollicité des spécialistes du domaine afin d'assurer une dimension adéquate de l'assise ferroviaire.

CHAPITRE VIII  
ETUDE  
HYDRAULIQUE  
ET  
HYDROLOGIQUE

## VIII ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE :

### VIII.1 INTRODUCTION :

L'Algérie est confrontée, tout comme le reste du monde, à des crues périodiques majeures qui peuvent engendrer des dégâts matériels et humains importants. De nos jours, ce risque est d'autant plus inquiétant en raison de l'augmentation de la population, des villes, de l'agriculture, de l'industrie et du tourisme, ainsi que des défis liés au changement climatique que la planète fait face.

En bref, ce danger découle de l'association entre un cours d'eau susceptible de déborder lors de fortes précipitations (aléa) et la présence de biens vulnérables (enjeu) tels que des personnes, des bâtiments, des infrastructures et des terres agricoles menacées par ces aléas.

Le Tronçon étudié traverse plusieurs bassins versants hydrologiques, ce qui nécessite une protection de la plateforme contre les catastrophes potentielles en raison des inondations intenses sur certains points de la ligne, Leur topographie est propice à ces catastrophes.

Le but principal de cette étude hydrologique est donc de mesurer les débits de crues sur tout le tracé pour prévenir les inondations potentielles et ainsi élaborer l'aménagement hydraulique de protection le plus adapté.

### VIII.2 DESCRIPTION HYDROGRAPHIQUE DE ZONE DE PROJET :

Nous examinerons plusieurs bassins versants dans notre section d'étude. La wilaya de Tindouf dispose d'un réseau hydrographique limité, mais important pour la région. Sur le plan hydrographique, le tracé traverse les oueds qui ravine le bassin de Tindouf qui descendent du Haut-Atlas oriental sur la frontière marocaine. Ces écoulements sont totalement temporaires suite au caractère désertique de la zone d'étude et disparaissent sans atteindre la partie centrale du bassin de Tindouf. Néanmoins, il existe des écoulements importants tels que l'oued Oum El Assel, l'oued En Naga, l'oued Kherbine, l'oued Kountar et l'oued El Ma. L'ensemble des écoulements descendent vers la sebkha de Tindouf.

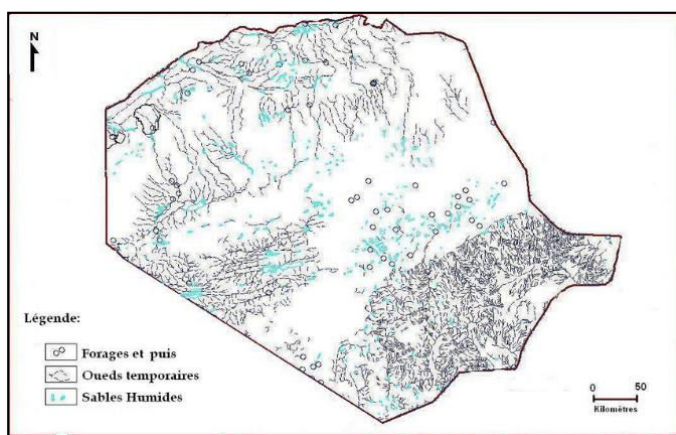


Figure VIII-1 : Réseau hydrographie de la Wilaya de Tindouf.

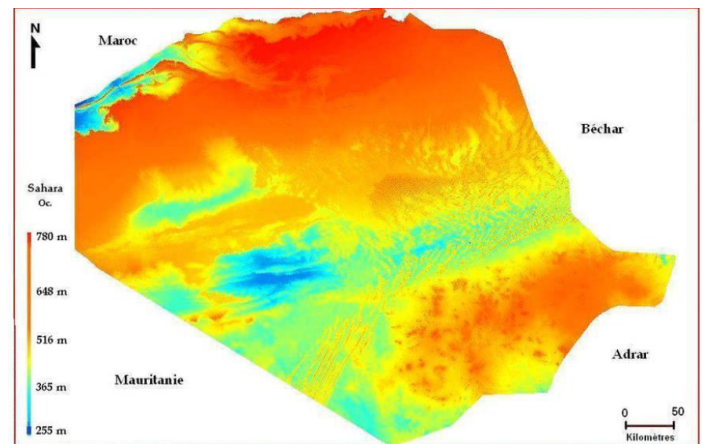


Figure VIII-2 : la topographie de la Wilaya de Tindouf.

**VIII.3 CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE :**

Les conditions climatiques de Tindouf sont subtropicales désertiques, avec des hivers très doux (mais avec des nuits froides) et des étés très chauds et tropicaux.

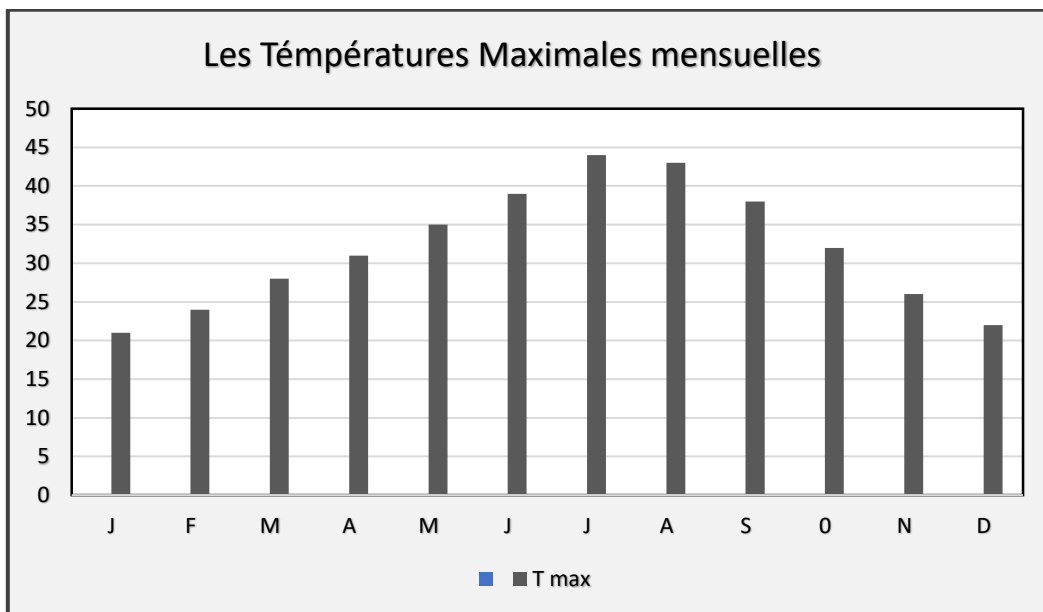
Les températures maximales sont supérieures à 45 °C en été et des températures minimales de 5 °C en hiver.

**VIII.3.1 La Température :**

Les températures moyennes de la région de Tindouf sont élevées, Selon le tableau n° 01, il est observé que la température maximale est enregistrée en juillet lorsque celle-ci dépasse les 40°C. En janvier Le plus froid est celui qui atteint une température minimale de 7°C.

**Tableau VIII-1 : Températures moyenne mensuelles de Tindouf (1992-2020)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>T min</b>	7	9	12	15	17	21	27	27	23	18	12	8
<b>T Moy</b>	13.8	16.3	20.2	23.1	26.1	30.2	35.5	35	30.4	25.3	19.1	14.8
<b>T max</b>	21	24	28	31	35	39	44	43	38	32	26	22



**Figure VIII-3 : diagramme de variation des températures moyennes mensuelles.**

**VIII.3.2 Analyse des données pluviométriques :**

Dans l'étude d'un projet ferroviaire, la première étape est l'analyse des données pluviométriques disponibles dans la station la plus proche au bassin versant de la zone d'étude, dans notre cas **la station de Tindouf**, la série pluviométrique doit comporter les précipitations maximales journalières pour la période le plus long possible.

L'analyse de la pluie a été effectuée procéder sur la base d'une collecte de documents et d'informations au niveau de deux sources différentes, à savoir :

- L'office National de la Météorologie (ONM).

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

- L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

### VIII.3.2.1 La pluie mensuelle :

Il est observé dans le tableau au-dessous que les mois de mai, juin, juillet et août sont les plus secs, avec une précipitation inférieure à 1mm. La pluviométrie maximale est observée durant les mois de septembre et novembre, avec une quantité de précipitations proche de 15mm. La pluviométrie est généralement faible dans la région et le climat est généralement **sec**.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluies (mm)	2	7	3	1	7	1	1	8	14	13	4	4	65

Tableau VIII-2 : Pluviométrie mensuelle moyenne de la période 1992-2020

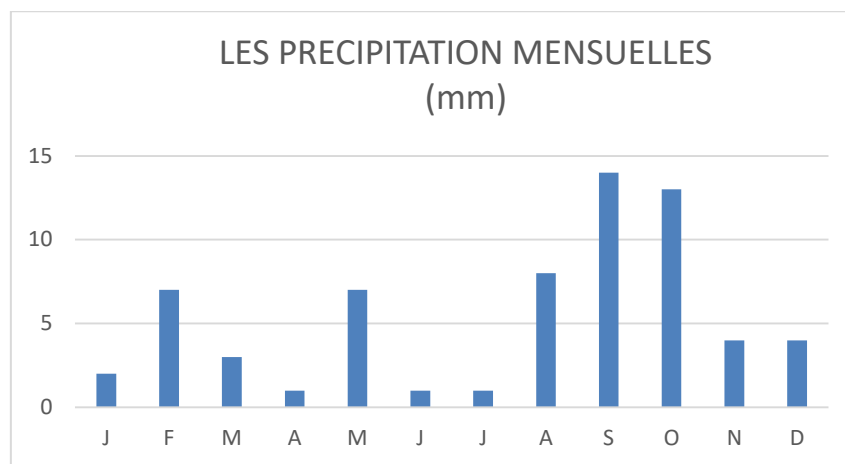


Figure VIII-4 : diagramme de pluviométrie mensuelle moyenne à Tindouf

### VIII.3.2.2 La Pluie annuelle :

Cette région est caractérisée par un régime pluviométrique très variable d'une année à une autre. La période pluvieuse est celle allant du mois d'Août au mois de Mars. L'importance de la cote pluviométrique du mois d'Août vient di/fait de la saison des pluies tropicales qui affecte souvent la région en été.

Tableau

VIII-3 :

Station	Période d'observation	Nombre d'années d'observation	Moyenne Annuelle (mm)
Tindouf	1992-2022	31 années	50,5

Caractéristiques de pluies annuelles

Tableau VIII-4 : estimation des pluies annuelle pour des périodes de retour données

Période de retour(ans)	10	20	50	100

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

<b>Fréquence</b>	0.9	0.95	0.98	0.99
<b>Variable de GaussU</b>	1.282	1.645	2.054	2.327
<b>Pluie annuelle en (mm)</b>	66,5	82.8	100,48	162,9

**VIII.3.2.3 Les pluies maximales journalières :**

Les pluies avec des fréquences maximales quotidiennes sont celles qui provoquent des crues d'un débit considérable, ce qui nécessite une protection des différents ouvrages hydrauliques contre les dommages.

En Algérie, il a été constaté que les précipitations journalières maximales annuelles s'ajustent à la loi de Gumbel.

Tableau

VIII-5

: pluies

Période de retour	Fréquence	U. Gumbel	P <sub>max, j</sub> (mm)
10 ans	0.90	1,25	22,6
50 ans	0.98	2,05	38,2
100 ans	0.99	2,33	53,79

maximales journalières

**VIII.3.2.4 Les pluies de courte durée :**

- **Modélisation des courbes IDF par le modèle de Montana :**

La formule de MONTANA décrit non seulement la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence des pluies, mais aussi la relation entre la hauteur, la durée et la fréquence des pluies elle s'exprime par la relation Intensité - Durée – Fréquence (IDF) :  $I(t) = a \cdot t^{-b}$ .

- I(t) = Intensité durant le temps t en mm/min (ou mm/heure) ;
- t = durée de la pluie équivalente au temps de concentration (en minutes ou en heures) ;
- a et b = coefficients de MONTANA.

- **Estimation des coefficients de Montana**

Les coefficients de MONTANA varient selon les régions et la période de retour, dans notre cas : **a = 27.54** et **b = 0,84** pour une période de retour de 10 ans.

Les intensités calculées pour une pluie décennale sont donc les suivantes :

- 27.54 mm/h pour un temps de concentration de 1 heure.
- 1.9 mm/h pour un temps de concentration de 24 heures.

Tableau

VIII-6 :

Valeur

du

T (ans)	5	10	20	50	100
a(t)	20,24	27,54	34,16	42,74	49,78

paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour

Tableau VIII-7 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

T (ans) \ Durée (h)	5 ans	10 ans	20ans	50ans	100ans
24	1,5	1,9	2,4	3	3,44
48	0,8	1,1	1,3	1,7	1,92
72	0,6	0,8	1,0	1,2	1,37
96	0,5	0,6	0,7	0,9	1,05
120	0,4	0,5	0,6	0,8	0,89

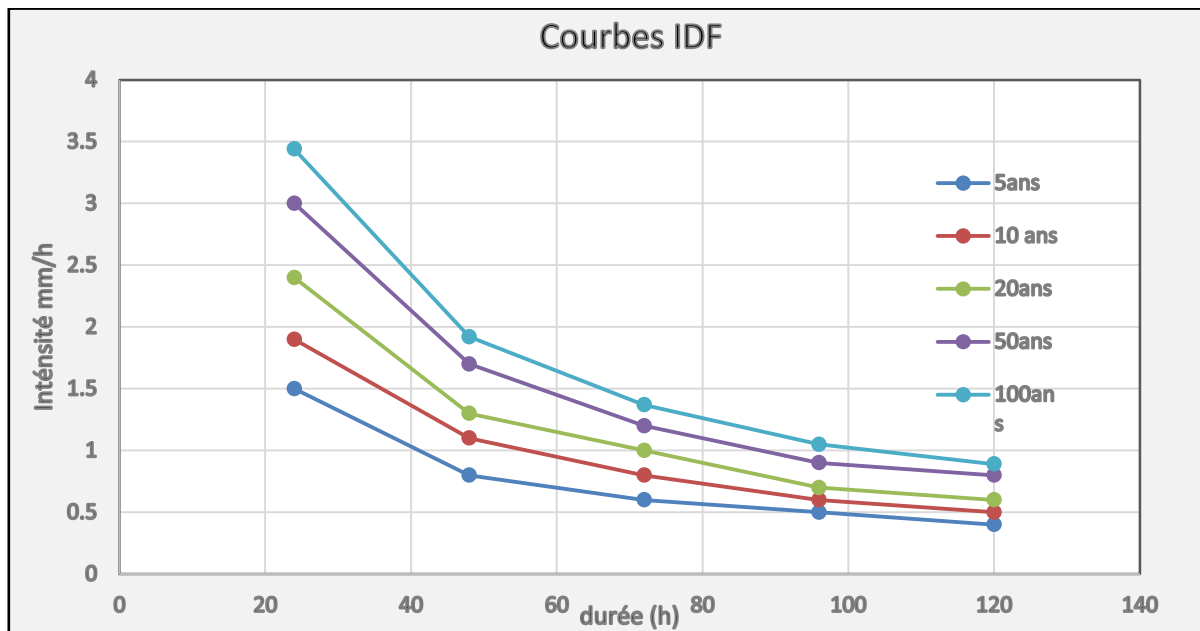


Figure VIII-5 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF).

**VIII.4 LE BASSIN VERSANT :**

Le bassin versant est une zone où les eaux sont recueillies et alimentent à une partie où entièrement d'un fleuve, Une fois les bassins versants identifiés, on évalue leurs paramètres explicatifs afin d'obtenir les informations nécessaires.

**VIII.4.1 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :**

Sont définies comme la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents en amont de la section.

Tout écoulement qui naît à l'intérieur de cette surface doit donc passer par la partie en question, connue sous le nom d'exutoire, afin de continuer son chemin vers l'aval.

Les lignes de crêtes et les lignes de plus grande pente seront alors les limites du bassin versant.

Une fois que les cartes à l'échelle 1/50 000ème (état-major) ont été assemblées par le bureau d'étude, le tracé de la future voie ferrée sera représenté sur des cartes, suivi de la délimitation du bassin versant.

**VIII.4.2 Les caractéristiques morphologiques des bassins versants :**

Le Bassin versant s'agit d'un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point, exutoire de ce bassin. Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par des frontières naturelles se dirige vers le cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire. Cette aire d'alimentation a des limites géographiques, qui ne tiennent pas compte des limites administratives. Chaque bassin est séparé de ceux qui l'environnent par une "ligne de partage des eaux".

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

Cette limite sera tracée sur une carte en courbes de niveau en suivant les lignes de crête bordant le bassin et ne traversera le cours d'eau qu'au droit de l'exutoire.

Après avoir identifié les bassins, on détermine le débit fourni par chacun d'entre eux. Les principaux paramètres à prendre en compte pour la modélisation des bassins sont :

- ✓ S (km<sup>2</sup>) : La surface du bassin versant.
- ✓ P (km) : Périmètre.
- ✓ L (km) : Longueur de talweg.
- ✓ H<sub>max</sub> (m) : L'altitude max.
- ✓ H<sub>min</sub> (m) : L'altitude min.
- ✓ H<sub>moy</sub> (m) : L'altitude moyenne (m), avec  $H_{moy} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$
- À partir de ces données, on calcule d'autres paramètres importants qui définissent le bassin :
  - ✓ L'indice de compacité de GRAVELIUS « K<sub>c</sub> » ;  $\frac{0,28.P}{\sqrt{A}}$  (caractérise la forme du BV).
  - ✓ La pente moyenne (m/m) ;  $I(m/m) = \frac{\Delta H}{L}$
  - ✓ Le temps de concentration (heure).
  - ✓ Le coefficient de ruissellement.
  - ✓ La vitesse de ruissellement (km/h).

### VIII.4.3 Caractéristiques des bassins versants :

Le tableau récapitulatif suivant présente les caractéristiques des bassins versants des écoulements traversant la nouvelle ligne ferroviaire **Béchar-Gara Djebilet** pour le tronçon 787+700 à 799+700.

Tableau

VIII-8 :

Les

N° BV	PK	Surface B.V (Km <sup>2</sup> )	Périmètre B.V(Km)	Longueur (Km)	Pente Moy (m/m)
BV1	789+450	4.04	9.65	2.32	0.001
BV2	791+975	201.5	70.15	30.94	0.001
BV3	794+750	6.76	16.94	2.62	0.003
BV4	795+300	9.32	20.69	7.37	0.002
BV5	796+375	123.6	67.91	33.91	0.001

caractéristiques des bassins versants.

- Les débits de crue sont apportés par chaque bassin versant des 5 qui se trouvent au droit de l'axe de la voie étudiée.

### VIII.5 CALCULE HYDRAULIQUE :

L'objectif de l'étude hydraulique, est de quantifier sur une base statistique, l'ampleur du phénomène de crue le plus important (avec des temps de retour de 50 et 100 ans), et en fonction de celui-ci, sera déterminé le choix de la conception, afin de garantir la sécurité des structures.

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

A partir de l'analyse des pluies qu'on vient de décrire, on a calculé les débits de projet, en utilisant la méthode rationnelle, Crupédix et la méthode de transition qui permet d'obtenir les débits, à partir de la pluviométrie et de la géométrie de la chaussée.

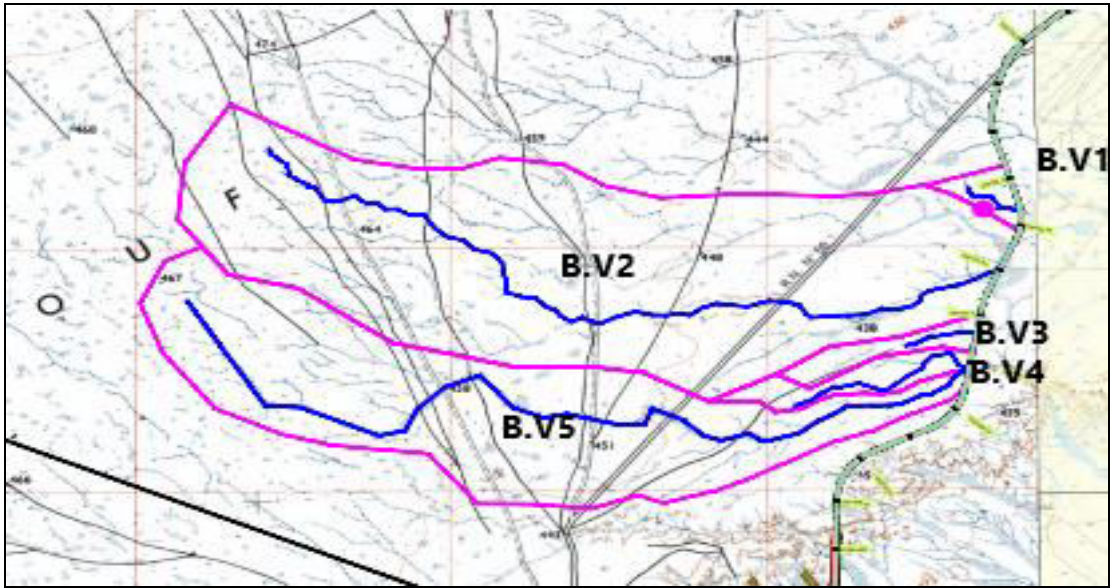


Figure VIII-6: La délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major.

### VIII.5.1 Calcule le Temps de concentration « Tc » :

Le temps de concentration correspond au temps nécessaire pour que des gouttes d'eau qui ne se sont pas évaporées et ne se sont pas infiltrées dans le sol en descendant du sommet du bassin versant jusqu'à évacuer.

Le calcul du temps de concentration a une grande influence sur l'évaluation des débits des crues.

Les temps de concentration des bassins versants sont calculés en utilisant les trois formules suivantes.

#### 1. Formule de VENTURA : (B.V inférieur à 5 Km<sup>2</sup>) :

$$Tc = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

- ✓ Tc : Temps de concentration en (heures) ;
- ✓ A : Superficie du bassin-versant en (Km<sup>2</sup>) ;
- ✓ I : Pente moyenne du thalweg principal en (m.p.m)

#### 2. Formule de PASSINI (5 Km<sup>2</sup> < A < 25 Km<sup>2</sup>) :

$$Tc = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{I}}$$

- ✓ Tc : Temps de concentration en (heures) ;
- ✓ A : Superficie du bassin-versant en (Km<sup>2</sup>) ;
- ✓ L : Longueur du thalweg en (Km) ;
- ✓ I : Pente moyenne du thalweg principal en (m.p.m).

#### 3. Formule de GIANDOTTI :

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

- ✓ Tc : Temps de concentration en (heures) ;
- ✓ A : Superficie du bassin-versant en (Km<sup>2</sup>) ;

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

- ✓ L : Longueur du thalweg en (Km) ;
- ✓ Hmoy : Hauteur moyenne du bassin versant en (m) ;
- ✓ Hmin : Hauteur minimale du bassin versant en (m).

**REMARQUE** : La sélection des formules pour évaluer le temps de concentration est basée sur la superficie du bassin versant.

**Tableau VIII-9 : Le Temps de concentration calculé en 3 méthodes**

BV	Surface	Longueur	Pente	Tc (h)			
	km <sup>2</sup>	Km	m/m	Giandotti	Passini	Ventura	Adopté
1	4,04	2,32	0,001	-	7,80	8,08	<b>7,94</b>
2	201,50	30,94	0,001	13,53	-	-	<b>13,53</b>
3	6,76	2,62	0,003	-	5,13	6,01	<b>5,57</b>
4	9,32	7,37	0,002	-	8,89	8,68	<b>8,75</b>
5	123,60	33,91	0,001	14,31	-	-	<b>14,31</b>

**Conclusion** : On élimine les valeurs des formules non applicables et procéder vers une interpolation. Le temps de concentration retenu sera la moyenne des valeurs obtenues par les méthodes applicables.

### VIII.5.2 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

On comprend l'intérêt de mesurer le débit maximal d'un cours d'eau en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques. Lorsqu'on envisage la construction d'aménagements importants, il est nécessaire de définir le niveau de crue maximal probable pour lequel l'ouvrage devra être protégé.

Les formules empiriques utilisées pour évaluer les débits maximums des bassins versants aux sites des franchissements seront élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants.

Les calculs hydrauliques utilisés pour définir les ouvrages prennent en considération le débit de projet, qui correspond à la plus grande crue connue ou à une fréquence au moins centennale.

#### ➤ Les Formules utilisées :

L'évaluation des débits de projet demeure un défi complexe et ne découle pas d'une science précise. Il existe de nombreuses méthodes valides qui ne permettent qu'une estimation relative de la taille de la crue.

Si les données ne sont pas disponibles, on utilise des formules empiriques ; les formules sont sélectionnées en fonction de la superficie de chaque bassin versant.

Différentes méthodes sont disponibles pour calculer le débit d'apport, et nous avons seulement employé ces Trois méthodes lors de cette phase de dimensionnement (APD) :

#### 1. La formule rationnelle : (Pour les bassins versant de surface inférieure à 10km<sup>2</sup>) :

$$Q = \frac{Cr \times i \times S}{3,6}$$

Où :

- Q : Débit de point de crue (m<sup>3</sup>/s) ;
- i : Intensité de précipitation pour le temps de concentration du bassin versant et la récurrence

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

souhaitée en (mm/h) ;

- S : Aire du bassin versant qui contribue pour la section objet d'étude (km<sup>2</sup>) ;
- Cr : Coefficient d'écoulement.

### 2. La Méthode de Crupédix : (pour les bassins versants de surface inférieure à 100km<sup>2</sup>) :

$$Q = Q_{10} = R \times \left( \frac{P_{jmax}}{80} \right)^2 \times S^{0.8}$$

Avec :

- Q<sub>10</sub> : Débit décennal en m<sup>3</sup>/s.
- PJ, max (10) : pluie journalière maximum décennale (mm) donné par ONM ;
- R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement.
- Les valeurs des coefficients ci-après peuvent être retenues : R = 0,2 pour des terrains perméables.
- R= 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
- R= 1 pour des terrains intermédiaires.
- S : Surface du bassin versant en (Km<sup>2</sup>).
- PJ max (10) : Pluie journalière de période de retour décennale (T=10 ans), en mm.

#### ➤ Evaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule de Crupédix :

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

- ✓ Si la Surface inférieure à 20 Km<sup>2</sup>, b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle tel que :

$$b' = QR_{(100)} / QR_{(10)}$$

- ✓ Si la Surface supérieure à 20 Km<sup>2</sup>, (b') est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet, b' = 2 au minimum.

#### ➤ Evaluation du débit QT de période de retour T :

L'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans peut être obtenue par la formule suivante en admettant que la répartition statistique des valeurs observées suive la loi de Gumble :

$$QT = Q_{10} + \Delta Q \left( \frac{Y}{2,3} - 1 \right)$$

Avec :

- $\Delta Q = Q_{100} - Q_{10}$  ;
- $Y = -\ln (-\ln (1-1/T))$ .

### 3. Formule de Mallet – Gautier (pour les Bassins supérieur à 25km<sup>2</sup>) :

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

$$Q_t = (2 \times k) \times \log(1 + A \times P_0) \times \left( \frac{S}{\sqrt{L}} \right) \times \sqrt{[1 + 4 \times \log(T) - \log(S)]}$$

Avec :

- QT : Débit de pointe de période de retour T (m<sup>3</sup>/s).
- S : la surface en km<sup>2</sup>
- L : Longueur du cours d'eau (km).
- P : Pluie moyenne annuelle du bassin versant (m) donné par ONM.
- A : Coefficient régional du bassin, varie entre 20 et 30 on prend [A = 25].

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

- K : Coefficient dépendant des caractéristiques géomorphologiques du bassin, varie entre 1 et 3 on prend [K = 1,3].
- T : Période de retour T (Ans)

### VIII.5.3 Coefficients de ruissellement :

Le rapport entre la hauteur d'eau ruissellement et la hauteur d'eau précipitée est appelé coefficient de ruissellement, Il est sélectionné selon la nature du bassin versant, notamment sa couverture, le type de sol, la pente et le temps de retour de l'événement.

Les caractéristiques et les conditions d'infiltration du sol, l'intensité des précipitations, la proximité de la nappe phréatique, le degré de compactage du sol, sa porosité, le couvert végétal, la typologie d'occupation, la pente du bassin, la récurrence, etc., influencent le coefficient de ruissellement.

La méthode recommandée de KENESSEY permet d'évaluer le coefficient de ruissellement en étudiant la somme de trois (03) coefficients partiels : **Cr = C1+C2+C3**.

- \* C1 : Dépendant de la pente du bassin versant.
- \* C2 : Dépendant de la nature du sol (perméabilité).
- \* C3 : Dépendant de la couverture végétale du bassin versant

Coefficient C1 :

Pente	C1		
≤ 3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11%	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
> à 35 %	0,22	0,26	0,30

Coefficient C2 :

Nature du sol	C2		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

Coefficient C3 :

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

- Les cinq bassins ont une pente inférieure à 3.5% (I <3.5%), La valeur de C1 est value **C1= 0.01**
- La valeur de **C2 est 0,20** qui est associée à un sol peu perméable et est considéré constante pour toute la région de Tindouf.
- La valeur de **C3 vaut 0,05** correspondant à des forêts et territoire sableux.

$$C = 0.01+0.20+0.05= 0.26 \quad \text{D'où } C = 0.26$$

**VIII.6 APPLICATION AU PROJET :**

➤ **Calcul pour le bassin versant 03 avec une période de routeur de 100 ans :**

Prenons en compte le bassin versant numéro 3

Nous avons :  $S=6,76\text{km}^2$ ,  $L=2,62\text{km}$ , et  $I=0,003(\text{m/m})$

**a. Calcul du temps de concentration  $T_c$  :**

Nous avons un bassin de surface nous utilisons donc la formule de PASSINI :

$$T_c = 0,108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{I}} = 0,108 \times \frac{\sqrt[3]{6,76 \times 2,62}}{\sqrt{0,003}} = 5,13\text{h}$$

**b. Calcul des débits de projet par les différentes méthodes :**

**1. La méthode rationnelle :** Tels que :  $I(t) = \frac{P(t)}{T_c}$  (mm/h)

-  $P(t_c) = 1,13 \times P_{\text{max}} \cdot j \times \left(\frac{T_c}{24}\right)^{0,84} = 1,13 \times 53,79 \times \left(\frac{5,13}{24}\right)^{0,84} = 22,87 \text{ mm/h}$

-  $I(t) = \frac{22,87}{5,13} = 4,46 \text{ (mm/h)}$ .

D'où :  $Q = 0,278 \times C \times S \times i = 0,278 \times 0,26 \times 6,76 \times 4,46 = 2,18 \text{ m}^3/\text{s}$

**2. Méthode CRUPEDIX :**

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

-  $Q_{10} = R \times \left(\frac{P_{j\text{max}}(10)}{80}\right)^2 \times S^{0,8}$

-  $Q_{10} = 1 \times \left(\frac{45,6}{80}\right)^2 \times 6,76^{0,8} = 1,49 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$b' = 1,57$ , Alors :  $Q_{100} = 1,57 \times 1,49 = 2,33 \text{ m}^3/\text{s}$

**3. Méthode de Mallet Gautier :**

$$Q_t = (2 \times k) \times \log(1 + A \times P_0) \times \left(\frac{S}{L}\right) \times \sqrt{[1 + 4 \times \log(T) - \log(S)]}$$

D'où :

- ✓  $K=1,3$
- ✓  $A=25$
- ✓  $P_0=0,51$
- ✓  $S=6,76\text{km}$
- ✓  $L=2,62$
- ✓  $T=100\text{ans}$

$$Q_t = (2 \times 1,3) \times \log(1 + 25 \times 0,51) \times \left(\frac{6,76}{2,62}\right) \times \sqrt{[1 + 4 \times \log(100) - \log(6,76)]} = Q_t = 3,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les résultats de calculs sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous.

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

**Tableau VIII-10 : récapitulatif des paramètres hydrauliques des bassins versants pour les trois périodes de retour.**

BV	Tc (h)	P(t) (mm)			I(t) (mm/h)		
		10	50	100	10	50	100
BV01	7,94	20,3476878	23,0696372	26,5947849	2,56268108	2,90549587	3,34946913
BV02	13,53	31,8387488	36,0978797	41,6138032	2,35319651	2,66798815	3,07566912
BV03	5,57	15,1072079	17,1281283	19,7453858	3,71224559	3,07506792	3,57495257
BV04	8,75	22,077638	25,0310062	28,8558602	1,52315863	2,86068642	3,29781259
BV05	14,31	33,3736061	37,8380578	43,6198886	2,33218771	2,64416896	3,04821025

**Tableau VIII-11:**  
résultats de calcul du  
versants la méthode  
principal du PK  
799+700

N° BV	Temps de concentration	PK	Coefficient de ruissellemnt	Débit de crue (Qap) (m3/s)		
				10	50	100
BV01	7,94	789+450	0,26	0,677171049	1,66747338	2,19450285
BV02	13,53	791+975	0,26			
BV03	5,57	794+750	0,26	1,10276788	1,23802111	1,73340069
BV04	8,75	795+300	0,26	1,734743792	3,80924113	5,15322429
BV05	14,31	796+375	0,26			

Récapitulatif des  
débit des bassins  
rationnelle axe  
787+700 au PK

N° BV	PK	Surface dt B.V (Km²)	Pj	R	Qap10 (m3/s)	b'	Qap100 (m3/s)	T (ans)	y	Qap 50 (m3/s)
BV01	789+450	4,04	45.60	1.00	0.64	2.95	1.88	50	3.90	1.59
BV02	791+975	201,50	45.60	1.00		2.35		50	3,90	-

## CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

Tableau  
récapitulatif  
résultats de  
débit des

BV03	794+750	6,76	45.60	1.00	1,49	1,57	2,3	50	3,90	1,98
BV04	795+300	9,32	45.60	1.00	1,93	2.96	5,74	50	3.90	4,08
BV05	796+375	123,60	45.60	1.00		3.89		50	3.90	-

VIII-12:  
des  
calcul de  
bassins

versants la Méthode crupédix axe principal du PK 787+700 au PK 799+700

Tableau  
: Tableau

N° BV	PK	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	P (m)	A	K	Débit de crue (Qap)(m3/s)		
							10	50	100
BV01	789+450	4,04	2.32	0.51	25.00	1.30	0.88	1.77	2,43
BV02	791+975	201,50	30.94	0.51	25.00	1.30	39,65	63,76	74,04
BV03	794+750	6,76	2.62	0.51	25.00	1.30	1,29	1,43	3,3
BV04	795+300	9,32	7.37	0.51	25.00	1.30	1,02	4,08	5,74
BV05	796+375	123,60	33.91	0.51	25.00	1.30	11,32	38.43	51.7

VIII-13

récapitulatif des résultats de calcul de débit des bassins versants la méthode de Mallet – Gautier axe principal du PK 787+700 au PK 799+700

CHAPITRE VIII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

Tableau VIII-14 : Tableau récapitulatif des débits max des écoulements qui traversent le tracé pour des périodes de retour 10ans, 50ans, 100ans

N° BV	PK	Q formule Mallet Gautier			Q formule Rationelle			Q formule crupédix			Méthode	Débit de crue(Qap) RETENUE		
		10	50	100	10	50	100	10	50	100				
BV01	789+450	0,88	1,77	2,43	0,67	1,66	1,98	0,64	1,5	1,88	Méthode Rationelle	0,67	1,66	2,18
BV02	791+975	39,6	63,7	74,04							Méthode de Mallet – Gautier	39,6	63,7	74,04
BV03	794+750	1,29	1,4	3,3	1,10	1,23	1,73	1,49	1,98	2,3	Méthode de Crupédix	1,49	1,98	2,3
BV04	795+300	1,02	4,08	5,74	1,73	3,80	5,15	1,93	4,08	5,74	Méthode de crupédix	1,93	4,08	5,74
BV05	796+375	11,3	38,4	51,7							Méthode de Mallet – Gautier	11,3	38,4	51,7

### VIII.7 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE :

Il est nécessaire d'effectuer une étude afin de mettre en place un système opérationnel d'évacuation des eaux garantissant la stabilité de l'infrastructure.

Il est nécessaire que ce système récupère les eaux zénithales ainsi que celles des nappes phréatiques.

Pour l'assainissement des plateformes ferroviaires, il faudra prendre en compte :

- Les installations de collecte longitudinale
- Les ouvrages transversaux.
- Les ouvrages de raccordement.

#### VIII.7.1 Types d'ouvrages transversaux :

##### VIII.7.1.1 Les Buses :

Les buses sont des ouvrages d'hydraulique circulaires transversales fabriquées en béton ou en métal, en général, les buses en béton ne dépassent pas les diamètres  $\phi=1.20m$ , ce qui exige une fondation solide (en béton).

##### VIII.7.1.2 Les dalots :

Les dalots représentent des ouvrages d'hydraulique transversales similaires aux buses, mais avec une section rectangulaire ou carrée, et sont réalisés uniquement en béton armé. Il s'agit d'ouvrages sous chaussée qui ne requièrent aucun remblai ; il est possible d'envisager une circulation à même la dalle en utilisant des moyens de circulation. La taille des dalots a été sélectionnée en fonction du débit d'eau entrant, selon le dimensionnement hydraulique effectué avec la formule de Manning-Strickler.

##### VIII.7.1.3 Les ponts et viaducs :

Ils doivent supporter des débits de crue centennale, ce qui signifie que les dimensions choisies pour ces ouvrages doivent respecter les critères suivants.

$$Q_{100} < Q_s$$

- $Q_{100}$  : Débit de crue centennale (débit d'apport) en  $m^3/s$ .
- $Q_s$  : Débit de saturation de l'ouvrage en  $m^3/s$ .

✓ **REMARQUE :**

Le dimensionnement de tous les ouvrages hydrauliques des cours d'eau (dalots et ponts) est calculé pour la crue centennale (100ans).

#### VIII.7.2 Types d'ouvrages longitudinaux :

L'objectif de ces réseaux est de recueillir les eaux provenant du ruissellement de la plateforme. On collecte les eaux de la plateforme dans des fossés en béton ou en terre. Il sera nécessaire de dimensionner ces ouvrages de manière adéquate pour chaque tronçon homogène. Il est important d'anticiper les aménagements indispensables pour leur entretien.

**Note :** La sélection technique d'un fossé en béton est prévue afin d'éviter l'érosion :

1. La pente est supérieure à 3 %
2. Le terrain est meuble.

**VIII.7.3 Ouvrages de raccordement :**

Ces ouvrages visent à raccorder le réseau transversal au réseau longitudinal afin de garantir le bon fonctionnement du système d'assainissement. Ce sont :

- Les regards de visite : sont indispensables pour l'entretien et le contrôle des collecteurs enterrés ;
- Différents raccordements (buse/regard), (buses/fossés.).

Il est important de prendre en compte une profondeur minimale de 10 cm dans ces ouvrages de décantation afin de capturer les fines et les graviers.

**VIII.7.4 Dimensionnement des ouvrages transversaux :**

La mise en place des ouvrages hydrauliques appropriés et réalisés selon des normes permettra de rétablir les écoulements superficiels interrompus par l'infrastructure ferroviaire.

Ces constructions seront adaptées à un événement pluvieux qui se produit tous les cent ans.

N° BV	PK	Débit de crue(Qap) (m3/s)	Observations	Ouvrages projetés
BV01	788+125	2,18	Un ruissellement généralisé	Dalot
BV02	791+110	74,04	Un ruissellement important	OA
BV03	792+480	2,3	Un ruissellement généralisé	Dalot
BV04	794+300	5,74	Un ruissellement généralisé	Dalot
BV05	797+975	51,7	Un ruissellement important	OA

Tableau VIII-15: Liste des Ouvrages prédimensionnés

➤ Les mesures sont basées sur l'utilisation de la formule de MANNING STRICKLE.

• **Critère de dimensionnement à respecter :**

- L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit de crue correspondant ;
- La hauteur d'eau correspondante à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage) ;
- La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 1 %) pour éviter des vitesses trop élevées.

**VIII.7.4.1 Calcul du débit de saturation :**

• **La méthode de MANNING STRICKLER :**

Le principe général consiste à vérifier que le débit à évacuer correspondant à une pluie centennale est inférieur au débit maximal supporté par de l'ouvrage choisi, tout au long de L'écoulement. Ce critère permet d'assurer que la voie reste en bon état lors d'un événement pluvieux centennale.

$$Q_s = K_s S_M R_h^{2/3} I^{1/2}$$

Où :

- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- Rh : Rayon hydraulique
- S<sub>M</sub> : Section mouillée de l'ouvrage b x Hu (m<sup>2</sup>)
- b : Largeur de l'ouvrage (m).
- Hu : Hauteur utile (m).
- HT : Hauteur totale (m).
- K<sub>s</sub> : Coefficient de rugosité ; Pour le béton K<sub>s</sub>=70

#### VIII.7.4.2 Vérification des condition auto curage :

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissages de 1% et 10% des débits, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :

- ✓ **1ere condition : pour  $Rq = Q / Q_{ps} = 0.1$  il faut  $V > 0.6$  m/s.**
- ✓ **2ème condition : pour  $Rq = Q / Q_{ps} = 0.01$  il faut  $V > 0.3$  m/s.**

#### VIII.7.4.3 Comparaison entre le débit de crue Q<sub>ev</sub> et le débit de saturation Q<sub>s</sub> :

Il s'agit de sélectionner un ouvrage a priori jusqu'à une certaine longueur, puis de déterminer si ses caractéristiques sont adéquates, insuffisantes ou trop importantes pour évacuer le débit de crue.

Dans les deux derniers cas, il est nécessaire de présenter un ouvrage ayant une capacité plus ou moins élevée.

- ✓ Si Q<sub>ev</sub> > Q<sub>s</sub>, la capacité de l'ouvrage retenu est insuffisante : il faut réduire la longueur L de l'ouvrage et faire suivre cet ouvrage d'un ouvrage de capacité supérieure jusqu'à l'exutoire ;
- ✓ Si Q<sub>ev</sub> = Q<sub>s</sub>, l'ouvrage convient, le débit à évacuer est alors égal au débit capable de l'ouvrage ;
- ✓ Si Q<sub>ev</sub> < Q<sub>s</sub>, l'ouvrage possède une capacité surabondante. Pour des raisons d'économie, il convient d'apprécier si on peut réduire l'ouvrage d'une ou plusieurs classes.

Tableau VIII-16 : Valeur de KS

selon SETRA

Nature des Parois KS	Valeur
Terre	30
Bétons(dalots)	70
Buses métalliques	40
Maçonnerie	50
Bétons (buses préfabriqués)	70

Pour notre Ligne Nous avons adopté la valeur :

- ✓ Coefficient de rugosité Strickler K<sub>s</sub> = 70 (correspond au béton grossier avec coffrage bois).
  - ✓ De façon à contrôler les effets de l'érosion, la vitesse maximale de l'écoulement devrait être limitée à **4m/s**.
- Notre tronçon compte 5 écoulements sur un linéaire de 7km, donc le débit à écouler perpendiculairement à l'axe de l'assise, le rétablissement de l'écoulement naturel sera assuré par OA et des dalots.

**VIII.7.4.4 Exemple de dimensionnement de Dalot :**

- Les calculs hydrauliques des dalots doivent être vérifiés pour un taux de remplissage de 75 %.

**h = 0.75H.**

- Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant l'égalité du débit des crues et le débit de saturation :
- Dans notre projet, les dalots sont en béton, le ks est donc de 70

$$Q_s = Q_{max}$$

- Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :
  - B : largeur nette du cadre (m).
  - H : hauteur nette (m)
  - 0.75H : hauteur de remplissage (m)
  - Rh = Rayon hydraulique.

- En utilisant la formule de Manning –Strickler :

D'où  $S_m = 0,75 \times H \times B$  ,  $R_h = \frac{0,75 \times H \times B}{1,5B + H}$

$$Q_{max} = K_s \times S_m \times I^{0,5} \times R_h^{\frac{2}{3}} = 70 \times (0,75 \times H \times B) \times I^{0,5} \times \left( \frac{0,75 \times H \times B}{1,5B + H} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Après calcul itérative. On tire  $\Rightarrow H_{i+1} = \left( \frac{Q_{max}}{K_s \times I^{\frac{1}{2}} \times \frac{1}{5}} \right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{(1,5H+B)^{\frac{2}{5}}}{0,75B}$  et  $H_0 = \left( \frac{Q_{max}}{K_s \times I^{\frac{1}{2}} \times \frac{1}{5}} \right)^{\frac{3}{5}}$

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

• **Application numérique :**

Dans notre Tronçon étudié On a un seul dalot qui correspond à l'écoulement au PK795+300 Avec un débit de  $Q_{100} = 5,74 m^3/s$

Pour ce dalot, on suppose la hauteur totale du dalot et la base B, on pose préalablement que B=2m et par la méthode des itérations on cherche la hauteur de remplissage h qui satisfait l'égalité entre le débit calculé par la formule de MANNING-STRICKLER et le débit de transit :

On prend :  $K_s = 70$  ;  $I = 0.01$  ;  $B = 2 m$

Après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient :  $H = 1.445 m$  on prend  $H = 2.00 m$

Donc les valeurs retenues pour cette section de dalot sont :  $B = 2 m$  ;  $H = 2.00 m$

➤ Alors :  $S_m = 3.00 m^2$  ;  $P_m = 5.00 m$  ;  $R_h = 0.6 m$

**1. Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :**

$$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 3.00 \times (0.6)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = 14.93 m^3/s > Q_{100} = 5,74 m^3/s \quad \text{Vérfié}$$

**2. Vérification de vitesse de saturation :**

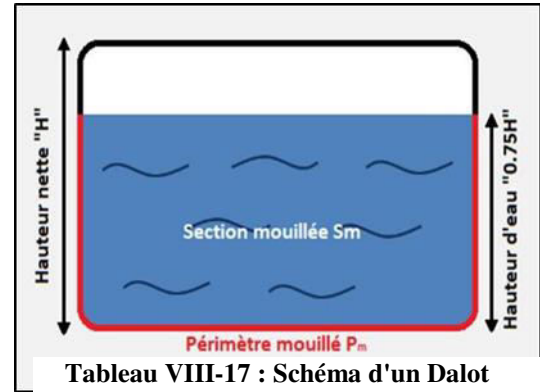
$$V_s = \frac{Q_{max}}{S_m} = \frac{5.74}{3} = 1.91 m/s < 4 m/s$$

$$Q_{ps} = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times 4.00 \times (0.67)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = 21.43 m^3/s, V_{ps} = 5.35 m/s$$

**3. Vérification des condition auto curage :**

**3.1. Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :**

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_s}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{14.93}{9.8 \times 4}} = 0.7248 m < H = 1.2 m \quad \text{La condition est vérifiée.}$$



- 1<sup>er</sup> condition : pour  $Q/Q_{ps} = 0.38$  il faut  $V_{\text{écoulement}} > 1 \text{ m/s}$ .

$$Rq = \frac{Q}{Q_{ps}} = 0.38 \text{ et } Rv = \frac{V}{V_{ps}} = 0.93 \implies V = 0.93 \times 5.35 = 1.87 > 1 \text{ m/s.} \implies \text{Vérfifié}$$

- 2<sup>ème</sup> condition : pour  $Q/Q_{ps} = 0.1$  il faut  $V_{\text{écoulement}} > 0.6 \text{ m/s}$ .

$$Rq = \frac{Q}{Q_{ps}} = 0.1 \text{ et } Rv = \frac{V}{V_{ps}} = 0.64 \implies V = 0.64 \times 5.35 = 3.42 > 0.6 \text{ m/s.} \implies \text{Vérfifié}$$

- 3<sup>ème</sup> condition : pour  $Q/Q_{ps} = Rq = 0.01$  il faut  $V_{\text{écoulement}} > 0.3 \text{ m/s}$ .

$$Rq = \frac{Q}{Q_{ps}} = 0.01 \text{ et } Rv = \frac{V}{V_{ps}} = 0.32 \implies V = 0.32 \times 5.35 = 1.71 > 0.3 \text{ m/s.} \implies \text{Vérfifié}$$

Tableau VIII-18 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.

Bassin	01	03	04
PK	788+125	792+480	794+300
$Q_{max} (100ans) (m^3/s)$	2,18	2,3	5,74
Rugosité Ks	70	70	70
Pente (m/m)	0,01	0,01	0,01
Nombre dalot	1	1	1
Dimensions calculée BxH (mxm)	2 x 1.443	2 x 1.254	2 x 1.465
Dimensions obtenue BxH (mxm)	2 x 2.00	2 x 2.00	2 x 2.00
$Q_{saturation}(m^3/s)$	14.93	14.93	14.93
$V_{saturation}(m/s) < 4 \text{ m/s}$	0.8	0.78	1.91
$Q_{ps}$	21.43	21.43	21.43
$V_{ps}$	5.35	5.35	5.35
$V > 0.3 \text{ m/s}$	1.71	1.71	1.71
$V > 0.6 \text{ m/s}$	3.42	3.42	3.42
Vérification	VERIFIE	VERIFIE	VERIFIE

Tableau VIII-19 : Liste globale des ouvrages projetés.

N° BV	PK de l'exutoire	$Q_{100}$	Ouvrage projeté	Dimensions
1	789+450	2,18	Dalot	(2.00 x 2.00)
2	791+975	74,04	Viaduc	L = 350 m
3	794+750	2,3	Dalot	(2.00 x 2.00)
4	795+300	5,74	Dalot	(2.00 x 2.00)
5	796+375	51,7	Viaduc	L=385m

**VIII.7.4.5 Calcul hydraulique des ponts :**

Dans La section entre **PK796+150 et le PK 796+500 et PK792+315 et le PK 792+700** le débit est important donc l'ouvrage projeté sera des viaducs qui permet à la ligne minière de franchir les deux oueds suivant un tracé droit.

A l'aide de logiciel AUTOCAD on peut calculer approximativement la section minimale mouillée à respecter pour garantir le débit souhaité.

- **Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :**

**Application au Projet :**

$$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 25 \times 1158.34 \times (3.69)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = 6920.4 > m^3/s > Q_{100} = 74.04 m^3/s \text{ OK } \checkmark$$

Désignation	PK (km)	Débit de crue m3/s	Débit capable m3/s	Pente m/m	Sm	Pm
Écoulement 1	DU PK 791+110 AU PK 791+700	74.04	6920.4	0.010	1158.34	313.5 4
Écoulement 2	DU PK 797+780 AU PK 798+165	51.7	6378.7	0.010	1085.443	300.0 3

**Tableau VIII-20 : Caractéristique hydraulique de notre viaduc**

- ✓ **Le débit d'évacuation de ponts est beaucoup trop élevé, nos viaducs permettront très largement à l'eau du bassin versant de passer.**

**VIII.7.5 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux :**

Pour assurer la durabilité de notre ligne ferroviaire, avec le système de drainage transversale il faut construire un système de drainage Longitudinal, ce dernier est destiné à recevoir et à drainer les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plateforme ferroviaire et les talus, ainsi que les eaux internes (eaux infiltrées dans les structures d'assise ou nappe phréatique).

Il est nécessaire de se conformer à des principes pour mesurer ces ouvrages :

- Dans les zones de déblai, un fossé à section trapézoïdale sera établi au niveau des accotements de la plate-forme.
- Les eaux du drainage longitudinal seront toujours évacuées par gravité.
- En cas de déblai de grande hauteur, en raison de l'inclinaison du terrain voisin, des fossés de crête sont créés pour éviter l'érosion des talus et l'accès des eaux de surface à la plate-forme.

**VIII.7.5.1 Dimensionnement des fossés :**

Les fossés sont des Ouvrages hydrauliques linéaires qui transportent les eaux de surface drainées à travers l'infrastructure et les bassins versants, en interaction avec le projet, afin de les acheminer vers un point de rejet (exutoire) situé en dehors de l'emprise de la voie ferrée pour la protéger.

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

$$Q_s = K_s \times S_m \times I^{0.5} \times R_h^{\frac{2}{3}}$$

Avec :  $S_m = (b + z \times h) \times h$  ;  $P_m = b + 2h \cdot \sqrt{1 + z^2}$  ;  $R_h = S_m / P_m$

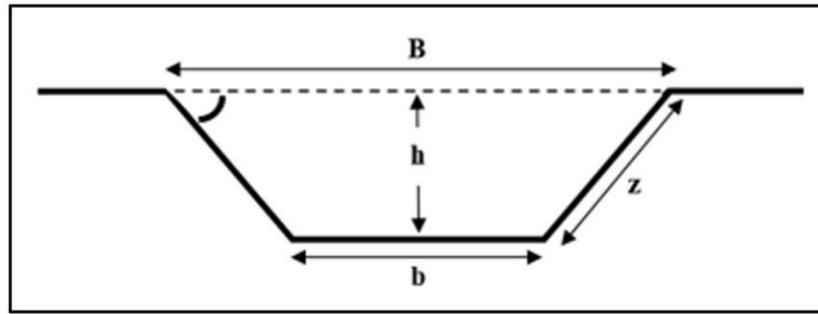


Figure VIII-7 : fosse trapézoïdale.

Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus :

$$Q_s = Q_{pf} + Q_t + Q_b$$

- ✓ Coefficient de rugosité Strickler  $K_s = 70$  ( Le choix technique d'un fossé bétonné est prévu pour éviter le problème de l'érosion)
- ✓ La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil en long de la voie.
- ✓ Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.

#### VIII.7.5.2 Le débit d'apport :

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :  $Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$

Avec :

- $Q$  : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour  $T$  ( $m^3/s$ ).
- $C$  : Coefficient de ruissellement.
- $I$  : Intensité de pluie ( $mm/h$ ).
- $A$  : Surface du bassin versant considéré : la plate-forme / les talus, en ( $km^2$ )

- ✓ La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés est la hauteur totale.

#### ➤ Application sur le Projet :

- Pour déterminer les surfaces à drainer on a analysé les profils en travers et les caractéristiques du terrain naturel dans lequel le projet est implanté.
- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, chaque débit est déterminé en utilisant la Méthode rationnelle.
- Le débit utilisé correspond à une période de retour de 50 ans.
- Dans le cas de projet les hauteurs des remblais sont inférieure à 8m. dans ce cas y'a pas des bermes  $Q_b = 0$ . D'où les fossés seront dimensionnés avec débit rapporté par la plate-forme et les talus  $Q_{apport} = Q_{pf} + Q_t$ .

Tableau VIII-21 : débit apport cas remblai

		CAS REMBLAI
		Le cas plus défavorable : Longueur = 2560 m H talus = 5.29m Largeur de la plateforme = 6.8m
Plate-forme	C	0.9
	P (m /m)	0.04
	S <sub>m</sub> (km <sup>2</sup> )	0,010869
	Tc(h)	0.0661
	I (mm/h)	418
	Q(m <sup>3</sup> /s)	1.04
Talus	C	0.7
	P (m /m)	0.67
	S <sub>m</sub> (km <sup>2</sup> )	0,00663820
	Tc(h)	0.039957
	I (mm/h)	652.13
	Q(m <sup>3</sup> /s)	0.841
Qa Total=Qt+Qpf		<b>0,841+1.04=1.881</b>

**Remarque :**

- Le temps de concentration a été calculé avec la formule des petits bassins (Formule de Ventura).
- Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 50 ans (a=42.74, b=-0.84).
- Le débit est calculé par la méthode Rationnelle.

Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit desaturation

$$Q_s = Q_{ap}$$

$$Q_s = K_s \times I^{1/2} \times [(b+m \times h) \times h] \times \left( \frac{(b+m \times h) \times h}{b+2h \times \sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3}$$

On fixe la base (b) et la pente (m),

$$Q_a = 1.88 \text{ m}^3 / \text{s},$$

- On prend :

-  $K_s = 70$ .

-  $m = 0, 11$

-  $b = 1 \text{ m}$ . Avec le calcul itératif on trouve les dimensions suivantes :  $h = 1 \text{ m}$  avec Pour l'intégralité du tracé on opte pour un seul type de fossé suivant :

- Fossé trapézoïdal ( $b=1 \text{ m}$ ,  $h=1 \text{ m}$ ) en béton armé dans le tronçon la gare.

À la raison de problème de notre tronçon qui présent plusieurs zones de risque d'ensablement

On propose d'opte un Fossé en terre avec  $b= 1 \text{ m}$  et  $h=1 \text{ m}$ .

Tableau VIII-22: Dimensionnement du fossé proposé pour la gare.

b	h	m	S <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> )	P <sub>m</sub> (m)	R <sub>h</sub>	K <sub>s</sub>	I (m/m)	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1m	1m	0,11	1.11	3,012	0,513	70	0,02	5,637

**VIII.8 LES ZONES INONDABLES :**

Le tronçon objet de notre étude présente une difficulté majeure, à savoir, que les reliefs sont relativement très plats avec des dépressions peu apparentes. Entre le PK794+450 et PK 799+360 ce qui dénote la présence d’une zone inondable.

Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à **NPHE + 0.5m**

Tableau VIII-23: niveau NPHE

Section Zone inondable	Niveau NPHE/TN
DU PK794+450 au PK799+360	1.09 m

Ce constat implique la prise des mesures suivantes :

- Ajouter des buses d’équilibre.
- La mise en œuvre du matériau drainant  $D \leq 200mm$ .

Dans le contact du matériau drainant avec les matériaux de remblai nécessite de mettre un géotextile de séparation.

**VIII.9 CONCLUSION :**

Au cours de ce chapitre, nous avons pu examiner l’étude hydrologique et hydraulique dans le cadre de notre projet afin de garantir la sécurité et la stabilité de l’investissement. Nous avons également réussi à évaluer les bassins versants, à mesurer les débits d’eau, à évaluer les infrastructures hydrauliques afin de réduire les risques d’inondation et à assurer des opérations ferroviaires efficaces d’année en année.

D’après l’étude précédente sur le Tracé présentée dans ce chapitre avec les spécifications de la région on obtient les ouvrages de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne

- 3 dalot de (2 ×2) ;
- 2 ponts Viaducs ;
- Fossé de forme trapézoïdal en béton au niveau de la gare de Voyageur Tindouf, et un fossé en terre en pleine Voie.

# CHAPITRE IX

## PROFIL

### EN TRAVERS

## IX PROFIL EN TRAVERS

### IX.1 INTRODUCTION :

Le profil en travers d'une voie ferrée est une représentation graphique détaillée de la coupe transversale de la voie à un point donné. Il s'agit d'un levé réalisé perpendiculairement à l'axe de la voie sur un plan vertical, illustrant l'ensemble des éléments constitutifs de la voie, tant en infrastructure qu'en superstructure, ainsi que les dispositifs d'assainissement, établir le profil en travers est importante dans un projet ferroviaire car elle permet de déterminer la section type projetée pour le couloir, ainsi que les volumes des déblais et des remblais.

Deux types principaux de profils en travers sont couramment utilisés :

- **Le profil en travers type :**
- **Le profil en travers courant :**

### IX.2 PROFIL EN TRAVERS TYPE :

Il s'agit d'un modèle de référence qui définit les dimensions et la disposition standard des éléments de la voie, servant de base à la conception de chaque section de la ligne ferroviaire.

### IX.3 LE PROFIL EN TRAVERS COURANT :

Il représente la configuration réelle de la voie à un emplacement spécifique (au PK indiqué), prenant en compte les particularités du terrain, les ouvrages d'art et les contraintes environnementales.

### IX.4 LES ELEMENTS DE PROFIL EN TRAVERS :

- ✓ **Emprise :** c'est la surface du terrain naturel affecté à la voie ; limitée par le domaine public.
- ✓ **Assiette :** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- ✓ **Plateforme :** Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.
- ✓ **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains
- ✓ **La berme :** Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations...). Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- ✓ **Le fossé :** C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

## CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

### IX.5 Constituants de profil en travers :

Dans un profil en travers doit contenir les éléments suivants :

Eléments d'infrastructure	<ul style="list-style-type: none"><li>• Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.</li><li>• Les pentes de chaque couche.</li><li>• La pente latérale de la plate-forme.</li></ul>
Eléments de superstructure	<ul style="list-style-type: none"><li>• La distance entre les axes des deux voies.</li><li>• L'épaisseur du ballast.</li><li>• La longueur des butées du ballast.</li><li>• La valeur du devers maximale en courbe.</li></ul>
Eléments du talus	<ul style="list-style-type: none"><li>• La pente de chaque talus.</li><li>• Les ouvrages de consolidations éventuelles.</li></ul>
Eléments d'assainissement	<ul style="list-style-type: none"><li>• Type et dimension du fossé ou des drains</li></ul>

### IX.6 PROFIL EN TRAVERS AFFECTES AU PROJET :

#### ✓ En pleine voie :

- Le profil en travers type en pleine voie, du présent projet, correspondant à un profil pour voie **unique**, il présente une largeur de plateforme de 8,0 m soit en déblais soit en remblai.
- Une bande 0.70 m sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunications et électrification ; l'axe des poteaux caténares devra se situer à un minimum de 3.15 m de l'axe de la voie ;
- Les fondations de la plateforme consistent en une couche de fondation et d'un 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 E1 et de traverses en monobloc sur le ballast. Du côté droit de la voie (dans le sens du kilométrage), une bande latérale est prévue pour l'installation d'une conduite de câble pour les télécommunications.
- Des fossés capteurs sont prévus pour la protection des pieds de talus de remblai contre le trempage,
- Tous les ouvrages d'art ont été dimensionnés pour une ligne à double voie, à écartement standard, à vitesse maximale de 160km/h.
- Les talus de remblais 3H/2V en pente.
- Epaisseur du ballast 30cm.
- Epaisseur de la sous-ballast : 20cm.
- L'épaisseur de la couche de fondation : 20 cm.
- L'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.

## CHAPITRE IX : PROFIL EN TRAVERS

### ✓ **En pleine courbe :**

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

### ✓ **La gare :**

Les caractéristiques géométriques de la gare sont les suivantes :

- Type de ligne : voie unique.
- Ecartement de la voie : 1435 mm.
- Entraxe : 4,20 m.
- Pente latérale de la plateforme : 4 %.
- Epaisseur de ballast : 30 cm.
- Epaisseur de sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de couche de forme : 35 cm.
- Distance axe de voie – bord de quai : 1,65 m.

### ✓ **CAS PARTICULIERE POUR NOTRE PROJET :**

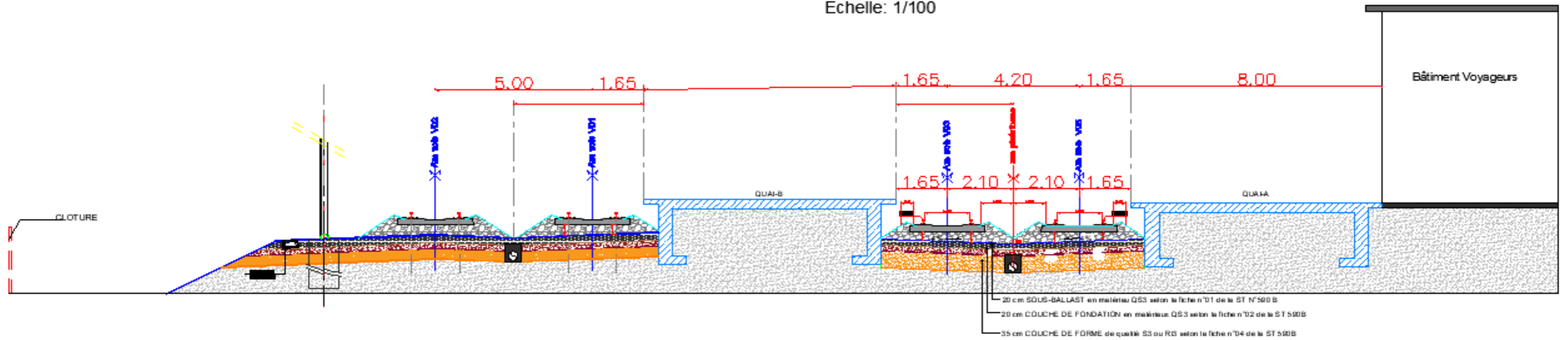
Un projet ferroviaire peut avoir plusieurs profils en travers types :

- **ZONE INONDABLE** : ajout du géotextile anti-contaminant au tour du noyau de remblai et des enrochements latéraux.

**NB : Les profils en travers types sont joints en plans format A3.**

**PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA  
GARE TINDOUF**

Echelle: 1/100



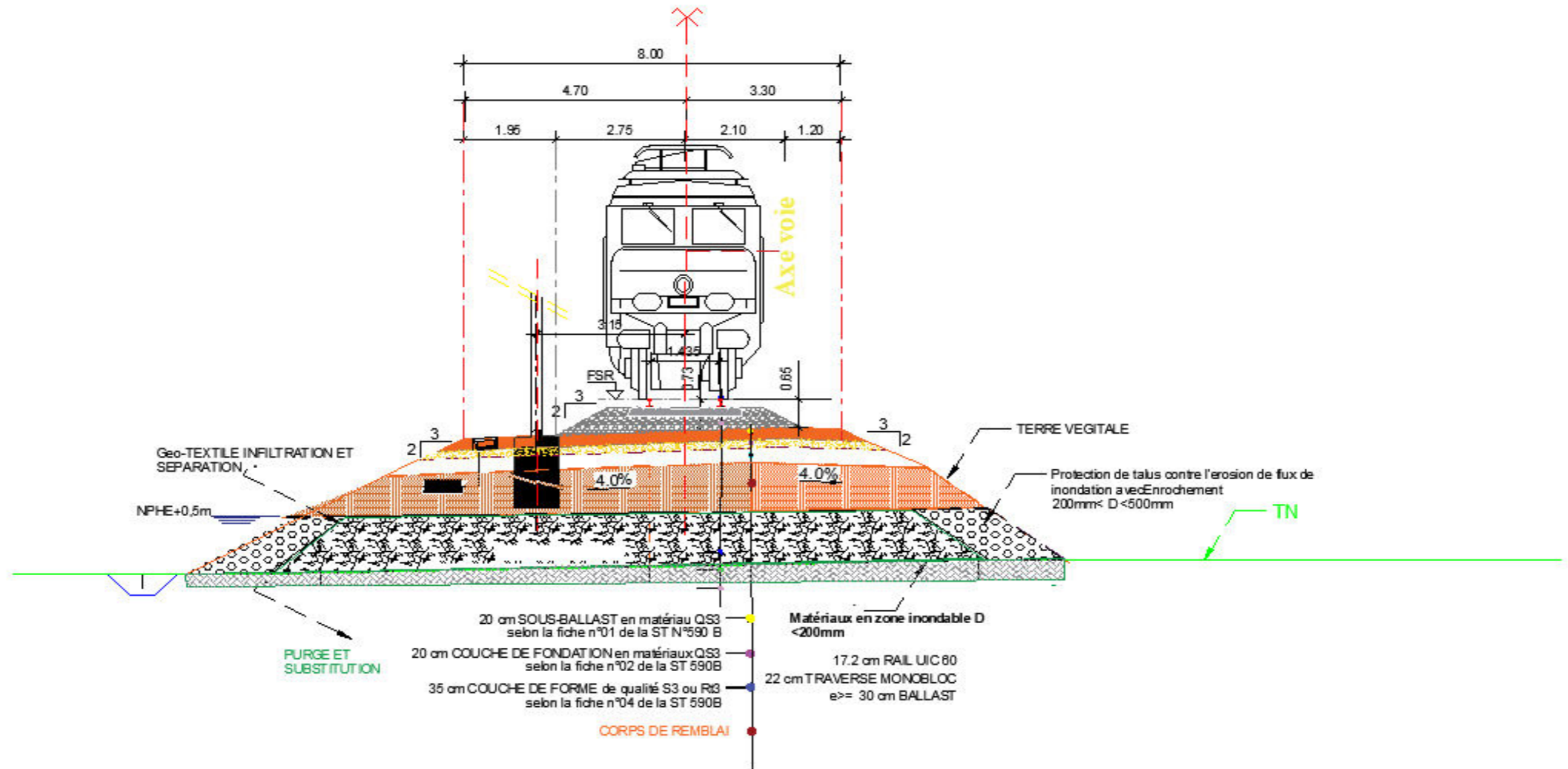
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger  
 Fax : (023) 70 19 38 Site web : [www.enstp.edu.dz](http://www.enstp.edu.dz)  
 Tel : (023) 70 19 04 E-mail : [enstp@enstp.edu.dz](mailto:enstp@enstp.edu.dz)

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
étude APD DE LA NOUVELLE LIG NE FERROVIAIRE BECHAR GARA DJBILET TINDOUF DE PK 787+700 à PK799+700 Avec conception de la gare Tindouf	SOUIKI GHADA ALLOUTI CHAIMA	GOU METTRE AHMED	1/100	PROFIL EN TRAVERS TYPE " LA GARE "	2023/2024

## PROFIL EN TRAVERS TYPE

Echelle: 1/100

PLATEFORME A VOIE UNIQUE -ZONE INONDABLE -



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

PROJET DE FIN D'ETUDES

Réalisé par

Encadré par

Echelle

Titre

Année universitaire

étude APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE BECHAR  
 GARA DJBILETTINDOUF DE PK 787+700 à PK799+700 Avec  
 conception de la gare Tindouf

SOUKI GHADA  
 ALLOUTI CHAIMA

GOMETTRE  
 AHMED

1/100

PROFIL EN TRAVERS  
 EN ZONE INONDABLE

2023/2024

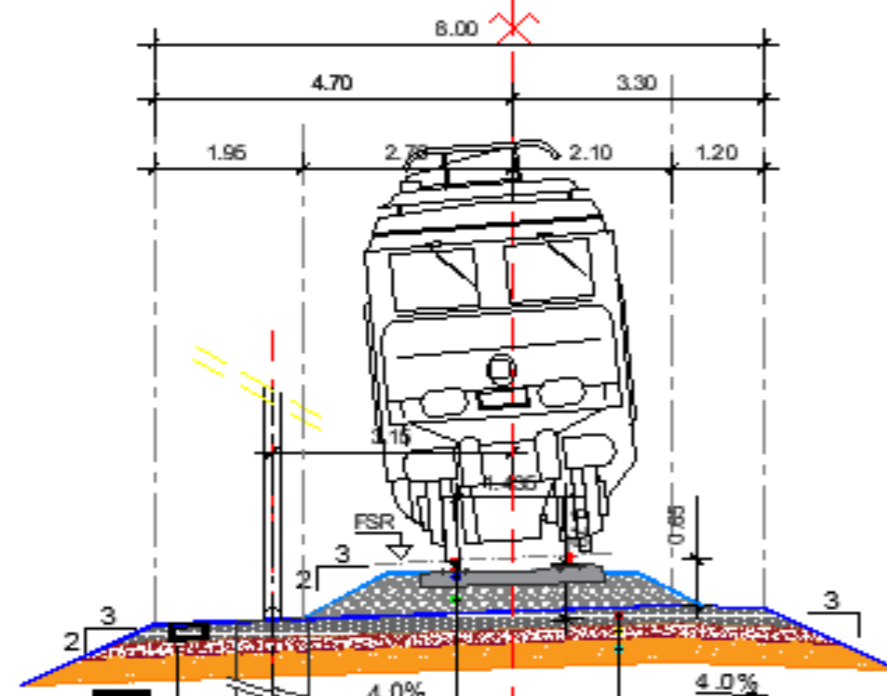
### PROFIL EN TRAVERS TYPE

Echelle: 1/100

dévers = 20 mm

en courbe

AXE Voie



- 17.2 cm RAIL UIC 60
- 22 cm TRAVERSE MONOBLOC
- e= 30 cm BALLAST
- 20 cm SOUS-BALLAST en matériau QS3 selon la fiche n°01 de la ST N°590 B
- 20 cm COUCHE DE FONDATION en matériaux QS3 selon la fiche n°02 de la ST 590B
- 35 cm COUCHE DE FORME de qualité S3 ou R13 selon la fiche n°04 de la ST 590B

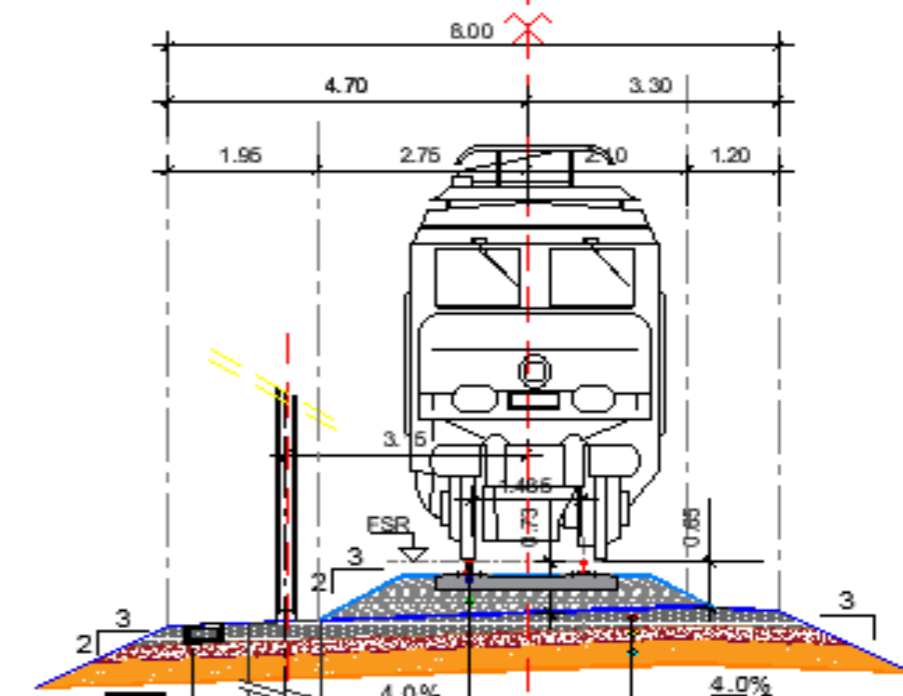
### PROFIL EN TRAVERS TYPE

Echelle: 1/100

dévers = 0 mm

en pleine voie

AXE Voie



- 17.2 cm RAIL UIC 60
- 22 cm TRAVERSE MONOBLOC
- e= 30 cm BALLAST
- 20 cm SOUS-BALLAST en matériau QS3 selon la fiche n°01 de la ST N°590 B
- 20 cm COUCHE DE FONDATION en matériaux QS3 selon la fiche n°02 de la ST 590B
- 35 cm COUCHE DE FORME de qualité S3 ou R13 selon la fiche n°04 de la ST 590B



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 VieuxKouba -16051. Alger  
 Fax : ( 023) 70 19 38 Site web : [www.enstp.edu.dz](http://www.enstp.edu.dz)  
 Tel : (023) 70 19 04 E-mail : [enstp@enstp.edu.dz](mailto:enstp@enstp.edu.dz)

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
étude APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE BECHAR GARADJ.BILET TINDOUF DE PK 787+700 à PK799+700 Avec conception de la gare Tindouf	SOUKI GHADA ALLOUTI CHAIMA	GOUMETTRE AHMED	1/100	PROFIL EN TRAVERS REMBLAI	2023/2024

# CHAPITRE X

# TERRASSEMENT

# ET

# OUVRAGE D'ART

## X TERRASSEMENT ET OUVRAGE D'ART

### X.1 TERRASSEMENT :

#### X.1.1 INTRODUCTION :

Le terrassement est une opération complexe qui consiste à altérer le relief d'un terrain afin de créer une surface plane et stable pour la construction d'une voie ferrée. Il est très important de suivre ce processus afin de garantir la sécurité et la stabilité des trains qui circulent sur la ligne.

#### X.1.2 SECTION EN DEBLAI :

✓ Il est noté qu'aucun déblai a été constaté le long de notre tracé.

#### X.1.3 SECTION EN REMBLAI :

#### X.1.4 TASSEMENT :

Lors de l'étude des tassements des remblais, il est important de s'assurer que les tassements prévus après la mise en service peuvent être gérés de manière appropriée. En considérant tous les résultats des travaux et des essais de la campagne géotechnique, il n'est pas prévu de tassements importants des remblais à travers tout le tracé.

#### X.1.5 ETUDE DE STABILITE DE REMBLAIS :

L'étude de stabilité selon UIC 719 R est une étape indispensable, construire et maintenir des infrastructures ferroviaires sûres et durables, tout en optimisant les coûts et en garantissant la conformité aux normes internationales.

Les paramètres géotechniques principale déterminés pour chaque lithologie qui sont employés dans l'étude de stabilité des remblais sont les suivants :

- Poids spécifique  $\gamma$ .
- Cohésion  $c'$ .
- Angle de frottement interne  $\phi'$ .

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

- $F_s \geq 1.3$  à court terme.
- $F_s \geq 1.5$  à long terme.
- $F_s \geq 1$  situation accidentelle.

✓ Dans le cas de notre projet on a passé par un profil entièrement en remblai avec des hauteurs inférieures à sept mètres (7m) donc sont considérés comme stables.

#### X.1.6 CALCULE DE VOLUMES DE TERRASSEMENT :

Dans le domaine du terrassement, les cubatures impliquent de déterminer avec précision le volume de terre ou de matériau déplacé ou ajouté lors de divers travaux tels que le nivellement, l'excavation ou le remblayage d'un terrain. Ces calculs sont effectués une fois que la ligne rouge du projet est établie et que les caractéristiques topographiques du terrain naturel sont prises en compte. Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel (COVADIS 2017), les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau X-1 : Les terrassement

cubatures de

Volume déblais (m <sup>3</sup> )	Volume remblais (m <sup>3</sup> )	Volume remblais en zone inondable (m <sup>3</sup> )
274,02	272 280,90	132 088,76

Nature	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme	Enrochement
Volume (m <sup>3</sup> )	37 360,90	24 836,90	19 930,20	50 557,30	47 370 ,70

Tableau X-2 : Les cubatures des couches d'assise

## X.2 LES OUVRAGES :

### X.2.1 INTRODUCTION :

Pour un tracé optimal qui répond aux exigences techniques et économiques, tout en assurant la traversée transversale de la future ligne ferroviaire Béchar -Gara Djebilet (Tindouf) et des différentes infrastructures existantes, y compris les cours d'eau, il faut intégrer dans cette nouvelle ligne les éléments suivants : ponts ferroviaires, ponts de circulation routière (passages inférieurs et supérieurs) et les installations hydrauliques (dalots).

Il est primordial que ces infrastructures soient dimensionnées en fonction des exigences de sécurité et de confort des voyageurs établies par les normes de (UIC) et par les normes européennes actuelles.

Sur le tracé de Pk 787+700 au Pk 799+700, plusieurs Ouvrages ont été enregistrées. Elles sont liées principalement aux :

- Les conduits d'eau.
- Routes et chemins.
- Les constructions

### X.2.2 METHODOLOGIE DE CONCEPTION CHOISIES :

Le choix d'ouvrages d'art pour notre projet est un moyen inévitable pour un tronçon ferroviaire techniquement correct, notre objectif est de choisir l'ouvrage convenable qui s'adaptera aux conditions, à savoir :

1. **Géologiques et sismiques** : la conception des ouvrages seront conçus en respectant la géologie (failles, ...) et la sismicité de la région.
2. **Routières** : définir les types d'ouvrages (pont à poutres précontraintes ou béton armé, pont cadre fermé ou en portique ...) en fonction du type de franchissement (route nationale, chemin de wilaya, piste agricole ...), et d'autres obstacles (oléoducs, gazoducs ...), respecter tous les profils en travers, les données en plan et en long ainsi que toutes les composantes de la route et de l'autoroute, à savoir les accotements, les bandes d'arrêt d'urgence, la terre-plein central, les voies d'insertion. Toutes ces données devront être reconduites sur l'ouvrage en intégrant les différents paramètres de l'optimisation
3. **Hydraulique** : maîtrise des informations hydrauliques telles que les débits, le sens d'écoulement, les hauteurs des eaux les plus élevées, etc. Choisissez les différents types d'appuis appropriés et les positionnez de manière à ne pas perturber le débit de l'eau et à les protéger contre toute agression

(affouillement, etc....).  
Installation du système d'assainissement de la construction.

4. **Géotechnique** : les fondations seront traitées dans le chapitre d'étude géotechnique.

**X.2.3 LES OUVRAGES DU PROJET :**

Différents ouvrages sont réalisés pour franchir des obstacles, éviter des zones protégées ou rétablir les voies de circulation telle que des ponts rails ou ponts routiers pour rétablir les réseaux routiers, des viaducs pour franchir les Oueds.

**X.2.3.1 Les ouvrages hydrauliques :**

Afin de garantir le passage des cours d'eau, différentes formes d'infrastructures sont étudiées en fonction de l'importance du cours d'eau à traverser. De PK 787+700 à PK 799+700, il est essentiel de construire des infrastructures hydrauliques, comme mentionné dans l'étude hydraulique (chapitre étude hydraulique et hydrologique).

Par ailleurs, dans la zone inondable compris entre le PK794+450 au PK799+360, il est essentiel de mettre en place des buses d'équilibre tous les 1 km (plus ou moins) afin de mieux gérer les flux d'eau pendant les périodes d'inondation.

➤ **Description des Ouvrages :**

- **Le viaduc V23-3 du PK 797+780 au PK 798+165 :**

La structure l'ouvrage est celle d'un pont à 10 travées isostatique de 35.00m avec une longueur totale de 350ml. Le tablier est constitué de 10 poutres de section T en béton précontrainte prétenion de 2.00m de hauteur entretoisée sur appuis, l'entre axe des poutres est de 1.25m.

- **Le Viaduc V22-3 du PK 791+100 au PK 791+450**

La structure l'ouvrage est celle d'un pont à 11 travées isostatique de 35.00m avec une longueur totale de 385ml. Le tablier est constitué de 10 poutres de section T en béton précontrainte prétenion de 2.00m de hauteur entretoisée sur appuis, l'entre axe des poutres est de 1.25m.

**Tableau X-3 : caractéristique de l'ouvrages hydrauliques (viaduc)**

PK début/fin	Obstacle à franchir	Ouvrages projetés	Dimensions
791+100AU PK 791+450	Écoulement	Viaduc	L = 350 m
797+780 AU PK 798+165	Écoulement	Viaduc	L=385m

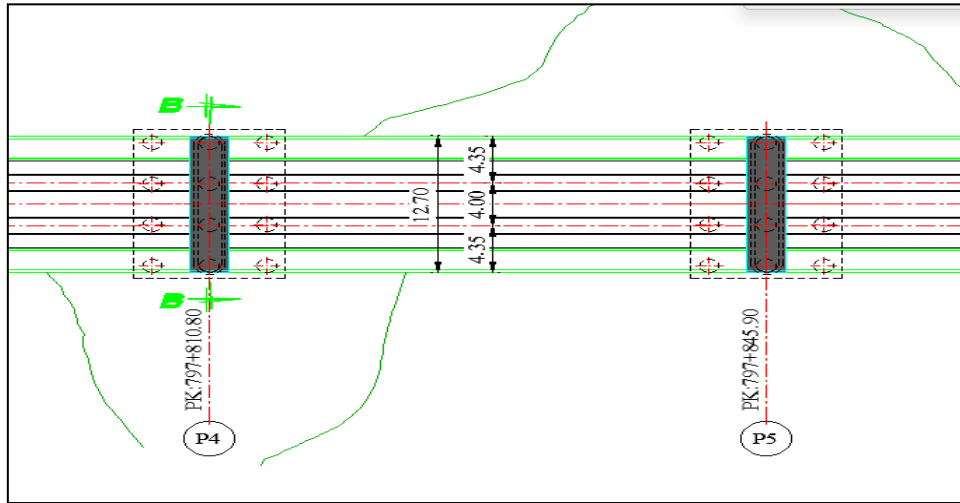


Figure X-1: La Vue en plan de Viaduc 797+780 AU PK 798+165

Tableau X-4 :  
de l'ouvrages  
(dalot)

PK	Ouvrages	Dimensions
788+125	DALOT	b×h (2×2)
792+480	DALOT	b×h (2×2)
794+300	DALOT	b×h (2×2)

caractéristique  
hydrauliques

### X.2.3.2 Le croisement rail-route :

La problématique de croisement doit généralement tenir compte de la nature et du débit de la voie pour analyser individuellement tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale le long du tracé ferroviaire.

Dans Notre cas la voie ferrée croise la route national **RN50** en un endroit et l'écart entre leur niveau respectif n'est pas important, la voie ferrée passe en profil en remblai par rapport à la route, il est évident alors de prévoir un passage supérieur ferroviaire.

### X.2.3.3 Rétablissements routiers :

Étant donné que ligne ferroviaire reliant Béchar-GARA Djebilet sera conçue pour une vitesse de 160 km/h, supérieure à 100 km/h, le projet ne considère pas l'existence des passages à niveau et donc pour notre tracé on a obligé de construire un passage supérieur et un passage inférieur pour permettre le rétablissement des pistes et voies intersectées.

#### ➤ Descriptions des ouvrages :

- ✓ Le rétablissement routier sis au PK 788+800 concerne une route qui relie une base militaire à la RN 50. Le rétablissement est un passage supérieur d'environ 705 m ;  
L'Ouvrage est un pont composé de 01 travée de 19 m de portée, défini par 08 poutres en béton armée de 1.20 m de hauteur, surmonté d'une dalle de 25 cm d'épaisseur. L'entraxe des poutres est de 1.30m.
- ✓ Le rétablissement routier sis au PK 791+090 concerne une piste non revêtue qui relie une base militaire à

## CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET OUVRAGE D'ART

la RN 50. Le rétablissement est un passage inférieur d'environ 100 m de longueur et d'un gabarit routier de 5,25 m. Le passage a été inséré sous le viaduc.

Le tableau suivant illustre les différents chemins et routes qui traversent notre tracé :

Type de rétablissement routier	Franchissement	PK d'ouvrage	Type d'ouvrage
Passage supérieur	Route nationale 50	788+775	PONT
Passage inférieur	Rétablissement piste	791+090	PONT

Tableau X-5 : caractéristique de rétablissements routiers

### Remarque :

Le tracé entre le PK 787+700 et le PK799+700 est intersecté par un total de 19 pistes. Parmi celles-ci, une seule piste spécifique (aux PK 791+090) sera aménagée et remplacée par un passage inférieur afin de permettre la continuité de voie de communication. Cependant, les autres pistes seront soit supprimées, soit leur tracé sera modifié pour s'adapter à la nouvelle configuration de la ligne ferroviaire. Cette approche vise à assurer une intégration harmonieuse de la ligne tout en minimisant les impacts sur les infrastructures existantes.

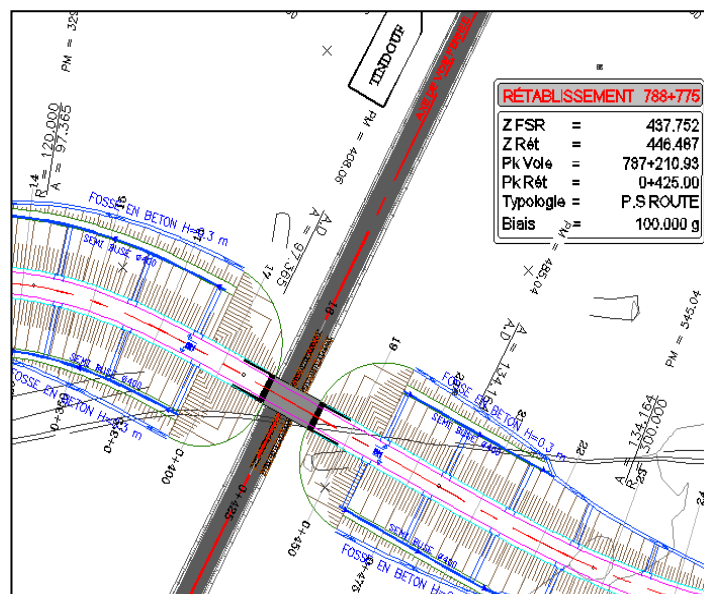


Figure X-2 : PASSAGE SUPERIEUR au niveau du Pk 788+755

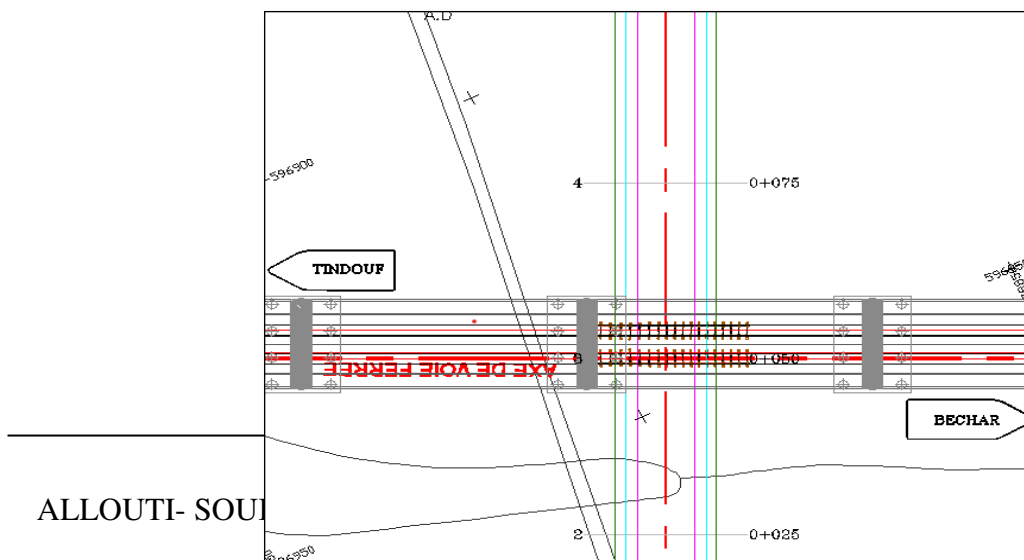


Figure X-3 : PASSAGE INFÉRIEUR au niveau du PK 791+090

**X.2.3.4 Les ouvrages de transport gaz :**

Le tronçon entre le PK 787+700 et le PK 799+700 à croiser plusieurs lignes de transports électriques à différents niveaux de tension. Les points de croisement constatés sur le tracé avec les différents niveaux de tension sont suivants :

Tableau X-6 : Liste des

conduites de GAZ

Nature de réseau	PK	Situation sur PL
Conduit	788+300	Remblai
Pipe	797+560	Remblai

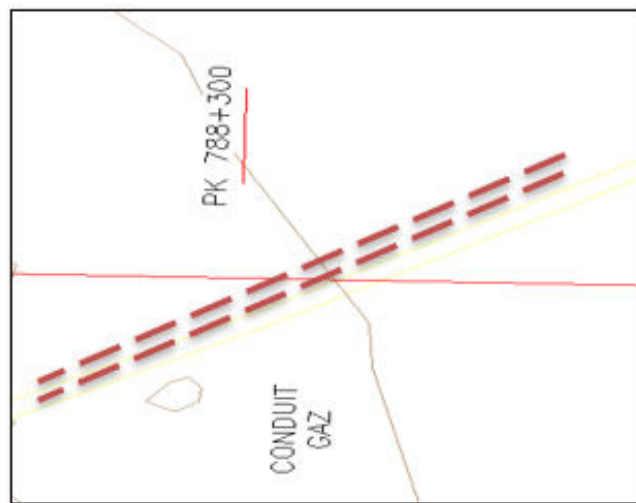


Figure X-4 : Croisement de conduite de gaz avec l'axe

**X.2.3.5 Réseau des lignes électriques :**

Le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar-Tindouf (Gara Djebilet) notamment en ce qui concerne notre tracé de PK 787+700 au PK 799+700 à croiser plusieurs lignes de transports électriques à différents niveaux de tension. Les points de croisement constatés sont suivants :

Tableau X-7 : Liste des

lignes électriques

Nature de réseau	PK	Situation sur PL
Ligne MT	787+750	Remblai
Ligne MT	789+770	Remblai
Ligne HT	794+398	Remblai

**X.2.3.6 Réseau de canalisation télécom :**

Les réseaux recensés lors de l'élaboration de cette étude consistent sont suivants :

Nature de réseau	PK	Type de réseau
------------------	----	----------------

Tableau Liste des Télécom	Canalisation Algérie Télécom	787+885	La fibre optique
		789+670	La fibre optique
		799+285	La fibre optique
		799+670	La fibre optique

X-8 :  
lignes de

**X.2.4 PROTECTION DES RÉSEAUX :**

Leur actualisation doit être en phase d'étude d'exécution en vue d'assurer leur protection et leur déviation en cas de nécessité avant le commencement des travaux.

Les mesures proposées pour chaque réseau sont :

**X.2.4.1 Les réseaux de transport gaz :**

La protection des conduites de gaz lorsqu'elles sont traversées par un tracé ferroviaire est une préoccupation essentielle pour assurer la sécurité des installations et prévenir les accidents potentiels.

Les éléments suivants peuvent être utilisés pour protéger les conduites de gaz :

- Manchons de protection : des revêtements tubulaires en acier ou en béton ;
- Gaines en acier : la résistance des conduites aux impacts et aux vibrations ferroviaires peut être améliorée grâce à l'utilisation de revêtements en polyéthylène, tels que l'enveloppement en béton ;
- Le caisson en acier.

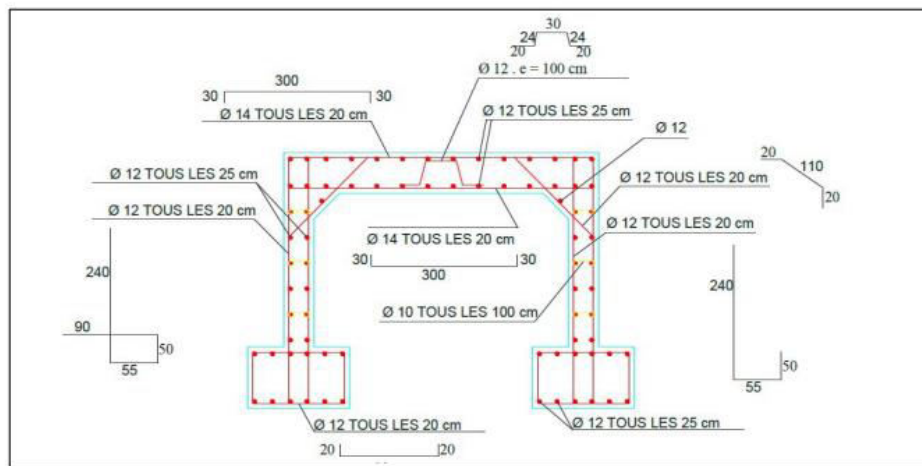


Figure X.5 Protections proposées pour les conduites du Gaz.

**X.2.4.2 Les réseaux électrique et télécom :**

Lorsqu'un tracé ferroviaire doit traverser des lignes électriques ou des lignes de télécom, il est essentiel de mettre en place des mesures de protection adéquates pour prévenir tout dommage potentiel et garantir la continuité de notre voie.

- **Pour les Réseaux électrique :**

Le polyéthylène est particulièrement adapté pour l'enfouissement (effacement) et le **confinement des**

## CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET OUVRAGE D'ART

**réseaux électriques** de Haute et Moyenne Tension (HT et MT).

- **Pour les Fibres Optiques :**

Dans le cas de notre projet la solution était de déplacer les fibres et les lignes de télécommunication.

### X.3 CONCLUSION :

L'analyse de la stabilité de nos talus a révélé une certaine stabilité malgré leur hauteur considérable, grâce à leur composition rocheuse, aussi bien en termes de résistance statique que sismique.

Nous retenons l'importance réservée aux opérations de terrassements et à la réalisation des ouvrages d'art, ils sont des éléments essentiels pour la réalisation réussie d'un projet ferroviaire.

# CHAPITRE XI

# CONCEPTION

# ET

# AMENAGEMENT

# DE LA GARE

## XI CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE

### XI.1 INTRODUCTION :

La gare est un lieu central dans le système de transport ferroviaire, où les trains s'arrêtent pour y prendre ou y laisser des passagers ou des marchandises. Les gares sont souvent des lieux de rencontre, de départ et d'arrivée pour les voyageurs, et peuvent également servir de centre de gestion pour les trains et les infrastructures ferroviaires.

### XI.2 TYPES DE GARE :

Il existe différents types de gares, cela dépend de leurs nécessités :

- Les gares voyageuses ;
- Les gares de marchandises ferroviaires ;
- Les gares mixtes (voyageurs marchandises) ;
- Les gares de triages ;
- Les gares de croisements.

1. Les gares voyageuses : ce sont les gares les plus communes, destinées à accueillir les voyageurs. Elles sont équipées de quais, de salles d'attente, de guichets, de boutiques, etc. Selon leur importance, on distingue :
  - ✓ Les grandes gares de transit, situées sur des axes majeurs
  - ✓ Les gares régionales, desservant une région
  - ✓ Les petites gares de banlieue ou de campagne
2. Les gares de marchandises : elles sont spécialisées dans le fret ferroviaire. On y trouve des voies de chargement/déchargement, des entrepôts, des grues, etc.
3. Les gares mixtes : elles combinent les fonctions voyageuses et marchandises. C'est le cas de nombreuses gares moyennes de province.
4. Les gares de triages : est une installation ferroviaire spécialisée dans le tri et la réorganisation des wagons de marchandises.
5. Les gares de croisements : est une installation ferroviaire située sur une ligne à voie unique, où la voie est dédoublée pour permettre le croisement de deux trains circulant en sens opposé.

### XI.3 AMENAGEMENT DE LA GARE :

Les installations d'une gare à voyageurs varient en fonction de sa taille, de son importance et de sa localisation, mais elles comprennent généralement les éléments suivants :

- ✓ **Le bâtiment de voyageurs** : Structure principale de la gare qui abrite les installations pour les voyageurs telles qu'une salle d'attente, un guichet de billetterie, un poste de sécurité, un kiosque, et bien d'autres services pour répondre à leurs besoins.
- ✓ **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : c'est un espace de service réservé au personnel ferroviaire, destinés à diverses fonctions.
- ✓ **Les quais** : C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès de voyageurs aux trains.
- ✓ **Les Abris de quais (protection des voyageurs contre les intempéries)** : c'est un espace de service réservé au personnel ferroviaire, destinés à diverses fonctions.
- ✓ **Les passages sous terrain et les passerelles** : Ils sont mis en place dans les gares pour que les voyageurs puissent traverser la voie et changer le quai en toute sécurité.

**XI.4 RESEAU DE VOIE :**

**XI.4.1 La marge de glissement à l'aval des signaux :**

C'est le tronçon de voie situé au prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge, qui, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation.

Selon UIC 741 :

- A l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie, la longueur de glissement est comme suite :
- ✓ LG = 200 m pour  $V \geq 60$  km/h
- ✓ LG = 100 m pour  $40 \text{ km/h} \leq V \leq 60$  km/h
- ✓ LG = 50 m pour  $V < 40$  km/h.
- A l'aval des signaux de blocs : LG = 50 m

**XI.4.2 Garage franc :**

Détermine la limite de la zone de voie à utiliser par les trains en gares. Il assure qu'il n'y aura pas de collision ou un risque de prise en écharpe entre le train dévié et le train dans la voie principale.

La valeur théorique du garage franc est de 3.57 m entre l'entraxe de la voie directe et la voie déviée (voie de stationnement).

En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de la distance de garage franc théorique.

**GF = (3.57×N) + 1 en (m)**

$$N = \frac{1}{\tan(\alpha)}$$

qui dépend type de l'appareil de voie.

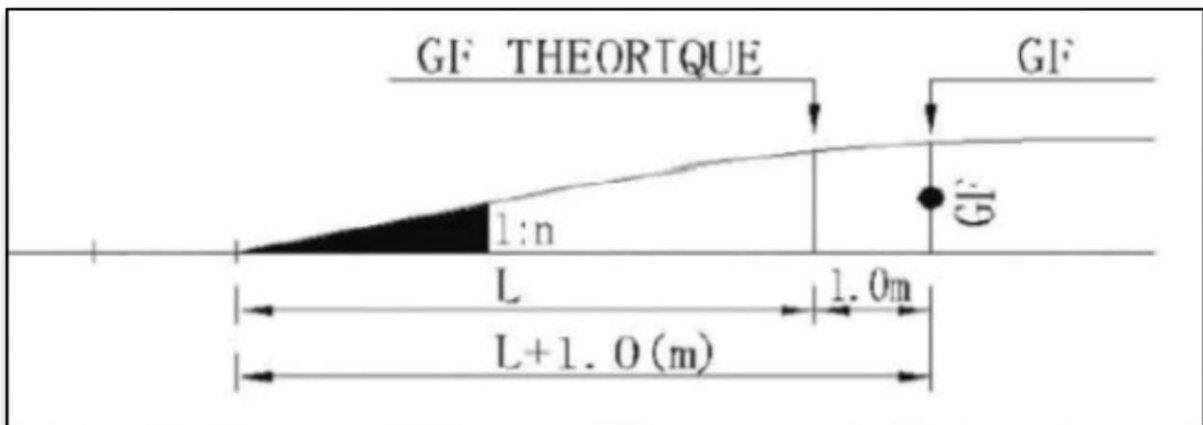


Figure XI-1 : Schéma illustratif du garage franc

**XI.4.3 Longueur utile d'une voie de stationnement :**

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

Selon la SNTF :

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

- ✓ pour les trains voyageurs 426 m ;
- ✓ Pour les trains de marchandise 870 m (pour la voie principale et la voie de service) ;
- ✓ Pour les voies de gare voyageurs une longueur minimale de 1200 m (voie principale).

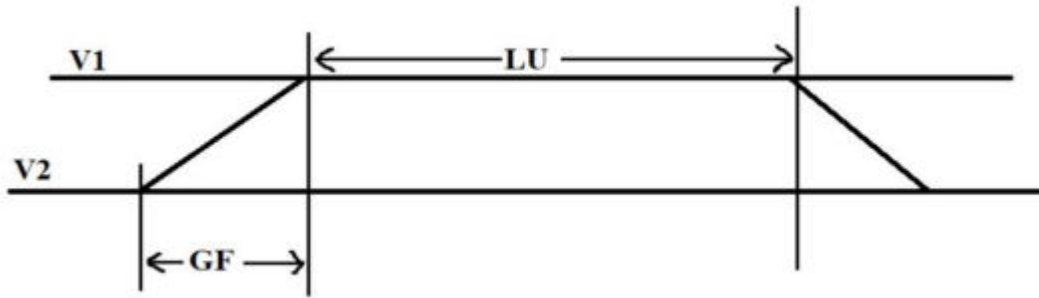


Figure XI-2 : Schéma illustratif de la longueur utile

## XI.5 CARACTERISTIQUE DES INSTALLATIONS DE LA GARE :

### XI.5.1 Heurtoir :

Un heurtoir de train est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée en cul-de-sac, pour arrêter d'éventuels trains en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie.



Figure XI-3 : Figures représentatives d'un heurtoir

### XI.5.2 Les Quais :

#### 1. Longueur de quai : selon la SNTF :

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

#### 2. Largeur de quai : selon la SNTF :

- Quai intermédiaire  $B \geq 8$  m.
- Quai extérieur  $B \geq 6$  m

#### 3. Hauteur de quai : selon la fiche UIC 741 :

- La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm.
- Sous certaines conditions, une hauteur de 760 mm.

**4. Distance par rapport à l’axe de la voie :**

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale à l’axe de la voie est fixée à : **L (mm)=1650+S.**

La valeur de S est donnée par la formule :  $s = \frac{3750}{R} + \frac{I-1435}{2}$  en mm.

R : étant le rayon de la voie en (m).

I : étant l’écartement de la voie en (mm).

**5. L’entre axe des quais : Selon la SNTF :**

- Entraxe normal en  $\geq 11.3$
- Entraxe minimal en  $\geq 9.3$

**XI.6 DESCRIPTION DE LA GARE DE TINDOUF :**

La gare est située entre PK 810+274.37 et PK 811+756.54, considérée comme une gare de passage conçue pour le trafic des voyageurs, le plan de voie contiendra une voie principale **V1**, 3 voies de services **V2, V3, V5** et trois voies terroir **V2T, V3T, V5T**. Le plan des voies et des installations de la gare est décrit ci-dessous :

- 2 quais (Quai A : 300,0 x 6,0 m / Quai B : 300,0 x 8,0 m).
- Passerelle piétons destinée à la commodité et la sécurité des voyageurs.

**Gabarit : gabarit des obstacles**

- 1 voie principale + 3 voies de services.
- Appareil de voie : UIC60-500 1/12 (6 unités)

**XI.7 CONCEPTION DE LA GARE DE TINDOUF :**

- **La marge de glissement** : est de 200m ( $V \geq 60$  km/h)
- **La longueur utile** : pour notre gare la longueur utile de la voie de stationnement

**Tableau XI-1 : les longueurs utiles de différentes voies de la gare**

Voie	Longueur utile (m)
Voie 1	1420
Voie 2	1458
Voie 3	1200
Voie 5	1200

➤ **Les Quais :**

- Longueur des quais : Les quais des voyageurs A et B sont localisés en alignement droit et possèdent une longueur de 300 m. avec une pente de 2%.
- La largeur des quais : Selon les instructions recommandées par la SNTF et L’ANESRIF Pour les quais on prend une largeur de 6m, pour quai extérieur et 8m pour le quai intermédiaire.
- La hauteur des quais : la hauteur nominale des quais on préconise une hauteur de 550 cm.

- **Distance par rapport à l’axe de la voie** : Selon UIC741 est donnée par

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

R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit  $R = \infty$ )

I : écartement de la voie (dans ce cas est  $I = 1435$  mm).

$$\text{Donc : } L(mm) = 1650 + \frac{3750}{\infty} + \frac{1435 - 1435}{2}$$

→ L = 1650 mm

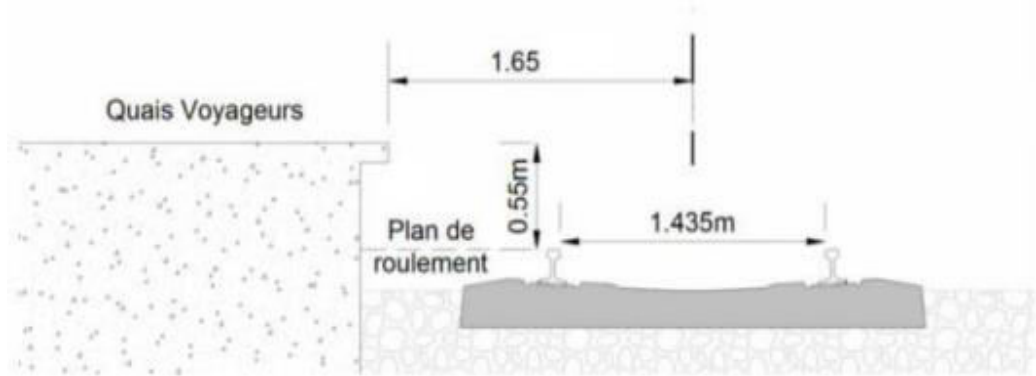


Figure XI-4 : schéma illustratif de la distance entre le quai et l'entraxe de la voie

- **Entraxe nominal** :  $e \geq 11.3$  m.
- **Passage à niveau non gardé.**
- **Abris de quai** : pour chaque quai
  - Largeur : 03 abris de largeur de chaque un est de 3m,
  - Hauteur libre : H=3 m.
- **Pour le garage de franc** : Les appareils à la proche des quais ou la vitesse est de 60km/h : 6 appareils de voie UIC60-500-1/12 → GF =  $3.57 \times 12 + 1 = 43.84$ m.

## XI.8 APPAREIL DE VOIE :

### XI.8.1 Choix des appareils de voie :

- ADV UIC 60-500-1/12 : Branchement d'entrées et de sortie des voies de quai utilisées par les trains voyageurs.

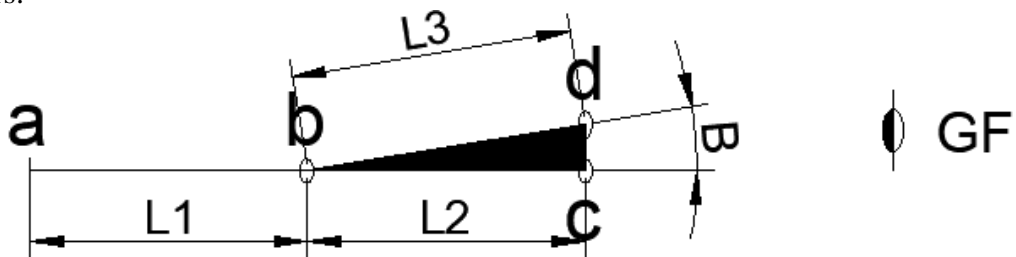


Figure XI-5 : schéma illustratif de la géométrie de l'ADV

Tableau XI-2 : valeurs de données géométrie d'ADV

Géométrie ADV				
Type	L1	L2	L3	B
1/12	20.8	20.8	20.8	4.764°

**XI.9 TRACE EN PLAN :**

En général, la disposition des lignes principales se développe en droite de 1485m avec une longueur utile de 1200m, du 810+274.37 et PK 811+756.54, ainsi que les autres lignes parallèles à celle-ci. Il a fallu installer six (6) appareils de voie, ainsi que des courbes sur plan, sans dévers et sans courbes de transition, afin de permettre la liaison entre ces différentes lignes.

**XI.10 PROFIL EN LONG :**

Toute la gare se développe en palier (i=0‰) et à cote (FSR).

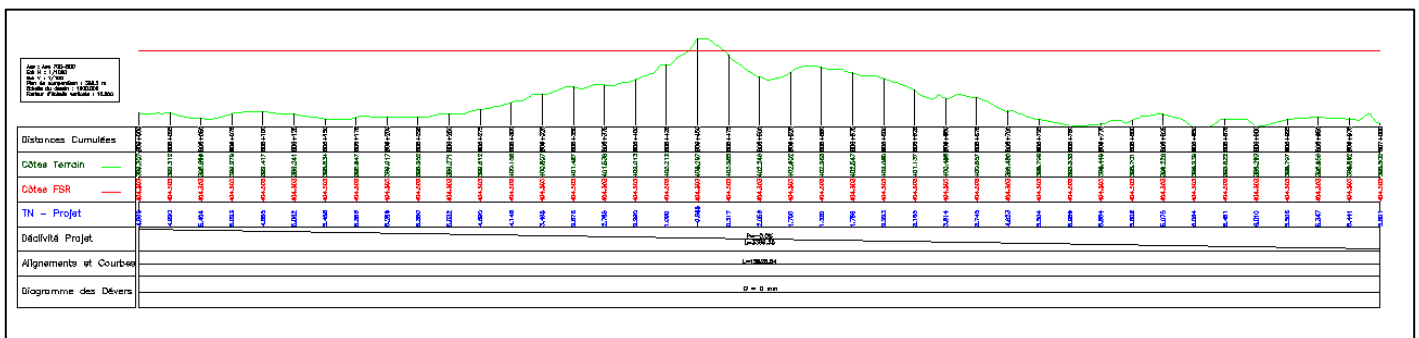


Figure XI-6 : Profil en long de la gare

**XI.11 ASSAINISSEMENT DE LA GARE :**

**XI.11.1 Assainissement transversal :**

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une Pente de 1% en toit de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont dirigées grâce aux pentes transversales des plateformes.

Tableau XI-3 : Tableau récapitulatif des résultats de l'étude hydraulique des ouvrages hydrauliques axe du gare voyageur Tindouf.

Désignation	PK (km)	Débit de crue m3/s	Débit capable m3/s	Pente m/m	NPHE m	Type d'ouvrage	Nbre des cellules	Dimension
Écoulement 01	810+900	Pas d'ouvrage hydraulique						
Écoulement 02	811+375	11.60	43.12	0,01	0.52	Buse	6.00	Ø 1500

**XI.11.1 Assainissement longitudinal :**

L'étude du drainage longitudinal doit vérifier qu'il existe une continuité d'écoulement de tout point jusqu'à un exutoire. (Ce dernier est détaillé dans le chapitre hydraulique et assainissement).

**XI.12 CONCLUSION :**

La gare a été conçue dans le respect des normes en vigueur afin de répondre aux exigences de sécurité et de confort des usagers, tout en anticipant la hausse croissante de la demande pour ce mode de transport. Son aménagement répond également aux besoins socio-économiques de la région.





# CHAPITRE XII

# SIGNALISATION FERROVIAIRE

## XII SIGNALISATION FERROVIAIRE

### XII.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire constitue un ensemble essentiel de systèmes et d'équipements dédiés à l'information et au guidage des conducteurs de train. Son rôle réside dans la **prévention des accidents** en transmettant des informations vitales sur l'état de la voie, la présence d'autres trains et les limitations de vitesse, assurant ainsi la **sécurité** et la **fluidité** du trafic ferroviaire.

### XII.2 SIGNALISATION :

#### XII.2.1 Rôles de l'installation de signalisations :

Les installations de signalisation offrent la solution aux cinq principaux problèmes suivants :

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages des trains.
- La protection des circulations dans les établissements.
- Les prises en écharpes et les nez à nez de circulation (la circulation, dans les deux sens, sur une même voie).
- Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

#### XII.2.2 Types de signalisation :

Le monde de la signalisation ferroviaire se structure autour de **deux catégories principales**, chacune répondant à des besoins et à des contextes spécifiques :

##### 1. La signalisation de type "block automatique " (BA) :

Ce système divise la ligne en cantons protégés par des signaux. Un train ne peut entrer dans un canton que si le signal à son entrée est au vert, indiquant que le canton est libre. Les signaux BA se déclinent en plusieurs types :

- Signaux de vitesse : indiquent la vitesse maximale autorisée dans le canton suivant.
- Signaux d'arrêt : indiquent l'obligation de s'arrêter avant d'entrer dans le canton suivant.
- Signaux d'avertissement : signalent une restriction de vitesse ou une situation particulière dans le canton suivant.

##### 2. La signalisation de type "cabine de conduite" :

Dans ce système, les informations sur l'état de la voie et les signaux à venir sont transmises directement au conducteur dans sa cabine. Cela lui permet d'adapter sa conduite en temps réel et d'anticiper les ralentissements ou les arrêts. La signalisation de cabine de conduite peut être:

- Affichage lumineux : des informations claires et précises s'affichent sur un écran devant le conducteur.
- Système de contrôle de la vitesse automatique (SCVA) : le train est automatiquement freiné si la vitesse autorisée est dépassée ou si un danger est détecté.

## CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

- Le choix du type de signalisation à utiliser dépend de plusieurs facteurs :
  - Le type de ligne ferroviaire : voies uniques, lignes à grande vitesse, etc.
  - Le trafic ferroviaire : nombre de trains par jour, type de trains (voyageurs, fret, etc.).
  - Les contraintes budgétaires : les systèmes de signalisation de cabine de conduite sont généralement plus coûteux que les systèmes de type "block automatique".

### XII.3 FONCTION DES SIGNAUX :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

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

### XII.4 IMPLANTATION DES SIGNAUX :

L'implantation des signaux ferroviaires est une tâche stratégique qui dépend de plusieurs facteurs, notamment la configuration de la voie, les caractéristiques du réseau ferroviaire, les normes de sécurité et les exigences opérationnelles spécifiques.

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

Ces distances sont appelées, respectivement :

- Distance d'arrêt,
- Distance de ralentissement.

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

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

### XII.5 PRINCIPAUX SIGNAUX FERROVIAIRE ET LEURS INDICATION :

#### 1. Signaux de vitesse :

- **Signal de vitesse maximale autorisée (VMA) :** Indique la vitesse maximale autorisée dans le prochain canton. Il est généralement de forme ronde avec un nombre indiquant la vitesse limite (par exemple, un disque blanc avec un chiffre 40 indique une VMA de 40 km/h).
- **Signal de limitation de vitesse (Sv) :** Indique une limitation de vitesse temporaire dans le prochain canton. Il est généralement de forme triangulaire pointant vers le bas, avec un disque portant le chiffre indiquant la vitesse limite (par exemple, un triangle pointant vers le bas avec un disque blanc et un chiffre 30 indique une limitation de vitesse à 30 km/h).

#### 2. Signaux d'arrêt :

- **Signal d'arrêt (Se) :** Indique l'obligation de s'arrêter avant d'entrer dans le prochain canton. Il est généralement de forme ronde rouge.

## CHAPITRE XII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

- **Signal d'arrêt à main** : Un signal physique actionné manuellement par un agent de terrain, indiquant l'obligation immédiate de s'arrêter. Il est généralement de forme carrée ou rectangulaire rouge.

### 3. Signaux d'avertissement :

- **Signal d'avertissement de ralentissement (Ra)**: Indique une restriction de vitesse ou une situation particulière à venir dans le prochain canton. Il est généralement de forme triangulaire pointant vers le bas, avec un disque jaune.
- **Signal d'avertissement de distant (Av)**: Annonce un signal d'arrêt ou de limitation de vitesse à une certaine distance. Il est généralement de forme carrée ou rectangulaire jaune.

### 4. Signaux de manœuvre :

- **Signal de manœuvre (Sm)** : Indique les mouvements autorisés aux trains dans les gares et les dépôts. Il peut être de différentes formes et couleurs selon les indications spécifiques (par exemple, un signal carré vert autorise l'entrée en gare, tandis qu'un signal carré rouge indique l'interdiction de franchir).

## XII.6 CANTONNEMENT :

Pour assurer l'espace des circulations de même sens, les sections de ligne sont divisées en cantons ; l'entrée de chaque canton est commandée :

- Généralement par un sémaphore.
- Parfois par un signal carré ou par un signal d'arrêt à main précédé éventuellement par un disque.
- Ou bien encore par un feu rouge clignotant.

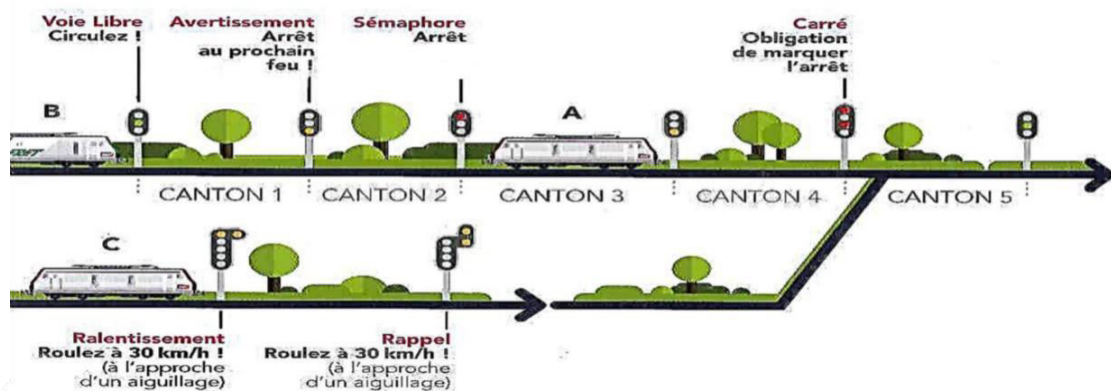


Figure XII-1 : Schéma illustratif de cantonnement

## XII.7 LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS :

L'European Rail Traffic Management System (ERTMS), ou Système européen de gestion du trafic ferroviaire, il s'agit d'un système standardisé de signalisation bord/sol et de contrôle de vitesse européen standardisé dont la mise en place a commencé en 1996.

L'objectif de ce système européen est d'améliorer l'interopérabilité du système ferroviaire avec un seul équipement de sécurité utilisable Europe.

Ce système aura un impact global sur l'amélioration de la sécurité du transport ferroviaire, l'augmentation de la fréquence des trains et l'amélioration de la capacité des infrastructures.

Les 3 niveaux ERTMS

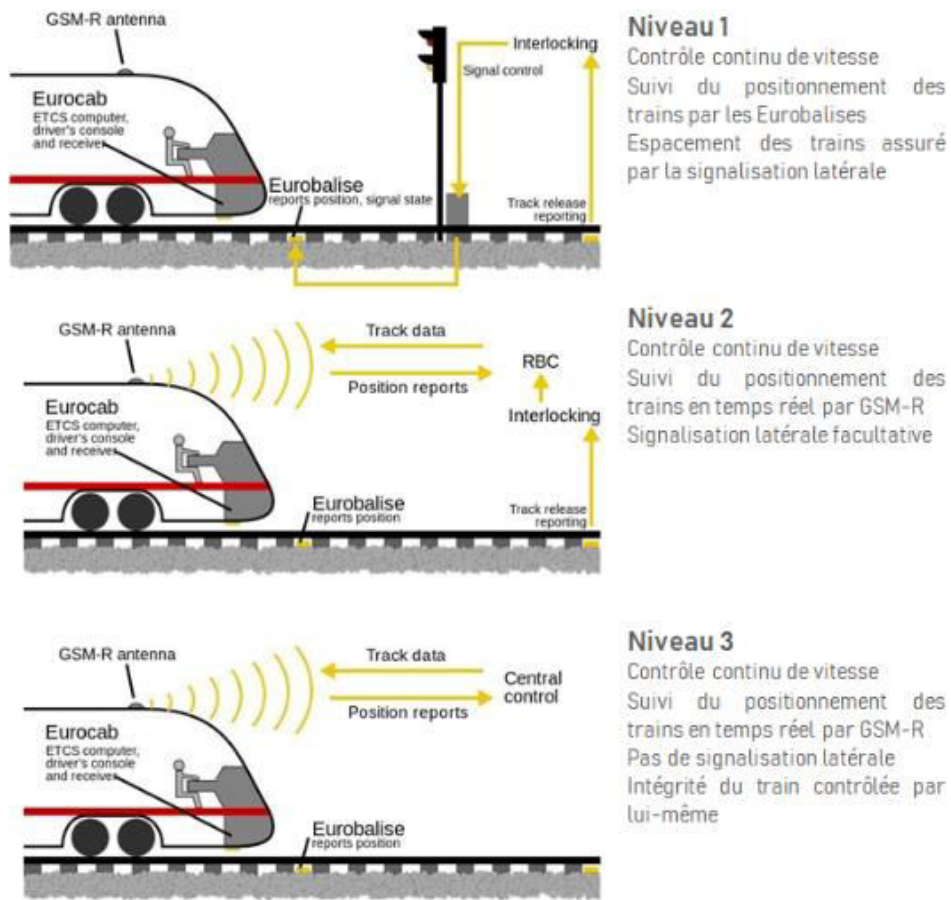


Figure XII-2 : Les trois niveaux de système de contrôle des trains ERTMS

XII.8 SYSTEME DE SIGNALISATION PROPOSER POUR NOTRE PROJET :

La voie BECHAR- TINDOUF est une nouvelle ligne à une vitesse de 160 km/h maximum pour les trains de voyageurs et de 70 km/h pour les trains de marchandises.

Le projet adopte une approche combinée de signalisation en intégrant les systèmes BAL (Block Automatique Lumineux) pour la signalisation latérale et ERTMS (European Rail Traffic Management System) pour la signalisation en cabine.

Les étapes clés comprennent l'étude et l'analyse des points critiques, le choix et l'implantation des systèmes, des tests de visibilité et de réactivité, ainsi que la formation des conducteurs et des techniciens. Une maintenance régulière et une surveillance continue sont également mises en place.

Cette stratégie améliore la sécurité, augmente la capacité de trafic et assure une harmonisation avec les normes européennes pour une meilleure interopérabilité.

XII.9 CONCLUSION :

En conclusion, la signalisation ferroviaire est essentielle pour la sécurité, l'efficacité et la fiabilité des trains. Elle est centrale dans la modernisation et l'amélioration des performances du transport ferroviaire, contribuant ainsi à un système de transport durable et attrayant pour les passagers et les acteurs économiques.

# CHAPITRE XIV

## ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

## XIII ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

### XIII.1 INTRODUCTION :

L'évaluation de l'impact de l'infrastructure sur l'environnement est la première et la plus importante étape du processus d'évaluation environnementale.

Ce chapitre analyse les impacts prévisibles du directs et indirects, temporaires et permanents du tracé final du projet sur l'environnement socio-économique et naturel. L'analyse des impacts est étendue en fonction des enjeux et sensibilités environnementales et sociales de la zone étudiée.

La recherche sur l'impact sur l'environnement dans notre projet Béchar – Gara Djebilet (Tindouf), en particulier le tronçon du PK 787+700 au PK 799+700, comprend :

- Une analyse exhaustive de l'état initial du site et de son environnement potentiellement impacté par le projet.
- Une analyse des effets positifs et négatifs du projet.

### XIII.2 LES ZONES URBANISEES PRISE EN COMPTE :

Les zones urbanisées présentent de réels défis. Dans la commune **d'Oum Al Assel et Tindouf**, la voie aura un impact important sur ces deux zones, avec des conséquences importantes. Parmi ces effets, on peut citer, la fragmentation de l'espace urbain, le risque pour les populations les plus jeunes, ainsi que le déplacement de plusieurs familles voire de quartiers entiers.

### XIII.3 L'IMPORTANCE D'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

L'étude d'impact sur l'environnement est devenue une étape inéluctable dans la Conception de n'importe quel type d'infrastructure et il est de notre devoir de s'assurer que L'implantation de celle-ci ait le moins de conséquences possible

De manière méthodique et préalable, il est essentiel d'évaluer les conséquences potentielles, les impacts directs et indirects temporaires et permanents du projet sur le milieu.

- De prendre des mesures pour éviter les conséquences néfastes du projet.
- De valoriser et d'améliorer les effets bénéfiques du projet sur l'écosystème.
- De faire part à la population concernée des conséquences néfastes du projet.

### XIII.4 Description du milieu

#### XIII.4.1 L'environnement physique :

##### XIII.4.1.1 Climat :

La région d'étude présente un climat désertique et extrêmement sec, avec des températures très élevées (la température moyenne est de 34°C), avec une quantité de précipitations proche de 15 mm.

##### XIII.4.1.2 Géomorphologie :

Tindouf est située dans le bassin de Tindouf, une importante dépression géologique du bord occidental du Craton Ouest-Africain. Ce bassin joue un rôle essentiel dans la géologie saharienne et possède une histoire géologique riche qui s'étend sur des centaines de millions d'années.

### XIII.4.1.3 Géologie et lithologie :

La variété géologique de la zone d'étude a entraîné une grande diversité de la lithologie, En effet, il y a des dépôts du tertiaire continental, des sables, mais à des proportions différentes, graviers, alluvions variées, calcaires, grès et schistes primaires.

### XIII.4.1.4 Hydrologie et hydraulique :

La ligne récente traverse plusieurs bassins versants hydrologiques qui font partie des bassins du Sahara.

### XIII.4.1.5 Sismologie :

En examinant la carte, il est évident que l'ensemble du périmètre d'étude se situe sur un axe d'activité sismique faible (zone 0).

## XIII.4.2 L'environnement biologique :

### XIII.4.2.1 La Flore :

Le paysage végétal du Sahara nord-ouest algérien se caractérise par des formations principalement arbustives, à l'exception des zones de dépressions et de cuvettes où les eaux de ruissellement s'accumulent. Dans les fonds d'oueds, la végétation ripicole à structure arborescente prédomine, souvent composée d'Acacia raddiana et de palmiers dattiers sauvages. À l'extérieur de ce type d'habitat, la végétation steppique, souvent dégradée, est présente.

### XIII.4.2.2 La Faune :

- **La faune domestique :** La faune domestique est représentée principalement par le cheptel caprin et camelin, avec une dominance de ce dernier.
- **La faune sauvage :** La faune sauvage de la Wilaya de Tindouf est relativement modeste en raison des conditions arides et désertiques. Elle comprend des espèces adaptées à ces environnements, telles que le fennec (renard du désert), le lézard, le serpent, et diverses espèces d'oiseaux.

## XIII.4.3 Environnement socio-économique

### XIII.4.3.1 Démographie :

La démographie de la wilaya de Tindouf a connu une évolution significative lors des divers recensements de la population réalisés depuis l'indépendance. Ainsi, de l'ordre de 4.500 habitants au RGPH 1966, la population a augmenté de 110.260 habitants au RGPH 2021.

### XIII.4.3.2 L'agriculture :

Malgré une superficie agricole cadastrée, l'activité agricole demeure très limitée et ne satisfait pas les besoins d'une population en plein essor. Cela est dû au faible niveau de ressources hydriques et au climat sec et très chaud.

### XIII.4.3.3 Economie :

En plus de celui de Gara Djebilet, Tindouf compte un autre important gisement de fer, situé au lieu-dit Mechri Abdelaziz, à 400 kilomètres à l'est de la ville.

## XIII.4.4 Infrastructures de transport

### XIII.4.4.1 Le réseau routier :

Le réseau routier de la région se distingue principalement par le passage de la RN50 reliant Tindouf à la wilaya de Bechar.

**XIII.4.4.2 Réseaux Aéroportuaires :**

La wilaya possède un aéroport régional commun sophistiqué qui joue un rôle très important avec une capacité de 400 personnes et deux avions, il est en liaison avec les villes les plus importantes du pays.

**XIII.5 ANALYSE DES IMPACTS DIRECTES ET INDIRECTES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT**

L'évaluation des Impacts du projet Béchar-gara Djebilet (Tindouf) repose sur l'étude des éventuels conflits entre le milieu traversé et l'infrastructure à construire. Il est nécessaire de rechercher les aspects et les impacts liés aux différentes étapes de réalisation et à l'exploitation de notre ligne ferroviaire.

**XIII.5.1 IMPACTS DE LA PHASE DE REALISATION :**

Les impacts de cette phase sont généralement limités dans le temps.

**Tableau XIII-1 : Identification des impacts de la phase de réalisation**

L'ELEMENT AFFECTE	IMPACT
<b>Impacts sur la population</b>	L'expropriation des biens, immeubles, équipements et terrains agricoles. Sur notre tronçon l'impact d'expropriation des populations est négligeable
<b>Impact de la coupure</b>	Perturbations de la circulation, notamment par la coupure de la RN50 et des pistes d'accès, limitant ainsi les liaisons entre les deux côtés du tracé. Cela affectera particulièrement les déplacements de la population, l'accès aux propriétés (champs et terres agricoles, fermes), ainsi que le déplacement des troupeaux d'animaux. Cette phase sera caractérisée par un phénomène de coupure direct et durable.
<b>Impacts sur la qualité de l'air</b>	Les émissions de gaz provenant des installations de combustion, les gaz d'échappement des véhicules et des camions. - Les poussières émises par le transport de matériaux par les camions ; Une dispersion involontaire de substances chimiques gazeuses ; - En excluant les COV, les particules de PM10.
<b>Impacts sur les ressources en eau</b>	Les eaux de réseau hydrographique peuvent être altérées temporairement par les différents travaux (Perturbation par la mise en suspension de sédiments fins, par l'augmentation de la turbidité par diversement des eaux de chantier, et les eaux de lavage des engins.
<b>Impacts sonores</b>	Le bruit émis par la circulation des trains est la principale perturbation du transport ferroviaire, due à la pénétration dans l'air et au contact acier sur acier des roues et du rai

**XIII.5.1.1 Impacts sur le milieu physique :**

Ces impacts sont directs et permanents.

Table  
au  
XIII-2  
:  
Identi  
ficatio  
n des  
impac  
ts sur  
milieu  
physi  
que  
  
XIII.5.2  
MPA  
CTS  
DE

L'ELEMENT AFFECTE	IMPACT
<b>La géomorphologie</b>	-Risques liés à la sensibilité des formations géologiques traversées. -Possibilité d'impacts négatifs dus aux opérations de terrassement, déblais et remblais. -Effets résiduels des opérations de construction sur la stabilité des talus.
<b>Les sols</b>	- le décapage de l'emprise entraîne la perte des sols - l'intensification des phénomènes d'érosion - le tassement des sols.
<b>La Flore</b>	-Risque d'abattage d'arbres, d'arbustes et d'autres formations herbacées pendant les travaux de chantier. -Réduction du couvert végétal et diminution de la productivité agricole.
<b>La Faune</b>	Terrassements entraînant la destruction et le changement d'habitat naturel de la faune locale.

**LA PHASE EXPLOITATION :**

L'exploitation d'une ligne de chemin de fer peut apporter des Impacts positifs en termes de transport et de connectivité, mais elle peut également avoir des impacts négatifs sur l'environnement. On peut distinguer les :

**Tableau XIII-3 : Identification des impacts de la phase d'exploitation**

EVALUATION D'IMPACT	IMPACT	
<b>IMPACTS POSITIFS</b>	Sur L'économie et le transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La sécurité et l'amélioration des transports de la matière première (Fer) ;</li> <li>- Modernisation des moyens de transports ;</li> <li>- Une Rentabilité meilleure pour la Société nationale de transport ferroviaire ;</li> <li>- Aménagement urbain à proximité des gares nouvelles ;</li> <li>- Augmenter la part de desserte ferroviaire dans la région ;</li> <li>- Relie le nord de pays avec le Sud.</li> </ul>
<b>Impacts</b>	Sur la santé	<p><b>a. Impact de Champ magnétique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le fonctionnement du système ferroviaire requiert des puissances électriques extrêmement élevées.</li> <li>- L'alimentation électrique de la ligne ferroviaire étudiée induira l'existence des champs électromagnétiques à proximité de la voie ferrée. Donc le type de courants de traction utilisés générera un</li> </ul>

<b>négatifs</b>	publique	<p>champ magnétique à proximité de la ligne.</p> <p>- Les champs électromagnétiques, quelle que soit leur fréquence, créent des courants induits dans L'organisme pouvant entrainer des mouvements involontaires en stimulant les nerfs.</p> <p><b>a. Perturbations et dangers électriques :</b></p> <p>-l'attraction électrique génère peu de nuisances est considérée comme propre. Mais ces effets les plus importants et les moins visibles sont de nature électrique.</p> <p>-La présence de courants dans le sol, également appelés courants vagabonds.</p> <p>-La présence de tensions élevées, tout au long de la voie ferrée à travers la nature et les zones habitées, présente un danger potentiel pour les riverains et la faune.</p>
	Déversements accidentels sur l'environnement	<p>Le déversement des huiles, produits chimiques, hydrocarbures dans la nature lors le transport de ces derniers peut entrainer une pollution des sols, des peuplements végétaux et animaux, ainsi que la nappe phréatique, ce qui va atteindre par la suite la santé humaine par cycle de vie.</p>

**XIII.6 MESURES PRISES POUR LA COMPENSATION DES IMPACTS :**

**Tableau XIII-4 : les mesures d'atténuation**

<b>Item</b>	<b>Mesures d'atténuation</b>
<b>La faune et la flore</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préserver les habitats naturels de la faune en réduisant au minimum la destruction des espaces verts et des reboisements.</li> <li>• Fermer la zone des travaux afin de prévenir les intrusions de faune. Sensibilisation du personnel du chantier sur l'importance de la flore.</li> <li>• Re-végétalisation et transplantation d'espèces végétales.</li> </ul>
<b>La population</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation des murs acoustiques et/ou des merlons afin de minimiser l'impact du bruit dans la Phase exploitation</li> <li>• Arrosage des pistes lors des travaux afin d'éviter l'envol des poussières qui sont une source de Nuisance pour la santé des travailleurs et des populations riveraines.</li> </ul>
<b>Atmosphère et sols</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour ne pas perturber les écoulements d'eau naturelle (oueds), il faut essayer de diminuer les risques lors de la coupure des cours d'eau</li> <li>• Compenser les pertes de végétation en créant de nouveaux espaces verts en contribuant à des programmes de reboisement</li> <li>• Éviter l'utilisation des produits chimique nocifs aux voisinages des sites sensibles et d'espèces végétales.</li> <li>• Optimiser le tracé de la ligne nouvelle ferroviaire, et plus</li> </ul>

	<p>particulièrement son profil en long, pour minimiser les hauteurs des terrassements ainsi que les volumes de matériaux à déplacer et à utiliser.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• La gestion des déchets devra privilégier la réduction à la source des quantités et de la toxicité de déchets produits (technologies propres) et le recyclage ou la valorisation des déchets</li></ul>
--	--

### XIII.7 Conclusion :

Pour diminuer les conséquences environnementales de la ligne ferroviaire, il est essentiel d'adopter une approche globale, comprenant une planification approfondie, des mesures préventives et correctives, ainsi qu'un suivi régulier afin de garantir l'efficacité des mesures mises en œuvre. Cependant, comme tout projet similaire, pendant sa construction ainsi sa phase d'exploitation il aura des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement, ces travaux vont entraîner inévitablement des perturbations sur le fonctionnement naturel et urbain (circulation routière, déplacements d'agriculteurs et d'animaux,

Le Tronçon (du pk787+700 au pk 799+700) ne présente pas d'impacts très négatifs sur l'environnement naturel et social.

# Chapitre XIV

## DEVIS ESTIMATIF QUANTITATIF

**XIV DEVIS ESSTIMATIF QUANTITATIF :**

	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant HT (DA)
<b>1- INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION</b>					
1-1	Installation générale de chantier	F	01	418537456.00	418 537 456.00
1-2	Etude d'exécution	F	01	100 000 000.00	100 000 000.00
Coût total installation de chantier et étude d'exécution (DA)					518 537 456.00
<b>2- TERRASSEMENTS</b>					
2-1	Décapage de terre végétale	M3	14400.00	440.00	6 336 000.00
2-2	Déblais rocheux non rippables ou avec emploi d'explosif, prédécoupage, mise en dépôt	M3	274,02	3750.00	1 027 575.00
2-3	Remblais	M3	272280,90	800.00	217 824 720.00
2-4	Supplément pour transport du matériau sur une distance supérieur à 5 km	BU	1413755	170.00	240 338 350.00
2-5	Couche de forme	M3	50557,30	1820.00	92 014 286.00
2-6	Couche de fondation	M3	19930,20	4387.50	87 443 752,50
2-7	Sous ballast	M3	24836,90	3300 .00	81 961 770.00
2-8	Matériaux drainant D200	M3	132088.76	3000,00	396 266 280,00
2-9	Enrochement	M3	47370,70	7000,00	331 594 900.00
2-10	Ensemencement des talus	M2	95000	330.00	31 350 000.00
2-11	Fourniture et pose géotextile	M2	39200	1628.86	63 851 312,00
2-13	Clôture de ligne	M	23000	6500.00	149 500 000.00
2-14	Mise en place de terre végétale	M3	14250	300.00	4 275 000.00
Coût total des terrassements (DA)					1 703 783 946,00
<b>3- OUVRAGE D'ART</b>					
3-1	Passage supérieur	U	01	102 597 900.00	102 597 900.00
3-2	Passage inférieur	U	01	539988950.00	539988950.00
3-3	Viaduc 1	U	01	1889961325.00	1889961325.00

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF QUANTITATIF

3-4	Viaduc 2	U	01	2078957458.00	2078957458.00
Coût total des ouvrages d'art (DA)					4 611 505 633,00
<b>4- OUVRAGES HYDRAULIQUE</b>					
4-1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	1 000	9000.00	9 000 000,00
4-2	Fossés trapézoïdaux en terre	ML	12000	1200.00	14 400 000,00
4-3	Dalot en béton armé 2×2	U	3	555 000.00	1 665 000.00
4-4	Buse circulaire 1500 Φ	U	6	600 000.00	3 600 000,00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA)					28 665 000,00
<b>5- TRAVAUX DE VOIE</b>					
5-1	Fourniture et pose de ballast d'épaisseur de 0.30m	M3	42331.10	8679,83	367 426 751,71
5-2	Soudage aluminothermique	U	120	25818.71	3098 245,00
5-3	Soudage électrique	U	1800	25818.71	46 473 678,00
5-4	Fourniture des rails UIC 60	T	2080,617	379500.00	789 594 152 ,00
5-5	Fourniture des traverses monobloc en béton précontrainte	U	28797	17250.00	496 748 250,00
5-6	Attache Nabla	U	115188	1610.00	185 452 680,00
	Semelles cannelées	U	57594	500.00	28 797 000,00
5-7	Fourniture et pose de ADV UIC 60 – 500-1/12	U	06	699482.29	4 196 894,00
5-8	Fourniture et pose heurtoir	U	05	1290186,97	6 450 934,85
5-9	Pose de la voie	M	17278	8050.00	139 087 900,00
5-10	Fourniture et pose de traverses de garage de franc	U	06	68202.42	409 214,52
Coût totale des travaux de voie (DA)					2 067 735 699,52
<b>6- GARE</b>					
6-1	Bâtiment de voyageurs + aménagement	U	01	175 017 400.00	175 017 400.00
6-2	Quais	M3	4200	22650.00	95 130 000.00
Coût totale de la gare (DA)					270 147 400.00

**7- SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION**

7-1	Signalisation	2 607 200,00
-----	---------------	--------------

**Récapitulation**

N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot N° 01	Installation de chantier et étude d'exécution	518 537 456,00
Lot N° 02	Terrassements	1703783946,00
Lot N° 03	Ouvrage d'art	4 611 505 633,00
Lot N° 04	Ouvrages hydraulique	28 665 000,00
Lot N° 05	Travaux de voie	2 067 735 699,52
Lot N° 06	Gare	270 147 400,00
Lot N° 07	Signalisation	2 607 200,00
Montant du projet HT		8 932 834 935,00
Montant du projet en TTC (avec taux de TVA =19%)		10 630 073 572,00

**Montant total du projet en TTC :**

**Dix milliards six cent trente millions soixante-treize mille cinq cent soixante-douze DZD.**

# Chapitre XV

# PLANIFICATION DU PROJET

## XV PLANIFICATION DU PROJET

### XV.1 INTRODUCTION :

Tout projet ferroviaire passe par ses étapes classiques étude, conception réalisation et control. La phase de réalisation nécessite plus d'efficacité vu que nous aurons à gérer plus de paramètres que les autres phases. Autrement dit, en plus des taches du projet, nous aurons à gérer les moyens matériels et humains. C'est pour cela, l'utilisation de logiciel ou programme de planification est très bénéfique.

### XV.2 DEFINITION DU MS-PROJECT :

Microsoft Project (ou MS Project) est un logiciel de gestion de projets édité par Microsoft. Il permet aux chefs de projet et aux planificateurs de planifier et piloter les projets, de gérer les ressources et le budget, ainsi que d'analyser et communiquer les données des projets. Utilisé aujourd'hui par plus des millions de chefs de projet, Microsoft Project est un logiciel de gestion de projet très utilisé.

### XV.3 LES ETAPES DE PLANIFICATION D'UN PROJET PAR MS-PROJECT :

La planification d'un projet se fait par des étapes dans l'ordre est à respecter à savoir :

1. Dresser la liste des taches.
2. Déterminer la relation entre les taches (série, parallèle).
3. Estimer le coût et la durée des taches.
4. Construire le réseau du projet (en indique les durées des taches en intégrant les marges libres).
5. Tracer le diagramme de Gantt
6. Affecter les ressources humaines et matérielles des taches.

### XV.4 DIAGRAMME DE GANTT :

Est un outil permettant de modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet. Il s'agit d'un outil inventé en 1917 par un américain Henry L. GANTT. Le diagramme de GANTT est un graphique (chrono gramme) qui consiste à placer les tâches chronologiquement en fonction des contraintes techniques de succession (contraintes d'antériorités). L'axe horizontal des abscisses représente le temps et l'axe vertical des ordonnées les tâches. On représente chaque tâche par un segment de droite dont la longueur est proportionnelle à sa durée. L'origine du segment est calée sur la date de début au plus tôt de l'opération (« jalonnement au plus tôt ») et l'extrémité du segment représente la fin de la tâche.

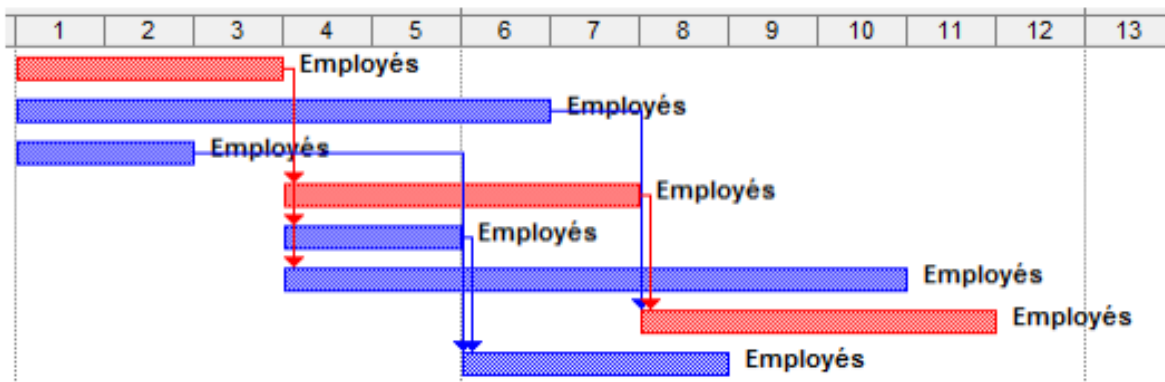


Figure XV-1: Exemple de diagramme de GANTT

## CHAPITRE XV : PLANIFICATION DU PROJET

### XV.5 LES OBJECTIFS DE LA CONCEPTION DE MS PROJECT :

- Améliorer la productivité collective en faisant participer tous les membres de l'équipe et tous les intervenants à la gestion du projet ;
- Adapter les données Microsoft Project aux besoins des utilisateurs ;
- Etendre la gestion de projets à toute l'organisation ;
- Possibilité de découper tout projet en quatre phases : Conception -> Planification -> Réalisation -> Terminaison.

### XV.6 APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

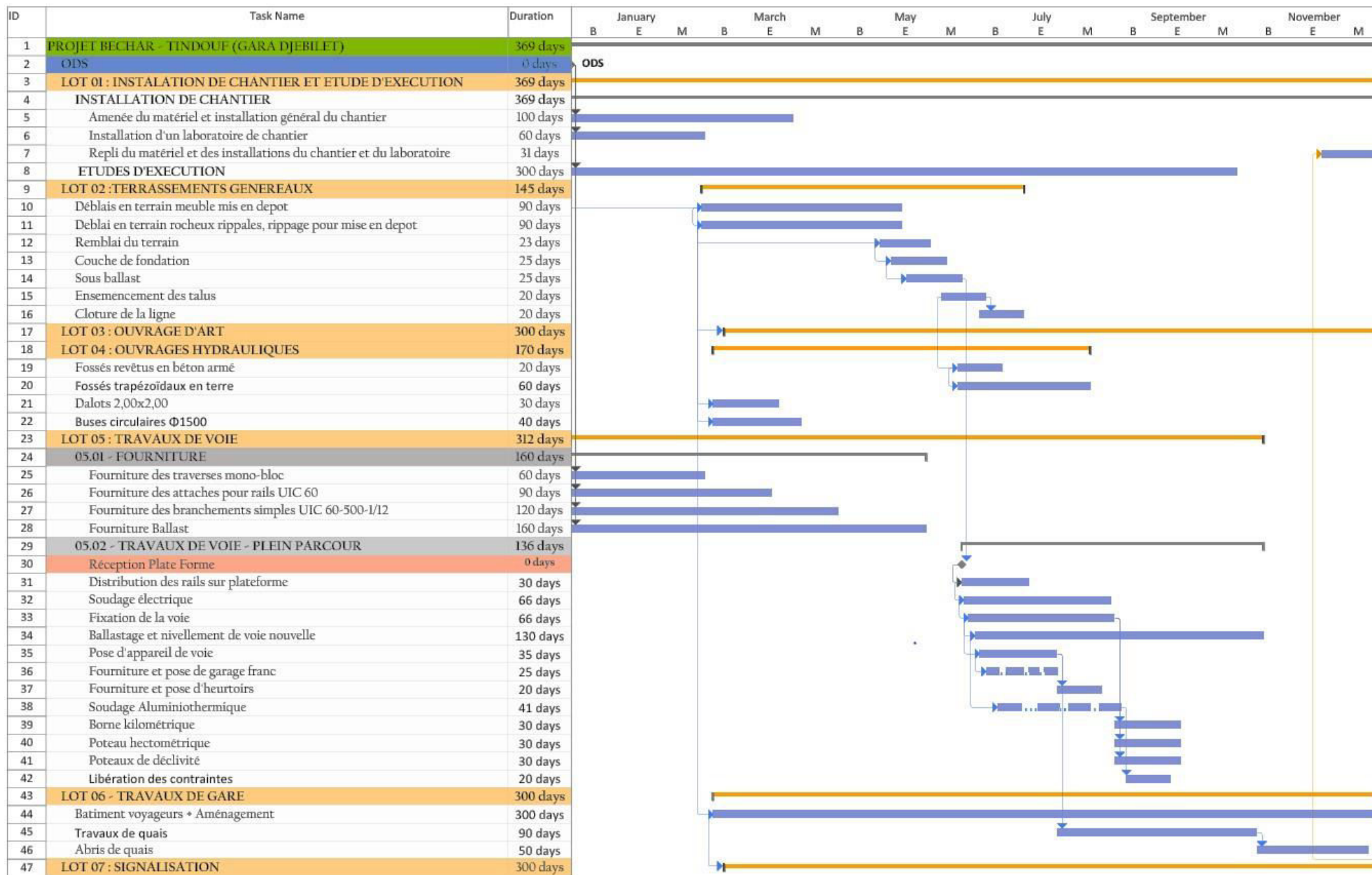
Dans ce projet, nous avons élaboré le diagramme de GANTT à l'aide du logiciel **MS Project**. Après avoir intégré les données du projet, les résultats obtenus sont les suivants :

La durée d'exécution de ce projet est fixée à 12 mois ( exactement 369 jours), répartis selon le planning détaillé ci-dessous :

- ✓ Le délai d'exécution de la section installation de chantier et étude d'exécution est 369 jrs ;
- ✓ Le délai d'exécution de la section terrassements généraux 145 jrs ;
- ✓ Le délai d'exécution de la section ouvrage d'art 300 jrs ;
- ✓ Le délai d'exécution de la section ouvrages hydrauliques 170 jrs ;
- ✓ Le délai d'exécution de la section travaux de voie 312 jrs ;
- ✓ Le délai d'exécution de la section travaux de gare 300 jrs ;
- ✓ Le délai d'exécution de la section signalisation 300 jrs.

### XV.7 LE SCHEMA EXPLICATIF DE PROGRAMME PROPOSE

# CHAPITRE XV : PLANIFICATION DU PROJET



# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

La thématique du projet de fin d'étude concerne une étude APD d'une nouvelle ligne ferroviaire BECHAR-GHARA DJBILET (TINDOUF) qui se déroulera du Pk 787+700 au Pk 799+700, avec une vitesse rapide de 160 km/h et une vitesse lente de 70 km/h. De plus, il s'agira de concevoir la nouvelle gare voyageuse de TINDOUF. L'objectif de ce projet est de désenclaver et de développer la région Sud du pays. On considère cette grande ligne comme une importante infrastructure qui favorise le développement de l'économie du pays. Son objectif principal est de transporter les minéraux de GARA DJBILET vers le nord.

Dans cette étude, nous avons réalisé une analyse approfondie du contournement ferroviaire de la ville de TINDOUF, qui s'étend sur une distance de 12 km, qui fait partie de la ligne BECHAR-TINDOUF. Nous avons commencé par l'analyse géométrique, puis nous avons effectué des études géologiques, géotechniques, hydrauliques, de stabilité des talus, etc. Afin d'améliorer ces dernières, nous utilisons les différentes normes (SNTF, UIC), les logiciels (AUTOCAD, Covadis 17) ainsi que les connaissances acquises pendant nos années d'études supérieures.

Tout cela nous a permis de terminer notre formation à l'Ecole nationale supérieure des travaux publics d'Alger et d'acquérir une certaine expérience sur les chantiers.

# *Bibliographie*

- [1] IN 0272 (EF 2 C 32) Conception du tracé de la voie courante  $V \leq 220$  km/h, Version 01 du 12-09-2006.
- [2] SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie. Version 2 du 22/12/2005.
- [3] Cours voie ferrée MORSLI Rabeh. ENSTP.
- [4] Cours hydraulique et assainissement de RHMANI Douadi ENSTP
- [5] UIC 719 R a et b, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition.
- [6] UIC 741 OR. Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie. 3e Edition.
- [7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».
- [8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [9] SETIRAIL, « Rapport de la lutte contre l'ensablement ».
- [10] IN 1482 Signaux – Titre I : Signalisation au sol, version 1 Édition du 05 octobre 2005. Propriété de la SNCF.
- [11] Le mémoire de BOUHNİK Hibet Allah Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud de PK0+000 au PK 12+000 Année 2021/2022

# ANNEXE

## ANNEXE 1 : LISTING PROFIL EN LONG

Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente -0.21 %	391,731	787+703.387	439,470
Parabole 1	Rayon 25000.000 m	79,314	788+095.119	438,663
	Sommet Absc. 788+146.590 m			
	Sommet Alt. 438.610 m			
Pente 2	Pente 0.11 %	703,777	788+174.433	438,626
Parabole 2	Rayon -25000.000 m	49,125	788+878.210	439,410
	Sommet Absc. 788+906.053 m			
	Sommet Alt. 439.425 m			
Pente 3	Pente -0.09 %	2580,663	788+927.334	439,416
Parabole 3	Rayon -25000.000 m	7,315	791+507.997	437,219
	Sommet Absc. 791+486.715 m			
	Sommet Alt. 437.228 m			
Pente 4	Pente -0.11 %	4684,658	791+515.313	437,212
Parabole 4	Rayon 25000.000 m	13,701	796+199.971	431,853
	Sommet Absc. 796+228.568 m			
	Sommet Alt. 431.837 m			
Pente 5	Pente -0.06 %	2098,952	796+213.672	431,841
Parabole 5	Rayon 25000.000 m	130,819	798+312.623	430,591
	Sommet Absc. 798+327.519 m			
	Sommet Alt. 430.586 m			
Pente 6	Pente 0.46 %	910,179	798+443.442	430,855
Parabole 6	Rayon -25000.000 m	128,158	799+353.621	435,076
	Sommet Absc. 799+469.544 m			
	Sommet Alt. 435.344 m			
Pente 7	Pente -0.05 %	3547,028	799+481.779	435,341
Pente 8	Pente 54.95 %	4,276	803+024.531	431,256
			803+028.807	433,605
Longueur totale de l'axe 12000.807 mètre(s)				
Longueur développée totale de l'axe 12330.315 mètre(s)				

## **ANNEXE 1 : LISTING AXE EN PLAN**

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	181.60gr	2899,378	787+700.000	596928,737	3084835,373
Clothoïde 1	Paramètre	-339,117	100,000	790+599.378	597755,113	3082056,255
Arc 1	Rayon	-2300.000 m	1589,193	790+649.378	597769,190	3082008,278
	Centre X	595557.594 m				
	Centre Y	3081376.737 m				
Clothoïde 2	Paramètre	339,117	100,000	792+238.572	597664,399	3080454,038
Droite 2	Gisement	226.97gr	2231,354	792+288.572	597644,009	3080408,385
Clothoïde 3	Paramètre	316,228	50,000	794+519.925	596726,685	3078374,311
Arc 2	Rayon	2000.000 m	424,055	794+569.925	596706,320	3078328,646
	Centre X	598539.629 m				
	Centre Y	3077529.287 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-316,228	100,000	794+993.981	596579,155	3077924,939
Droite 3	Gisement	211.88gr	3548,053	795+043.981	596569,673	3077875,847
Clothoïde 5	Paramètre	-353,553	50,000	798+592.034	595911,303	3074389,412
Arc 3	Rayon	-3000.000 m	2265,202	798+642.034	595901,862	3074340,312
	Centre X	593450.040 m				
	Centre Y	3074828.749 m				
Clothoïde 6	Paramètre	353,553	100,000	800+907.236	594577,965	3072597,654
Droite 4	Gisement	270.84gr	2072,676	800+957.236	594533,194	3072575,393
				803+029.911	592674,200	3071658,808
Longueur totale de l'axe 12329.911 mètre(s)						













ANNEXE CHAPITRE : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE



Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

Unité Oued Smar - TEL/FAX : 021.51.61.53 - TEL: 021.51.62.62 - 021.51.33.30

Profondeur (m)		Coupe Lithologique	DESCRIPTION GEOTECHNIQUE	Profondeur Echantillon	Granulométrie			Essais d'identification				Proctor		Indice CBR	Classification LCPC
					< 2mm (%)	< 80 μ (%)	< 2 μ (%)	γ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>c</sub> (%)	IP (%)	IC	W <sub>opt</sub> (%)		
0.5			sable calcaireuse dur rougeâtre												
1.0															
1.5															
2.0															
2.5															
3.0															
3.5															
4.0	4.00														
4.5															
5.0															



# Logs sondage carottée

Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

Unité Oued Smar - TEL/FAX : 021.51.61.53 - TEL: 021.51.62.62 - 021.51.33.30

ETUDE : Etude de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf-Ghar Djebilet LIEU : PK 736+400 CLIENT : SETI RAIL SPA - ALGER										<b>Sondage N°: F 78-LM/TB</b>						
DATE DEBUT : 20/05/2023 DATE FIN : 20/05/2023 NIVEAU NAPPE : m		PROFONDEUR TOTALE : 10 ML COORDONNEES : X = Y = Z =			BOUE DE FORAGE : eau TYPE FORAGE : rotatif TYPE DE MACHINE : Abyss75/camion											
Prof (m)	Récupération	S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	Φu (°)	Wn %	γd T/m <sup>3</sup>	I <sub>p</sub> %	Classe I.P.C	Type Haut
0.5																
1.0									Alternance de calcaire et sable rougeâtre							
1.5																
2.0																
2.5																
3.0																
3.5																
4.0																
4.5																
5.0	90 %															
5.5																
6.0									calcaire altéré blanchâtre							
6.5																
7.0																
7.5																
8.0																
8.5																
9.0																
9.5																
10.0																

**Tableau 1 : Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R)**

E	0.70m	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	0 m	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à $V > 160$ km/h quel que soit le groupe (UIC)).
	-0.05	Pour les lignes de groupes UIC (3,4).
	-0.10	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	0 m	Pour les travers en bois de longueurs $L = 2.6$ m
	$(2.50-L) / 2$ m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si $L > 2.5$ , b peut être négatif).
c	0 m	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que '7, 8 et 9
d	0 m	Lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale a 20 tonne/essieu.
	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	0	Pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse.
	0.10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	+	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

**Tableau 2 : fuseau de contrôle de ballast**

Points singuliers des fuseaux	Dimensions des mailles carrées	Valeur de fuseau de contrôle
Dmax :1.25D	63	Passant 100%
D	50	$85\% \leq \text{Passant D} \leq 99\%$
Tamis intermédiaire	40	$40\% \leq \text{Passant} \leq 74\%$
	31,5	$10\% \leq \text{Passant} \leq 35\%$
D	25	Passant $\leq 5\%$
Dmin :0,63d	16	Dmin : 0,63

Tableau 1 : classification des sols selon UIC

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	<p>0.1 sols organiques.</p> <p>0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables.</p> <p>0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)</p> <p>0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple).</p> <p>0.6 sols mixtes « minéraux organique ».</p>
QS1 : Sols médiocres	<p>1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2).</p> <p>1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de <math>\rho_d &lt; 1.7 \text{ t/m}^3</math> et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés.</p> <p>1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2).</p> <p>1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de <math>\rho_d &lt; 1.7 \text{ t/m}^3</math> et de friabilité faible - Schistes non altérés.</p> <p>1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)<math>&gt;40</math> et Los Angeles LA<math>&gt;40</math>.</p>
QS2 : Sols moyens	<p>2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines.</p> <p>2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (<math>C_u \leq 6</math>).</p> <p>2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si <math>25 &lt; \text{MDE} \leq 40</math> et <math>30 &lt; \text{LA} &lt; 40</math>.</p>
QS3 : Bons sols	<p>3.1 Sols comportant moins de 5% de fines</p> <p>3.2 Roches dures par exemples : Si <math>\text{MDE} \leq 25</math> et <math>\text{LA} \leq 30</math></p>

Tableau 2 : Classes de qualité des sols selon le code UIC 719R

Type de sol (Classification géotechnique)	Classe de qualité des sols
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sols organiques ;</li> <li>- Sols avec plus de 15% de fins, expansifs, humides, de haute plasticité et pas compactables ;</li> <li>- Sols contaminés avec déchets, matière organique ou résidus ;</li> <li>- Sols avec matériaux solubles (sel-gemme ou plâtre).</li> </ul>	QS0
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sols avec plus de 40% de fins (pas classifiables comme QS0);</li> <li>- Roches évolutives.</li> </ul>	QS1 (a)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sols avec 15% à 40% de fins (pas classifiables comme QS0);</li> <li>- Roches friables ;</li> <li>- Roches peu dures (MDE &gt; 40 et LA &gt;40%).</li> </ul>	QS1 (b)*
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sols avec 5% à 15% de fins ;</li> <li>- Sols avec moins de 5% de fins mais uniformes (<math>C_u \leq 6</math>);</li> <li>- Roches moyennement dures (<math>25\% &lt; MDE \leq 40\%</math> et <math>30\% &lt; LA \leq 40\%</math>)</li> </ul>	QS2
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sols avec moins de 5% de fins;</li> <li>- Roches dures (<math>MDE \leq 25\%</math> et <math>LA \leq 30\%</math>)</li> </ul>	QS3

Tableau 1 : canalisation partiellement remplie

<b>Q / Q<sub>ps</sub></b>	<b>V / V<sub>ps</sub></b>	<b>h / D</b>	<b>Q / Q<sub>ps</sub></b>	<b>V / V<sub>ps</sub></b>	<b>h / D</b>
0,001	0,14	0,02	0,534	1,02	0,52
0,003	0,22	0,04	0,568	1,03	0,54
0,007	0,29	0,06	0,603	1,05	0,56
0,013	0,35	0,08	0,637	1,06	0,58
0,021	0,40	0,10	0,672	1,07	0,60
0,031	0,45	0,12	0,706	1,08	0,62
0,042	0,50	0,14	0,740	1,09	0,64
0,056	0,54	0,16	0,773	1,10	0,66
0,071	0,58	0,18	0,806	1,11	0,68
0,088	0,62	0,20	0,837	1,12	0,70
0,106	0,65	0,22	0,868	1,13	0,72
0,126	0,68	0,24	0,898	1,13	0,74
0,148	0,72	0,26	0,926	1,14	0,76
0,171	0,75	0,28	0,953	1,14	0,78
0,196	0,78	0,30	0,977	1,14	0,80
0,222	0,80	0,32	1,000	1,14	0,82
0,249	0,83	0,34	1,021	1,14	0,84
0,277	0,86	0,36	1,039	1,14	0,86
0,307	0,88	0,38	1,054	1,13	0,88
0,337	0,90	0,40	1,066	1,12	0,90
0,368	0,92	0,42	1,073	1,12	0,92
0,400	0,94	0,44	1,076	1,10	0,94
0,433	0,96	0,46	1,071	1,09	0,96
0,466	0,98	0,48	1,057	1,06	0,98
0,500	1,00	0,50	1,000	1,00	1,00

**Tableau 1 : Implantation des appareils de voie**

ADV	Points	X	Y	Déviation
UIC 60 500 1/12	a	589152.645	3064221.889	Droite
	b	589134.891	3064211.003	
	c	589117.227	3064200.008	
	d	589116.383	3064201.58	
UIC 60 500 1/12	a	589036.486	3064145.426	Gauche
	b	589070.937	3064156.324	
	c	589071.904	3064167.229	
	d	589070.937	3064168.685	
UIC 60 500 1/12	a	589112.114	3064196.921	Gauche
	b	589094.408	3064186.021	
	c	589076.705	3064175.108	
	d	589077.672	3064173.676	
UIC 60 500 1/12	a	587961.343	3063504.135	Gauche
	b	587943.634	3063493.215	
	c	587925.929	3063482.303	
	d	587926.897	3063480.870	
UIC 60 500 1/12	a	589017.329	3064149.473	Droite
	b	588999.528	3064138.561	
	c	588981.911	3064127.656	
	d	588981.066	3064129.170	
UIC 60 500 1/12	a	587885.71	3063452.611	Gauche
	b	587903.419	3063463.579	
	c	587921.128	3063474.424	
	d	587920.163	3063475.814	

**Tableau 2 : implantation des garages franc**

IMPLANTATION DES GARAGES FRANC			
GARAGE FRANC	X(M)	Y(M)	PK
GF1	589096,819	3064189,266	810+386.61
GF2	589090,738	3064180,559	810+348.744
GF3	589058,293	3064164,308	810+386.61
GF4	587939,958	3063487,791	811+691.905
GF5	588961,502	3064116,850	810+492.210
GF7	587907,089	3063468,949	811+729.772

**Tableau 3 : implantation des heurtoirs**

HEURTOIR				
H1	H2	H3	H4	H5
x = 587850.210	X = 587850.210	X = 587843.131	X = 587840.929	X = 589114.321
y = 3083414.908	Y = 3083418.484	Y = 3083428.403	Y = 30834259.797	Y = 3084193.350
PK	PK	PK	PK	PK