

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'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

ETUDE APD de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar –Tindouf

GHAR DJEBILET du PK 118+000 au PK 142+000

Avec conception GARE « HAMAGUIR »

Présenté par :

BELAHOUEL Mohammed Amine
ACHOUR Kheira

Encadré par :

Mr.H.Siguerdjijene
Mr. HAMADI KAMEL

ملخص

يتمثل هذا العمل في انجاز تصميم ودراسة مفصلة لخط السكة الحديدية المنجمية الجديد الرابط بين غار جبيلات -تندوف وبشار مع تهيئة محطات القطار. القسم المدروس يمتد بين النقطة الكيلومترية 118+000 الى النقطة الكيلومترية 142+000 ويتم تصميم محطة حماكير.

تم تصميم هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وبناء على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية تم تنفيذ المشروع النمذجة الهندسية للمشروع باستعمال البرنامج التالي
GOOGLE EARTH وAUTOCAD 2021 و CIVIL 3D

كلمات مفتاحية: تصميم ودراسة سكة حديدية، محطة حماكير، غار جبيلات

RESUME

Ce travail consiste à réaliser la conception et une étude détaillée d'une nouvelle ligne ferroviaire minière reliant " Ghar Djebilet – Tindouf à Béchar ", avec l'aménagement des gares ferroviaires. Le tronçon étudié s'étend du point kilométrique 118+000 au point kilométrique 142+000, incluant la conception de la gare de Hammaguir.

Ce projet a été conçu conformément aux normes de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) et sur la base des recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). La modélisation technique du projet a été réalisée à l'aide des logiciels suivants : CIVIL 3D, AUTOCAD 2021, GOOGLE EARTH

Mots-clés : conception et étude d'une ligne de chemin de fer, station Hamaguir, Ghar Djebilat

SUMMARY

This work consists of carrying out the design and a detailed study of a new mining railway line linking "Ghar Djebilet – Tindouf to Béchar", with the development of railway stations. The section studied extends from kilometer point 118+000 to kilometer point 142+000, including the design of the Hammaguir station.

This project was designed in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and on the basis of the recommendations of the Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). The technical modelling of the project was carried out using the following software : CIVIL 3D, AUTOCAD 2021, GOOGLE EARTH

Keywords : Design and study of a railway, Hamakir station, Gara Djebilet

Remerciement

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu, qui nous a accordé le courage et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons remercier chaleureusement toutes les personnes qui nous ont soutenus dans l'élaboration de ce projet. En particulier, nous exprimons notre reconnaissance à notre encadreur, **M. H. Siguerdjidjene**, ainsi qu'à **M. Hamadi Kamel**, pour leur disponibilité constante, leurs conseils avisés et leur accompagnement tout au long de ce travail.

Nous remercions également de tout cœur **Nassima, Dounia, Walid** et **Nasr Allah** pour leurs remarques pertinentes, leurs encouragements et leur soutien indéfectible tout au long de ce projet.

Nos remerciements vont également au **groupe SETO** pour leur appui et leurs observations durant toute la période de notre stage, ainsi qu'à l'ensemble du personnel pour leur accueil chaleureux et leur accompagnement bienveillant.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à toute l'équipe de **PENSTP** pour leur soutien précieux. Nos remerciements particuliers vont à **Mme Mekideche**, pour son leadership et son appui constant, ainsi qu'à **M. F. Fedghouche** et **Mme Y. Mahiaoui** pour leur engagement et leurs efforts continus. Un grand merci également à **M. Morsli** pour son soutien.

Nous exprimons notre gratitude à l'administration du **département des Infrastructures de base**, notamment à **Mme I. Makoudi**, pour son dévouement et ses précieux conseils. Leur contribution a été essentielle à la réussite de notre projet.

Enfin, nos vifs remerciements s'adressent aux **membres du jury** pour l'attention qu'ils ont portée à notre travail et pour leurs observations constructives.

Dédicace

À ma chère grand-mère et à mon cher grand-père, bien que vous ne soyez plus parmi nous, vous resterez toujours dans mon cœur profondément. À mes amis fidèles depuis le lycée, en particulier "Itt Chabane Islam" et "Bouzyane Ayoub" et "Obochou Amin", et à de nombreux autres amis, j'ai passé des moments inoubliables avec vous et je n'oublierai pas de mentionner le professeur que je considère à la place de mon père, le professeur "Dr. Aboudra Naji Hamaidi Zourgi", que Dieu vous protège. Votre loyauté et votre soutien sincères sont inestimables.

Et à toutes les personnes qui me sont très chères, votre amour et votre présence ont enrichi ma vie de manières incommensurables. Je suis très reconnaissant de vous avoir dans ma vie. À moi-même, je suis reconnaissant pour ma confiance en moi et mon travail acharné pendant mes études pour devenir ingénieure. Merci

Mohamed

Dédicace

À l'âme chère de ma grand-mère,
Que Dieu ait son âme en paix et fasse de son séjour le paradis...
Ce succès est le fruit de ses prières et de son amour qui ne m'a jamais quitté.

À ma mère bien-aimée,
Merci pour ta patience, ton soutien et ta présence irremplaçable... Ce succès est avant tout pour toi.

À mon père cher,
Mon pilier dans la vie, merci pour ton travail acharné et ton encouragement constant.

À mes frères et sœurs : Asmaa, Bouchra, Anfal, et Mohamed, Farouk
Je vous aime et vous remercie d'avoir toujours été à mes côtés.

À ma sœur qui n'est pas née de ma mère, Dounia,
Merci pour ton cœur sincère et ton soutien à chaque étape.

À mes professeurs respectés,
Toute ma gratitude pour votre savoir et vos conseils.

Et à tous ceux qui m'ont soutenu, merci du fond du cœur.

Kheira

Abréviations

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.

A.P.S : Avant-Projet Sommaire.

PK : Point kilométrique.

ADV : Appareil De Voie.

BV : Bassin versant..

ERTMS : Européen Railways Traffic Management System.

ONM : Office National de la Météorologie.

PU : Puit de reconnaissance.

Qps : Débit pleine section.

RN : Route Nationale.

RPOA : Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art.

SC : Sondage Carotté.

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

Vps : Vtesse pleine section.

Vvoy : Vitesse voyageur

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

VBS : Essai bleu de méthylène.

Vmar : Vitesse marchandise

SPT : Essai de Pénétration Standard.

GF : Garage Franc

Lu : Longueur Utile.

SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ	3
Introduction	3
I.1 Composante de la voie ferrée	3
I.1.1 Les traverses	3
I.1.1.a Les Traverses en bois	3
I.1.1.b Les Traverses en béton	4
I.1.2 Le rail	4
I.1.3 Le ballast	7
I.1.4 Système des taches	7
I.1.5 Les appareils de la voie	8
I.2 Conclusion	9
CHAPITRE II : PRESENTATION DE PROJET	10
Introduction	10
II.1 Description de projet :	10
II.2 Description du tronçon étudié :	11
II.3 Situation administrative de la zone d'étude :	12
II.4 Etude De Transport :	13
II.5 Les Paramètres de conceptions du tronçon :	14
II.6 Situation Géographique :	14
II.7 Relief d'el Abadla :	15
II.8 Climatologie de la zone d'étude la region d'étude :	15
II.9 Sismicité :	16
II.10 Conclusion :	16
Chapitre III : Etude APS	18
Introduction :	18
III.1 Explication du choix de la Variante 02 :	19
III.2 Conclusion	19
CHAPITRE IV : ÉTUDE GEOMETRIQUE	20
Introduction :	20
IV.1 Trace en plan :	20
IV.1.1 Condition à respecter dans le trace en plan :	20
IV.1.2 Les éléments de trace en plan :	21
IV.1.3 Caractéristiques géométriques :	22
IV.1.4 Application au notre projet :	24
IV.2 Profil en long :	28
IV.2.1 Les éléments de composition du profil en long :	28
IV.3 Conclusion :	29
CHAPITRE V : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	31
Introduction :	31
V.1 Situation de la zone d'étude :	31

V.2	Méthode de calcul :	31
V.2.1	Etude hydrologique :	32
V.2.1.1	Caractéristiques climatiques :	32
V.2.1.1.1	Perçu climatologique :	32
V.2.2	Les différents types de Bassin :	34
V.2.3	Cartographie.....	36
V.2.3.1	Limite des bassins versants :	36
V.2.3.2	Calcul de l'intensité de pluie :	37
V.2.4.3	Calcul du débit :	41
V.3	Etude hydraulique :	41
V.3.2	Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux :	44
V.3.2.c	Dimensionnement des buses	44
V.3.2.d	Dimensionnement des dalots :	45
V.3.3	Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés) :	46
V.4	Conclusion :	49
CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE.....		50
	Introduction :	50
VI.1	Étude géologique :	50
VI.1.1	Aspect tectonique de la zone d'étude :	51
VI.1.2	Hydrogéologie :	52
VI.1.3	Climatologie de la zone d'étude :	52
VI.1.4	Sismicité :	52
VI.1.5	Les risques géologiques :	53
VI.2	Etude géotechnique :	54
VI.2.1	Le programme de reconnaissance géotechnique du tracé.....	54
VI.2.1.1	Reconnaissance in- situ :	54
VI.2.1.2	Reconnaissance au laboratoire :	56
VI.2.2	Lithologie de la zone d'étude :.....	57
VI.2.3	Synthèse et commentaire géotechnique :.....	59
VI.2.3.1	Interprétation des résultats :	61
VI.2.3.2	Classification générale des formations :	63
VI.2.3.2	Essais au laboratoire :	64
VI.2.3.3	Essais chimiques :.....	65
VI.2.4	Zones à risques :.....	67
VI.5	Vérification de stabilité des talus vis-à-vis le glissement :	67
VI.5.1	Cas déblai au PK 119+775 :.....	68
VI.5.2	Cas remblai au PK 120+050 : Les caractéristiques de notre remblai sont les suivantes :.....	69
VI.6	Conclusion	69
CHAPITRE VII : ASSISE FERROVIAIRE.....		70
	Introduction :.....	70
VII.1	Les différentes couches d'assise :.....	70
VII.1.1	La couche de ballast :.....	71
VII.1.2	Sous-couche :.....	72

VII.1.4	La géotextile :.....	73
VII.1.5	La plate-forme:.....	73
VII.2	Classification des sols pour la plate-forme :.....	74
VII.3	La portance d'une plate-forme dépend :.....	74
VII.4	Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise.....	75
VII.5	Application au projet :.....	76
VII.6	Conclusion :.....	77
CHAPITRE VIII : PROFILE EN TRAVERS		78
Introduction :.....		78
VIII.1	Définition :.....	78
VIII.2	Constituants du profil en travers type :.....	78
VIII.2.1	Eléments de superstructure :.....	78
VIII.2.2	Eléments d'infrastructures :.....	79
VIII.2.3	Eléments du talus (remblai ou déblai) :.....	79
VIII.2.4	Eléments d'assainissement :.....	79
VIII.3	Critères de conception :.....	79
VIII.4	Calcul des cubatures :.....	80
VIII.4.1	Méthodes de calcul des cubatures :.....	80
VIII.4.2	Formule de SARRAUS :.....	81
VIII.4.3	Application au projet :.....	82
VIII.5	Conclusion :.....	82
CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES		85
Introduction :.....		85
IX.1	Les terrassements :.....	85
IX.1.1	Intentions et implications des travaux de terrassement :.....	85
IX.1.2	Pente des talus en déblai et en remblai :.....	86
IX.1.3	Le compactage.....	87
IX.2	Ouvrage d'art :.....	87
IX.2.1	Le croisement avec la route :.....	87
IX.2.2	Franchissement d'écoulement d'eau :.....	88
IX.2.2.1	Les ouvrages hydrauliques :.....	88
IX.2.2.2	Protection des conduites de gaz :.....	89
IX.2.2.3	Lignes électriques de moyenne et basse tension :.....	89
IX.3	Conclusion :.....	89
CHAPITRE X : CONCEPTION DE LA GARE		90
Introduction :.....		90
X.1	Conditions de conception de la gare :.....	90
X.2	Élaboration du plan de masse :.....	90
X.3	Type de gare :.....	91
X.4	Aménagement de la gare :.....	92
X.4.1	Installations d'une gare à voyageur :.....	92
X.4.2	Quais :.....	92
X.4.3	Déclivité :.....	93

X.4.4	Appareil de voie :	93
X.5	Types d'appareils de voie :	94
X.6	Garage franc :	96
X.7	La longueur utile :	96
X.8	Assainissement des gares :	97
X.9	Les Caténares :	97
X.10	Les Heurtoirs :	97
X.11	Conclusion :	99
Chapitre XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT		102
Introduction :		102
XI.1	Principe et objectif :	102
XI.2	Référentiel législatif et règlementaire :	102
XI.3	Description du Site :	103
XI.4	Milieu Naturel et Biodiversité :	104
XI.4.1	Milieu physique :	104
XI.4.2	Milieu biologique :	106
XI.4.3	Milieu humain :	108
XI.5	Les risques majeurs :	109
XI.5.1	Les risques naturels :	109
XI.5.2	Les risques d'inondations importants :	110
XI.5.3	Les risques technologiques :	110
XI.5.4	Les risques TMD :	110
XI.6	L'impact du projet :	110
XI.6.1	Paramètres de l'évaluation des impacts :	110
XI.6.2	Les impacts positifs :	110
XI.6.3	Les impacts négatifs :	111
XI.6.4	Impacts sur la végétation :	112
XI.6.5	Impacts sur la faune :	112
XI.6.6	Impacts sur Milieux humain :	112
XI.7	Les solutions proposées :	113
XI.8	Conclusion :	113
CHAPITRE XII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF		114
CONCLUSION GÉNÉRALE		114

Liste des figures

FIGURE I-1 : TRAVERSE EN BETON BI-BLOC	4
FIGURE I-2 : COMPOSANTS DE LA SECTION TRANSVERSALE DU RAIL	5
FIGURE I-3 : PROFIL DE RAIL 60 E1	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE II-1 : PRESENTATION DE PROJET BECHAR ET GARA DJEBILET	11
FIGURE II-2 : LOCALISATION DU TRONÇON ETUDIE	12
FIGURE II-3 : SITUATION ADMINISTRATIVE DE LA ZONE D'ETUDE	13
FIGURE II-4 : ZONAGE SISMIQUE DE L'ALGERIE	16
FIGURE III-1 : LE CHEMIN DE PASSAGE DE CHAQUE VARIANTE SUR GOOGLE EARTH	18
FIGURE IV-1 : LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN AVEC LES POINTS CLES ORP (ORIGINE DU RACCORDEMENT PROGRESSIF) ET FRP (FIN DU RACCORDEMENT PROGRESSIF)	21
FIGURE V-1 : TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE DE LA STATION DE BECHAR	32
FIGURE V-3 : DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA WILAYA BECHAR	34
FIGURE V-2 : VARIATIONS PRECIPITATIONS	34
FIGURE V-4 : BASSIN D'OUED SAOURA	34
FIGURE V-4 : BASSIN D'OUED SAOURA	34
FIGURE V-5 : BASSIN D'OUED GUIR	34
FIGURE V-6 : BASSIN D'OUED BECHAR	35
FIGURE V-7 : BASSIN D'OUED ZOOUFANA	35
FIGURE V-8 : DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS SUR LES CARTES D'ETAT-MAJOR	36
FIGURE V-10 : PROFIL TYPE OUVRAGE COURANT (BUSE OU DALOT)	42
FIGURE V-9 : OUVRAGE HYDRAULIQUE A PARTIR DU LOGICIEL CIVIL 3D	42
FIGURE VI-1 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA WILAYA DE BECHAR (CARTE GEOL. A 1/50 000)	51
FIGURE VI-2: CARTE DE ZONAGE SISMIQUE DE L'ALGERIE (RPOA,2008)	53
FIGURE VI-3: DIFFERENTS NOMBRES DE COUPS	55
FIGURE VI-10: PUIITS N° 07 AU PK 122+775	56
FIGURE VII-2 : STRUCTURE D'ASSISE FERRIERE	77
FIGURE X-1 : APPAREIL DE VOIE	93
FIGURE X-2 : LES BRANCHEMENTS	94
FIGURE X-3 : TRAVERSEE JONCTION DOUBLE	95
FIGURE X-4 : TRAVERSEE PERPENDICULAIRE	95
TABLEAU X - 2 : LONGUEUR DE GARAGE FRANC POUR LES DEUX TYPES ADV	96
FIGURE X-5 : LONGUEUR DE GARAGE FRANC POUR ADV UIC60 5001 :12	96
FIGURE X-6 : HEURTOIR DE FIN DE VOIE EN GARE	98
FIGURE XII-1: SITUATION ADMINISTRATIF DE NOTRE ZONE D'ETUDE	103
FIGURE XII-2 : CARTE DE LOCALISATION DE LA WILAYA DE BECHAR	104
FIGURE VII-3 : ZONAGE SISMIQUE DE L'ALGERIE	106
FIGURE XII-4 : PHOTOS DE LA FAUNE	107
FIGURE XII-5 : LES FLORES DE LA ZONE ETUDIE	108

Liste des tableaux

TABLEAU I-1 : CARACTERISTIQUES DU RAIL 60 E1.....	6
TABLEAU II-1 : DONNES SUR L'ETUDE DE TRANSPORT.....	13
TABLEAU II-2 : LES PARAMETRES DE CONCEPTION DU TRANCON	14
TABLEAU II-3 : DEFINITION DES ZONES DE SISMICITE	16
TABLEAU III-1 : LES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE VARIANTE	18
TABLEAU IV-1 : PARAMETRES GEOMETRIQUES DE TRACE EN PLAN SNTF	23
TABLEAU IV-2 : TABLEAU RECAPITULATIF DES PARAMETRES DU TRACE	25
TABLEAU IV-3 : LES CONTRAITES LE LONG TRACE	27
TABLEAU IV-4: RESEAUX EXISTANTS IDENTIFIES LE LONG DU LINEAIRE PROJETE.....	27
TABLEAU IV-6 : VALEURS DE RAYON VERTICAL MINIMAL (SNTF)	29
TABLEAU IV -7 : PARAMETRES GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG DU PROJET (SNTF).....	29
TABLEAU V-1:TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE (°c) DE LA STATION DE LA BECHAR	33
TABLEAU V-3 : PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES FREQUENTIELLE	33
TABLEAU V-4 : PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES	34
TABLEAU V-5 : PARAMETRES A ET B DES COURBES IDF POUR LA REGION DE L'ETUDE.....	37
TABLEAU V-6 : CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DES BASSINS.....	38
TABLEAU V-7 : VALEUR DE C1	39
TABLEAU V-8 : VALEUR DE C2	39
TABLEAU V- 9: VALEUR C3	39
TABLEAU V-10 : LES DEBITS MAXIMAUX CENTENNAUX DES OUEDS	40
TABLEAU V-11 : DIMENSIONNEMENT BUSES ET DES LES DALOTS	43
TABLEAU V-12 : DIMENSIONNEMENT DE VIADUC.....	44
TABLEAU V-13 : DIMENSIONNEMENT DES BUSES	45
TABLEAU V-14 : DIMENSIONNEMENT DES DALOTS	46
TABLEAU V-16 : COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT	48
TABLEAU VI. 16 : CALCUL DES DEBITS A EVACUER DANS LE CAS DE ET DEBLAI	48
TABLEAU VI-1 : LES RISQUES GEOLOGIQUES	53
TABLEAU VI-2 : LES SONDAGES CAROTTES	55
FIGURE VI-3:DIFFERENTS NOMBRES DE COUPS	55
TABLEAU VI- 3: CLASSIFICATION DE LA COMPACITE RELATIVE SELON L'INDICE SPT (N)	56
FIGURE VI- 10: PUIIS N° 07 AU PK 122+775	56
TABLEAU VI-4 : PRINCIPE ESSAIS PHYSIQUES EN GEOTECHNIQUE	56
TABLEAU VI- 5: CRACTERISTIQUE DE ESSAIS DE COMPRESSION SIMPLE	57
TABLEAU VI-6 : LA LITHOLOGIE DES PUIIS DE RECONNAISSANCE.	58
TABLEAU VI-7 : RESUME DES RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE REALISES SUR LES ECHANTILLONS DES PUIIS DE RECONNAISSANCE.	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
TABLEAU VI-8: RESULTAT DES ESSAIS SPT.....	62
TABLEAU VI-9:RESULTATS DE ESSAIS COMPRESSION SIMPLE	64
TABLEAU VI-10: RESULTAS DES ESSAIS CHIMIQUE ET CLASIFICATION DE L'AGRISSIVITE DES SOLS	65
TABLEAU VI-11: TYPOLOGIE DES ZONES A RISQUE ET SOLUTIONS TECHNIQUES.....	67
TABLEAU VI-12 :PARAMETRES SISMIQUES UTILISES DANS LES CALCULS.....	68
TABLEAU VI-13 : RESULTATS DE LA VERIFICATION DU TALUS EN DEBLAI -PK 119+775.....	68
TABLEAU VI- 14: RESULTATS DE LA VERIFICATION DU TALUS EN REMBLAI -PK 123+050-	69
TABLEAU VII -1: CLASSIFICATION DES PLATEFORMES	74
TABLEAU VII-2 : DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE	76
TABLEAU VII-3 : STRUCTURE DE LA VOIE DU PROJET	77
TABLEAU VIII-1 : PROFILE FICTIVE	80
TABLEAU VIII-2 : CUBATURE	81
TABLEAU VIII-1 : LES CUBATURES DES TERRASSEMENTS ET LES COUCHES D'ASSISES	82
TABLEAU IX-1 : LES CUBATURES DES TERRASSEMENTS	87
TABLEAU IX-2 : LISTE DES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET	88
TABLEAU IX-3 : LISTE DES LIGNES ELECTRIQUE DE MOYENNE ET BASSE TENSION	89
TABLEAU X - 2 : LONGUEUR DE GARAGE FRANC POUR LES DEUX TYPES ADV	96

INTRODUCTION GENERALE

Le réseau ferroviaire algérien, créé sous l'administration coloniale française, a d'abord été conçu pour faciliter l'exploitation des ressources naturelles et relier les principaux centres économiques. Après l'indépendance en 1962, l'État algérien a cherché à réorganiser et moderniser ce réseau pour répondre aux besoins internes du pays, notamment en desservant les zones rurales et en développant les régions intérieures. Malgré des défis liés à la vétusté des infrastructures et au manque d'investissements, l'Algérie a lancé, depuis les années 2000 des projets ambitieux de modernisation, avec l'introduction de lignes à grande vitesse et des liaisons internationales.

Aujourd'hui, le réseau ferroviaire contribue activement à l'économie nationale et à la mobilité des citoyens tout en s'efforçant de répondre aux enjeux du transport moderne. Parmi ces projets on compte le nouveau projet de ligne ferroviaire minière entre Gara Djebilet (Tindouf) et Béchar, Voie unique en sections courantes, double voie aux ouvrages d'art à trafic mixte « Voyageurs, Marchandises ».

Notre présent projet de fin étude consiste à faire une étude avant-projet détaillé « APD » **PK118+000** jusqu'à **PK 142+000**, avec la conception de la nouvelle gare « **HAMAGUIR**».

En passant par différents chapitres importants qui structurent notre démarche :

Chapitre I : généralité pour de la voie ferrée

Chapitre II : Présentation du Projet, ce chapitre donne une présentation de la région (la voie ferrée, ce qui est essentiel dans la conception d'une ligne Bechar), les objectifs et la description de projet.

Chapitre III : étude APS

Chapitre IV : Tracer en plan et le profil en long, Il permet de présenter les choix techniques relatifs à l'alignement horizontal et vertical de la voie ferrée on se respectant tous les exigences des normes techniques tel qu'UIC (Union Internationale des Chemins de fer), SNTF (Société Nationale de Transport Ferroviaire), SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer). Et Etude des contraintes

Chapitre V : Etude hydrologique et hydraulique elle permet de comprendre l'impact l'eau sur la voie ferrée et de prendre en compte les contraintes hydrauliques pour déterminer les choix techniques associés.

Chapitre VI : GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE, elle permet de comprendre la nature

des Sols et des roches sur lesquels la voie ferrée sera construite et de prendre en compte les contraintes géotechniques pour déterminer les choix techniques et les coûts associés.

Chapitre VII : Assise ferroviaire, la détermination des dimensions et les caractéristiques des matériaux utilisés dans la construction de la couche d'assise sur laquelle la voie ferrée sera posée.

Chapitre VIII : profile en travers

Chapitre X et IX : Terrassement et conception de la gare de croisement de HAMAGUIR.

Chapitre XI : l'étude impact sur l'environnement.

Chapitre XII : devis quantitatif et estimatif

Nous concluons notre travail en soulignant les connaissances, les compétences et l'expérience acquises au cours de ce projet, qui seront précieuses au début de notre parcours professionnel

CHPAITRE I :

GÉNÉRALITÉ

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ**Introduction :**

Le transport ferroviaire est un pilier essentiel des systèmes de mobilité modernes, offrant de nombreux avantages en termes d'efficacité, de sécurité et de durabilité. Grâce à son faible frottement entre le rail et la roue, il permet le transport de grandes charges avec une consommation énergétique réduite. Son infrastructure guidée minimise les risques d'accidents et assure un flux de circulation optimisé.

De plus, il représente une alternative économique et écologique aux autres modes de transport, contribuant ainsi à un développement plus durable et à une meilleure connectivité des territoires.

I.1 Composante de la voie ferrée :

Son aménagement et son entretien soigné sont essentiels pour garantir la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire. Elle se divise en deux parties principales. La superstructure regroupe les éléments qui assurent le soutien et le guidage des trains, notamment la plateforme, le sous-ballast, le ballast, les traverses, les rails et leurs accessoires. Ces composants jouent un rôle clé dans la stabilité et la longévité de la voie. L'infrastructure comprend les ouvrages en terre, les ouvrages d'art tels que les ponts et viaducs, ainsi que les galeries souterraines et les tranchées

I.1.1 Les traverses :

Les traverses sont des éléments essentiels de l'infrastructure ferroviaire, placées perpendiculairement aux rails pour assurer leur écartement, leur stabilité et leur inclinaison. Elles jouent un rôle fondamental en répartissant les charges des trains et en les transmettant au ballast garantissant ainsi la sécurité et la durabilité de la voie ferrée. Il existe plusieurs types de traverses, parmi lesquelles les traverses en bois et en béton sont les plus couramment utilisées.

I.1.1.a Les Traverses en bois :

Bien que flexibles et capables d'absorber les vibrations, présentent des inconvénients, notamment leur vulnérabilité aux intempéries, aux insectes l'humidité, ce qui entraîne leur dégradation progressive. Elles nécessitent donc un entretien régulier et sont souvent traitées avec des produits spécifiques pour ralentir leur détérioration.

I.1.1.b Les Traverses en béton :

Offrent une durabilité bien supérieure et une résistance accrue aux charges lourdes ainsi qu'aux variations climatiques. Elles sont largement utilisées sur les voies à fort trafic et à grande vitesse. Toutefois, malgré leurs avantages, elles peuvent être sujettes à des problèmes tels que la fissuration sous l'effet des charges répétées ou des conditions extrêmes.

✚ Il existe deux types de traverses en béton utilisées dans les voies ferrées :

- **Les traverses en béton monobloc :**

Ce type de traverse est constitué d'un seul bloc de béton armé, offrant une grande résistance aux charges lourdes et aux conditions climatiques extrêmes. Elles sont particulièrement utilisées sur les lignes à grande vitesse et les voies à fort trafic, car elles garantissent une excellente stabilité et nécessitent peu d'entretien.

- **Les traverses en béton bi-bloc :**

Composées de deux blocs de béton reliés par une entretoise en acier, ces traverses assurent une meilleure répartition des charges et une souplesse accrue par rapport aux traverses monoblocs. Elles sont souvent utilisées sur des voies nécessitant une plus grande capacité d'adaptation aux contraintes du terrain, notamment dans les zones à forte dilatation thermique.

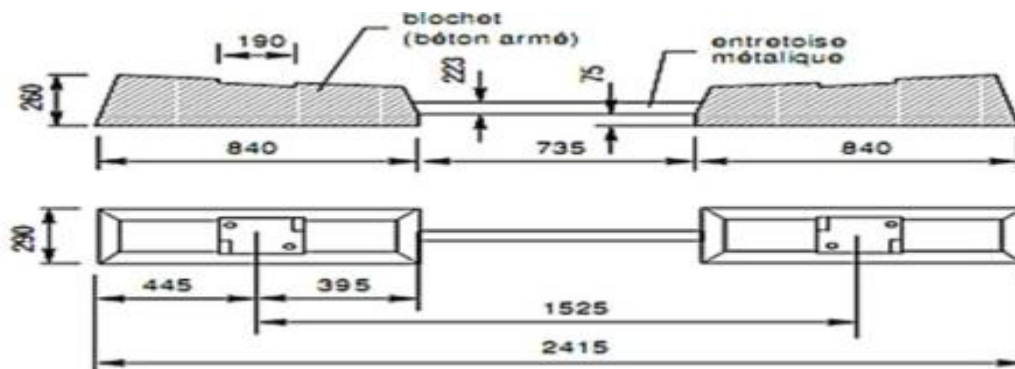


Figure 0-I-1 : Traverse en béton bi-bloc

I.1.2 Le rail :

Le profil du rail est conçu pour maximiser la stabilité et la résistance aux efforts mécaniques. Il comprend généralement une table de roulement, un champignon, une âme et un patin. La nuance d'acier est déterminée en fonction des contraintes exercées sur la voie. On utilise des aciers au carbone ou faiblement alliés, traités thermiquement pour améliorer leur résistance à l'usure et aux sollicitations mécaniques. Les rails sont assemblés par éclissage ou soudage aluminothermique afin de limiter les discontinuités et assurer un roulement fluide des trains.

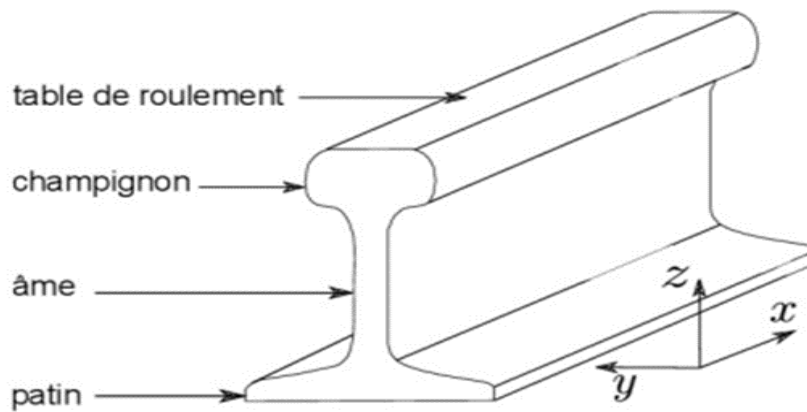


Figure I-2 : Composants de la section transversale du rail

I.1.2.1 Les types du rail :

Les rails sont fabriqués en acier de haute qualité et sont conçus pour supporter des charges importantes tout en offrant une grande résistance à l'usure. Leur forme (profil) et leur poids varient selon l'usage prévu. On distingue principalement :

1. Le rail Vignole (ou rail à champignon) :

Le plus courant dans les réseaux ferroviaires modernes.

- Profil asymétrique composé de trois parties : la tête, l'âme et le patin.
- Offre une bonne stabilité et une grande résistance à l'usure.
- Exemples de sections standard : **UIC 54**, **UIC 60** (le chiffre indique le poids du rail en kg/m).
- Utilisation : lignes principales, lignes à grande vitesse, fret lourd.

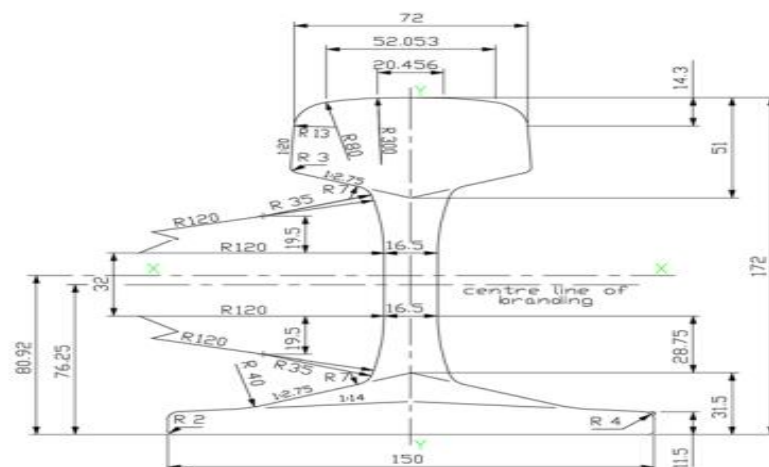


Figure I-3 : Schéma de profile rail vignole

2. Le rail double champignon :

- Ancien modèle utilisé surtout au début du chemin de fer.
- Possède deux têtes symétriques, ce qui permettait autrefois de retourner le rail une fois usé.
- Aujourd'hui largement obsolète à cause de l'usure inégale et de la difficulté d'utilisation.

3. Le rail à ornière (ou rail à gorge) :

Rail encastré, utilisé principalement en **milieu urbain** pour les **tramways** ou **métros légers**.

Possède une gorge destinée à guider la roue tout en permettant l'insertion dans la chaussée.

Permet une circulation partagée avec les véhicules routiers.

Tableau I-1 : Caractéristiques du Rail 60 E1

Norme EN	13674-1	Moment d'inertie « y-y »	512,3 cm⁴
Surface de section	76,70 cm²	Module d'inertie « y-y »	68,3 cm³
Masse par mètre	60,21 kg/m	Dimension A	20,456 mm
Moment d'inertie « x-x »	3038,3 cm⁴	Dimension B	52,053 mm
Module d'inertie champignon	333,6 cm³	Densité	7,85 g/cm³
Module d'inertie patin	375,5 cm³		

I.1.2.2 Les soudures de rail :

La continuité des rails est assurée par des procédés de soudure qui permettent d'assembler les barres de rail de manière durable et sécurisée. On distingue principalement deux types de soudures :

◇ La soudure électrique :

Réalisée soit en atelier soit sur site, cette technique utilise un courant électrique pour chauffer les extrémités des barres de rail jusqu'à leur fusion, avant de les presser l'une contre l'autre. Elle permet de produire des rails longs soudés (LRS), réduisant ainsi le nombre de joints mécaniques, qui sont des points faibles potentiels. Ce procédé garantit une soudure précise, de haute résistance mécanique, et est particulièrement adapté aux lignes à forte sollicitation.

◇ La soudure aluminothermique :

Utilisée principalement sur la voie, cette méthode repose sur une réaction chimique exothermique entre de l'aluminium et de l'oxyde de fer. Cette réaction produit une chaleur intense (plus de 2 500 °C), qui fait fondre une charge de métal d'apport. Le métal en fusion est ensuite coulé dans un moule placé autour des extrémités des rails à assembler. Une fois la soudure refroidie, un meulage est effectué pour lisser la surface de roulement. Cette technique est idéale pour les interventions ponctuelles, les réparations ou les jonctions en zones difficilement accessibles.

I.1.3 Le ballast :

Le ballast ferroviaire est constitué de pierres concassées ou de graviers de différentes tailles. Ces matériaux de forme polyédrique avec des arêtes vives possèdent un fort angle de frottement interne (Φ élevé) et une faible cohésion ($C=0$). Ils sont sélectionnés pour leur capacité à soutenir les charges des trains.

I.1.4 Système des taches :

I.1.4.1 Les attaches :

Une attache est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un boulon accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement.

I.1.4.2 Le rôle des attaches :

Les attaches jouent un rôle essentiel dans la sécurité et la stabilité du rail fixé sur les traverses assurant ainsi le bon fonctionnement des opérations ferroviaires.

Elles absorbent et répartissent efficacement les charges, évitant ainsi des contraintes excessives sur le rail et la traverse. Cela permet de prolonger la durée de vie des composants et de réduire les besoins en maintenance. Par ailleurs, les attaches contribuent à atténuer les vibrations et le bruit, ce qui améliore le confort des passagers ainsi que la qualité de vie des riverains. Elles assurent également une isolation électrique, indispensable pour éviter toute interférence entre le rail et les systèmes de signalisation ou de télécommunication.

I.1.4.3 Le type d'attaches utilisé dans notre projet :

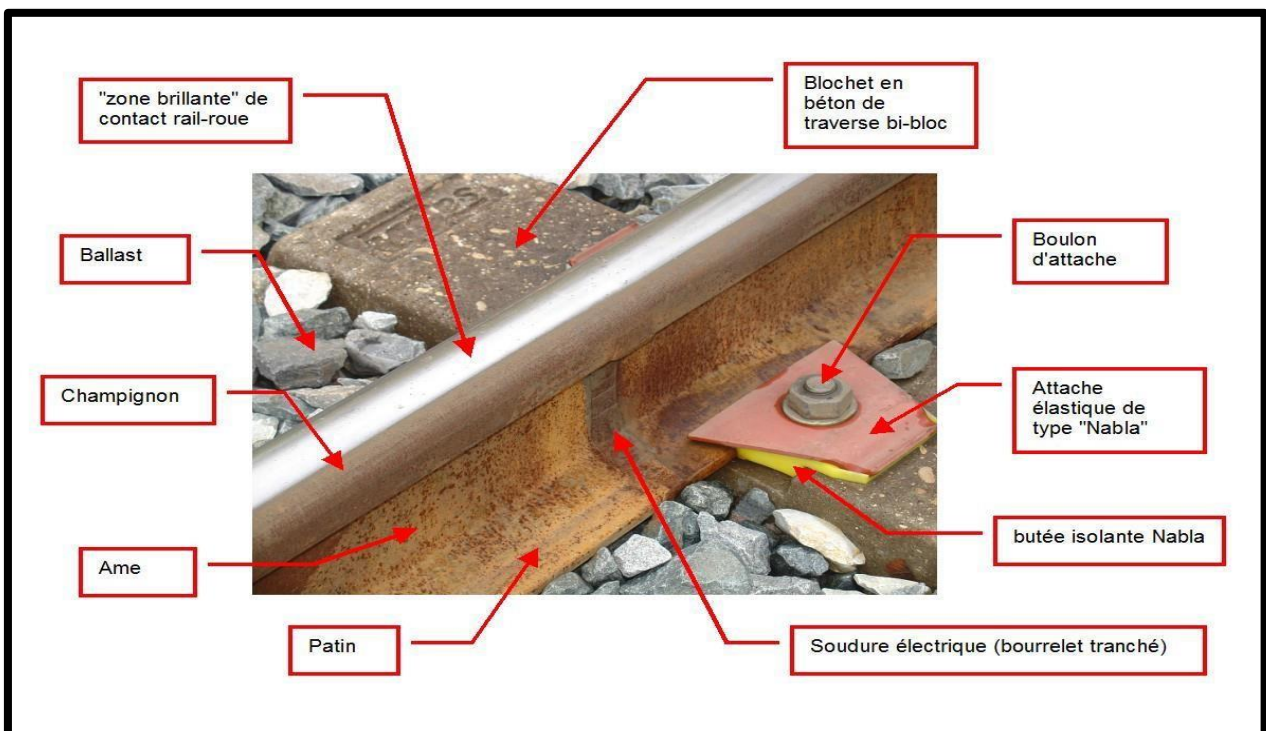


Figure I-4 : Attache élastiques type Nabla

I.1.5 Les appareils de la voie :

L'exploitation ferroviaire nécessite des aménagements spécifiques pour permettre l'interconnexion et l'intersection des différentes voies. Ces dispositifs, appelés appareils de voie jouent un rôle essentiel dans la gestion du trafic ferroviaire. Ils se composent principalement des branchements, qui assurent le changement de voie grâce à des aiguillages, et des traversées, qui permettent le croisement de deux voies sans liaison directe. Ces équipements garantissent la fluidité des circulations, optimisent les itinéraires et renforcent la sécurité des trains en évitant les conflits de trajet sur le réseau ferroviaire.

I.2 Conclusion :

Le transport ferroviaire joue un rôle essentiel dans la mobilité moderne en offrant un mode de transport efficace, sécurisé et durable. La conception et l'entretien des infrastructures ferroviaires, notamment la voie ferrée et ses composants tels que les rails, les traverses, le ballast et les appareils de voie, sont des éléments clés pour garantir la performance et la fiabilité du réseau. Grâce à son faible impact environnemental et sa capacité à transporter des charges importantes sur de longues distances, le chemin de fer reste une solution incontournable pour le développement des échanges et la connectivité des territoires.

CHAPITRE II :

PRÉSENTATION DU PROJET

CHAPITRE II : PRESENTATION DE PROJET**Introduction :**

Ce projet d'infrastructure majeur jouera un rôle clé dans le développement économique de l'Algérie en facilitant l'exploitation de la mine de Gara Djebilet, l'une des plus grandes réserves de fer au monde, dont l'isolement géographique a longtemps freiné le potentiel. La construction d'une ligne ferroviaire de 950 kilomètres reliant Béchar à Gara Djebilet permettra d'optimiser le transport du minerai vers les centres de transformation et d'exportation, tout en dynamisant les régions traversées grâce à une meilleure connectivité et de nouvelles opportunités économiques.

Toutefois, sa réalisation soulève plusieurs enjeux. Sur le plan technique et environnemental, le tracé doit traverser des zones désertiques aux conditions extrêmes, nécessitant des solutions adaptées en matière d'infrastructure ferroviaire. D'un point de vue économique, l'investissement doit être optimisé afin de garantir une exploitation rentable et un flux logistique efficace.

Enfin, ce projet revêt également une dimension géopolitique, car sa proximité avec certaines frontières internationales en fait un levier stratégique pour renforcer les échanges régionaux et internationaux.

II.1 Description de projet :

Le projet de ligne ferroviaire minière entre Gara Djebilet et Béchar constitue une infrastructure stratégique pour l'Algérie, visant à exploiter l'un des plus grands gisements de fer au monde, dont les réserves sont estimées à 3,5 milliards de tonnes, avec 2 milliards de tonnes exploitables à une teneur de 58,57 % de fer.

Cette ligne de 950 km permettra le transport de 50 millions de tonnes de minerai de fer par an, reliant le site minier de Gara Djebilet au réseau ferroviaire national via Béchar, avant d'acheminer le minerai vers le port d'Arzew pour l'exportation.

Conçue pour supporter un trafic mixte, elle accueillera principalement des trains minéraliers roulant à 70 km/h, mais aussi des trains voyageurs pour conception à 160 km/h et pour d'exploitation 120 km/h sur certaines sections.

Ce projet s'inscrit dans une stratégie de développement industriel et logistique, visant à renforcer l'industrie sidérurgique et métallurgique du pays, tout en favorisant l'intégration économique des régions du sud-ouest. Le projet s'étend sur une distance totale de 950 km

répartie en cinq tronçons d'environ 200 km chacun, traversant sept communes et trois wilayas. Il débute dans la wilaya de Béchar, englobant les communes de Béchar, Abadla et Hammaguir puis se prolonge dans la wilaya de Beni Abès à travers la commune de Tabelbala, avant d'atteindre la wilaya de Tindouf, incluant les communes de Hassi Khebi, Oum El Assel et Tindouf. Le tracé est divisé en cinq sections successives.

1. Section 01 de 200km : du Pk 0+000 au Pk 200+000.
2. Section 02 de 200km : du Pk 200+000 au Pk 400+000.
3. Section 03 de 200km : du Pk 400+000 au Pk 600+000.
4. Section 04 de 200km : du Pk 600+000 au Pk 800+000.
5. Section 05 de 150km : du Pk 800+000 au Pk 950+000.

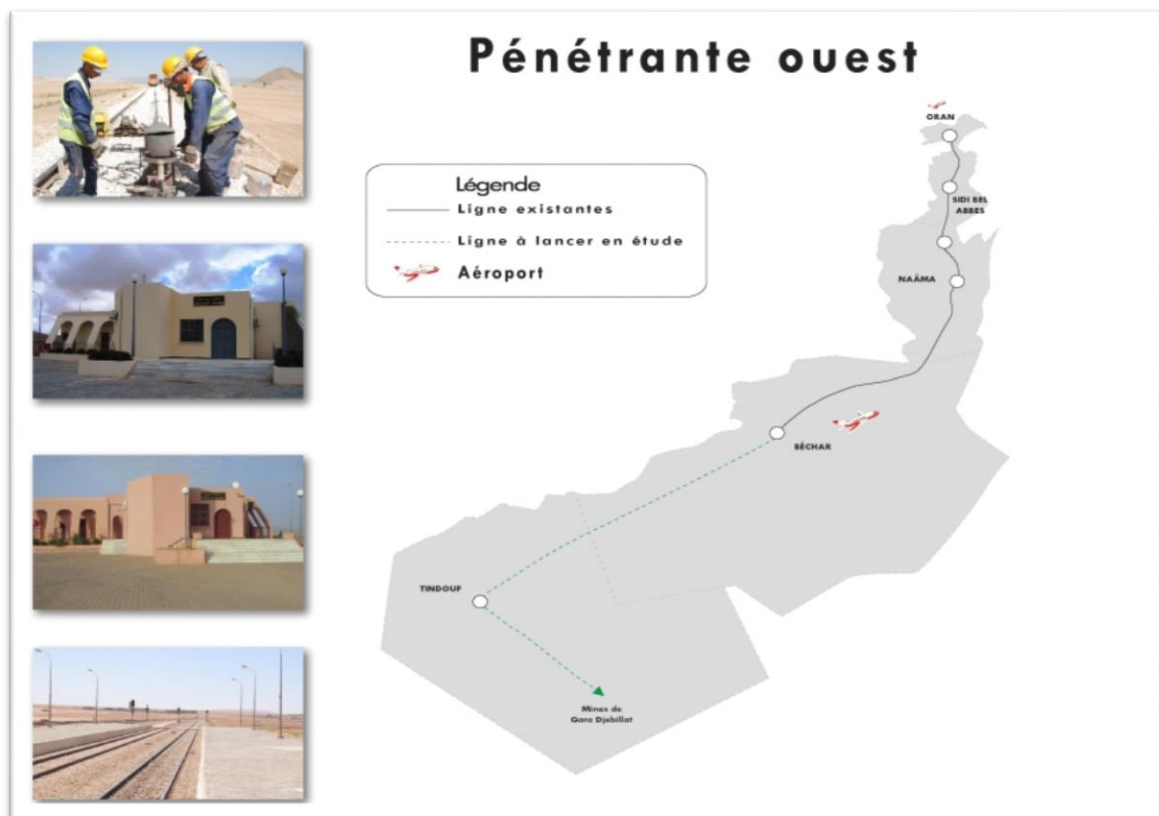


Figure II-1 : présentation de projet béchar et GARA Djebilet

II.2 Description du tronçon étudié :

Le projet concerne la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire reliant Béchar Tindouf et Gara Djebilet. Cette infrastructure s'inscrit dans le cadre du développement de la boucle

ferroviaire du Sud-Ouest, qui vise à améliorer la connectivité et à dynamiser l'axe stratégique de la rocade Sud. L'étude porte sur un tronçon spécifique de **24 km**, situé entre les points kilométriques **PK 118+000** et **PK 142+000**.

Le point de départ du projet est situé à un kilomètre d'Al-Abadlah. Elle traverse la Route Nationale 6 après un kilomètre et reste parallèle à la Route Nationale 50 sur une certaine distance en direction de la commune de **HAMAGUIR**.



Figure II-2 : Localisation du tronçon étudié

II.3 Situation administrative de la zone d'étude :

- La zone d'étude (Abadla et Mechraa Houari Boumediene) est définie par les limites :
 - Au Nord par les communes de Béchar, Kenadsa et Meridja.
 - A l'Ouest par la commune d'Erg Ferradj.
 - A l'Est par la commune de Taghit.
 - Au Sud par la commune d'Igli.

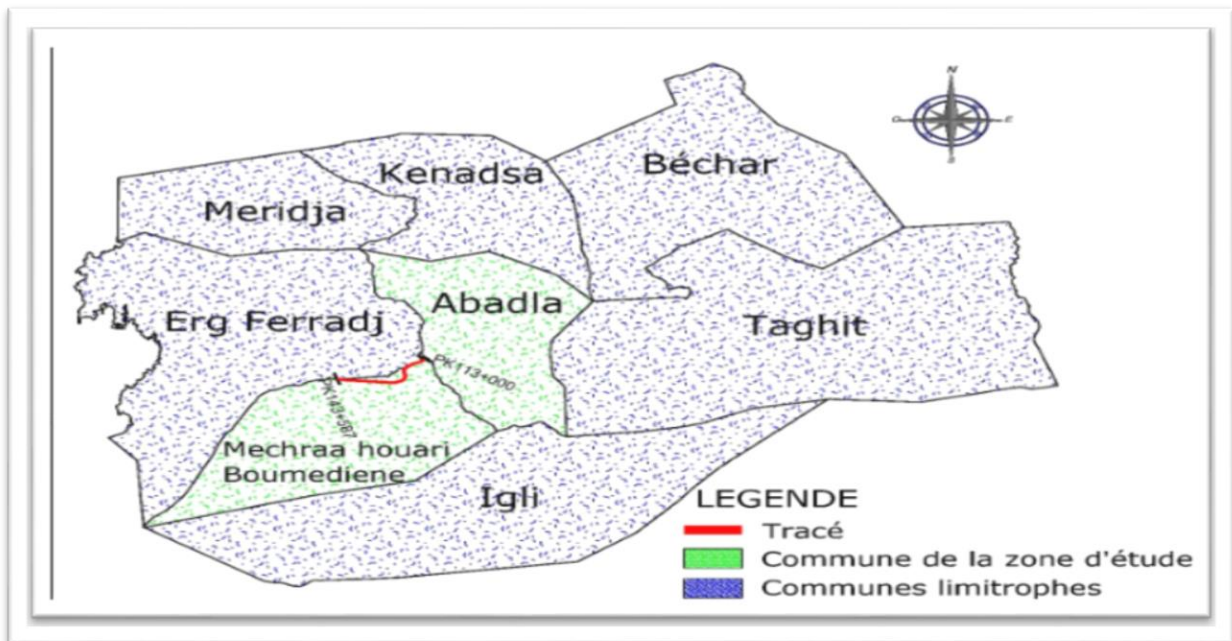


Figure II-3: Situation administrative de la zone d'étude

II.4 Etude De Transport :

Dans un contexte de croissance urbaine et d'évolution des besoins en mobilité, l'optimisation des infrastructures de transport devient un enjeu majeur. Cette étude vise à analyser l'efficacité du réseau existant et à anticiper les évolutions nécessaires afin d'assurer une mobilité fluide efficace et durable.

Tableau II-1 : Données sur l'étude de transport

Résultats de l'étude de transport	
Longueur de la ligne Minière	950 km
Minerais transporté	le Fer
Tonnage annuel à transporter	50 000 000 tonnes
Sens des trains chargés	Gara Djebilet vers Bechar
Sens des trains vides	Bechar vers Gara Djebilet
Nombre de jours des transports	350 jours/ 365 jours (année)
Tonnage journalier à transporter	142850 tonnes
Nombre de trains chargés circulant par jour	08 trains
Nombre de trains vides circulant par jour	08 trains
longueur des trais en circulation	2200 m
Charge utile d'un Wagon	105 tonnes
Tare d'un Wagon	25 tonnes
Poids total d'un Wagon chargé	130 tonnes

Nombre de Wagons par train	170 Wagons
Charge totale remorquée	22 100 tonnes
Vitesse de circulation des trains chargés	70 Km/ H
Charge à l'essieu pour les voies	32.5 tonnes
Charge à l'essieu pour les Ouvrages d'Art	32.5 tonnes
Type de Traverse	Béton Précontraint

II.5 Les Paramètres de conceptions du tronçon :

Tableau II-2 : Les parametres de conception du trancon

Items	Caractéristiques
Nouvelle Ligne Ferroviaire Bechar/ Tindouf (Gara Djebilet) 950 km.	Voie unique
Vitesse de conception du tracé pour le Traffic voyageurs	160 km/h
Vitesse de conception du tracé pour le Traffic marchandise	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 (future double voie)
Traffic	Mixte et Dominance des trains lourds
Rail	UIC 60 E1
Traverses	Monobloc
Traction	Électrique

II.6 Situation Géographique :

Situation géographique de la zone d'étude concerne le tronçon du **PK 118+000** au **PK 142+000** de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf (Gara Djebilet). Cette région est située à la transition entre la el **ABADLA** et **HAMAGUIR**.

- Abadla est une commune de la wilaya de Béchar, située à environ 90 kilomètres au sud-ouest de la ville de Béchar, en Algérie. La région est caractérisée par un relief de plateau, entouré de chaînes montagneuses et traversé par l'oued Guir, qui joue un rôle essentiel dans l'irrigation des terres agricoles locales.
- Hammaguir est une localité située dans la wilaya de Béchar, en Algérie, à environ 80 kilomètres au sud-ouest de Béchar. Le nom "Hammaguir" est une contraction de "Hamada du Guir", désignant le plateau désertique traversé par l'oued Guir. , Hammaguir a joué un rôle central dans le programme spatial français en abritant le Centre Interarmées d'Essais d'Engins Spéciaux (CIEES). Ce site a été utilisé pour le lancement de fusées-sondes et de satellites.

II.7 Relief d'el Abadla :

La plaine d'Abadla est une vaste dépression limitée à l'ouest par la hamada du Guir, au nord par le Chebket Manounat (monts du Gara el Betick) et à l'est par les hauteurs tabulaires des Gours Méziouket. Cette configuration géographique favorise l'agriculture, notamment grâce à la fertilité des terres alluviales et à la présence de l'oued Guir.

II.8 Climatologie de la zone d'étude la region d'étude :

Proche de la ville d'Abadla, située dans le sud-ouest de l'Algérie, fait partie d'un environnement aride typique du climat saharien.

Ce type de climat se caractérise par une extrême sécheresse, des températures élevées en été, et une faible précipitation annuelle.

Voici les principaux éléments climatiques de la région :

- Température moyenne annuelle : Environ 25 °C.
- Été : Les températures sont extrêmement élevées, atteignant régulièrement 40 °C à 45 °C durant les mois de juillet et août.
- Hiver : Les températures sont plus modérées, mais peuvent chuter à des minima de 5 °C à 10 °C durant les mois de décembre et janvier. Les gelées sont rares, mais possibles en hiver, notamment la nuit.

II.9 Sismicité :

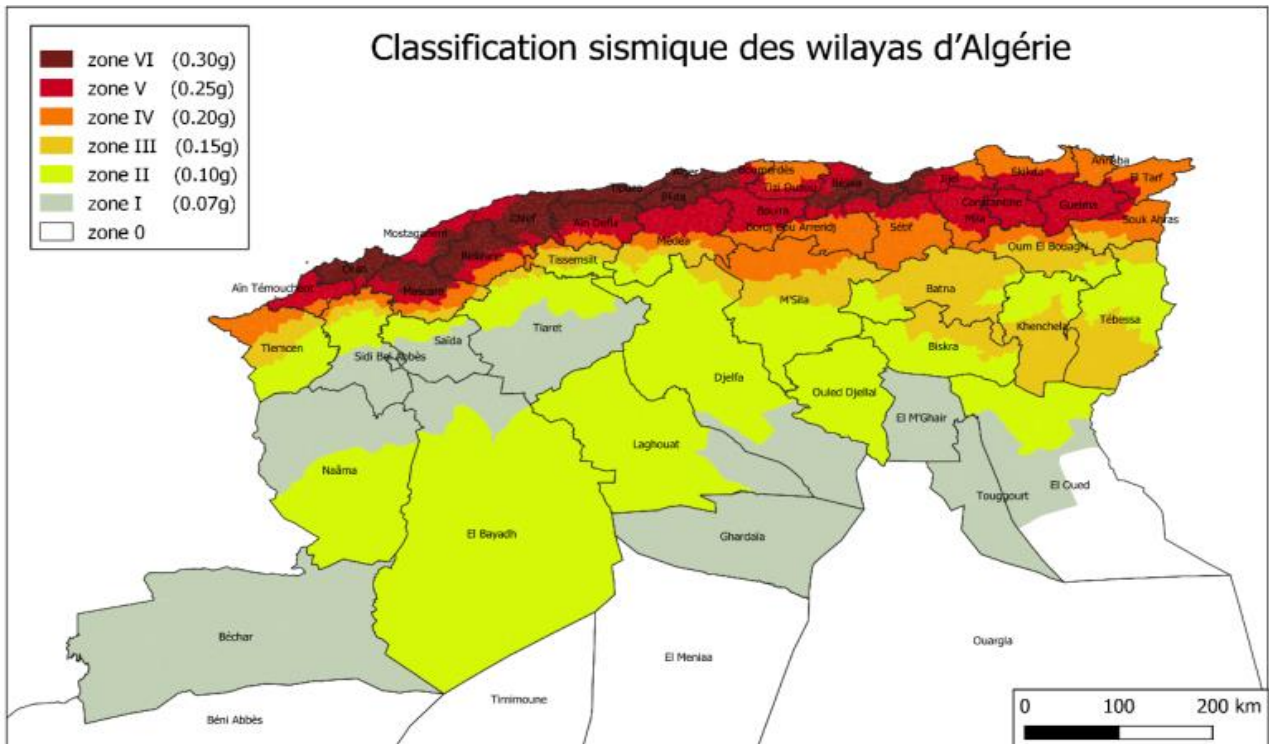


Figure II-4: Zonage sismique de l'Algérie

Tableau II-3 : Définition des zones de sismicité

Sismicité	zone
Très faible	0
Faible	I
Faible a moyenne	II
Moyenne	III
Moyenne a élevée	IV
Elevée	V et VI

- Sur la base de ce qui précède, le site étudié se situe dans la Zone 1, qui correspond à une zone de sismicité faible.

II.10 Conclusion :

En conclusion, cette étude constitue une étape essentielle dans la concrétisation du programme d'investissement dédié à la modernisation du secteur des transports en Algérie. Elle permet d'identifier les défis, d'évaluer les opportunités et de proposer des solutions adaptées pour optimiser les infrastructures existantes et en développer de nouvelles. À travers cette initiative, les autorités publiques réaffirment leur engagement en faveur d'un réseau de transport

plus efficace, durable et accessible, contribuant ainsi à l'essor économique du pays et à l'amélioration des conditions de vie des citoyens.

CHAPITRE III :

Étude APS

Chapitre III : Etude APS

Introduction :

L'Étude APS (Avant-Projet Sommaire) constitue une étape essentielle dans la planification et la conception de projets d'infrastructure. Elle a pour objectif principal d'analyser la faisabilité technique économique et environnementale d'un projet avant d'engager des ressources importantes dans une phase plus détaillée, l'Avant-Projet détaillé (APD), Cette phase préliminaire permet de définir les grandes lignes du projet, d'identifier les contraintes potentielles, d'évaluer les risques et de proposer des solutions techniques adaptées. L'étude APS vise également à estimer les coûts initiaux.



Figure III-1 : Le chemin de passage de chaque variante sur Google Earth

✚ Les caractéristiques de chaque variante :

Tableau III-1 : Les caractéristiques de chaque variante

Variante	Avantages	Inconvénients
Variante 01	<ul style="list-style-type: none"> • Longueur de 15+500 Km. • Trajet plus direct, donc Temps de parcours réduits. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauteurs de déblai très important. • Traverse une zone inondable

Variante 02	<ul style="list-style-type: none"> • Il n'y a pas de zones inondables. • Moyenne en terrassement et remblai et déblai • Plus sécurité • Durée de travail plus courte et coût moindre 	<ul style="list-style-type: none"> • Longueur de 24+000 Km
--------------------	--	---

III.1 Explication du choix de la Variante 02 :

La comparaison entre les deux variantes met en évidence plusieurs éléments clés qui orientent le choix en faveur de la variante 02 :

1. **Moins de déblais importants** : Contrairement à la variante 01, qui présente des hauteurs de déblais très importantes (ce qui engendre des coûts élevés en excavation et en stabilisation), la variante 02 suit un tracé plus doux en termes de relief. Cela permet de réduire les volumes de terre à déplacer, et donc les coûts et les délais de réalisation.
2. **Sécurité accrue** : La variante 01 traverse une zone inondable, ce qui présente un risque majeur pour la pérennité de l'infrastructure, notamment en période de crue. La variante 02 contourne cette zone, assurant une meilleure sécurité hydrologique et minimisant les risques d'interruption d'exploitation.
3. **Meilleure faisabilité technique** : Le tracé de la variante 02 suit un terrain géologiquement plus stable, ce qui simplifie les travaux de fondation et limite les imprévus techniques lors de l'exécution.
4. **Impact environnemental réduit** : En évitant les zones sensibles ou à risque, la variante 02 permet de limiter les atteintes à l'environnement (faune, flore, écosystèmes aquatiques), ce qui facilite également l'obtention des autorisations environnementales.
5. **Compromis acceptable sur la distance** : Bien que la variante 02 soit légèrement plus longue que la variante 01, cette différence est compensée par la facilité des travaux, la réduction des risques techniques et la sécurité accrue.

III.2 Conclusion

La variante 02 représente une solution techniquement plus viable, économiquement plus rentable à moyen terme, et écologiquement plus responsable. Ces éléments justifient pleinement son choix pour la réalisation du projet.

CHAPITRE IV :

ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE

CHAPITRE IV : ÉTUDE GEOMETRIQUE**Introduction :**

L'étude géométrique du tracé de la voie vise à garantir un roulement optimal des trains en minimisant l'usure du matériel et en assurant la sécurité et le confort des passagers. Elle permet de réduire les contraintes mécaniques sur les rails et les roues limitant ainsi les risques de casse pour les wagons de marchandises. De plus, un tracé bien conçu améliore la stabilité des véhicules de voyageurs en évitant les secousses et en optimisant les courbes, les pentes et les dévers.

Enfin, une bonne conception du tracé contribue à une circulation fluide, à une meilleure efficacité énergétique et à une augmentation de la vitesse des trains tout en respectant les normes de sécurité.

IV.1 Trace en plan :

Le tracé en plan d'une voie ferrée ne se limite pas à une ligne dessinée sur une carte. Il s'agit d'un agencement précis d'alignements droits et de courbes, pensé pour épouser les reliefs du terrain, contourner les obstacles et garantir une circulation fluide des trains. Ce tracé reflète un équilibre subtil entre les contraintes techniques, les impératifs de sécurité et le respect de l'environnement traversé.

IV.1.1 Condition à respecter dans le trace en plan :

Pour réaliser un tracé ferroviaire optimal, à la fois économique et techniquement viable, tout en respectant les normes en vigueur, plusieurs recommandations essentielles doivent être prises en compte.

- Respecter le couloir des points topographiques déterminés lors de l'étude APD.
- Les rayons de courbures du tracé doivent avoir des valeurs importantes afin d'éviter l'usure du rail sur lequel circulent ces trains lourds.
- Un excès de devers est minimisé pour assurer aux trains lourds un contact maximal entre les roues et les rails, réduisant ainsi au minimum les problèmes d'usure des rails et des roues.
- Adaptation au Relief : Respecter les territoires traversés en s'adaptant au relief existant (Topographie) pour minimiser les travaux de terrassement et les impacts environnementaux.

- Franchissement des Oueds et des Routes : Éviter autant que possible le franchissement des oueds et des routes afin de limiter la construction d'ouvrages d'art. En cas de nécessité, le franchissement doit être réalisé perpendiculairement au cours d'eau.
- exploiter l'ancienne infrastructure existant
- Respecter les normes de la SNTF.

IV.1.2 Les éléments de trace en plan :

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements, des liaisons et des arcs de cercles comme il est schématisé ci-dessous :

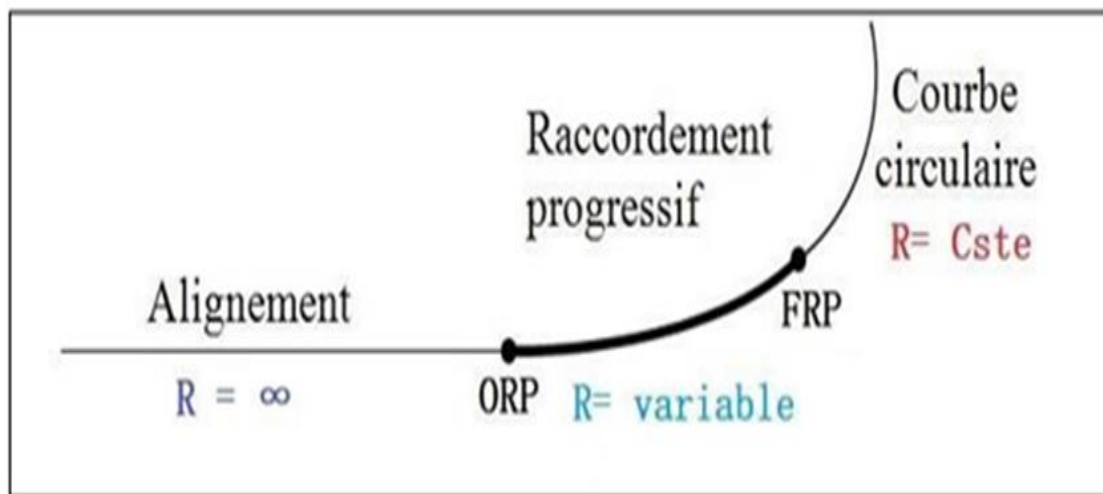


Figure IV-1 : Les éléments du tracé en plan avec les points clés ORP (Origine du Raccordement Progressif) et FRP (Fin du Raccordement Progressif).

IV.1.2.1 L'alignement :

La conception d'une voie ferrée avec plus de longs alignements offre un meilleur confort aux usagers ainsi que leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous permet.

IV.1.2.2 L'arc de cercle :

Le raccordement entre deux lignes droites d'une voie ferrée se fait par des arcs de cercle. Le rayon de ces courbes dépend de la vitesse des trains : plus elle est élevée, plus le rayon doit être grand pour garantir sécurité et confort. Pour éviter le dérapage, il faut un rayon et un dévers adaptés, permettant aux trains de franchir la courbe à la vitesse voyageurs sans risque ni inconfort.

IV.1.2.3 La courbe de raccordement :

C'est la projection de l'axe de la route sur un plan horizontal à une échelle réduite.

Il est constitué en générale par une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés

entre eux par des courbes de raccordements progressifs, Son rôle est d'assurer la bonne condition de sécurité et de confort des usagers tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

IV.1.3 Caractéristiques géométriques :

IV.1.3.1 Vitesses :

➤ Application pour notre projet :

Vitesse voyageurs $V_{voy} = 160 \text{ Km/h}$.

Vitesse marchandises $V_{mar} = 70 \text{ Km/h}$.

IV.1.3.2 Devers :

Le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie.

IV.1.3.3 Devers pratique (dp) :

Le choix du devers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normale de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lente de fret. Ce devers donné à la voie est appelé devers pratique

Se définit par la formule suivante :

$$dp = \frac{1000 \cdot C}{R}$$

- Tel que :

- Le coefficient de dévers :

$$C = 0.006 \cdot V^2_{max}$$

- La valeur de C doit être une multiple de 15 et doit répondre à la relation suivante :

$$0.5 < \frac{C}{0.0118 \cdot V^2_{max}} \leq 0.7$$

IV.1.3.4 Devers théorique (dth) :

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est telle que la résultante du poids du véhicule et de la force centrifuge est perpendiculaire au plan de roulement, l'action de l'accélération transversale est entièrement compensée. Pour obtenir ces conditions, il est nécessaire de surélever la file du rail de grand rayon par rapport au niveau de l'autre, d'une valeur appropriée. Cette valeur appelée dévers théorique.

Se définit par la formule suivante :

$$dth = \frac{11.8 \cdot V^2_{max}}{R}$$

IV.1.3.5 Insuffisance de dévers I :

On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers normal (pratique). Elle est donnée par :

$$I = d_{th} - d_p \text{ (mm)}$$

Pour limiter les effets de la force centrifuge non compensée sur les trains circulant à grande vitesse.

IV.1.3.6 Excès de dévers E :

On appelle excès de dévers, la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique des trains rapide. Il est donné par :

$$E = d_p - d_{th \text{ mar}} \text{ (mm)}$$

Avec cette valeur, on cherche à limiter les efforts transversaux exercés sur la voie par les trains de marchandises circulant à très faible vitesse dans une courbe.

✚ D’après le SNTF, nous résumons les paramètres géométriques de tracé dans le tableau suivant :

Tableau IV-1 : Paramètres géométriques de tracé en plan SNTF

		$d_p \text{ max}$ (mm)	$I \text{ max}$ (mm)	$E \text{ max}$ (mm)	$(dd/dl)_{\text{max}}$ (mm/ml)	$(dd/dt)_{\text{max}}$ (mm/s)	$(dl/dt)_{\text{max}}$ (mm/ml)	$R \text{ min}$	$L \text{ min}$
Formule	Normal	-	-	-	$\frac{180}{V_{\text{max}}}$	-	-	$\frac{11.8 \times V_{\text{max}}^2}{d_{\text{max}} + I_{\text{max}}}$	$\frac{V_{\text{max}}}{2}$
	Exceptionnel	-	-	-	$\frac{216}{V_{\text{max}}}$	-	-	$\frac{11.8 \times V_{\text{max}}^2}{d_{\text{max}} + I_{\text{max}}}$	$\frac{V_{\text{max}}}{3}$
Application	Normal	160	150	110	1.125	50	75	974	80
	Exceptionnel	180	160	130	1.350	60	90	888	53

- Avec :
 - **$d_p \text{ max}$** : Le dévers pratique maximal.
 - **$I \text{ max}$** : L'insuffisance de dévers admissibles.
 - **$E \text{ max}$** : L'excès de devers admissible. - **$R \text{ min}$** : Le rayon minimum.
 - **$L \text{ min}$** : La longueur minimale des éléments de tracé (alignement droit, pleines courbes).
 - **(dd/dl)** : La limite de la variation de dévers par rapport à la longueur.
 - **(dd/dt)** : La limite de la variation de dévers par rapport au temps.

- (di/dt) : La limite de la variation d'insuffisance de divers par rapport au temps.

✓ Rayon minimal Rmin : $\Rightarrow R_{min} = \frac{11.8 \cdot V^2_{max}}{D_{max} + I_{max}} = 974.45 \text{ m}$

Dévers théorique : $\Rightarrow dth = \frac{11.8 \cdot V^2_{max}}{R} = 310 \text{ mm}$

✓ Le coefficient de dévers : $\Rightarrow C = 0.006 \cdot V^2_{max} = 153.6$

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

$\Rightarrow 0.5 < \frac{C}{0.0118 \cdot V^2_{max}} \leq 0.7$, Alors dans ce cas on prend $C = 165$

IV.1.4 Application au notre projet :

Pour une vitesse de 160 Km/h, le rayon minimal normal est de 974 m (Donc tous les rayons du tracé doivent être supérieure au Rmin), correspondant à un dévers max de 160 mm, et d'insuffisance de dévers max de 150 mm.

Pour un rayon R = 2500 m comme exemple pour calculer les dévers et les différents paramètres correspondant à ce dernier :

- Dévers théorique : $\Rightarrow dth = \frac{11.8 \cdot V^2_{max}}{R} = \frac{11.8 \cdot 160^2}{2500} = 120.832 \text{ mm}$

Le dévers pratique : $\Rightarrow dp = d_{th \text{ mar } 0} = 24 \text{ mm}$,

✓ Insuffisance de dévers : $I = dth - dp = 120.832 - 24 = 96.832 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$.

✓ Excès de dévers : $E = dp - dth = dp - \frac{11.8 \cdot V^2_{max}}{R} = 24 - \frac{11.8 \cdot 160^2}{2500} = 00 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$.

• La longueur de clothoïde : $Lrp = \frac{dp}{\frac{d}{dt}} = \frac{24}{\frac{180}{160}} = 21.333$, On prend $Lrp = 100 \text{ m}$

• La variation de dévers en fonction du temps :

$\frac{dd}{dt} = \frac{dp \cdot V_{max}}{3.6 \cdot Lrp} = \frac{24 \cdot 160}{3.6 \cdot 100} = 10.66 < 50 \rightarrow \text{ok}$

• La variation de dévers en fonction de la longueur :

$\frac{dd}{dL} = \frac{dp}{Lrp} = \frac{24}{100} = 0.24 < 1.5 \rightarrow \text{ok}$

• La variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps :

$\frac{di}{dt} = \frac{I \cdot V_{max}}{3.6 \cdot Lrp} = \frac{96.832 \cdot 160}{3.6 \cdot 100} = 43.11 < 75 \rightarrow \text{ok}$

Tableau IV-2 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

/	Formule	Rayons (m)			
		1800	2300	2500	3000
$d_{th \text{ voy}} \text{ (mm)}$	$\frac{11.8 \times V^2_{max}}{R}$	168	132	121	101
$d_{th \text{ mar}} \text{ (mm)}$	$\frac{11.8 \times V^2_{min}}{R}$	33	26	24	20
$d_p \text{ retenu (mm)}$	-	33	26	24	20
Vérification de $d_p \text{ retenu}$	$d_p \text{ adopté} < 160 \text{ mm}$	OUI			
$I \text{ (mm)}$	$d_{th \text{ voy}} - d_p$	135	106	97	81
Vérification de I	$I < 150 \text{ mm}$	OUI			
$E \text{ (mm)}$	$d_p - d_{th \text{ mar}}$	0	0	0	0
Vérification de E	$E < 110 \text{ mm}$	OUI			
$L_{rp} \text{ (m)}$	$\frac{dp}{dd/dl}$	30	24	22	18
$L_{rp} \text{ retenu (m)}$	-	100	100	100	50
$dd/dl \text{ (mm/ml)}$	$\frac{dp}{L_{rp}}$	0.33	0.26	0.24	0.2
Vérification dd/dl	$dd/dl < 1.5$	OUI			
$dd/dt \text{ (mm/s)}$	$\frac{dd \times V_{max}}{dl \times 3.6}$	14.66	11.55	10.66	17.77
Vérification dd/dt	$dd/dt < 50 \text{ mm/s}$	OUI			
$dI/dt \text{ (mm/s)}$	$\frac{dI \times V_{max}}{dl \times 3.6}$	60	47.11	43.11	72
Vérification dI/dt	$dI/dt < 75 \text{ mm/s}$	OUI			

- ✓ NB : le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel Civil 3D 2024 et les éléments du tracé en plan sont annexés au présent document (VOIR ANNEXE A).

R=2300

Les tableaux pour vérification pour SNTF

R=2500

L	V	I	Di/DT	devers	D/ΔTΔ
24	160	106	196.296	26	48.148
30	160	106	15.037	26	38.518
40	160	106	117.777	26	28.888
50	160	106	94.222	26	23.111
60	160	106	78.518	26	19.259
70	160	106	67.301	26	16.507
80	160	106	58.888	26	14.444
90	160	106	52.345	26	12.839
100	160	106	47.111	26	11.555

L	V	I	Di/DT	devers	D/ΔTΔ
22	160	97	195.959	24	48.484
30	160	97	143.703	24	35.555
40	160	97	107.777	24	26.666
50	160	97	86.222	24	21.333
60	160	97	71.851	24	17.777
70	160	97	61.587	24	15.238
80	160	97	53.888	24	13.333
90	160	97	47.901	24	11.851
100	160	97	43.111	24	10.666

R=1800

R=3000

L	V	I	Di/DT	devers	D/ΔTΔ
30	160	135	200	33	48.888
40	160	135	150	33	36.666
50	160	135	120	33	29.333
60	160	135	100	33	24.444
70	160	135	87.714	33	20.952
80	160	135	75	33	18.333
90	160	135	66.666	33	16.296
100	160	135	60	33	14.666

L	V	I	Di/DT	devers	D/ΔTΔ
18	160	81	200	20	49.382
20	160	81	180	20	44.444
30	160	81	120	20	29.629
40	160	81	90	20	22.222
50	160	81	72	20	17.777
60	160	81	60	20	14.814
70	160	81	51.428	20	12.698
80	160	81	45	20	11.111

+ **Interprétation**

Tous les paramètres sont vérifiés par rapport aux valeurs limites normale du référentiel technique de la SNTF.

Tableau IV-3 : Les Contraites le long tracé

Obstacle à franchir		Pk	Ouvrage Projeté / mesures prévues
Intersection avec des routes	RN 6	PK 118+600	Passages supérieurs
Croisement Oued		120+150	Ouvrage hydraulique
		120+875	
		121+050	
		124+191	
		128+862	
		139+388	

Tableau IV-4: Réseaux existants identifiés le long du linéaire projeté

N	PK	TYPE DE RESEAU
1	PK 118+505	FIBRE OPTIQUE
2	PK 118+525	CONDUIT DE GAZ
3	PK 113+595	LIGNE ELECTRIQUE MT
4	PK 119+027	LIGNE ELECTRIQUE MT
5	PK 119+098	LIGNE ELECTRIQUE MT
6	PK 119+452	LIGNE ELECTRIQUE MT
7	PK 139+872	LIGNE ELECTRIQUE MT
8	PK 139+943	LIGNE ELECTRIQUE MT
9	PK 141+560	FIBRE OPTIQUE
10	PK 141+854	FIBRE OPTIQUE

IV.2 Profil en long :

Ce diagramme graphique fournit une vue détaillée des variations d'altitude le long de l'axe du projet, offrant des informations essentielles sur les caractéristiques topographiques du terrain. Dans le contexte des projets ferroviaires, le profil en long joue un rôle fondamental : il guide les ingénieurs dans la conception géométrique du tracé, ainsi que dans la gestion des contraintes hydrauliques et géotechniques.

IV.2.1 Les éléments de composition du profil en long :

❖ Trace de ligne rouge ou ligne du projet :

La trace de la ligne rouge doit reprendre à plusieurs conditions concernant le confort, la sécurité, l'évacuation des eaux pluviales et l'économie et pour cela il faut respecter les règles suivantes :

- Respecter la déclivité maximale qui est de 8‰, Au niveau des gares elle est de 0‰
- Minimiser les quantités de déblai et remblai et les équilibrés.
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux.
- Le rayon minimum en profil en long.
- Minimiser les déplacements de terre pour réduire les coûts et les perturbations environnementales.
- Selon le référentiel SNTF (géométrie de la voie chapitre 6). la déclivité admise varie en fonction de sa longueur :
- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m. elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m. elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰ exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m. la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰

Pour trouver le rayon de courbure vertical minimal R_v à respecter pour garantir le confort des passagers, Pour garantir le confort des passagers à des vitesses inférieures à 220 km/h, l'accélération verticale doit rester en dessous de 0.22m/s^2 , avec une tolérance exceptionnelle jusqu'à 0.31m/s^2 .

En remplaçant les valeurs de A_v dans la formule :

$$R_v = \frac{v^2}{3.6^2 A_v}$$

Tableau IV-6 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF)

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Le rayon minimal des déclivités	$0.35 V^2$	$0.25V^2$

 Application sur le projet :

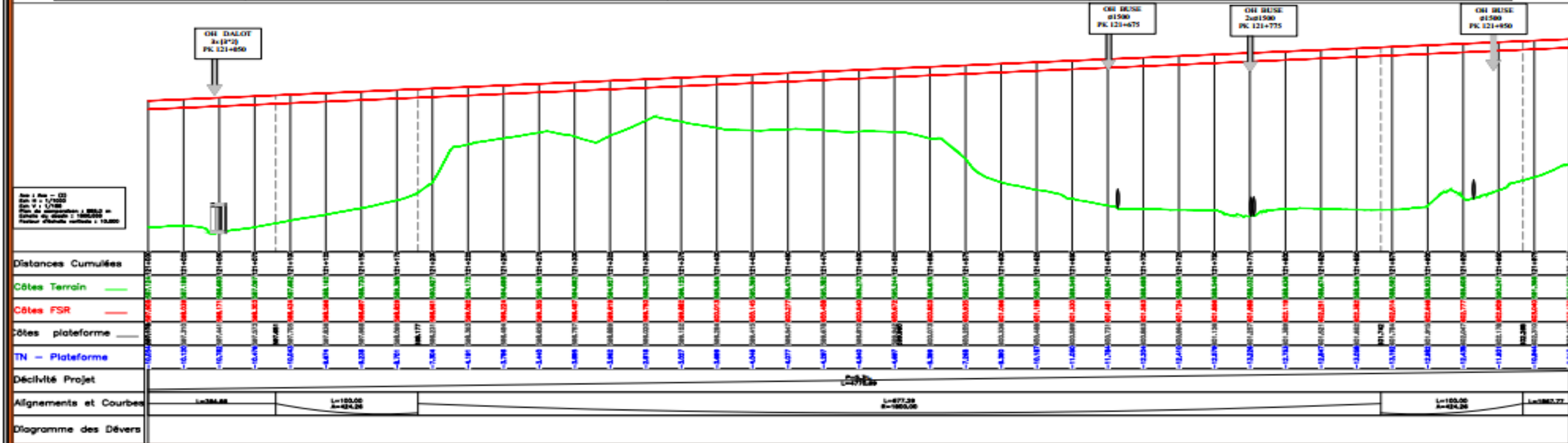
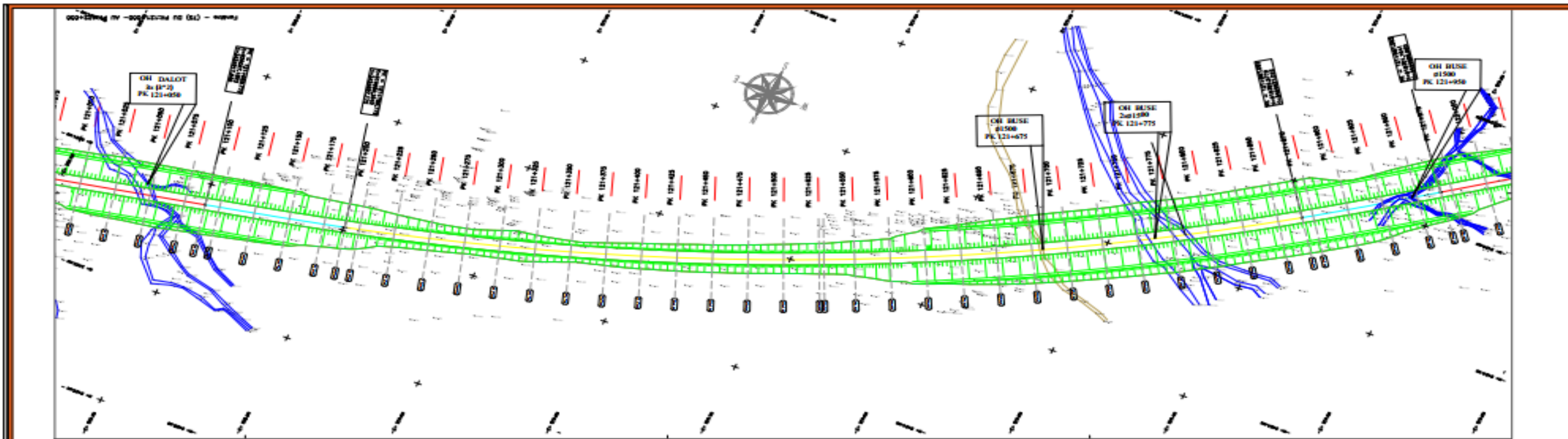
Tableau IV -7 : Paramètres géométriques du profil en long du projet (SNTF)

		Rmin	Lmin
Formule	Normal	$0.35V^2$	$V/2$
	Exceptionnel	$0.25V^2$	$V/2.5$
Application	Normal	8960	80
	Exceptionnel	6400	64

- **Remarque : Dans notre projet nous allons travailler avec les valeurs normales des paramètres géométriques du profil en long (voir ANNEXE B).**

IV.3 Conclusion :

L'étude géométrique constitue une étape déterminante dans la conception des voies ferrées. Elle permet d'optimiser le tracé en plan et le profil en long afin d'assurer à la fois la faisabilité technique, la sécurité, la stabilité structurelle et l'efficacité opérationnelle du projet. Une approche rigoureuse, intégrant les normes et réglementations dès les premières phases, permet non seulement de garantir la conformité légale, mais aussi de réduire les coûts et les impacts environnementaux. Ainsi, une étude géométrique précise et conforme est indispensable pour la réalisation d'infrastructures ferroviaires sûres, durables et performantes.



<p>Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz</p>	PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	Echelle	Année universitaire
	ETUDE APD de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar -Tindouf GHAR DJEBILET du PK 118+000 au PK 142+000 Avec conception GARE « HAMAGUIR »	ACHOUR kheira BELAHOUEL Amine	Mr.H. Siguerdjidjene Mr.H.Kamel	DIB/DMS	1:1000	2024/2025

CHAPITRE V :

**ÉTUDE HYDROLOGIQUE
ET
HYDRAULIQUE**

Chapitre V : Etude hydrologique et hydraulique**Introduction :**

L'étude hydraulique joue un rôle fondamental dans la conception des infrastructures linéaires telles que les voies ferrées, en assurant une gestion efficace des eaux de ruissellement et des crues. Elle permet d'anticiper les interactions entre l'infrastructure et le réseau hydrographique naturel afin de prévenir les risques d'inondation et d'érosion.

Dans cette optique, le rétablissement des écoulements naturels est essentiel pour éviter la formation d'obstacles hydrauliques et préserver l'équilibre du site. L'étude vise à calculer les débits de crue le long du tracé et à dimensionner les ouvrages de drainage transversal nécessaires (ponceaux, buses, dalots), en tenant compte des caractéristiques topographiques et hydrologiques du terrain.

V.1 Situation de la zone d'étude :

La zone d'étude se situe dans la partie sud-ouest de la wilaya de Béchar et englobe les communes d'Abadla et de Mechraa Houari Boumediene. Elle se trouve au carrefour de plusieurs entités administratives et présente les limites territoriales suivantes :

Au nord, elle est bordée par les communes de Béchar, Kenadsa et Meridja, qui constituent des zones plus urbanisées de la wilaya.

- À l'ouest, elle est délimitée par la commune d'Erg Ferradj, caractérisée par un environnement saharien typique.
- À l'est, elle est voisine de la commune de Taghit, connue pour son patrimoine naturel et culturel.
- Au sud, elle est contiguë à la commune d'Igli, marquant la transition vers les zones plus désertiques

V.2 Méthode de calcul :

Le projet d'exécution a été réalisé selon les étapes suivantes :

V.2.1 Étude hydrologique : Cette étape a consisté à déterminer le débit des bassins versants à travers une analyse approfondie des caractéristiques pluviométriques et géographiques de la zone.

V.2.2 Étude hydraulique : Elle a permis le dimensionnement des ouvrages hydrauliques tels que les ponts, les dalots et les buses, en fonction des débits calculés et des contraintes techniques du site.

V.2.1 Etude hydrologique :

L'étude hydrologique que nous allons entreprendre se résume à la détermination de différents apports de différents oueds, ainsi que la détermination des débits de crues. Pour cette étude, ont souligné l'importance des bassins versants, la pluviométrie et les caractéristiques du terrain.

V.2.1.1 Caractéristiques climatiques :

V.2.1.1.1 Perçu climatologique :

Climatologie de la zone d'étude la région d'étude proche de la ville d'Abadla, située dans le sud-ouest de l'Algérie, fait partie d'un environnement aride typique du climat saharien. Ce type de climat se caractérise par une extrême sécheresse, des températures élevées en été, et une faible précipitation annuelle.

-Voici les principaux éléments climatiques de la région :

- Température moyenne annuelle : Environ 25 °C.
- Été : Les températures sont extrêmement élevées, atteignant régulièrement 40 °C à 45 °C durant les mois de juillet et août.
- Hiver : Les températures sont plus modérées, mais peuvent chuter à des minima de 5 °C à 10 °C durant les mois de décembre et janvier. Les gelées sont rares, mais possibles en hiver, notamment la nuit.

V.2.1.1.2 Température :

Le climat de la wilaya de Béchar est de type désertique continental qui se caractérise par un été très chaud (+45°C) et un hiver très froid (2°C à 3°C).

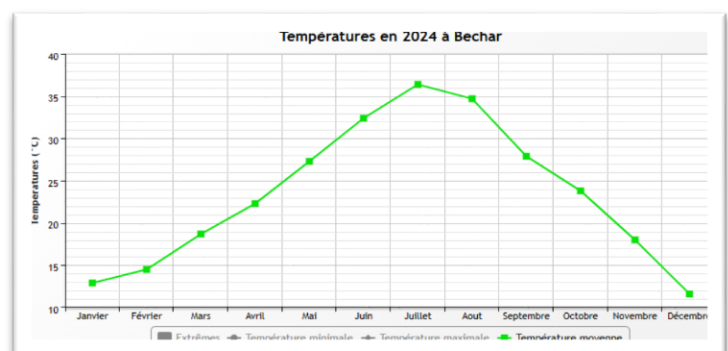


Figure V-1 : Température moyenne annuelle de la station de Béchar

Tableau v-1:Température moyenne annuelle (°c) de la station de la Béchar

MOIS	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
Tmoy (°C)	12,9	14,5	18,7	22,3	27,3	32,4	36,4	34,7	27,9	23,8	18	11,6	23,4

Le tableau montre que les températures entre novembre et avril sont inférieures à la moyenne annuelle, mettant en évidence deux périodes :

- Une période chaude de mai à octobre
- Une période froide caractérisée par des températures basses, le reste de l'année

V.2.1.1.3 Etude des pluies journalières maximales :

L'étude des pluies journalières est basée sur les données observées sur la station pluviométrique de Béchar. La station pluviométrique : Les différents phénomènes météorologiques d'intérêt peuvent être caractérisés pour les besoins de l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau des stations pluviométriques située proche de la zone d'étude.

Tableau V-2 : Les précipitations maximales journalières Source : ONM

Années	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
PJ max (mm)	12,8	56	44,3	11,8	26,6	16,8	9,9	42,4	21,9	2,8	14,6
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PJ max (mm)	8,2	21,9	11,7	23	21,9	84,6	38,3	9,2	18,3	58,8	7,8
Années	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
PJ max (mm)	69,7	19	23,7	11,3	12,9	14	6,4	5,8	12,6		

Tableau V-3 : Pluies journalières maximales fréquentielle

Période de retour	Fréquence au non dépassent	PJ max (mm)
10 ans	0,9	50,1
20 ans	0,95	61,4
50 ans	0,98	76
100 ans	0,99	86,9

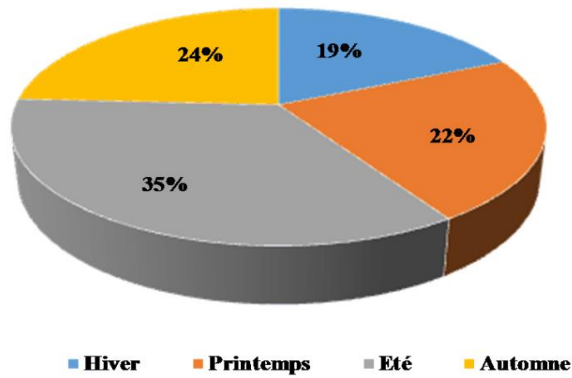


Figure V-2 : Variations précipitations saisonnière

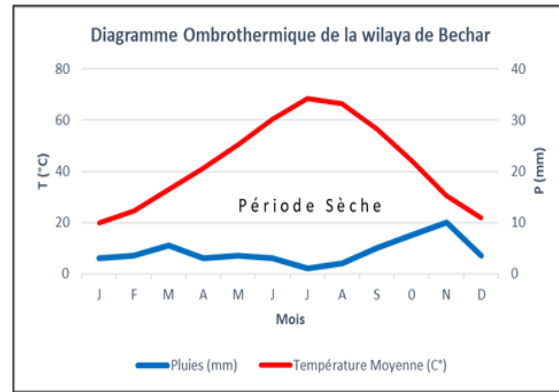


Figure V-3 : Diagramme Ombrothermique de la wilaya Bechar

Tableau V-4 : Précipitations moyennes mensuelles

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aou	sep	oct	nov	Dec
pluies	6	7	11	6	7	6	2	4	10	15	20	7

V.2.2 Les défèrent type de Bassin :

V.2.2.1 Bassin d'oued Saoura :

L'oued Saoura commence à Iglil au confluent du Guir, Bechar et de la Zousfana, descendus respectivement du Haut Atlas Marocain et de l'Atlas Saharien. Les crues de l'oued Saoura favorisant la présence et le maintien de la qualité des eaux et des sols. Passant par la région de Béni Abbés ou le lit de l'oued devenu plus large terminer dans une cuvette fermée appelé la Sebkhia el Mellah, par l'intermédiaire de l'oued Es Souireg qui descend vers le Nord-Ouest à la sortie du Foug el Kheneg.



Figure V-4: Bassin d'oued Saoura

V.2.2.2 Bassin d'oued guir :

Oued Guir est le plus important cours d'eau du bassin de la Saoura de 450 km de longueur. Il prend naissance à 2200 m d'altitude dans le Djebel Aichi (versant méridionale de l'Atlas marocain). Le Guir draine un bassin dont la surface avoisine 27000 km² les eaux sont totalement perdues dans les zones désertiques ou elles provoquent des inondations et parfois des dégâts aux palmeraies. Pour une

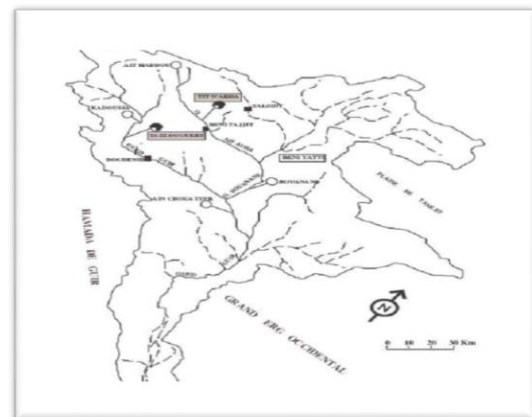


Figure V-5 : Bassin d'oued guir

meilleure gestion de ces eaux, et pour un but de développer le domaine agricole et industriel de la vallée de la Saoura, un barrage a été construit en 1969 à Djorf Torba à 50km, en amont d'Abadla. La capacité de ce barrage est d'environ 360 millions de m3.

V.2.2.3 Bassin d'oued bechar :

L'oued Bechar prend sa source vers 1600m d'altitude dans le Djebel Grouz. Il draine une surface de 5800 km2 environ. Il est situé au pied du versant sud de l'Atlas Saharien. Cet Oued descend rapidement sur la Hamada ou il reçoit de nombreux Affluents venant des djebels Horreit et Bechar dont le plus important est l'oued Sfeiah. Après un parcours d'une centaine de km, il va se perdre dans la Dait Tior.

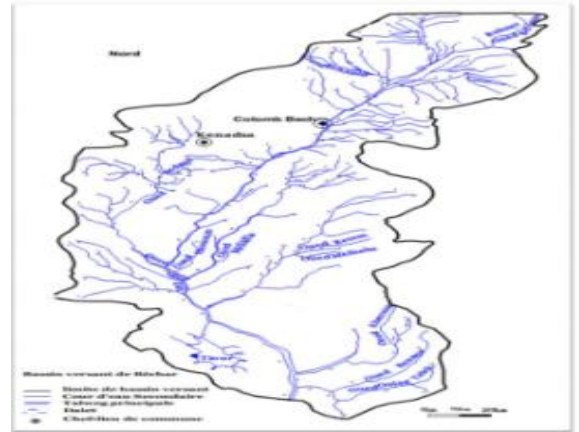


Figure V-6 : Bassin d'Oued Bechar

V.2.2.4 Bassin d'oued zouzfana :

Cet affluent du Guir descend de l'Atlas saharien d'où il prend sa source à 1600 m d'altitude à l'extrémité occidentale des monts des Ksour. Son bassin versant s'étend sur une surface de 16 600 km2. L'Oued Zouzfana suit un parcours de 360 Km. Son principal affluent est l'oued Zoubia. A l'aval, le cours d'eau très dégradé fonctionne comme un canal de dérivation.

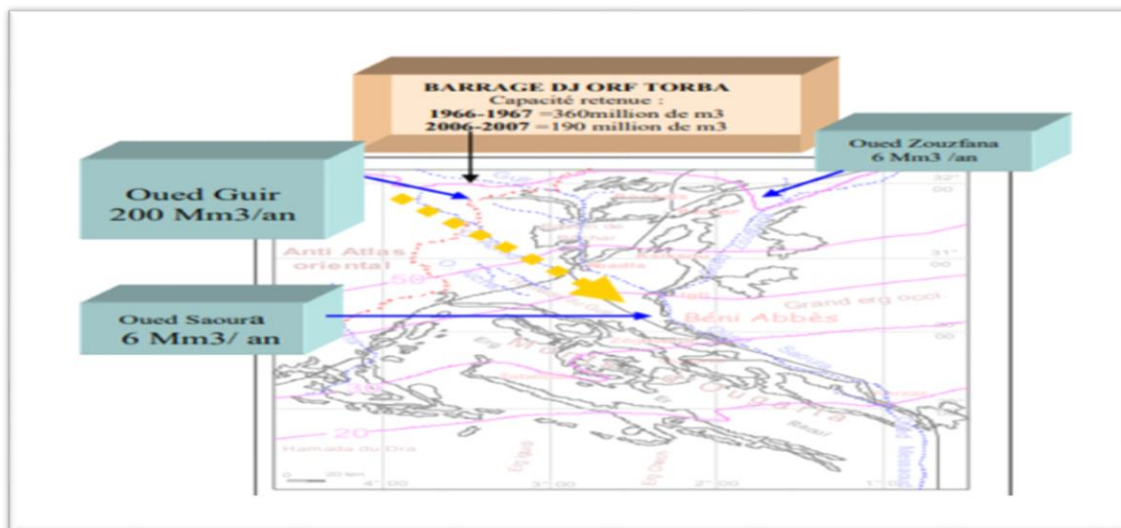


Figure V-7 : Bassin d'Oued Zouzfana

V.2.3 Cartographie :

Les données topographiques disponibles pour l'étude d'exécution proviennent de différentes cartes d'état-major et de la restitution faite à partir d'un levé topographique. Dans notre étude ont été utilisés les cartes d'état-major permettant la délimitation des bassins versants.

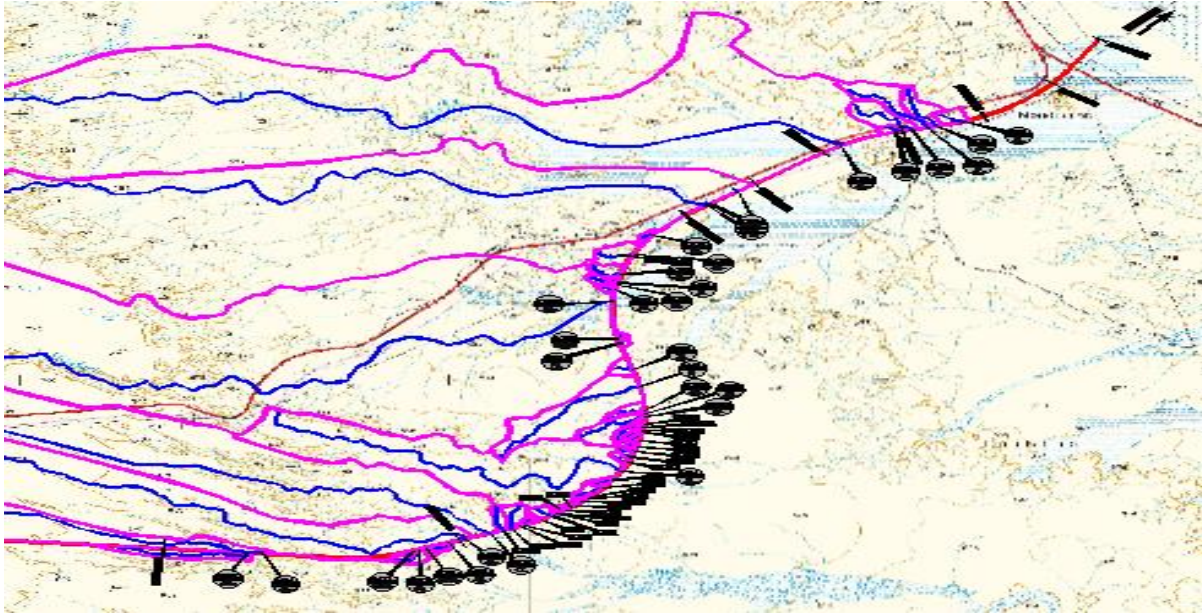


Figure V-8 : Délimitation des bassins versants sur les cartes d'état-major

V.2.3.1 Limite des bassins versants :

Le bassin versant se définit comme une surface recevant les eaux qui alimentent une partie ou la totalité d'un cours d'eau. Les caractéristiques les plus importantes sont récapitulées ci-après :

- S [Km²] : Superficie du bassin versant (km²) : C'est une aire délimitée par des lignes de crête, dans laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire.
- P [Km] : Périmètre du bassin : c'est la longueur de la ligne de contour des bassins versants
- L_w [Km] : La longueur (L) du cours principal, Longueur du plus long cours d'eau
- H_{max} [m] : Hauteur maximale (m)
- H_{moy} [m] : Hauteur minimal (m)
- I [m/m] : La pente
- T_c [h] : Le temps de concentration

Pour le temps de concentration (T_c), la formule de de calcul a été choisie en fonction de la superficie du bassin versant :

✓ Superficie inférieure à 5km² : La formule de VENTURA :

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

- T_c : Temps de concentration en heure
- S : Surface du bassin versant en km^2
- P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

✓ **Superficie comprise entre 5 et 25 km^2** : la formule de **PASSINI** :

$$T_c = 0.11 \frac{\sqrt[3]{S.L}}{\sqrt{I}}$$

- T_c : temps de concentration (heures)
- L : longueur du talweg (km)
- P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m)
- S : Surface du bassin (km^2)

✓ **Superficie Supérieure à 200 km^2** : La formule de **GIANDOTTI** :

$$T_c = \frac{4\sqrt{5} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

- L : Longueur du cours d'eau principal en km
- S : Surface du bassin versant en km^2
- $H = H_{max} - H_{min}$
- T_c : Temps de concentration en heure
- I (%) : Pente moyenne du bassin versant en (m/m)
- L : Longueur du cours d'eau principal en km

V.2.3.2 Calcul de l'intensité de pluie :

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est la suivante :

$$I = a T_c^b$$

- I : Intensité de la pluie (mm/h)
- T_c : Temps de concentration
- a et b : Paramètres climatique

Tableau V-5 : Paramètres a et b des Courbes IDF pour la région de l'étude

Période de Retour T (ans)	$I = aT_c^b$		
	a	b	I (mm/h)
10	30.2	-0.76	5.248
20	33.1	-0.76	3.396
50	36.9	-0.76	1.887
100	39,8	-0.76	1.202

V.2.3.3 La Pente :

La pente est souvent exprimée sous forme de pente hydraulique ou pente du talweg. Selon la formule suivante :

$$I = \frac{H}{L}$$

- I est la pente (sans unité ou en m/m),
- H est la différence d'altitude entre le point le plus élevé du bassin et l'exutoire (en mètres)
- L est la longueur hydraulique ou longueur du cours d'eau principal (en mètres).

Tableau V-6 : Caractéristiques morphométriques des bassins

PK	N° : BV	Surface (km ²)	Lw (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	I (m/m)	Tc (h)
120+150	BV.01	18.19	10.29	709	595	0.011	5.87
120+250	BV.02	0.170	0.49	618	603	0.031	0.30
120+875	BV.03	39.66	19	736	605	0.007	15.97
121+050	BV.04	1.02	2.2	651	614	0.017	0.99
121+675	BV.05	0.07	0.6	622	617	0.008	0.37
121+775	BV.06	0.23	0.94	632	617	0.016	0.48
121+950	BV.07	0.025	0.36	628	619	0.025	0.13
123+950	BV.08	3.55	5.5	665	662	0.007	2.84
124+250	BV.09	0.1	0.46	622	615	0.015	0.32
129+550	BV.10	7.04	8.1	708	631	0.010	4.26
130+132	BV.11	63.04	29.6	796	632	0.006	19.26
133+425	BV.12	0.07	0.48	657	642	0.075	0.12
134+050	BV.13	3.47	5.30	709	672	0.007	2.83
136+350	BV.14	0.26	1.65	694	674	0.012	0.59
137+750	BV.15	35.75	17.55	796	723	0.004	20.86
140+238	BV.16	0.12	0.66	808	787	0.0323	0.25

V.2.4 Calcul du débit des bassins versants

V.2.4.1 Méthode rationnelle :

$$Q_{100} = \frac{C \times I \times S}{3.6}$$

- Q100 : Débit de point de crue pour 100 ans en (m³/s).
- i : Intensité de précipitation pour le temps de concentration du bassin versant (mm/h).
- S : Aire du bassin versant qui contribue pour la section objet d'étude (km²).
- Cr : Coefficient de ruissellement.
- ✓ Pour la détermination du coefficient du ruissellement Cr, nous avons opté pour la méthode de KENESSEY : $Cr = C1 + C2 + C3$
- ✓ Choix du coefficient de ruissellement : est la somme de trois (03) coefficients partiels :
 - Coefficient C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

- Coefficient C2 : dépendant de la nature du sol.
- Coefficient C3 : dépendant de la couverture v.
- ✓ C1 : dépend de la pente du cours d'eau principal (I), il varie :

Tableau V-7 : Valeur de C1

PENTE	C1		
	≤ 3,5%	0,01	0,03
ENTRE 3,5 et 11 %	0,06	0,08	0,10
ENTRE 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
a 35 %	0,22	0,26	0,30

- ✓ C2 : dépend de la perméabilité du terrain, il varie :

Tableau V-8 : Valeur de C2

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

- ✓ C3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant, il varie :

Tableau V- 9: Valeur C3

Couverture végétale	C3		
	Rocheux	0,22	0,26
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

V.2.4.2 La méthode Crupedix :

- La méthode Crupedix permet l'estimation du débit de pointe décennal Q10.
- Q10 [m3/s] : Débit de crue instantané de fréquence décennale.
- S [Km²] : Superficie du bassin versant.
- P10 [mm] : pluie journalière de période de retour décennale.
- R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement que l'on prendra ici égal à 1.

Tableau V-10 : Les débits maximaux centennaux des oueds

PK	N° : BV	I (mm/h)	C1	C2	C3	C10	C100	Ptc (mm)		I (mm/h)		Q 10 (m3/s)		Q 100 (m3/s)	
								10	100	10	100	Rationnel	Crupédix	Rationnel	Crupédix
								120+150	BV.01	0.011	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70
120+250	BV.02	0.031	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	22.76	39.47	76.04	131.89	2.19	/	4.36	/
120+875	BV.03	0.007	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	46.56	80.76	2.92	5.06	19.59	6.41	39.00	25.84
121+050	BV.04	0.017	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	28.22	48.95	28.53	49.49	4.93	/	9.82	/
121+675	BV.05	0.008	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	23.62	40.97	64.17	111.30	0.76	/	1.51	/
123+040	BV.06	0.016	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	24.80	43.01	51.43	89.20	2.00	/	3.99	/
123+398	BV.07	0.025	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	19.50	33.83	153.5	266.36	0.65	/	1.29	/
124+191	BV.08	0.007	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	34.12	59.19	12.01	20.83	7.22	/	14.38	/
125+192	BV.09	0.015	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	23.03	39.95	71.79	124.84	1.22	/	2.12	/
126+142	BV.10	0.010	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	36.71	63.67	8.61	14.93	10.27	/	20.44	/
126+432	BV.11	0.006	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	48.15	83.52	2.50	4.34	26.71	9.97	53.17	36.43
127+064	BV.12	0.075	0.08	0.3	0.26	0.64	0.71	19.30	33.48	160.8	279.03	0.57	/	1.10	/
128+862	BV.13	0.007	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	34.10	59.15	12.04	20.89	7.08	/	14.09	/
129+022	BV.14	0.012	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	25.70	44.58	43.69	75.78	1.92	/	3.83	/
139+388	BV.15	0.004	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	48.85	84.73	2.34	4.06	14.19	6.52	28.24	20.57
140+238	BV.16	0.032	0.05	0.3	0.26	0.61	0.70	22.03	38.22	88.12	152.85	1.79	/	3.11	/

V.2.4.3 Calcul de débit :

➤ Méthode Rationnelle : ($A \leq 10 \text{ km}^2$) $\implies Q = \frac{Cr \times I \times A}{3.6}$

• Calcul d'intensité de Pluie : $\implies I = \frac{Ptc}{Tc}$

• Calcul de $Ptc = PJ \max \times \left(\frac{Tc}{24}\right)^b$, avec $b=0.18$, Pour $T=10$ ans

$\implies PJ \max = 50.1 \text{ mm}$

• $Ptc = 50.1 \times \left(\frac{0.32}{24}\right)^{0.18} = 23.03$ et $I = \frac{Ptc}{Tc} = \frac{23.03}{0.32} = 71.97 \text{ mm/h}$

• Pour $T=10$ ans $\implies PJ \max = 86.9 \text{ mm}$ et $Ptc = 86.9 \times \left(\frac{0.32}{24}\right)^{0.18} = 39.95$

• $I = \frac{Ptc}{Tc} = \frac{39.95}{0.32} = 124.84 \text{ mm/h}$

• Pour $T=10$ ans $\implies Q = \frac{Cr \times I \times A}{3.6} = \frac{0.61 \times 71.97 \times 0.1}{3.6} = 1.22 \text{ m}^3/\text{s}$

• Pour $T=100$ ans $\implies Q = \frac{Cr \times I \times A}{3.6} = \frac{0.61 \times 124.84 \times 0.1}{3.6} = 2.115 \text{ m}^3/\text{s}$

V.3 Etude hydraulique :

V.3.1 Choix de la crue de projet :

Les périodes de retour à utiliser dans le calcul, constituent le premier pas de l'étude d'hydrologie et hydraulique. Ces périodes de retour sont directement en relation avec les risques pouvant être assumés par l'infrastructure. Le dimensionnement de tous les ouvrages hydrauliques des cours d'eau (buses, dalots et ponts) est calculé pour la crue centennale (100ans).

V.3.1.1 Standardisation de la dimension des ouvrages hydrauliques :

Il ressort que la standardisation des ouvrages hydrauliques mineurs permet de faciliter les travaux de mise en œuvre des ouvrages et, par conséquent, les coûts de construction sont réduits. La dimension standardisée des ouvrages projetés est récapitulée comme suit :

- Buse : $\varnothing 1500 \text{ mm}$.
- Dalot : $3.0 \times 2,0 \text{ mètre}$
- Les ouvrages hydrauliques ont été dimensionnés à l'aide du logiciel Civil 3D et selon la méthode de Manning-Strickler."

Les ouvrages hydrauliques ont été déterminés à partir du logiciel Civil 3D.

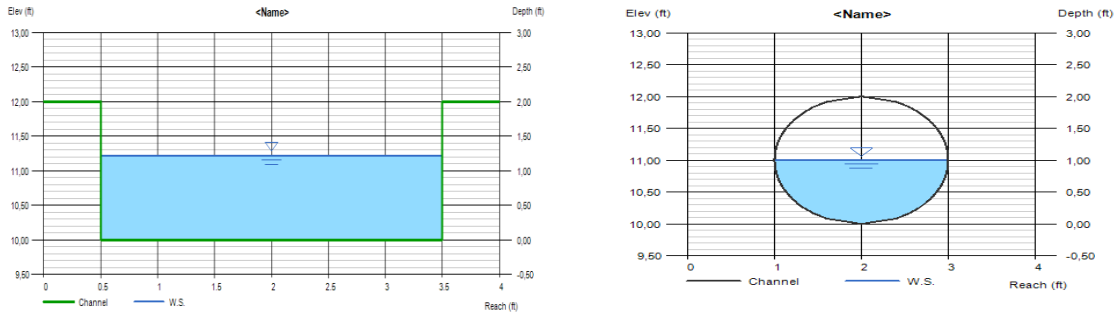


Figure V-9 : Ouvrage hydraulique à partir du logiciel Civil 3D.

V.3.1.2 Méthode de Delorme :

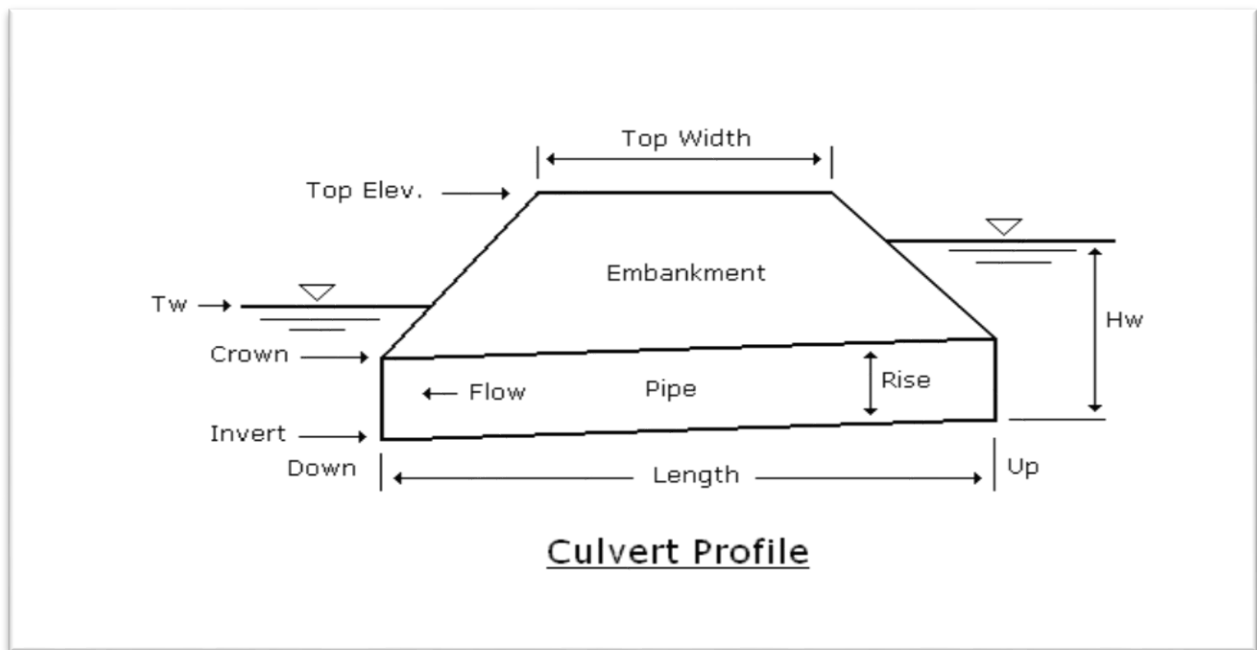


Figure V- 10 : Profil type ouvrage courant (Buse ou Dalot)

La méthode de Delorme est une méthode empirique utilisée principalement en hydrologie routière pour le dimensionnement des ouvrages de franchissement, tels que les dalots et les buses. Elle permet d'estimer le débit de crue à évacuer, sans passer par une étude hydrologique complète.

➤ Méthode de Delorme :

✓ Cas de Buse : $Q_c = 1.23 \times D^{2.5} \implies Q_c = 1.23 \times \left(\frac{1500}{1000}\right)^{2.5} = 3.39$

• Pour (n= 1) : nombre d'ouvrage = 3.39

• Pour (n= 2) = 6.78

✓ DALOT : $Q_c = 1.5 \times L \times H^{\frac{4}{3}} \implies Q_c = 1.5 \times 3 \times 2^{\frac{4}{3}} = 11.34$

• Pour (n= 1) $\implies 11.34$

- Pour (n= 2) \implies 22.68
- $Q_s > Q_{100}$

Tableau V-11 : Dimensionnement buses et dès les Dalots

N° BV	PK	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Type de l'ouvrage	Dimension
BV.01	120+150	22.63	Dalot	3x (3*2)
BV.02	120+250	4.36	Buse	2xØ 1500
BV.03	120+875	25.84	Dalot	3x (3*2)
BV.04	121+050	9.82	Dalot	3*2
BV.05	121+675	1.51	Buse	Ø 1500
BV.06	123+040	3.99	Buse	2xØ 1500
BV.07	123+398	1.29	Buse	Ø 1500
BV.08	124+191	14.38	Dalot	2x (3*2)
BV.09	125+192	2.12	Buse	2xØ 1500
BV.10	126+142	20.44	VIADUC	736 m
BV.11	126+432	36.43	VIADUC	736 m
BV.12	127+064	1.10	Buse	Ø 1500
BV.13	128+862	14.09	Dalot	2x(3*2)
BV.14	129+022	3.83	Buse	2xØ 1500
BV.15	139+388	20.57	Dalot	2x(3*2)
BV.16	140+238	3.11	Buse	2xØ 1500

- pour justifier la décision de construire un viaduc à un point kilométrique (PK 126+142) et PK 126+432
- Justification technique du choix d'un viaduc au PK 126+142 et PK 126+432

Le profil en long indique une différence d'altitude comprise entre **20 et 23 mètres** entre le terrain naturel (TN) et le profil projeté. La réalisation d'un **remblai** pour atteindre ce niveau nécessiterait un volume estimé à **200 000 m³**.

De plus, la **pente maximale admissible** sur cette section (vérifiée à 8 %) ne permet pas d'envisager un contournement ou une solution alternative en remblai sans dépasser les limites réglementaires ou sans allonger significativement le tracé.

La zone est également traversée par un **ruisseau classé**, présentant des **enjeux écologiques sensibles** (continuité hydraulique, habitat faunistique).

Tableau V-12 : Dimensionnement de VIADUC

N° BV	PK	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Type de l'ouvrage	Dimension
BV.10	126+142	20.44	VIADUC	736 m
BV.11	126+432	36.43	VIADUC	736 m

V.3.2 Dimensionnement des ouvrages de drainage transversaux :

V.3.2.a Dimensionnements des buses :

➤ Méthode de Manning-Strickler : $Q_{ps} = K_s S_m R_h^{2/3} I^{1/2}$

Avec :

- Q_s [m³/s] : Débit de saturation de l'ouvrage.
- K_s : Coefficient de rugosité pour le béton K_s=70.
- S_m [m²] : Section mouillée de l'ouvrage hydraulique.
- R_h [m] : Rayon hydraulique.
- I [m/m] : Pente longitudinale de l'ouvrage.

Les dimensions sélectionnées pour les ouvrages sont celles qui satisfont aux deux critères suivants : $Q_{100} < Q_{ps}$

Avec : Q₁₀₀ : débit d'apport (de projet Q_{max}) , Q_{ps} : le débit de saturation de l'ouvrage.

V.3.2.b Les conditions d'auto-curage :

L'auto-curage désigne la capacité intrinsèque d'un réseau d'assainissement à déplacer les particules solides. Ainsi, un bon auto-curage nécessite que la capacité de transport des particules solides soit suffisante pour prévenir leur sédimentation et leur accumulation dans le système.

Ces conditions sont les suivantes :

- $V > 0.6 \text{ m/s}$ pour : $Q = 0.1 Q_{ps}$
- $V > 0.3 \text{ m/s}$ pour : $Q = 0.01 Q_{ps}$
- $V_{ps} < 4 \text{ m/s}$

V.3.2.c Dimensionnement des buses

➤ Exemple de calcul :

Prenons le BV N05 : Q_{max} = 1.51m³/s ; K_s = 70, I = 0.008 m/m

$$D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q_{max(100)}}{k_s \times \pi \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}} \rightarrow D = 1.342m.$$

On adopte un diamètre commercial : D = 1.5 m.

Taux de remplissage Tr = 80 , h = 1.2m

Avec $\rightarrow \theta = 2 \arccos (1 - 2h / D)$

$$S_m = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta) = 1.52 m^2 ; P_m = \frac{1}{2} \theta D = 3.32m , R_h = \frac{S_m}{P_m} = 0.46 m$$

$$Q_{ps} = K_s S_m R_h^{2/3} I^{1/2} ; Q_{ps} = 5.62 (m^3/s)$$

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} \rightarrow V_{ps} = 3.72$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.1 \rightarrow r_v = 0.64 ; V = V_{ps} \times r_v = 3.72 \times 0.64 = 2.3808m/s > 0.6 m/s$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.01 \rightarrow \text{donc } r_v = 0.32 ; V = V_{ps} \times r_v = 3.72 \times 0.32 = 1.1904m/s > 0.3 m/s$$

Tableau V-13 : Dimensionnement des buses

N°BV	PK	Q100 (m ³ /s)	Pente (%)	Ks	Dcal (m)	Dimension de l'ouvrage			hrem plissag e (m)	Sm (m)	Pm (m)	Rh (m)	Qps (m ³ /s)	Vps	V	V	Vérification
						< 4 m/s	>0.6 m/s	>0.3 m/s									
BV.02	120+250	4.36	1	70	2.048	Buse	∅	2x1500	2.4	3.97	7.067	0.562	21.87	3.6	2.304	1.152	OUI
BV.05	121+675	1.51	1	70	1.342	Buse	∅	1500	1.2	0.994	3.533	0.281	5.62	3.71	2.374	1.1872	
BV.06	123+040	3.99	0.7	70	1.981	Buse	∅	2x1500	2.4	3.97	7.067	0.5617	21.87	3.6	2.304	1.152	
BV.07	123+398	1.29	1	70	1.265	Buse	∅	1500	1.2	0.994	3.533	0.281	5.26	3.47	2.2208	1.1104	
BV.09	125+192	2.12	1	70	1.53	Buse	∅	2x1500	2.4	3.97	7.067	0.5617	21.87	3.6	2.304	1.152	
BV.12	127+064	1.10	2.5	70	1.192	Buse	∅	1500	1.2	0.994	3.533	0.281	5.26	3.47	2.2208	1.1104	
BV.14	129+022	3.83	0.8	70	1.961	Buse	∅	2x1500	2.4	3.97	7.067	0.5617	21.87	3.6	2.304	1.152	
BV.16	140+238	3.11	0.7	70	1.760	Buse	∅	2x1500	2.4	3.97	7.067	0.5617	21.87	3.6	2.304	1.152	

V.3.2.d Dimensionnement des dalots :

➤ Exemple de calcul :

Prenons le BV N04 : Qmax =22.63 m3/s ; Ks = 70 ; I = 0.006 m/m ; B=3m ; H = 2 m.

Le dalot retenu (B x H) = (3m x 1m).

$$S_m = B \times H \times 0.75 = 4.5 \text{ m}$$

$$P_m = (B + H \times 0.75) \times 2 = 7.5 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = 0.6 \text{ m}$$

$$Q_{ps} = K_s I^{1/2} S_m R_h^{2/3} = 70 \times 0.01^{1/2} \times 4.54 \times 0.75 = 15.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau V-14 : Dimensionnement des dalots

N° BV	PK	Q100 (m3/s)	Ks	Pente (%)	Dimension de l'ouvrage				h _{remplissage} (m)	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	Qps	Vps	V	V	Verification
					B	x	H	n									
BV.01	120+150	22.63	70	0.4	3	x	2	3	1.5	13.5	22.5	0.6	42.52	3.149	2.015	1.01	OUI
BV.03	120+875	25.84	70	0.5	3	x	2	3	1.5	13.5	22.5	0.6	47.54	3.521	2.253	1.126	
BV.04	121+050	9.82	70	0.5	3	x	2	1	1.5	4.5	7.5	0.6	15.5	3.522	2.254	1.127	
BV.08	124+191	14.38	70	0.4	3	x	2	2	1.5	9	15	0.6	21.45	2.383	1.525	0.762	
BV.13	128+862	14.09	70	0.4	3	x	2	2	1.5	9	15	0.6	22.45	2.494	1.596	0.798	
BV.15	139+388	20.57	70	0.6	3	x	2	2	1.5	9	15	0.6	31.05	3.45	2.208	1.104	

V.3.3 Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (Les fossés) :

V.3.3.1 Drainage longitudinal :

Le drainage longitudinal est dimensionné pour les eaux de la plateforme et des talus adjacents du déblai et du remblai de notre projet. On a privilégié un système de drainage à ciel ouvert avec une géométrie trapézoïdale, les fossés de drainage longitudinal sont revêtus en terre pour faciliter leur curage et assurer leur durabilité.

Le drainage longitudinal consiste à implanter les dispositifs de drainage (fossé) suivant la nécessité et suivant les caractéristiques du terrain naturel au droit de la plateforme.

✓ Le matériau des fossés :

- En terre
- En béton : dans les déblais et Les zones ou la pente supérieure à 3.5%

V.3.3.2 Objet des fossés :

1. Fossé de pied de déblai :

Ce fossé a pour objectif de drainer l'eau tombée sur la plate-forme et sur les talus en déblai.

L'eau collectée est ensuite évacuée en dehors de la plate-forme, soit vers un ouvrage de drainage transversal, soit par l'intermédiaire d'autres dispositifs de drainage longitudinal.

2. Fossé de tête de talus de déblai (ou fossé de crête) :

Ce type de fossé sert à capter et canaliser les eaux provenant des zones adjacentes aux déblais, afin de les diriger vers un lit naturel ou un ouvrage de drainage. Dans certains cas, il peut également recueillir les eaux provenant du fossé de pied de remblai. Ainsi, on évite que le ruissellement issu de ces zones atteigne la plate-forme ou les talus en déblai

3. Estimations empiriques des débits à évacuer :

Calcul du débit à évacué Q_{ev} La méthode rationnelle est la méthode de transformation pluie-débit la plus connue et la plus utilisée, Cette méthode exprime le débit maximum en fonction de la superficie, de l'intensité de la précipitation ainsi que du temps de concentration (T_c) du bassin (que l'on définit comme étant le temps requis pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus en amont du bassin arrive jusqu'à l'exutoire). Elle utilise les hypothèses suivantes :

- ✓ L'intensité de la pluie est constante et est généralisée sur tout le bassin
- ✓ La durée de l'averse excède le temps de concentration T_c

V.3.3.3 Calcul des débits d'apport :

Pour le calcul hydraulique de fossé, la formule de Manning Strickler a été utilisée :

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

Avec :

$$b = 0.5\text{m} ; h = 0.5\text{ m} ; z = 0.707\text{m}$$

$$S_m = (b + z \times h) \times h = 0.4267\text{ m}^2$$

$$P_m = b + 2h \cdot \sqrt{1 + z^2} = 1.724\text{ m}$$

Tableau V-15 : Dimensions du faussé adopté

b	h	z	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	K_s	I (m/m)	Q_{ps} (m^3/s)	V_{ps} < 4m/s
0.5	0.5	0.707	0.4267	1.724	0.247	70	0.02	1.663	3.89

- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus
 $Q_a = Q_{pf} + Q_t + Q_B$
- La pente des fossés en zone de déblai correspond à celle du profil en long de la voie
- Dans les calculs de débit, on considère le cas le plus défavorable : quand il y a un déblai qui s'étend sur une grande distance avec une hauteur importante.

Nous calculons chaque débit en appliquant la méthode rationnelle : $Q=0.278 \times Cr \times I \times A$ [m³/s]

Cr : Coefficient de ruissellement

I [m/m] : Pente longitudinale

A [Km²] : Surface du bassin versant considéré (la plateforme -les talus – la berme)

C : coefficient des chaussées et partie revêtues

Tableau V-16 : coefficient de ruissellement

Couvertures	Coefficient de ruissellement
Plateforme	0.8
Talus	0.4
Bassin versant naturel	0.6

Tableau VI. 16 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de et déblai

		CAS DÉBLAI		
		Le cas plus défavorable : H _{max} =3.2m Longueur = 763.22m Largeur de la plateforme = 6.8m		
	Formule	Plateforme	Talus	Bermes
S (Km ²)	A = d × l	0.005189	0.03442	0.001236
P [m/m]	-	0.04	2/3	0.05
Cr	-	0.8	0.4	0.4
Tc [h]	$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$	0.0457	0.02885	0.01996
I [mm/h]	$I = a \times t^{-b}$ Avec : a = 28.2 ; b= 0.76	294.2	417.38	552.23
Q [m ³ /s]	$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$	0.340	1.03	0.0759
Q _{total} [m ³ /s]	Q _{pf} + Q _T + Q _B	1.4459		
Q _{ps} [m ³ /s]	$Qps = Ks Sm Rh^{2/3} I^{1/2}$	1.663		
Vérifications	Q _{ps} > Q _{total}	Oui		
	V _{ps} < 4m/s	Oui		

➤ Les dimensions des fossés ont été choisies en fonction des conditions suivantes :

- Q_{total} < Q_s
- V_{ps} < 4m/s

➤ Le fossé choisi pour notre projet est le suivant : **b = 0.5m ; h = 0.50 m**

V.4 Conclusion :

Ce chapitre a traité de l'analyse hydrologique et hydraulique essentielle à la sécurité et à la stabilité de notre projet. Nous avons évalué les caractéristiques des bassins versants ainsi que les débits d'eau, et dimensionné les infrastructures hydrauliques transversales et longitudinales. Ce chapitre nous a permis d'appliquer les connaissances acquises tout au long de notre formation, notamment dans le domaine du calcul hydraulique.

Nous avons ainsi retenu l'importance cruciale d'une étude hydraulique minutieuse pour dimensionner correctement les ouvrages hydrauliques de notre projet, afin de réduire les risques d'inondation et d'assurer la sécurité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire, en conformité avec les normes de dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

CHAPITRE VI :

**ÉTUDE GÉOLOGIQUE
ET GÉOTECHNIQUE**

CHAPITRE VI : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Introduction :

Cette étude géotechnique et géologique vise à analyser les sols et formations rencontrés afin de garantir la stabilité et la durabilité d'une voie ferrée. Elle permet d'identifier les risques potentiels tels que les glissements de terrain, les tassements, la remontée de nappe ou la dissolution des gypses, et d'évaluer l'interaction entre le sol et la structure. Grâce à des investigations de terrain, des essais en laboratoire et l'analyse des données collectées, elle détermine des paramètres clés comme la capacité portante, la perméabilité et la résistance à l'érosion. Ces informations sont essentielles pour concevoir des fondations, remblais et talus adaptés, assurant ainsi la fiabilité de l'infrastructure ferroviaire.

✓ Cette étude a pour but :

- Déterminer et analyser les différents sols de plateforme rencontrés le long du tracé afin de cerner au mieux les problèmes relatifs aux terrassements.
- Déterminer les caractéristiques des sols sous les ouvrages de franchissement et en déduire les solutions idoines de fondation.
- Evaluer les profondeurs de purge des sols de faible portance (sols compressibles) et ou la possibilité de pré consolidation de ces sols.
- Etudier les zones de grands déblais en vue de la détermination de la nature de ces déblais (meubles ou rocheux) et des pentes à adopter.
- Rechercher les matériaux de viabilité (gites et carrières rocheuses), apprécier leur qualité par les essais de laboratoire et évaluer les quantités disponibles.

VI.1 Étude géologique :

Une bonne analyse géologique est un élément fondamentale de la qualité d'un projet et de la tenue ultérieurement de la plate-forme faut donc procéder à un inventaire complet des problèmes géologiques dans le couloir choisi afin que le tracé évite les difficultés de cette nature dans les mesures du possible. La zone du projet peut être naturellement stable mais elle peut également présenter certains caractères d'instabilité tels que les mouvements de versants (éboulis rocheux, délitage de zones schisteuses, glissement marneux, coulées boueuses, etc....), affaissement ou effondrement (cavités naturelles, fontis, poches de dissolution, cavités artificielles, carrières marnières, etc...). Le géologue doit donc faire en premier lieu un

recensement complet de toutes ces zones en examinant les cartes, les photos du site.

VI.1.1 Aspect tectonique de la zone d'étude :

Le substratum de la ville de Béchar, représenté par des terrains d'âge Westphalien supérieur, est constitué essentiellement par des bancs de grès plus au moins quartzeux, d'argiles et de schistes à couches charbonneuses. La région chevauche deux domaines géologiques :

- Formations anciennes : Béchar fait partie d'une cuvette tectonique, avec des formations datant du Carbonifère, telles que le calcaire viséen, le calcaire et les grès namuriens. La zone a été partiellement comblée par des argiles rouges continentales et, au Mio-Pliocène, par des matériaux meubles, couronnés par un banc de calcaire formant la Hamada. Des terrains volcaniques hercyniens apparaissent également au nord de la vallée du Guir.
- Formations récentes : Au Quaternaire, un réseau hydrographique s'est formé et a créé des terrasses emboîtées. Des zones dunaires ont également été mises en place par l'action du vent.
- Les limites géographiques de la région sont définies au Nord par la plate-forme saharienne, incluant le massif de l'Antar et le Djebel Béchar, et au Sud par les chaînes du Paléozoïque inférieur de l'Ougarta.

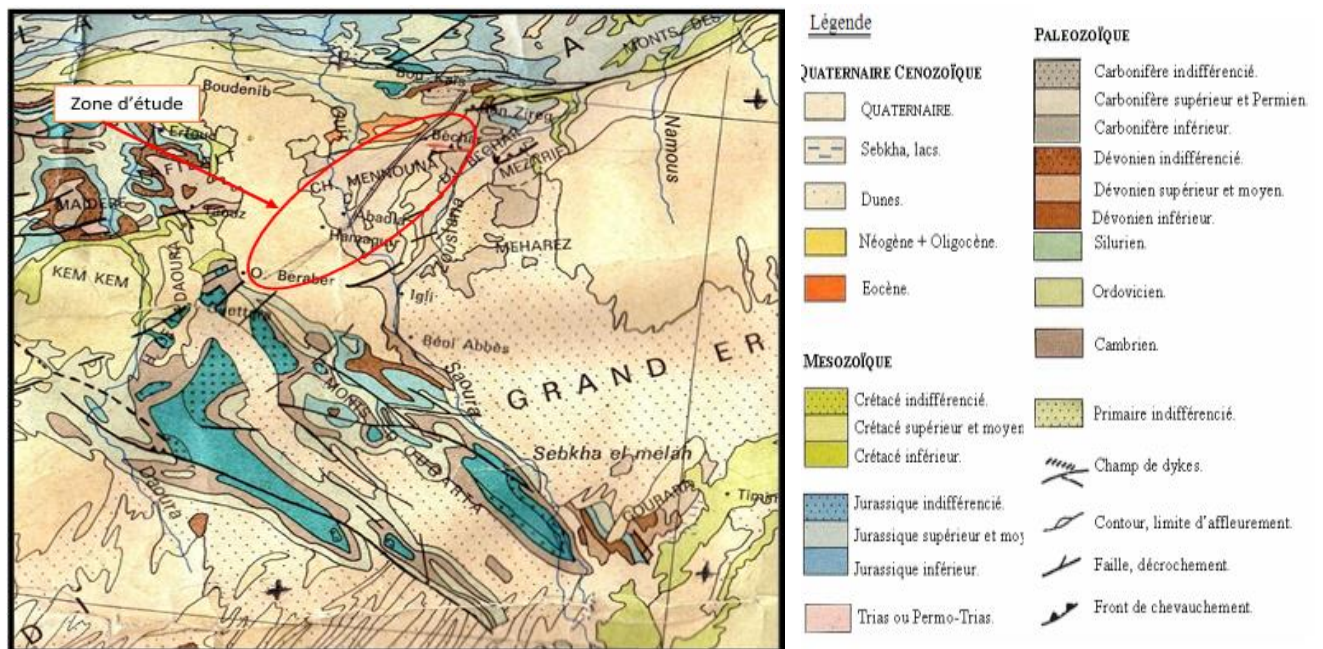


FIGURE VI-1 : Carte géologique de la wilaya de Béchar (carte géol. à 1/50 000)

Dans la zone d'étude, les formations **quaternaires** sont bien représentées, principalement sous deux formes :

Sebkhas et lacs (brun clair)

- **Nature** : Dépôts évaporitiques récents (sels, gypses, argiles fines), formés dans des zones dépressionnaires.
- **Origine** : Résultent de l'accumulation d'eau temporaire (lacs saisonniers) suivie d'évaporation intense.
- **Environnement** : Typique de climat aride à semi-aride ; indique la présence d'anciens bassins fermés.
- **Importance** : Témoigne des **variations climatiques récentes** (périodes humides et sèches durant le Quaternaire) et des **dynamiques hydrologiques locales**.

VI.1.2 Hydrogéologie :

Le réseau hydrographique est caractérisé par de grands oueds. On cite : Oued El-MaOued Sobti, Oued Tartrat, Oued Menkrines, etc. qui restent souvent secs durant toute l'année. Ils se transforment en véritables torrents à la suite de précipitations diluviennes caractéristiques des régions désertiques.

VI.1.3 Climatologie de la zone d'étude :

La région d'étude proche de la ville d'Abadla, située dans le sud-ouest de l'Algérie, fait partie d'un environnement aride typique du climat saharien. Ce type de climat se caractérise par une extrême sécheresse, des températures élevées en été, et une faible précipitation annuelle. Voici les principaux éléments climatiques de la région :

- Température moyenne annuelle : Environ 25 °C.
- Été : Les températures sont extrêmement élevées, atteignant régulièrement 40 °C à 45 °C durant les mois de juillet et août.
- Hiver : Les températures sont plus modérées, mais peuvent chuter à des minima de 5 °C à 10 °C durant les mois de décembre et janvier. Les gelées sont rares, mais possibles en hiver, notamment la nuit.

VI.1.4 Sismicité :

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) Le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies ci-dessous:

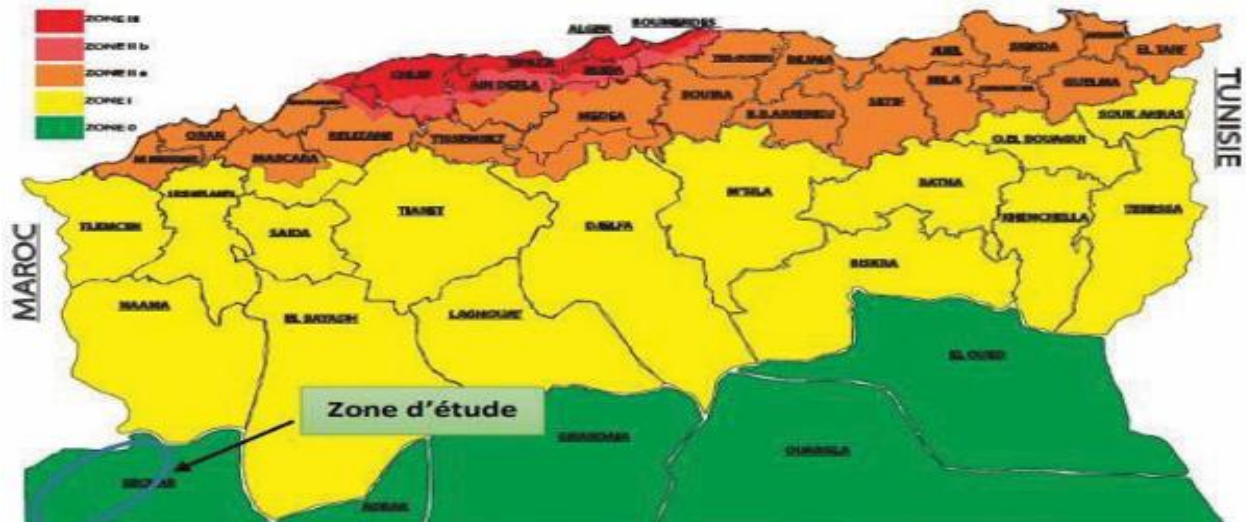


Figure VI-2: Carte de zonage sismique de l’Algérie (RPOA,2008)

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone 1 : Sismicité faible
- Zone 2 : Sismicité moyenne
- Zone 3 : Sismicité élevée
- Zone 4 : Sismicité très élevée
- ✓ D’après ce découpage la zone d’étude est située **dans la zone 0**, caractérisée par une **sismicité Négligeable**.

VI.1.5 Les risques géologiques :

Tableau VI-1 : Les risques géologiques

Type de Risque	Causes	Zones Concernées / Observations
1. Risque d’inondation	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de vallées et réseau hydrographique actif (oued Béchar, oued Guir) - Morphologie en dépression - Climat aride et crues brutales 	<ul style="list-style-type: none"> - Traversée de l’oued Béchar - Zones sujettes à la stagnation d’eau - Zones basses vulnérables aux accumulations
2. Risque d’ensablement	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de massifs dunaires (ergs) et regs (hamadas) - Déficit de couverture végétale - Forte activité éolienne 	<ul style="list-style-type: none"> - Plateaux, dépressions, lits d’oueds, zones proches des reliefs Exemples : PK 121+260,...etc.
3. Risque géologique / Sismicité	<ul style="list-style-type: none"> - Zone classée 0 selon le RPOA 2008 (sismicité négligeable) - Présence de failles (ex. : faille de Ksiksou) - Diversité lithologique 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune menace sismique majeure, mais nécessité de vigilance géotechnique (relief accidenté, formations calcaires, grès, marnes, etc.)

VI.2 Etude géotechnique :

La géotechnique est une discipline essentielle de l'ingénierie civile, centrée sur l'étude des sols et des roches. Elle assure la sécurité et la durabilité des constructions en prévenant les risques liés au sous-sol, tels que les effondrements ou glissements. Elle repose sur des analyses de terrain et de laboratoire pour formuler des recommandations adaptées, tout en respectant les contraintes environnementales.

VI.2.1 Le programme de reconnaissance géotechnique du tracé :

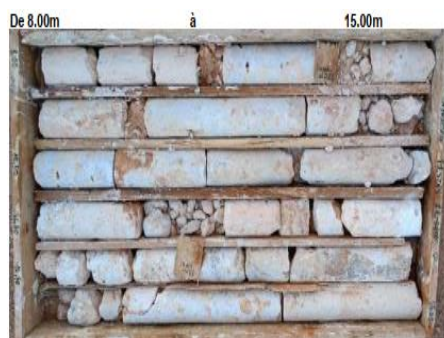
VI.2.1.1 Reconnaissance in- situ :

Dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée sur le site, des sondages carottés ont été effectués pour l'identification des sols, des essais pressiométriques pour évaluer leur résistance et leur déformabilité, ainsi que des puits de reconnaissance pour observer les couches superficielles. L'ensemble de ces investigations a permis de caractériser le sol en vue de la conception géotechnique du projet.

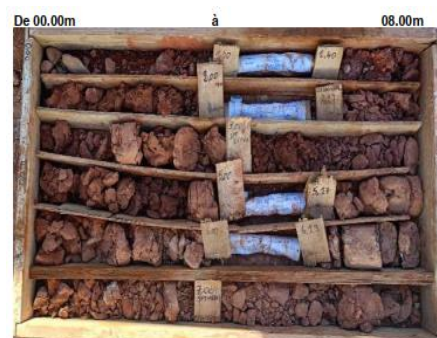
a. Les sondages carottés :

Les sondages carottés réalisés à l'aide des machines de forage et descendus jusqu'à des profondeurs variant entre 08 et 20 m de profondeur avaient pour objectif :

- ✓ Identifier la lithologie du sol.
- ✓ Prélever des échantillons intacts et remaniés pour des essais au laboratoire.
- ✓ Mesurer la profondeur de la nappe d'eau lorsque rencontrée dans les sondages.
- ✓ Vérifier la stabilité des talus.



SCD02PK 120+050



SCD07PK 130+150

- Les sondages carottés et réalisés sont énumérés dans le tableau suivant:

Tableau VI-2 : Les sondages carottés

Type d'ouvrage	pk	N° sondage	PROFONDEUR PREVUE (m)
Ouvrage en terre	120+250	SR0.01	8
Ouvrage en terre	121+050	SR0.02	8
Ouvrage en terre	123+150	SR0.03	8
Ouvrage en terre	124+200	SR0.04	8
Ouvrage en terre	125+675	SR0.05	8
Ouvrage en terre	139+375	SR0.06	8
Ouvrage en terre	119+775	SD01	15
Ouvrage en terre	120+050	SD02	8
Ouvrage en terre	127+550	SD03	15
Ouvrage en terre	128+175	SD04	25
Ouvrage en terre	128+525	SD05	25
Ouvrage en terre	129+550	SD06	20
Ouvrage en terre	130+150	SD07	15

b. L'essai SPT : (Standard Pénétration Test) :

Également connu sous le nom d'essai de pénétration standard.

- ✓ **Principe de l'essai :** On rappelle que le **S.P.T** est un essai de pénétration dynamique, réalisé à l'aide d'un carottier normalisé. Au niveau de chaque essai, le carottier est d'abord enfoncé dans le forage par battage de 15 cm pour éliminer la zone de remaniement du sol, puis on enregistre le nombre de coups "N" nécessaire pour enfoncer le carottier d'une profondeur de 45cm (3 x 15 cm) sous une charge de percussion connue. "N" est la valeur S.P.T. A partir de cette valeur obtenue expérimentalement et à l'aide des abaques de Terzaghi et Meyerhoff . On peut estimer les caractéristiques mécaniques de la formation sableuse en place (Densité Relative et Angle de Frottement Interne).

- ✓ **Domaine d'application :** La norme précise que ;
 - L'essai ne s'applique qu'aux sols sableux dont la dimension des plus gros éléments ne dépassent pas 20mm.
 - Le nombre de coups N doit être compris entre 0 et 50.
 - La profondeur maximale d'investigation ne doit pas dépasser 50 m argiles.
 - Il faut être très prudent de l'utiliser pour les.

✓ **Corrélations :**

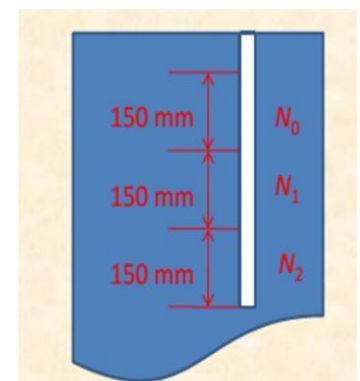


Figure VI-3: Différents nombres de coups

Tableau VI- 3: Classification de la compacité relative selon l'indice SPT (N)

Etat de compacité relative en place	Indice N (coups/0.3m)
Très lâche	0 - 4
Lâche	4 – 10
compact	10 – 30
Très compact	30 – 50
Très dense	30 et plus

- c. **Puits de reconnaissance** : Les puits de reconnaissance creusés à ciel ouvert, réalisés à l'aide d'une pelle mécanique avaient pour objectif : La détermination des agencements lithologiques des strates rencontrées.



Figure VI- 10: Puits № 07 au PK 122+775

VI.2.1.2 Reconnaissance au laboratoire :

- a. **Essais Physiques** :

Tableau VI-4 : Principe essais physiques en géotechnique

Essai	Norme	But principal	Utilisation / Remarques
Teneur en eau naturelle (W)	NF P 94-050	Déterminer le pourcentage d'eau dans un sol	Indique l'humidité naturelle d'un sol
Masse volumique (γ)	NF P 94-053 / 054	Déterminer la masse par unité de volume du sol	Utile pour classification et calculs de contraintes
Granulométrie par tamisage	EN 933-1	Étudier la répartition dimensionnelle des grains	Méthodes : voie humide (NF P 94-041) ou à sec après lavage (NF P 94-056)
Essai des carbonates (CaCO_3)	NA-2789	Déterminer la teneur en carbonates d'un sol	Important pour sols calcaires ou amendements agricoles

Limites d'Atterberg	NF P 94-051	Définir les états de consistance selon la teneur en eau	Classement des sols fins (argiles, limons) selon plasticité
Proctor modifié	NF P 94-093	Déterminer la densité sèche maximale et teneur en eau optimale	Optimisation du compactage pour les remblais
Essai CBR (California Bearing Ratio)	NF P 94-078	Déterminer la portance d'un sol à usage routier	Sert à dimensionner les couches de chaussée

b. Essais mécaniques :

Détermination des caractéristiques mécaniques de résistance au cisaillement :

- Cohésion interne apparente du sol (C)
- Angle de frottement apparent du sol ϕ .
- **Compression simple (RC) :**

Essai de Résistance à la Compression Simple (RC ou UCS en anglais)

Tableau VI- 5: Cractéristique de essais de compression simple

Élément	Description
Type d'essai	Mécanique
Objectif	Évaluer la capacité portante et la cohésion d'un matériau
Matériaux concernés	Béton, sols cohésifs (argiles), roches
Principe	Échantillon cylindrique comprimé axialement jusqu'à rupture
Formule	$RC = F_{max} / A$
Unités	F _{max} : (N) A : mm ² RC : MPa ou kPa
Normes	- NF EN 12390-3 : Béton - ASTM D2166 / NF P94-078 : Sols
Vitesse de chargement	Constante, définie par la norme applicable
Résultats typiques	- Béton standard : 20 à 50 MPa - Argile molle : < 100 kPa - Roche dure : > 50 MPa

VI.2.2 Lithologie de la zone d'étude :

Conformément aux résultats de la campagne géotechnique menée dans la zone d'étude, les principales formations géologiques traversées par le tracé sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-6 : La lithologie des puits de reconnaissance.

K	N° PUIITS	Profondeur (m)	La lithologie
PK 118+225	PU-01	0.00 – 0.2	Sable brunâtre graveleux.
		0.2 – 1.1	Sable argileux limoneux rougeâtre à cristaux de gypse
PK 118+775	PU-02	0.00 – 0.5	Sable brunâtre graveleux.
		0.5 – 2.5	Argile aspect schisteuses limoneuse rougeâtre renfermant
PK 119+225	PU-03	0.00 –0.40	Sable fin brunâtre graveleux
		0.40-1.10	Argile schisteuses verdâtre à ocre vers la profondeur, renfermant des fragments par endroits
PK 119+775	PU-04	0.00 m à 0.20 m	Sable brunâtre fin à graveleux
		0.20 m à 1.50 m	Argile schisteuses verdâtre devenant ocre vers les profondeurs, compacte et indurée par endroits
PK 120+100	PU-05	0.00 m à 0.20 m	Sable fin brunâtre graveleux
		0.20 m à 2.10 m	Argile schisteuses ocre à quelque tâche verdâtre devenant compacte et indurée vers les profondeurs.
PK 121+100	PU-06	0.00 m à 0.60 m	Sable fin jaunâtre renfermant quelques fragments
		0.60 m à 1.30 m	Sable brunâtre à inclusions galets et caillouteux, à quelques passées argileuses
PK 122+775	PU-07	0.00 m à 0.30 m	Sable fin brunâtre
		0.30 m à 1.20 m	Sable brunâtre à incluions galets et caillouteux, à quelques passées argileuses
PK 124+650	PU-08	0.00 m à 0.60 m	Sable fin brunâtre caillouteux
		0.60 m à 1.40 m	Sable jaunâtre fin, consolidé par endroits
PK 125+550	PU-9	0.00 m à 0.50 m	Sable fin brunâtre caillouteux
		0.50 m à 0.80 m	Sable jaunâtre fin, consolidé par endroits
PK 126+725	PU-10	0.0 m à 0.30 m	Sable jaunâtre graveleux
PK 128+200	PU-11	/	Accès inaccessible
PK 128+950	PU-12	0.00 m à 0.80 m	Sable brunâtre graveleux
PK 130+000	PU-13	0.00 m à 0.30 m	Sable graveleux brunâtre
PK 131+350	PU-14	0.00 m à 0.20 m	Sable graveleux brunâtre
PK 132+950	PU-15	0.00 m à 0.40 m	Sable graveleux brunâtre
		0.40 m à 1.00 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre
PK 133+950	PU-16	0.00 m à 0.40 m	Sable jaunâtre graveleux
		0.40 m à 0.65 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre
PK 134+950	PU-17	0.00 m à 0.35 m	Sable fin graveleux
		0.35 m à 0.60 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre
PK 136+950	PU-18	0.00 m à 0.30 m	Sable brunâtre graveleux
		0.30 m à 0.60 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre
PK 137+825	PU-19	0.00 m à 0.30 m	Sable brunâtre graveleux
		0.30 m à 0.40 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre
PK 137+850	PU-20	0.00 m à 0.30 m	Sable brunâtre graveleux caillouteux
		0.30 m à 1.00 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre
PK 139+950	PU-21	0.00 m à 0.25 m	Sable fin brunâtre graveleux caillouteux
		0.25 m à 0.80 m	Encroûtement gréso-calcaire beige blanchâtre

VI.2.3 Synthèse et commentaire géotechnique :

Les investigations réalisées entre les PK 118+225 et PK 139+950, via 21 sondages à la tarière (PU-01 à PU-21), ont permis d'identifier les principaux faciès lithologiques suivants :

1. Horizons superficiels :

Sables brunâtres graveleux à fins, dominants en surface sur la majorité des points. Ce sont des matériaux généralement perméables et porteurs, adaptés aux fondations superficielles dans des conditions de charge modérées.

2. Horizons intermédiaires :

Argiles limoneuses et schisteuses, parfois rougeâtres (PU-02, PU-05, PU-08), identifiées entre 0.5 et 2.5 m de profondeur. Ces couches présentent une sensibilité à l'eau, une compressibilité potentielle, et un comportement mécanique variable.

3. Horizons profonds et durs :

Encroûtements grésocalcaires beige-blanchâtre, très durs et compacts, sont mis en évidence dans la section PK 132+950 à PK 139+950. Leur présence dès 0.35 m peut entraîner des contraintes en terrassement et requiert une adaptation des outils de forage.

4. Particularités locales :

Présence de gypse (PU-01) : possible altérabilité chimique à long terme.

Tableau VI-7 : Résumé des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance.

PK	N° Sondage		Limites d'Atterberg			Proctor ρ_{OPM} (t/m ³)	CBR	LA	MDE	Classification (GTR et UIC)		
										UIC	GTR	
											selon l'état hydrique	selon le comportement
PK 118+225	PU-01	60	8.9	27.5	15.3	1.97	79.3	62	55	QS1	A.1-m	/
PK118+775	PU-02	100	10.6	31.5	17.3	1.8	64	66	60	QS1	A.2-m	/
PK 119+225	PU-03	61	8	29	17.6	1.84	62.0	61	57	QS1	A1-S	/
PK 119+775	PU-04	100	10.8	36.5	18.9	1.84	58	67	59	QS1	A.2 -h	/
		100	11.2	38.3	22.1	1.83	64	68	57	QS1	A.2 -h	/
PK 120+100	PU-05	100	9.3	38.3	22.1	1.83	58	63	57	QS1	A2-m	/
PK 121+100	PU-06	4	4.8	N.M	N.M	1.98	94.3	32	25	QS2	B3.1	/
		5	5.3	N.M	N.M	1.97	92	33	27	QS2	B3.1	/
PK 122+775	PU-07	9	6.2	24.6	N.M	1.88	70.3	49	42	QS2	B3.2	/
		12	6.8	28.6	16.4	1.86	63.4	57	49	QS2	B _{5.m}	B _{5.2}
PK 124+650	PU-08	19	6.3	N.M	N.M	1.81	57.3	52	47	QS2	B _{5.s}	B _{5.2}
PK 125+550	PU-09	Refus superficiel										
PK 126+725	PU-10	Refus superficiel										
PK 128+200	PU-11	Refus superficiel										
PK 128+950	PU-12	Refus superficiel										
PK 130+000	PU-13	Refus superficiel										
PK 131+350	PU-14	Refus superficiel										
PK 132+950	PU-15	23	6.3	21.5	N.M	1.97	97.6	34	28	QS2	B _{5.m}	B _{5.1}
PK 133+950	PU-16	Refus superficiel										
PK 134+950	PU-17	19	6.8	22.3	N.M	1.95	97.6	36	30	QS2	B _{5.m}	B _{5.1}
PK 136+950	PU-18	Refus superficiel										
PK 137+825	PU-19	Refus superficiel										
PK 138+850	PU-20	20	7.2	29.3	15.6	1.91	87.0		31	QS2	B _{5.m}	B _{5.1}
PK 139+950	PU-21	20	6.3	24	N.M	1.85	68.3		33	QS2	B _{5.s}	B _{5.1}

VI.2.3.1 Interprétation des résultats :

D'après la classification GTR (Guide des Terrassements Routiers), les sols des classes **A2** et **B5** présentent des caractéristiques spécifiques qui influencent leur comportement en remblai, notamment en fonction de la teneur en eau et des conditions météorologiques. Voici une synthèse et comparaison de leurs propriétés :

Classe A2 :**Nature :**

- Sables fins argileux
- Limons
- Argiles et marnes peu plastiques

Comportement :

- Généralement adaptés à la réutilisation en remblai.
- Seuls les épisodes de pluies moyennes à fortes posent problème (risque de désagrégation ou de baisse de portance).
- Faible sensibilité à l'eau en comparaison aux autres classes.
- Peuvent être travaillés relativement facilement si les conditions climatiques sont modérées.

Classe B5 :**Nature :**

- Sables et graves **très silteux**
- Faible plasticité, mais forte proportion de fines

Comportement :

- Sensibilité très élevée à la teneur en eau, notamment lorsque la teneur en eau naturelle (w_n) est proche de l'optimum Proctor normal (w_{OPN}).
- Changement brutal de consistance avec de faibles variations hydriques.
- Le temps de réaction à l'environnement climatique est généralement rapide, sauf si la perméabilité est faible (selon la compacité, la granulométrie, etc.).
- Très sensibles aux conditions météorologiques :
 - En cas de pluie, rapidement trop humides, donc non compactables.
 - Par temps sec, deviennent difficiles à compacter.
- L'usage de la valeur au bleu de méthylène (VBS) est conseillé pour identifier leur teneur en argiles actives et affiner leur classification.

Tableau VI-8: Résultat des essais SPT

Sondage carotté	Profondeur (m)	N0	N1	N2	NSpt	N CORRIGE	FORMATION
SCR01	1.00-1.45	9	13	26	39	27	Moyennement compact
	2.50-2.85	17	33	50/5 cm	83	49	Très compact
	3.50-3.75	20	50/10 cm		50	32.5	Très compact
	5	Refus	//				Très compact
	6	Refus	//				Très compact
	7	Refus	//				Très compact
	8	Refus	//				Très compact
SCR02	3.00-3.20	22	50/4 cm		50	32.5	Très Compact
	4.00-4.40	19	33	50/10 cm	83	49	Très Compact
	5.00-5.30	20	22	50/2 cm	72	43.5	Très Compact
	6.00	Refus	//	//	//		Très Compact
	7.00-7.20	37	50/5 cm		50	32.5	Très Compact
SCR03	1.00-1.45	9	14	20	34	24.5	Moyennement compact
	2.00	Refus	//	//	//		Très Compact
	3.00	Refus	//	//	//		Très Compact
	4.00-4.50	29	50/5 cm				Très Compact
	5.00-5.14	33	50/2 cm		50	32.5	Très Compact
SCR04	2.00-2.45	6	9	19	28	21.5	Compact
	3.00-3.45	11	20	22	44	29.5	Très Compact
	4.00-4.45	19	34	50/10 cm	84	49.5	Très Compact
	5.00-5.40	19	24	50/10 cm	74	44.5	Très Compact
	6.00-6.19	33	50/5 cm		83	49	Très Compact
SCR05	1.00-1.20	33	50/5 cm		50	32.5	Très Compact
	4.00-4.12	10	50/12 cm		50	32.5	Très Compact
SCR06	1.00-1.45	6	10	1 9			Très Compact
	2.00-2.19	26	50/4 cm	//			Très Compact
	3	R	//	//			Très Compact
	4	R	/	//			Très Compact
	5	R	/	//			Très Compact

VI.2.3.2 Classification générale des formations :

La majorité des couches investiguées, sont décrites comme "très compactes", indiquant des sols ou des formations rocheuses très denses.

Compact / Moyennement compact : suggérant des matériaux moins résistants que ceux à plus grande profondeur.

- Comportement du sol par profondeur :

À partir de 5 mètres de profondeur, la majorité des sondages atteignent un refus (R), indiquant la présence de formations extrêmement denses ou rocheuses où les tests SPT (Standard Pénétration Test) ne peuvent plus progresser.

- En conclusion de l'essai :

Les sondages révèlent que les formations rencontrées sont très compactes, particulièrement à des profondeurs supérieures à 2 m. Les valeurs élevées de N_{spt} et de N corrigé témoignent de la résistance importante des sols, justifiant un potentiel porteur élevé. Les couches superficielles sont plutôt compactes à moyennement compactes, mais elles sont rapidement suivies par des couches très compactes ou présentant un refus.

- Cohésion et angle de frottement pour les argiles :

Cohésion (C) : Les argiles sont des sols cohésifs, donc elles présentent une cohésion significative. La cohésion peut être estimée à partir de corrélations empiriques, comme celle proposée par (Terzaghi Peck, 1967) est : $C = (5 \text{ à } 10 \times N \text{ corrigé})$ (Kpa).

Angle de frottement interne (ϕ) : Il varie souvent entre 15° et 25° , en fonction du type d'argile et de son état (mou, ferme, ou dur).

4.4.4.2 Cohésion et angle de frottement pour les sables :

Cohésion (C) : Les sables sont des sols non cohésifs, donc on considère que la cohésion est nulle ($C=0$).

Angle de frottement interne (ϕ) : Il peut être estimé à partir du N-value SPT via des corrélations comme celle proposée par Peck, Hanson, et Thornburn est :

$\phi \approx 27^\circ + 0.3 \times (N_{\text{corrigé}} - 15)$. Typiquement, l'angle de frottement interne varie entre 30° et 40° pour les sables, les sables denses ayant des angles plus élevés.

- Cohésion et angle de frottement pour les roches (grés, calcaire) :

Les propriétés mécaniques (C, ϕ) : Pour des raisons de sécurité, les valeurs de cohésion non drainée (C_u) et de l'angle de frottement (ϕ) obtenues selon le critère de Mohr-Coulomb ont été volontairement réduites, car les résultats réels sont nettement supérieurs, avec des valeurs de l'ordre de $C_u = 8$ bars et $\phi = 48^\circ$.

VI.2.3.2 Essais au laboratoire :

Étant donné la nature du sol en place, seuls les essais chimiques et de résistance à la compression simple (RC) ont pu être réalisés sur les échantillons prélevés lors des sondages.

Tableau VI-9: Résultats de essais compression simple

Sondages	Profondeur (m)	γd (T/m ³)	RC (MPa)
SCR1	6 /6.5	2.72	6.13
SCD3	11/12	2.72	24.19
SCD4	5/6	2.83	70
	9/10	2.93	32.73
SCD5	1/2	2.56	36.81
	7/8	2.67	36.82
	23/24	2.88	12.17
SCD6	1.3/1.65	2.83	6.25
	2.7/2.95	2.93	9.39
	11/11.4	2.62	6.35
SCD7	1.9/2	2.56	1.88
	4/4.2	2.67	4.71
	7.8/8	2.88	4.93

➤ Commentaires :

Il existe une certaine hétérogénéité entre les sondages, car les formations géologiques varient souvent à des distances rapprochées.

- Comparaison entre les sondages :

- Le sondage **SCR1** montre globalement des valeurs de résistance à la compression plus élevées, suggérant des formations rocheuses plus compactes ou moins altérées.
- Le sondage **SD.03** : La résistance à la compression est modérée, indiquant un sol ou un matériau de qualité moyenne.
- Le sondage **SCD.04** : La résistance est très élevée à 5-6 m (70 MPa), ce qui peut indiquer la présence de roche ou d'un matériau très consolidé.
- Le sondage **SCD.05** : La résistance à la compression est faible à 23-24 m (12,17 MPa), probablement en raison de l'altération du matériau ou de la présence d'un sol moins

consolidé.

- Le sondage **SCD6** présente une homogénéité en termes de densité et de résistance à la compression, avec des valeurs relativement élevées.
- Le sondage **SCD7**, en revanche, montre une plus grande variabilité, avec des zones de faible résistance à la compression (1.88 MPa), qui pourraient nécessiter des précautions supplémentaires si elles sont situées sous des fondations critiques.
- **Hétérogénéité des formations** : Les matériaux rencontrés montrent une variation significative de la densité et de la résistance à la compression. Ceci indique que les formations varient entre des sols plus altérés (faible Rc) et des matériaux plus compacts ou rocheux (haute Rc).
- **Consistance des formations à grande profondeur** : Les sondages SCR1 et SCD6 montrent des formations plus homogènes en termes de résistance à la compression à des profondeurs plus importantes (6 m et au-delà),

VI.2.3.3 Essais chimiques :

➤ Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau VI-10: Résultats des essais chimique et clasifcation de l'agressivité des sols

N° Sondage	Profondeur (m)	M.O (%)	SO ₄ (mg/Kg)	CaCO ₃ (%)	Classe D'agressivité
Scr 01	2.85-3 :00 m	3.24	7786.10	11.36	XA2
Scr 02	4.40-5.00 m	3.28	751.70	27.27	XA2
Scr 03	2.00-2.50 m	1.12	2023.70	20.45	XA1
Scr 04	5.00-5.50 m	7.34	NUL	29.54	Non agressif
Scr 05	1.20-4.00 m	1.21	13720.00	27.27	XA3
	3.50-4.00 m	4.01	85887.20	9.09	XA3
Scr 06	1.45-2.00 m	2.17	1509.20	6.82	Non agressif
SCD 01	4.20-5.00 m	6.30	4321.80	6.82	XA2
SCD 02	3.00-4.00 m	3.43	5796.70	6.82	XA2

➤ Selon la norme **NA 16002 (2021)** :

-Les deux échantillons de sol **SCR 04** et **SCR 06** analysés sont considérés comme des environnements non agressifs vis-à-vis du béton.

L'échantillon de sol **SCR 03** analysé présente un taux de sulfate (**SO₄₂₋ ≥ 2000 et ≤ 3000 mg/kg**) caractérise un sol de classe d'exposition **XA1** correspond à un environnement à faible agressivité chimique.

Les précautions nécessaires à prendre pour la confection du béton au contact de ce sol sont :

- La teneur minimale en ciment : 300 kg/m³.
- Le rapport (e/c) maximal : 0,55.
- La classe de résistance minimale : C30/37.

- Les quatre échantillons de sol **SCR 01**, **SCR 02**, **SCD 01** et **SCD 02** analysés présentent un taux de sulfate (**SO₄₂₋ > 3000 et ≤ 12000 mg/kg**) caractérisent des sols de classe d'exposition **XA2** correspond à des environnements d'agressivité chimique modérée vis-à-vis du béton.

Les précautions nécessaires à prendre pour la confection du béton au contact de ces sols sont :

- Ciment résistant aux sulfates.
- La teneur minimale en ciment : 320 kg/m³.
- Le rapport (e/c) maximal : 0,50.
- La classe de résistance minimale : C30/37.

- L'échantillon de sol **SCR 05 (1.20 - 2.00)** analysé est un sol de classe d'exposition **XA3** correspond à un environnement à forte agressivité chimique vis-à-vis du béton.

Les précautions nécessaires à prendre pour la confection du béton au contact de ce sol sont :

- Ciment résistant aux sulfates.
- La teneur minimale en ciment : 360 kg/m³.
- Le rapport (e/c) maximal : 0,45.
- La classe de résistance minimale : C35/45.

- L'échantillon de sol **SCR 05 (3.50 - 4.00)** analysé est un sol de classe d'exposition **XA3** correspond à un environnement à forte agressivité chimique vis-à-vis du béton.

VI.2.4 Zones à risques :

Analyse des zones à risques et recommandations techniques. Le présent chapitre vise à identifier les zones à risques le long du tronçon et à proposer des recommandations techniques pour atténuer lesdits risques. Les zones à risques considérées incluent les sols compressibles, les zones inondables et les zones humides.

Tableau VI-11: Typologie des zones a risque et solutions techniques

Catégorie	Zones Potentielles	Méthodes d'Identification	Risques Potentiels	Recommandations Techniques
a.1 Sols compressibles	-Anciennes zones marécageuses -Remblais artificiels -Sols tourbeux	-Sondages géotechniques -Essais de laboratoire -Analyse d'images aériennes	-Cartographie des zones humides - Analyse de la végétation - Observation des sols	Stabilisation du sol : - Compactage - Injection de coulis - Installation de pieux Drainage : -Drains verticaux/horizontaux - Imperméabilisation Surveillance : - Piézomètres -Capteurs de déplacement
a.2 Zones inondables	-Plaines alluviales -Bassins versants -Zones proches des cours d'eau	-Cartographie des zones inondables -Modélisation hydrologique - Analyse des données historiques	- Inondation de la voie ferrée - Interruption du trafic - Dommages aux infrastructures	Surélévation de la voie : - Remblais - Viaducs Protection : - Dignes - Murs de protection Drainage : -Bassins de rétention -Canaux de dérivation
a.3 Zones humides	- Marais - Tourbières -Prairies humides	-Cartographie des zones humides - Analyse de la végétation - Observation des sols	- Affaiblissement du support de la voie - Glissements de terrain - Perturbation de l'hydrologie locale	Réduction de l'impact : - Adaptation du tracé -Techniques de construction à faible impact Compensation écologique : - Création de zones humides artificielles - Restauration de zones dégradées Suivi environnemental : - Qualité de l'eau - Monitoring de la flore et de la faune

VI.5 Vérification de stabilité des talus vis-à-vis le glissement :

La vérification de la stabilité des talus en déblai a été effectuée à l'aide du logiciel GEO-5 qui permet de vérifier la stabilité d'ouvrages géotechniques, avec ou sans renforcements.

Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux.à prendre en considération :

- FS > 1.5 à long terme.
- FS > 1.3 à court terme
- FS > 1 en situation accidentelle (séisme).

Tableau VI-12 :Paramètres sismiques utilisés dans les calculs

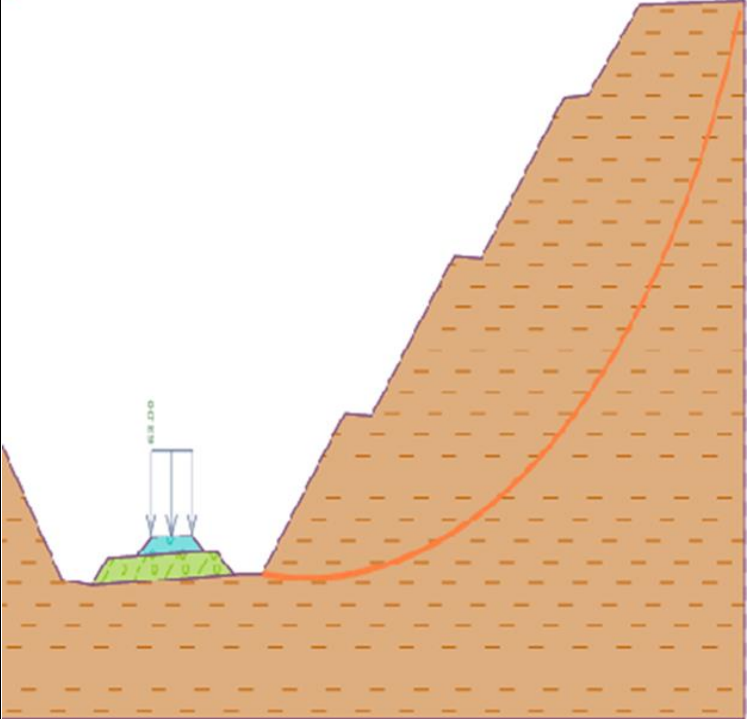
La méthode utilisée dans les calculs	Bishop
La surcharge utilisée dans les calculs	62 Kpa

VI.5.1 Cas déblai au PK 119+775 :

Les caractéristiques de notre déblai sont les suivantes :

- Le poids spécifique : $\gamma=18 \text{ KN/m}^3$
- La cohésion : C = 11 Kpa.
- L'angle de frottement interne : $\Phi = 25^\circ$

Tableau VI-13 : Résultats de la vérification du talus en Déblai -PK 119+775

Phases	Vérifications stabilité des talus par GEO5-V2024	Jeu de coefficient de sécurité	coefficient de sécurité
Phase I Chargé à 62 Tonne - Sans séisme.		SITUATION PERMANENT FS = 1.5	FS = 1.66 > 1.50 Stabilité de pente ADMISSIBLE

➤ Les résultats de calcul de stabilités à long terme et en situation sismique indiquent que lastabilité n'est vérifiée qu'avec une pente de 1H/1V.

VI.5.2 Cas remblai au PK 120+050 : Les caractéristiques de notre remblai sont les suivantes :

- Le poids spécifique : $\gamma=20\text{KN/m}^3$
- La cohésion : $C = 10 \text{ Kpa}$.
- L'angle de frottement interne : $\Phi = 35^\circ$

Tableau VI- 14: Résultats de la vérification du talus en Remblai -PK 123+050-

Phases	Vérifications stabilité des talus par GEO5-V2024	Jeu de coefficient de sécurité	coefficient de sécurité
Phase I Chargé à 62 Tonne - Sans séisme.		SITUATION PERMANENT FS = 1.5	FS = 1.54 > 1.50 Stabilité de pente ADMISSIBLE

➤ Les résultats de calcul de stabilités à long terme et en situation sismique indiquent que la stabilité n'est vérifiée qu'avec une pente de 2H/1V.

VI.6 Conclusion

L'étude géologique et géotechnique a constitué une étape essentielle dans la compréhension du terrain d'assise du projet. Les investigations menées ont permis d'identifier avec précision les caractéristiques mécaniques et environnementales des sols, tout en mettant en lumière les risques potentiels à prendre en compte. Ces analyses ont orienté les choix techniques en fournissant les bases nécessaires à une conception adaptée et sécurisée des ouvrages projetés. Ainsi, cette étude a joué un rôle déterminant dans l'élaboration de solutions optimales assurant la stabilité, la pérennité et la résilience de l'infrastructure face aux contraintes naturelles du site.

CHPITRE VII :

Assise ferroviaire

CHAPITRE VII : ASSISE FERROVIARE

Introduction :

Le corps d'assise ferroviare constitue un élément fondamental dans la conception et la pérennité des infrastructures ferroviaires. Cette couche intermédiaire, située entre la plate-forme de terrassement et la superstructure de la voie (ballast, traverses, rails), joue un rôle déterminant dans la transmission et la diffusion des charges induites par le passage des trains. Son rôle principal est d'assurer la stabilité mécanique, la résistance structurelle et la durabilité de la voie, en garantissant une répartition uniforme des efforts dynamiques et statiques vers le sol support.

VII.1 Les différentes couches d'assise :

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

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent : des caractéristiques intrinsèques des sols de la plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel, etc.) ;

des caractéristiques globales de la plate-forme, qui dépendent non seulement des propriétés des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site :

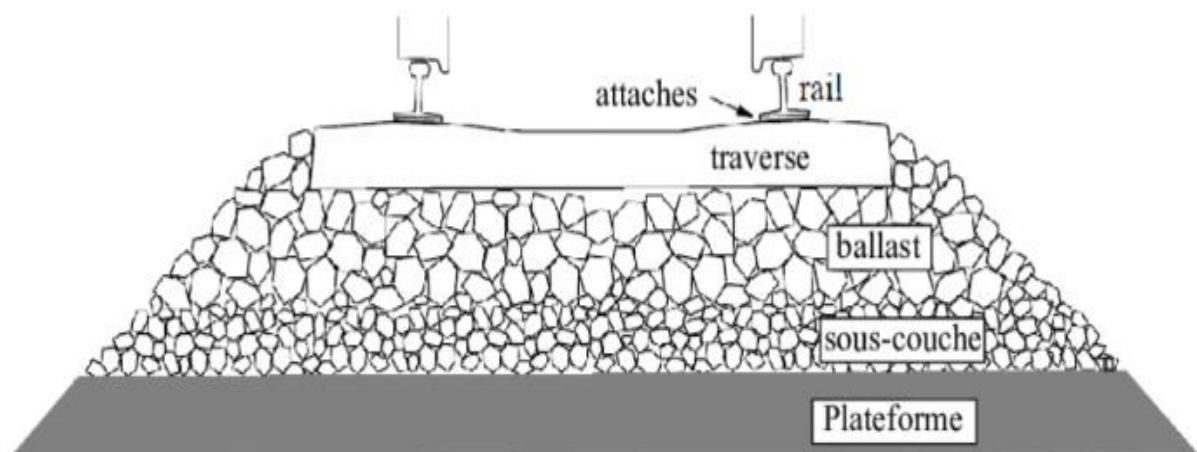


Figure IV-1: Les différentes couches d'assise

VII.1.1 La couche de ballast :

Le ballast est un granulat de 25/50 mm utilisée actuellement en Algérie), il provient de concassage de roches dures (granite, quartzite, grès, gneiss, etc. ...). La couche de ballast a une épaisseur de 25 à 30 cm .La couche de ballast mesure **30 cm** pour des vitesses comprise entre **120 km/h à 200 km/h**. avec le rôle de :

- Répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses.
- Amortir une partie très importante de la vibration grâce à ses propriétés rhéologiques.
- assurer, en raison de sa granulométrie, le drainage rapide de la voie

VII.1.1.1 Caractéristique du ballast :

a. Caractéristique Physique : Granulométrie : on utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF).

- Forme de granulats (Angularité et rugosité) : Avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse et assurer par le frottement Ballast/traverse le bon maintien en place de ces derniers.
- Homogénéité des granulats : Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement.
- Propreté des granulats : le ballast doit être exempt des éléments fins et débris.
- Perméabilité : Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie.
- Densité : Afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise

b. Caractéristiques mécaniques :

- La résistance à la fragmentation Los Angeles doit être $\leq 19 \%$.
- La résistance à l'usure Micro Deval soit de : $\leq 6 \%$.
- La résistance à la compression (RC) doit être de : $\geq 1200 \text{ kg/cm}^2$
- La forme angulaire et la rugosité des granulats assurent une adhérence solide entre eux garantissant ainsi la cohésion de la masse globale ballast travers).

VII.1.1.2 Effet du sable sur le ballast :

Dans les zones désertiques (cas de notre projet), le sable influence négativement sur le ballast,

sous l'effet du vent et du déplacement des dunes de sable, ce dernier introduit facilement dans les cavités de la couche de ballast, ceux qui résultent

- Diminuer la perméabilité de la couche de ballast.
- Chute de la portance de la couche de ballast due aux grains de sables qui se trouvent entre les granulats de ballast et qui causent le glissement de ces derniers. Pour affronter ça, l'intervention humaine est nécessaire pour le nettoyage de la couche de ballast, on intervient aussi par la réalisation des écrans protecteurs (arbres naturelles, mur de soutènement,...etc.).

VII.1.2 Sous-couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation intercalée entre le ballast et la plate-forme. Elle remplit plusieurs rôles essentiels :

- Amélioration de la portance par action sur la raideur et meilleure répartition des charges transmises ;
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires ;
- Prévention de la contamination entre la plate-forme et le ballast ;
- Protection contre l'érosion et le gel ;
- Evacuation des eaux zénithales.

La sous-couche peut être constituée d'une ou plusieurs couches (par exemple : couche sous-ballast, couche de fondation, couche anticontaminante).

VII.1.3 Couche anti-contaminante :

C'est une couche intermédiaire, souvent placée entre : la plateforme (PF) du sol naturel ou traité, et les couches supérieures (couche de forme, fondation, etc.).

➤ **Objectif :**

- Empêcher la remontée des fines (argiles, limons) depuis un sol de mauvaise qualité
- Éviter la contamination des couches supérieures par des matériaux moins portants ou hydrosensibles,
- Améliorer la durabilité des couches de structure.

VII.1.4 La géotextile :

Les géotextiles sont une catégorie de géosynthétiques perméables à l'eau et à l'air, largement utilisés dans de nombreuses applications en génie civil, en construction routière et en aménagement paysager. Leur structure permet de laisser passer les fluides tout en retenant les particules solides.

Ils remplissent plusieurs fonctions essentielles :

- Séparation : empêchent le mélange de matériaux de nature différente (par exemple, gravier et sol meuble).
- Prévention de la contamination : évitent la migration de fines particules dans les couches drainantes.
- Drainage filtrant : permettent l'écoulement de l'eau tout en retenant les particules de sol (fonction de filtre).
- Renforcement des structures : augmentent la stabilité mécanique des sols, notamment dans les talus, routes, ou remblais

VII.1.5 La plate-forme:

La plate-forme de la voie est l'élément de base qui soutient la superstructure de la voie ferrée. Elle peut être réalisée soit à partir de terres rapportées dans le cas d'un remblai, soit à partir du sol naturel en place dans le cas d'un déblai.

✓ Rôles de la plate-forme:

- Amortissement des vibrations : Le ballast aide à absorber et à réduire les vibrations causées par les passages des trains, ce qui diminue l'impact sur les rails, les traverses et les structures environnantes.
- Évacuation des eaux : Il permet l'écoulement des eaux de pluie et des eaux de surface, en les dirigeant vers les systèmes d'assainissement pour éviter les accumulations d'eau qui pourraient déstabiliser la voie.
- Distribution des charges : Le ballast répartit les charges des trains de manière homogène à travers les différentes couches de la voie jusqu'au sol sous-jacent, ce qui est crucial pour maintenir l'équilibre de la structure.

- Prévention de la pénétration de sols fins : Il empêche les particules fines, comme les limons ou les argiles, d'envahir le ballast, ce qui permet au ballast de continuer à jouer efficacement son rôle de soutien de la voie.

VII.2 Classification des sols pour la plate-forme :

La classification des sols pour la plate-forme s'appuie sur les résultats d'études géologiques et géotechniques, selon les référentiels GTR (Guide des Terrassements Routiers) et UIC 719R. D'après les critères de l'UIC, deux aspects sont pris en compte pour évaluer la qualité du sol : la nature géotechnique du terrain (granulométrie, plasticité, cohésion, etc.) et les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales.

VII.3 La portance d'une plate-forme dépend :

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

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

- P1 : plate-forme médiocre
- P2 : plate-forme moyenne
- P3 : plate-forme bonne

Tableau VII -1: Classification des plateformes

Classe de qualité du sol	Classe de la Plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Épaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

- QS0 : Sols "impropres" à la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives (substitution du matériau sur une certaine épaisseur traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.). Pour cette raison, ces sols ne sont pas mentionnés ici lors du dimensionnement des couches d'assise

et des couches de forme.

- QS1 : Sols "médiocres" acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié (traitement aux liants, par exemple).
 - QS2 : Sols "moyens".
 - QS3 : "Bons" sols".
- ✓ **Plate-forme proposée :**

En prenant en compte les éléments précédemment mentionnés, notamment la classification des qualités du sol selon la catégorie QS2 et les directives des UIC, nous recommandons l'utilisation d'une plateforme de type P3 (qualifiée de bonne plateforme), dimensionnée en tenant compte des caractéristiques spécifiques du sol (QS3).

Ces résultats démontrent que la mise en place d'une couche de forme est indispensable pour assurer la performance optimale de la plateforme

✓ **Couche de forme :**

Afin de satisfaire aux exigences de performance d'une plateforme de support de type P3, il a été décidé de mettre en œuvre une couche de forme d'une épaisseur minimale de 35 cm. Celle-ci sera constituée d'un matériau de qualité de sol QS3, appliqué sur les zones présentant des matériaux de qualité QS2. Cette mesure a pour objectif d'assurer la stabilité et les performances requises de la plateforme, en tenant compte des caractéristiques géotechniques spécifiques rencontrées dans ces secteurs.

VII.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

Le dimensionnement des couches d'assises d'une voie ferrée consiste à définir l'épaisseur minimale nécessaire pour le ballast, la sous-couche et la couche de forme, en tenant compte de plusieurs paramètres fondamentaux. Trois facteurs principaux influencent ce dimensionnement :

- la classe de portance de la plateforme de terrassement.

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

- types de lignes

(caractéristiques du trafic).

- l'armement de la voie (type de traverses).
- 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).
- d = (selon la charge maximale à l'axe).
- g = Géotextile.

VII.5 Application au projet :

- La classification du sol dominante sur le long du tracé est QS3. La plateforme adoptée (P3) selon la qualité du sol support et la qualité et l'épaisseur de la couche de forme choisi :

Tableau VII-2 : Dimensionnement de la couche d'assise

Paramètres	Valeurs (m)	Critère de choix
E	0.45	Une plate-forme de classe de portance P3
a	0	Les groupes UIC 1 et 2.
b	0.05	suivant la formule $((2.5-L)/2)$ pour une traverse en béton de longueur L=2,415m.
c	0	Un dimensionnement normal.
d	0.15	pour une charge nominale d'essieu de 32.5 Tonne/axe
f	0.05	une ligne de vitesse à 160 km/h
g	0	Pas de géotextile pour sol QS3

Par interpolation : (d)
 25t → 0.12
 32.5t → x

$$X = \frac{0.12 \times 32.5}{25} = 0.15m$$

➤ Donc l'épaisseur totale des couches d'assise est alors fixée à **0,7 m**

Tableau VII-3 : Structure de la voie du projet

Couches	Épaisseur (cm)	Matériaux
Ballast	30	GC (grave concassée) (25/50 mm)
Sous-ballast	20	Grave propre (0 /31.5 mm) bien graduée
Couche de fondation	20	Grave sableuse entièrement concassée
Couche de forme de type QS3	35	GNT



Figure VII-2 : Structure d'assise ferrière

VII.6 Conclusion :

Ce chapitre a permis de mettre en lumière l'importance cruciale d'un dimensionnement rigoureux des couches d'assise pour assurer la durabilité, la stabilité et la performance des infrastructures ferroviaires. L'analyse des différentes strates composant le corps d'assise-ballast, sous-couche, couche de fondation et plate-forme. Ainsi que les méthodes de calcul associées, démontre combien une répartition optimale des charges et une bonne résistance aux sollicitations mécaniques sont fondamentales.

$$e \text{ [m]} = 0.45 + 0 + 0.05 + 0 + 0.15 + 0.05 + 0 = 0.7 \text{ m}$$

CHPITRE VIII :
PROFILE EN TRAVERS

CHAPITRE VIII : PROFILE EN TRAVERS**Introduction :**

Le profil en travers constitue un document technique essentiel dans l'étude et la réalisation des projets ferroviaires. Il représente, sous forme de coupe perpendiculaire à l'axe de la voie, l'ensemble des éléments qui composent l'infrastructure : les variations de hauteur du terrain naturel, les dimensions géométriques de la voie, les dévers de la plate-forme, ainsi que la stratigraphie des différentes couches (couche de forme, ballast, etc.).

Ce profil permet une compréhension fine de l'interaction entre la voie ferrée et son environnement naturel ou aménagé. Il est indispensable pour le calcul des volumes de terrassement, l'optimisation des coûts de construction, et la maîtrise des risques géotechniques et hydrauliques.

VIII.1 Définition :

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette voie suivant un plan Vertical perpendiculaire à l'axe de cette dernière. Pour l'échelle des profils en travers, on opte souvent pour 1/100. On distingue deux types de profil :

- Profil en travers type.
- Profil en travers courant.

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

VIII.2 Constituants du profil en travers type :

Le profil en travers type doit nous indiquer tous les éléments suivants : II-8-2-1-Eléments de superstructure :

VIII.2.1 Eléments de superstructure :

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.
- Le type de traverse utilisé.
- System d'Attaches.

- Poteaux caténaire et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées).
- La valeur de devers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La longueur de repoussées de ballast.

VIII.2.2 Eléments d'infrastructures :

- Les épaisseurs et la nomination des chaque couche.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.
- Plateforme ferroviaire : La surface sur laquelle repose la voie ferrée.

VIII.2.3 Eléments du talus (remblai ou déblai) :

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuelle telle que les murs de soutènement.

VIII.2.4 Eléments d'assainissement :

Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinale).

Systemes de drainage.

VIII.3 Critères de conception :

La nouvelle voie sera conçue selon les critères des modélisations suivantes :

- Voie double équipée de rail UI60E1
- Travers mono-bloc
- Entraxe entre : 4200 mm et 5000 mm
- Vitesse max : 160 km/h
- Distance axe voie / axe caténaire : 2.96 m
- 2-les référentielles utilisées pour le dimensionnement de la nouvelle plateforme sont les instructions du RFF/SNCF (France) :
- IN 0260

- IN OO162
- UIC 719-ST 590B
- Epaisseur de l'armement est de 73.10 cm
- la pente transversale de la plateforme est de 4.00 % vers l'extérieur

VIII.4 Calcul des cubatures :

La cubature des terrassements consiste à calculer les volumes de terre à enlever (déblais) et les Volumes à apporter (remblais) afin de minimiser le coût des terrassements et donner à la route une Allure uniforme et homogène pour recevoir un corps de chaussée qui permettra aux véhicules de Circuler en toute sécurité. Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long
- Les profils en travers
- Les distances entre les profils.

VIII.4.1 Méthodes de calcul des cubatures :

Les cubatures sont calculées pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Les cubatures sont fastidieuses, mais :

- Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures qui simplifie le calcul.
- Le travail consiste a calculé les surfaces SD et SR pour chaque profil en travers, en suite on les soustrait pour trouver la section pour notre projet

- TN : Terrain Naturelle.
- SD : Surface Déblai.
- SR : Surface Remblai

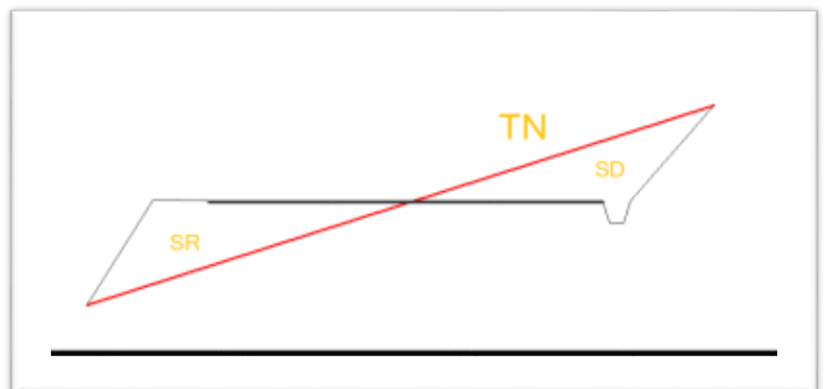


Tableau VIII-1 : profile fictive

VIII.4.2 Formule de SARRAUS :

On calcule séparément les volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs en utilisant la formule des trois niveaux.

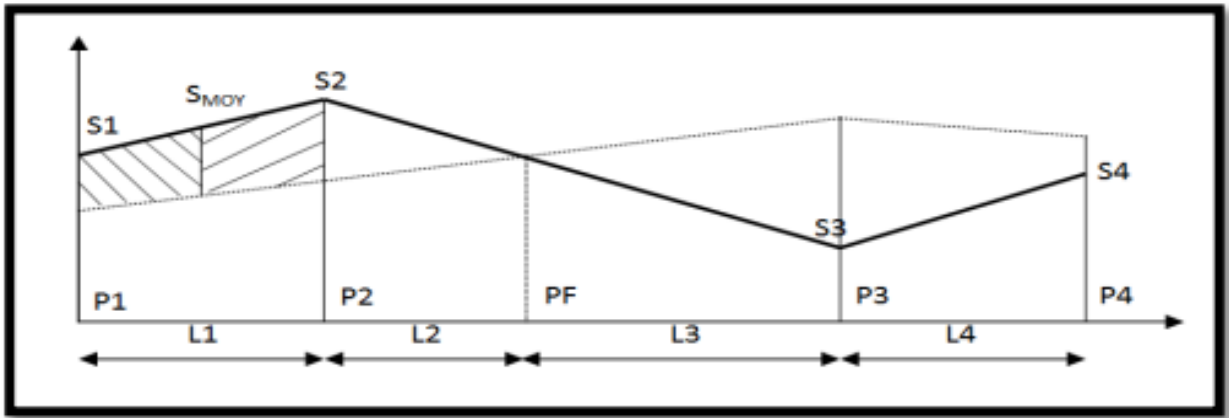


Tableau VIII-2 : cubature

- PF : profile active, surface nulle.
- Si : surface de profile en travers pi.
- Li : distance entre ces deux profile.
- Smoy : surface intermédiaire (surface parallèle et à mi-distance Li).

➤ Pour éviter des calculs très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions Smoy et (S1 + S2)/2 Ceci donne : $V_i = \frac{L_i}{2} \times (S_i + S_{i+1})$

Donc les volumes seront :

- Entre P1 et P2 : $V1 = \frac{L1}{2} \times (S1 + S2)$
- Entre P1 et PF : $V2 = \frac{L2}{2} \times (S2 + 0)$
- ENTRE PF et p3 : $V3 = \frac{L3}{2} \times (0 + S3)$
- ENTRE P3 et p4 : $V4 = \frac{L4}{2} \times (S4 + S3)$

On additionnant membres a membres ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = \frac{L1}{2} S1 + \frac{L1+L2}{2} S2 + \frac{L2+L3}{2} \times 0 + \frac{L3+L4}{2} S3 + \frac{L4}{2} S4$$

VIII.4.3 Application au projet :

Dans notre projet, le calcul est fait par logiciel Autodesk Civil 3D .les résultats détaillés sont rassemblés dans le tableau cet-dessous. L'objectif fixé est de réduire au maximum la différence entre les volumes de déblais et remblais. Dans le tableau suivant, une partie des résultats de calcul des cubatures est montré. Les volumes Totales sont mentionnés en fin de tableau.

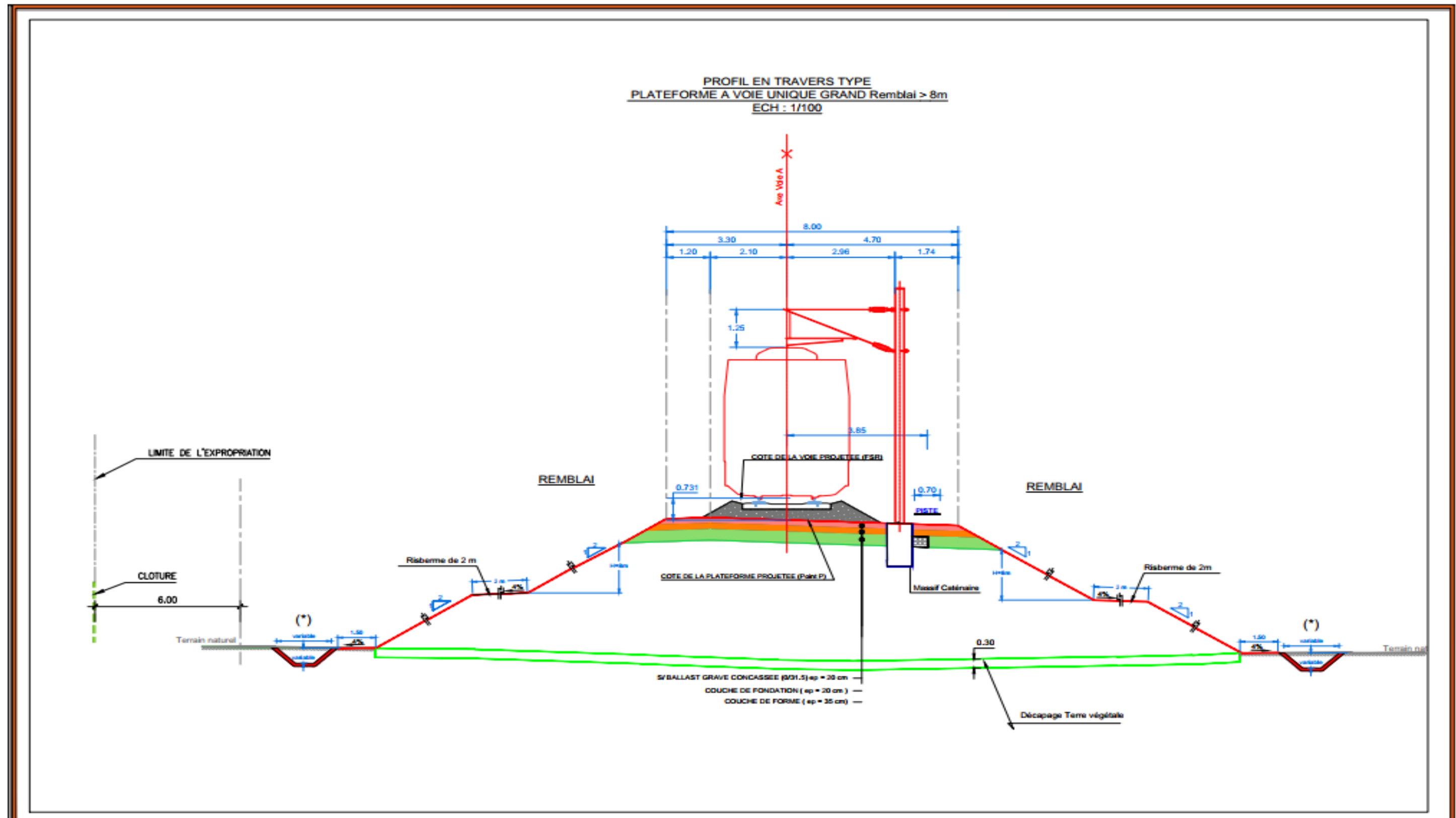
→ Les détails de calcul résumés dans le tableau suivant :

Tableau VIII-1 :les cubatures des terrassements et les couches d'assises

Nature	Remblai	Déblais	Ballast	Sous ballast	Couche de fondation	Couche de forme
Volume (m3)	10862070.29	409384.68	138528	133 148.30	98 544.60	226 450.3

VIII.5 Conclusion :

Le profil en travers est un outil indispensable à la conception des projets d'infrastructure. Il permet de représenter avec précision la configuration du terrain, d'identifier les contraintes topographiques et d'intégrer les éléments techniques tels que les voiries et les réseaux enterrés.



 <p> Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz </p>	PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	Echelle	Année universitaire
	ETUDE APD de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar -Tindouf GHAR DJEBILET du PK 118+000 au PK 142+000 Avec conception GARE « HAMAGUIR »	ACHOUR kheira BELAHOUEL Amine	Mr.H. Siguerdjidjene Mr.H.Kamel	DIB/DMS	1:100	2024/2025

CHPITRE IX :
TERRASSEMENT ET OUVRAGES

CHAPITRE IX : TERRASSEMENT ET OUVRAGES**Introduction :**

Les terrassements constituent une étape fondamentale dans la réalisation des infrastructures ferroviaires. Ils regroupent l'ensemble des travaux réalisés sur le terrain naturel, tels que l'excavation, le chargement, le transport, le nivellement et le compactage des matériaux. L'objectif principal de ces opérations est de préparer et de modeler le sol afin d'obtenir une plate-forme stable, homogène et durable, capable de supporter efficacement l'assise ferroviaire.

▪ La réalisation d'un terrassement efficace suit plusieurs étapes clés :

Le décapage de la couche de terre végétale pour atteindre le substrat plus stable situé en profondeur. L'exécution des déblais et des remblais afin d'ajuster les niveaux du terrain selon les exigences du tracé ferroviaire. La mise en place progressive des différentes couches structurales, telles que la sous-couche et la couche de ballast, qui garantissent une assise solide, uniforme et durable pour la voie ferrée.

Ainsi, les travaux de terrassement, associés à certains ouvrages complémentaires (tels que les murs de soutènement ou les dispositifs de drainage), sont essentiels pour assurer la stabilité, la sécurité et la pérennité de toute infrastructure ferroviaire.

IX.1 Les terrassements :

Les travaux de terrassement concernent les activités visant à modifier la topographie d'un terrain afin de créer une plate-forme ferroviaire. Ces modifications du sol sont réalisées par des opérations de déblai et de remblai, parfois de grande ampleur. Le remblai consiste à apporter des matériaux pour élever le niveau du sol existant, comblant ainsi les creux ou dépressions du terrain. À l'inverse, le déblai réduit le niveau du sol en enlevant des matériaux, abaissant ainsi les reliefs ou élévations excessives.

IX.1.1 Intentions et implications des travaux de terrassement :

- Corriger les irrégularités du sol naturel.
- Créer une plateforme plane et nivelée adaptée au projet.
- Réduire les risques d'affaissement, glissements ou tassements différenciés.
- Réutilisation sur site (remblais, modelage de terrain).

- La réduction des nuisances sonores et vibratoires.
- Assurer les pentes nécessaires (écoulement des eaux, stabilité).

IX.1.2 Pente des talus en déblai et en remblai :

Dans la conception des ouvrages en terre (tels que les routes, les voies ferrées, les digues, etc.), la stabilité des talus en déblai (creusement du sol) et en remblai (apport de terre) est un enjeu fondamental pour garantir la sécurité et la durabilité de l'infrastructure.

✓ Définition des pentes de talus :

Les pentes de talus sont généralement exprimées sous la forme d'un rapport base / hauteur (V/H). Cela signifie que pour chaque unité de hauteur verticale, la base horizontale s'étend d'un certain nombre d'unités. Ce rapport est un nombre sans unité qui reflète l'inclinaison du talus : Par exemple, un talus de 2/3 signifie qu'il y a 2 mètres de base horizontale pour 3 mètres de hauteur, soit une pente relativement raide.

Pentes recommandées par la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires, Algérie)

Selon le chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE » du référentiel technique de la SNTF Les pentes de talus principalement utilisées, et exprimées en fraction base sur hauteur, sont :

- en déblai 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1
- en remblai 3/2, 2/1.

Les pentes recommandées pour les talus en déblai ou en remblai varient en fonction de plusieurs paramètres :

- Nature du sol (rocheux, cohérent, meuble...)
- Hauteur du talus
- Présence d'eau ou de nappe phréatique
- Conditions géotechniques locales

➤ **Remarque :** Pour notre projet on admet d'utiliser une pente de 2H/1V pour le remblai et une pente de 1H/1V pour les déblais et cela après une étude de stabilisation des talus au glissement effectuée dans le chapitre « Etude géologique et géotechnique »

Tableau IX-1 : les cubatures des terrassements

Pk début	Pk fin	L(m)	Hmax (m)	Pente proposé
119+775	120+275	500	3.2	1H/1V
123+05	123+775	725	12.23	2H/1V

IX.1.3 Le compactage

Le compactage constitue une étape cruciale dans la construction des ouvrages en terre, car il influe directement sur leur durabilité et leur stabilité. Plusieurs facteurs techniques doivent être pris en compte pour garantir une qualité optimale. Les éléments clés à considérer sont les suivants :

- La nature du sol, le type de compacteur utilisé, ainsi que l'état d'humidité influencent les taux de compactage obtenus ainsi que les modules de déformation minimaux requis.
- L'épaisseur des couches élémentaires et l'énergie de compactage à appliquer doivent être soigneusement déterminées et planifiées.
- Des mesures spécifiques telles que l'arrosage ou l'essorage peuvent s'avérer nécessaires en fonction des conditions rencontrées.

IX.2 Ouvrage d'art :

La conception d'un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire ainsi que le franchissement des différents obstacles et infrastructures tout en répondant aux exigences techniques et économiques, il faut donc doter notre tracé d'une série d'ouvrage qui se composent de :

IX.2.1 Le croisement avec la route :

Les croisements entre voies ferrées et routes doivent être étudiés au cas par cas, en tenant compte de la nature de la route, du débit de circulation

1. **Passage à niveau** : adapté aux routes peu fréquentées et aux lignes à faible vitesse, mais nécessitant des dispositifs de sécurité renforcés.
2. **Passage inférieur** : Cette solution est envisagée si la vitesse de notre train est supérieure

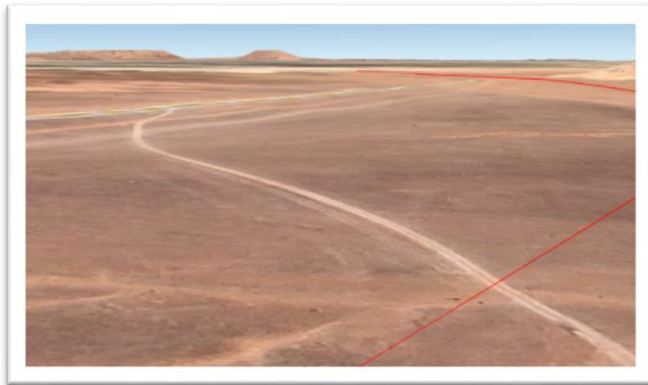
à 100km/h. Et la construction de la route est généralement réalisée après la pose de la voie ferrée.

3. **Passage supérieur :** Cette solution est envisagée si la vitesse de notre train est supérieure à 100km/h. Et la construction de la route est généralement réalisée avant la pose de la voie ferrée.

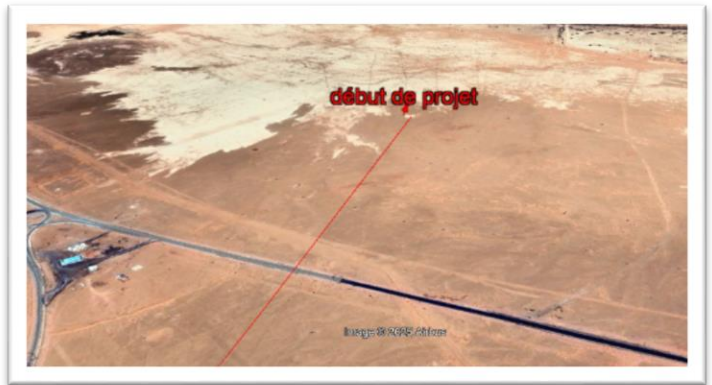
➤ Le tableau suivant représente les différentes routes traversé par notre trace :

Tableau IX-2 : Liste des ouvrages d’art de notre projet

PK	Type de route	Solution
118+600	Route N6	Passage supérieur
124+300	Piste	Piste a supprimé
141+730	Piste	Piste a supprimé
141+910	Piste	Piste a supprimé



Piste du pk 141+730



Route N6

IX.2.2 Franchissement d'écoulement d'eau :

IX.2.2.1 Les ouvrages hydrauliques :

Pour franchir un écoulement d’eau en toute sécurité, on envisage la construction d’ouvrages hydrauliques adaptés, tels que des buses ou des dalots, en fonction de l’importance du cours d’eau à traverser

IX.2.2.2 Protection des conduites de gaz :

Il est essentiel d'assurer une protection adéquate des conduites de gaz lorsqu'elles croisent des voies ferrées, afin de garantir la sécurité des infrastructures et de minimiser les risques d'incidents.

IX.2.2.3 Lignes électriques de moyenne et basse tension :**Tableau IX-3 : Liste des lignes électrique de moyenne et basse tension**

Obstacles à franchir	PK	Mesure prévue
Lignes électriques moyenne tension	PK 118+505	La possibilité de déplacer ou de protéger
	PK 118+525	
	PK 113+595	
	PK 119+027	
	PK 119+098	
	PK 119+452	
	PK 139+872	
	PK 139+943	
PK 141+560		
Lignes électriques basse tension	PK 141+854	

IX.3 Conclusion :

Les opérations de terrassement et la construction des ouvrages d'art constituent des piliers fondamentaux dans la réalisation d'un projet ferroviaire performant et pérenne. Leur qualité conditionne non seulement la stabilité de l'infrastructure, mais également la sécurité et la durabilité du réseau ferroviaire.

CHAPITRE X :
CONCEPTION DELA GARE

CHAPITRE X : CONCEPTION DE LA GARE**Introduction :**

Une gare est, par définition, un point d'arrêt prévu pour les trains. Elle joue un rôle essentiel dans le système ferroviaire en assurant deux fonctions principales :

D'une part, permettre l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ainsi que le chargement et le déchargement des marchandises. D'autre part, pour certaines gares, assurer des fonctions de régulation et de sécurité de la circulation ferroviaire, notamment grâce à la présence d'un agent de circulation.

La conception d'une gare ne se limite donc pas à une simple plateforme d'accueil. Elle requiert une réflexion approfondie sur l'aménagement, les équipements, les flux, la sécurité et les exigences d'exploitation. Ce chapitre présente les principes fondamentaux et les critères techniques à prendre en compte dans la conception d'une gare efficace, fonctionnelle et sécurisée.

X.1 Conditions de conception de la gare :

La conception d'une gare repose sur un ensemble de conditions techniques, fonctionnelles et contextuelles, visant à garantir une exploitation fluide, sécurisée et adaptée aux besoins des usagers. Parmi ces conditions, l'élaboration du plan de masse constitue une étape fondamentale.

X.2 Élaboration du plan de masse :

Le plan de masse est le document de base qui définit l'organisation spatiale de l'ensemble des installations de la gare : voies, quais, bâtiments, équipements techniques, accès, etc. Son élaboration doit intégrer toutes les fonctions essentielles de la gare, en tenant compte de trois éléments clés :

- ✓ **Catégories de voies :** Les différentes voies de la gare (voies principales, voies d'évitement, voies de service, voies de garage, etc.) sont définies selon leur usage. Ces catégories déterminent la configuration du plan de masse et les équipements associés (aiguillages, signaux, quais, etc.).
- ✓ **Trafic attendu :** L'analyse du volume de trafic — voyageurs et/ou marchandises — permet de dimensionner correctement les installations (nombre et longueur des quais, largeur des accès, espaces d'attente, voies de triage, etc.). Une estimation précise du

trafic est donc indispensable pour concevoir une gare adaptée à la demande actuelle et future.

- ✓ **Emplacement de la gare** : L'emplacement géographique influence fortement le type de trafic et la configuration des voies. Une gare en zone urbaine dense, en zone industrielle ou en milieu rural ne répondra pas aux mêmes exigences en matière d'accessibilité, de desserte ou d'équipements.

X.3 Type de gare :

➤ Il existe plusieurs catégories de gares :

- Gare voyageurs
- Gare marchandises
- Gare mixte
- Gare de croisement

1. Gare voyageurs :

Ces gares sont principalement destinées à l'accueil des passagers. Elles comprennent des quais, des bâtiments voyageurs, des halls d'attente, des guichets, ainsi que divers services annexes (commerces, informations, etc.). Elles peuvent être :

- Principales (ou centrales) : situées dans les grandes agglomérations, elles accueillent un trafic important.
- Secondaires : situées dans des villes moyennes ou petites, avec un trafic plus modéré.

2. Gare de marchandises :

Spécialisées dans le transport de fret, ces gares disposent d'installations adaptées au chargement, au déchargement et au tri des marchandises. Elles sont souvent reliées à des zones industrielles ou logistiques.

3. Gares mixtes :

Ces gares assurent à la fois le transport des voyageurs et le trafic de marchandises. Leur conception doit permettre une séparation efficace des flux pour garantir la sécurité et l'efficacité des opérations.

4. Gare de croisement :

Une gare de croisement est une gare située sur une ligne à voie unique, conçue spécifiquement pour permettre à deux trains circulant en sens opposé de se croiser en toute sécurité. Elle joue un rôle essentiel dans la régulation du trafic sur les lignes à faible capacité, notamment en milieu rural ou sur les réseaux secondaires. Cette gare est équipée d'une ou plusieurs voies d'évitement parallèles à la voie principale de signaux de protection et parfois d'un poste de commande ou d'un agent de circulation pour gérer les croisements, pour Assurer la fluidité du trafic en évitant les conflits de circulation sur une voie unique.

X.4 Aménagement de la gare :

X.4.1 Installations d'une gare à voyageur :

- Les bâtiments à voyageurs (B.V) :

Sont les principaux édifices dans une gare ferroviaire, où les passagers trouvent les guichets de vente de billets, les salles d'attente, les toilettes, et d'autres installations destinées aux voyageurs. Ces bâtiments servent également de point central pour l'accès aux quais.

X.4.2 Quais :

Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement des voyageurs. Les quais peuvent être bas ou hauts.

a. La longueur de quai (normes SNTF) :

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m. (Normes SNTF)
- Banlieue 225 m

b. La largeur des quais :

La largeur des quais est donnée par la formule suivante

La SNTF recommande pour une telle gare :

- Quai intermédiaire $B > 8$ m
- Quai extérieur $B \geq 6$ m
- Hauteur des quais : Quai bas = 35 cm
- Quai mi- haut $h = 55$ cm (Normes SNTF)
- Quai haut $76 \leq h \leq 100$ cm

- L'entre axe des quais : E normal > 11.3 m

X.4.3 Déclivité :

La déclivité au sein de la gare est régulée en fonction des opérations ferroviaires prévues. Dans le projet présenté, une pente nulle (0 ‰) a été retenue afin de garantir la stabilité des rames à l'arrêt et d'éviter tout mouvement non commandé.

X.4.4 Appareil de voie :

L'exploitation des voies ferrées nécessite des dispositifs spécifiques permettant la connexion et l'intersection des différents itinéraires ferroviaires. Ces dispositifs sont appelés appareils de voie. Un appareil de voie est un ensemble d'éléments mécaniques et géométriques conçus pour guider les trains lors du passage d'une voie à une autre. Il permet d'assurer à la fois la continuité, le changement d'itinéraire et la sécurité de la circulation ferroviaire, même à grande vitesse ou sous fortes charges.



Figure X-1 :Appareil de voie

X.5 Types d'appareils de voie :

1. Les branchements :

Le branchement simple permet à une voie ferrée de se diviser en deux : une voie directe et une voie déviée (à gauche ou à droite). Il se compose principalement de l'aiguille et du croisement, reliés par des rails de raccord.

Les lames d'aiguille, mobiles par flexion, dirigent les trains en s'appliquant sur l'un ou l'autre rail contre-aiguille, et sont solidaires grâce à des tringles d'écartement.

Le croisement, grâce au cœur de croisement et aux contre-rails, permet aux rails de se croiser tout en guidant les roues des trains.

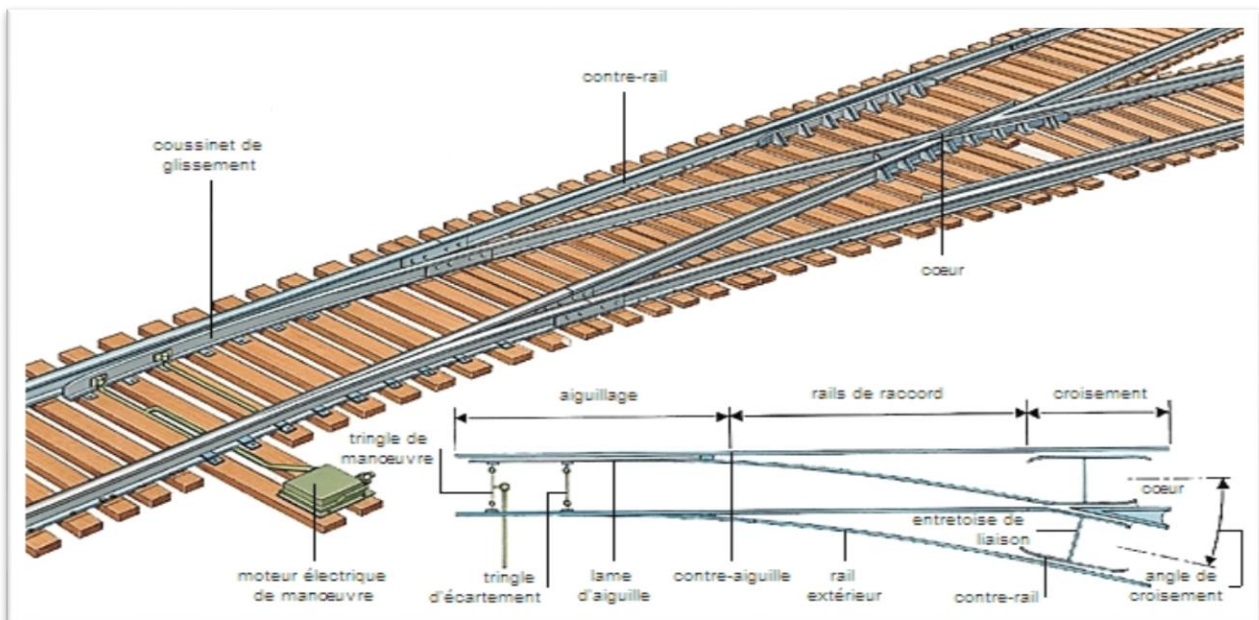


Figure X- 2 : Les branchements

2. Les traversées :

Les traversées permettent le croisement de voies ferrées à niveau.

- **Traversées simples** : permettent uniquement le croisement de deux voies, sans possibilité de changement de direction. Elles peuvent parfois concerner des voies de différents écartements
- **Traversées jonction** : permettent à la fois le croisement et la jonction des voies :
 - ✓ TJS (traversée jonction simple) : jonction possible dans un seul sens de circulation
 - ✓ TJD (traversée jonction double) : jonction possible dans les deux sens.

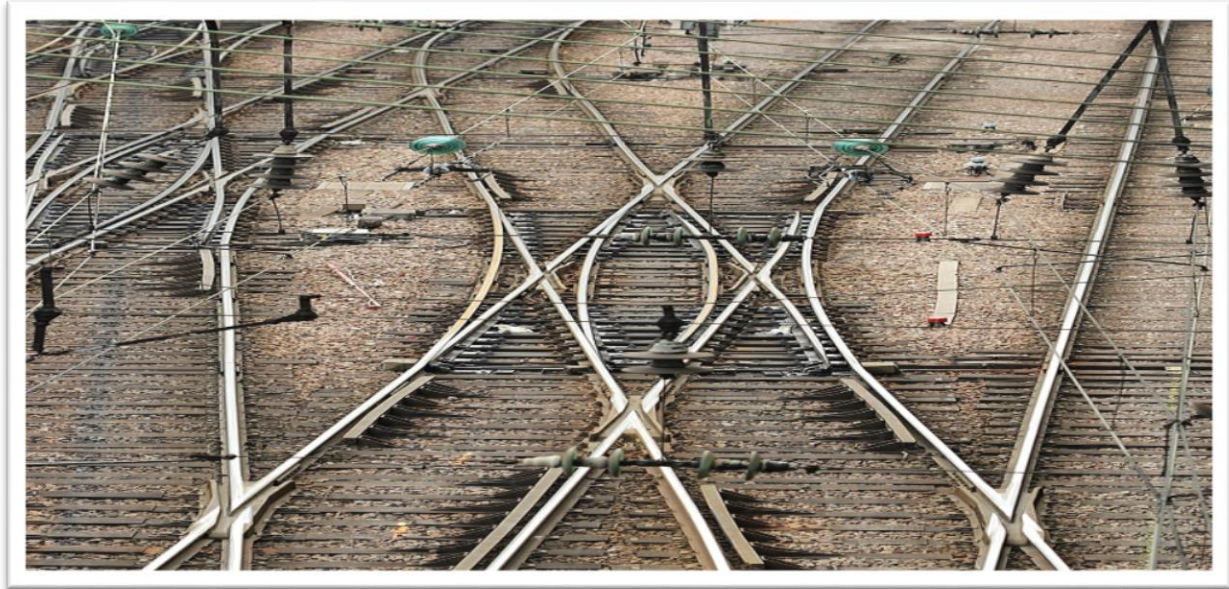


Figure X-3 : Traversée jonction double

- **Traversées perpendiculaires** : plus rares, permettent uniquement le croisement à 90°. Peu utilisées sur voies ferrées en France, mais fréquentes sur des réseaux de tramway en milieu urbain. Elles nécessitent une attention particulière concernant l'isolation électrique des caténaires.



Figure X-4 : Traversée perpendiculaire

X.6 Garage franc :

Le garage franc correspond à une section de voie ferroviaire permettant le stationnement d'un train complet sans compromettre la sécurité ni gêner la circulation sur les voies adjacentes. Cette zone est conçue de manière à respecter les gabarits de sécurité et à préserver la fluidité des opérations ferroviaires, notamment lors des manœuvres ou du remisage temporaire de trains. La distance de garage franc noté GF en mètre est défini par la formule suivante :

$$GF = 3.57.n + 1m \quad , \quad \text{Tel que : } n \text{ varie selon le type de l'appareil de voie.}$$

Donc, pour un appareil de voie de 500-1/12 la longueur du garage franc est la suivante :

$$GF = 3.57 \times 12 + 1 = 43.84 \text{ m}$$

Tableau X - 2 : longueur de garage franc pour les deux types ADV

ADV	GF
UIC60/54 E1 500 1:12 DD/DG	44
UIC60/54 E1 300 1:9 DD/DG	33.5

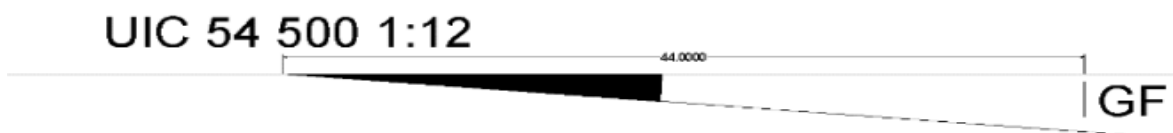


Figure X-5 : longueur de Garage Franc Pour ADV UIC60 5001 :12

X.7 La longueur utile :

Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme SNTF (aménagement et gare, tracé des voies), tel que : La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m

$$Lu = LG + LS + LT$$

Lu : longueur utile

Lg : longueur de glissement

Ls : longueur de sécurité

Lt : longueur maximale de train

La longueur de glissement L_g : La longueur de glissement L_g est fonction de la vitesse d'accès aux appareils de voie, elle est aussi fonction de la variation moyenne de la pente sur 2.000 m avant le premier appareil de voie :

- $L_g = 200 \pm x$ pour $V > 60$ km/h
- $L_g = 100 \pm x$ pour $40 < V < 60$ km/h
- $L_g = 50 \pm x$ pour $V < 40$ km/h

X.8 Assainissement des gares :

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

b. Assainissement longitudinale de la gare :

Des caniveaux longitudinaux inclinés à 4 ‰ sont aménagés le long de la plate-forme afin de capter les eaux de ruissellement s'infiltrant dans le ballast. Ces eaux sont ensuite dirigées vers le réseau d'assainissement par l'intermédiaire de regards d'inspection.

X.9 Les Caténares :

Ceux sont des lignes électriques aériennes assurant l'alimentation des engins de traction en marche. Les particularités de gabarit obligé conditionnent notamment la maintenance infrastructure.

X.10 Les Heurtoirs :

Les heurtoirs, également appelés butoirs ou tampons de voie. Leur fonction principale est d'arrêter les trains ou wagons qui pourraient dépasser la fin de la voie, en absorbant l'énergie de l'impact afin d'immobiliser le matériel roulant. En règle générale, les heurtoirs doivent être précédés de patins de freinage situés à environ 10 mètres en amont.



Figure X-6 : Heurtoir de fin de voie en gare

Paramètres géométriques de la gare Hamaguir:

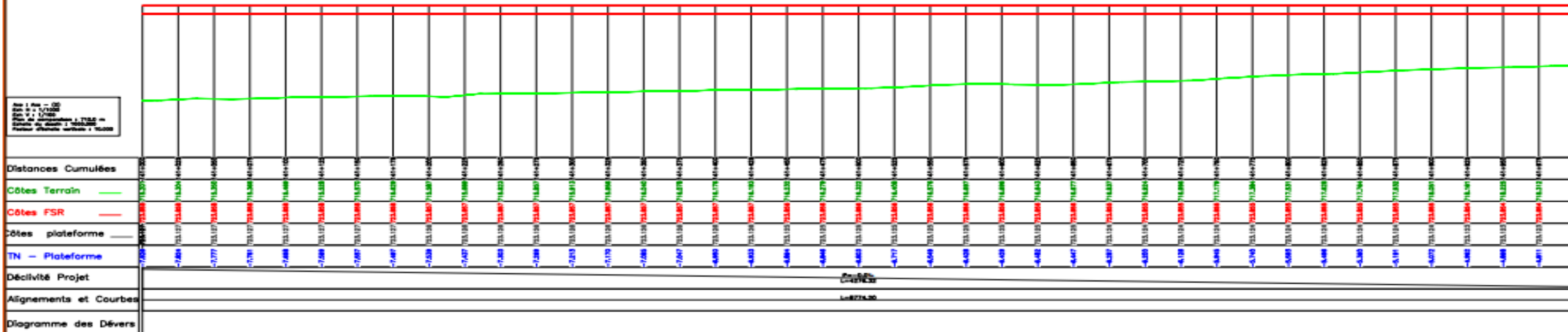
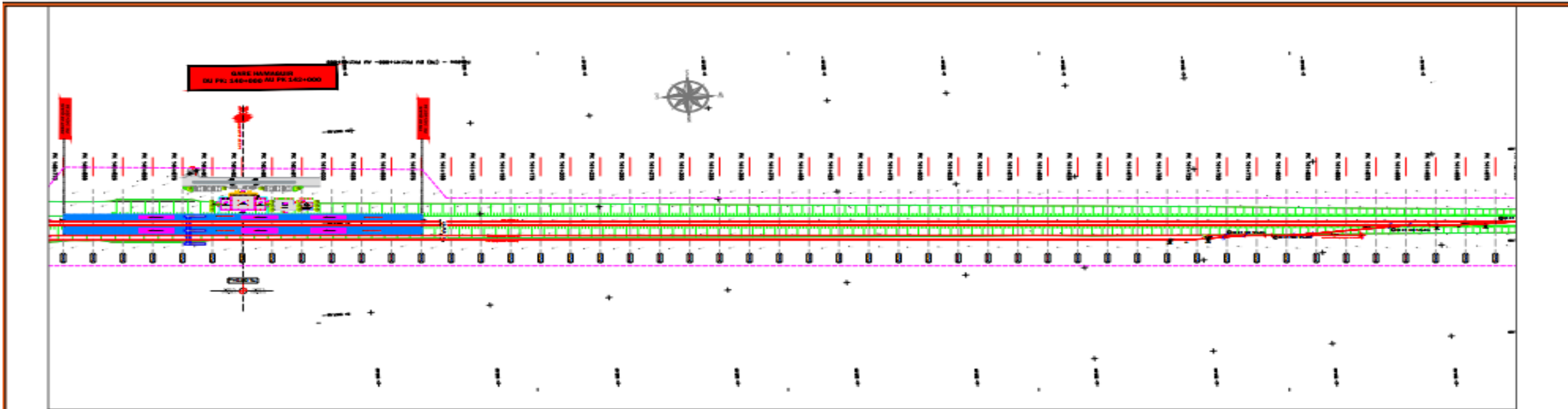
La gare de Hamaguir est une station stratégique sur le tracé, équipée de quatre voies ferrées. Cette configuration permet d'assurer une fluidité optimale du trafic, en facilitant les opérations de croisement, de dépassement ainsi que le stationnement temporaire des trains de marchandises ou de voyageurs. La conception de ces voies tient compte des normes techniques en vigueur, notamment en matière d'espacement, de signalisation et de sécurité.

Tableau X-3 : Paramètres géométriques de la gare

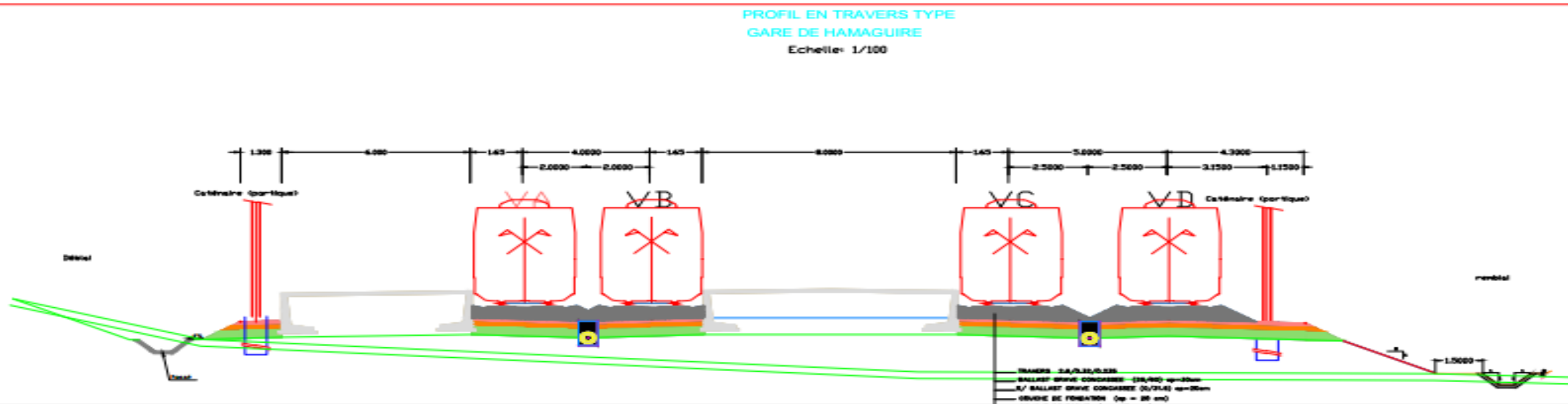
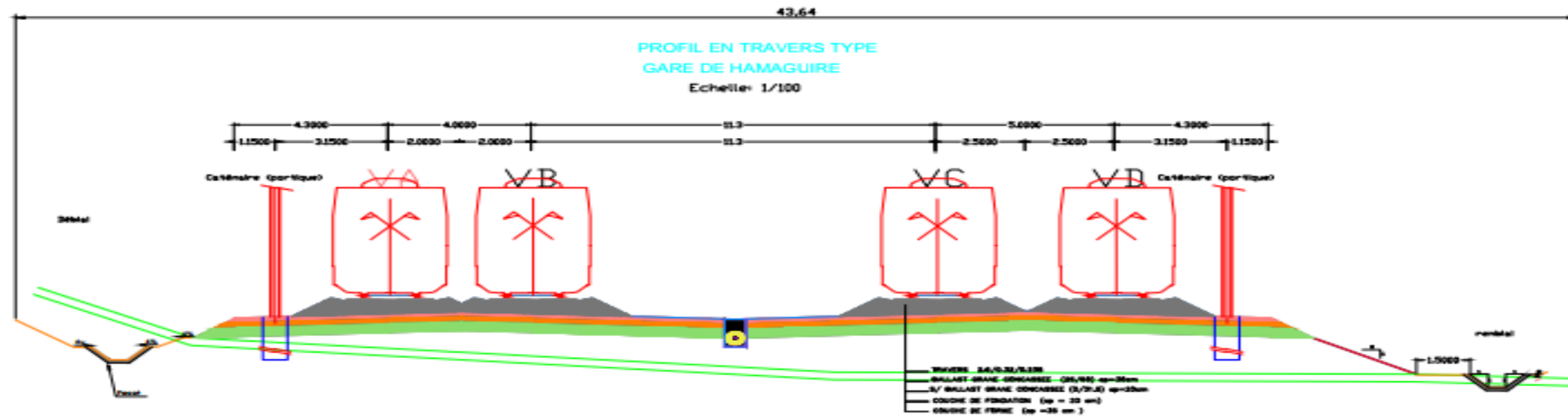
Quai	Longueur	300m
	Largeur : Quai intermédiaire	8m
	Quai extérieure	6m
	Hauteur	0.55m
	Distance par rapport à l'axe de voie	1.65 m
Entraxe normale		11.3m
Type d'AVD		2xUIC 60 500 1/12 6xUIC 60 500 1/9

X.11 Conclusion :

La gare a été conçue dans le strict respect des normes en vigueur, afin de garantir un haut niveau de sécurité et de confort pour les usagers. Elle s'inscrit dans une logique de développement durable, en anticipant l'augmentation progressive de la demande pour le transport ferroviaire. Son aménagement répond non seulement aux exigences techniques, mais aussi aux besoins socio-économiques de la région, contribuant ainsi à son désenclavement et à son essor économique.



 Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz		PROJET ETUDE APD de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar -Tindouf GHAR DJEBILET du PK 118+000 au PK 142+000 Avec conception GARE « HAMAGUIR »	Réalisé par ACHOUR kheira BELAHOUEL Amine	Encadré par Mr.H. Siguerdjidjene Mr.H.Kamel	Département DIB/DMS	Echelle 1:1000	Année universitaire 2024/2025
--	--	--	--	--	------------------------	-------------------	----------------------------------



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

PROJET	Réalisé par	Encadré par	Département	Echelle	Année universitaire
ETUDE APD de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar -Tindouf GHAR DJEBILET du PK 118+000 au PK 142+000 Avec conception GARE « HAMAGUIR »	ACHOUR kheira BELAHOUEL Amine	Mr.H. Siguerdjijene Mr.H.Kamel	DIB/DMS	1:100	2024/2025



CHAPITRE XI :

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Chapitre XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT**Introduction :**

Toute réalisation d'envergure, comme le projet ferroviaire reliant Béchar à Gara Djebilet, s'accompagne inévitablement d'effets sur l'environnement. Afin d'anticiper ces effets et d'assurer un équilibre entre développement et durabilité, une étude d'impact sur l'environnement s'impose comme une étape préalable et essentielle.

Cette étude permet d'évaluer les interactions possibles entre le projet et le milieu naturel, mais aussi d'en mesurer les répercussions sur les populations locales et les ressources disponibles. Elle offre une vision claire des enjeux environnementaux, tout en proposant des solutions concrètes pour limiter les effets négatifs, que ce soit durant la phase de réalisation ou celle de l'exploitation.

XI.1 Principe et objectif :

L'étude d'impact sur l'environnement a pour objet d'évaluer de manière préventive les effets potentiels du projet ferroviaire de contournement Béchar - Gara Djebilet sur le milieu naturel et humain. Elle vise à identifier, analyser et anticiper les impacts susceptibles d'affecter l'environnement physique (sols, air, eau), biologique (faune, flore), ainsi que les conditions de vie des populations locales.

Cette étude permet également de proposer des mesures de mitigation et des alternatives techniques pour réduire les nuisances, préserver les ressources naturelles, et assurer une intégration harmonieuse du projet dans son environnement. Elle constitue ainsi un outil d'aide à la décision pour garantir que le projet soit conforme aux principes du développement durable et aux exigences réglementaires en vigueur.

XI.2 Référentiel législatif et règlementaire :

L'étude d'impact environnemental et social est réalisée conformément au cadre réglementaire algérien et aux engagements internationaux du pays en matière de développement durable. Pour garantir une approche responsable, le projet doit respecter plusieurs lois nationales, notamment celles relatives à la protection de l'environnement, à la gestion des déchets et aux études d'impact. Ces dispositions assurent la conformité du projet aux normes en vigueur et visent à minimiser ses effets sur l'écosystème.

Voici une sélection de quelques principales dispositions légales à prendre en compte :

- Loi n° 2003-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable
- Loi n° 2001-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi n° 91-11 du 27 avril 1991 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique
- Loi n° 07-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts.
- Loi 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relatif à la protection du patrimoine culturel.

XL3 Description du Site :

Le milieu physique de la région de la wilaya de Béchar offre un panorama géographique et géologique fascinant, témoignant de l'adaptation de la vie à des environnements extrêmes et soulignant l'importance de la conservation et de la gestion durable des ressources naturelles dans cette région du Sahara algérien.

Le site étudié concerne un tronçon de 24 km de la future ligne ferroviaire minière reliant Béchar à Gara Djebilet, situé entre les points kilométriques PK 118+000 et PK 142+000. Ce segment traverse la région d'El Abadla en direction de Hammaguir, en longeant partiellement les routes nationales RN6 et RN50.

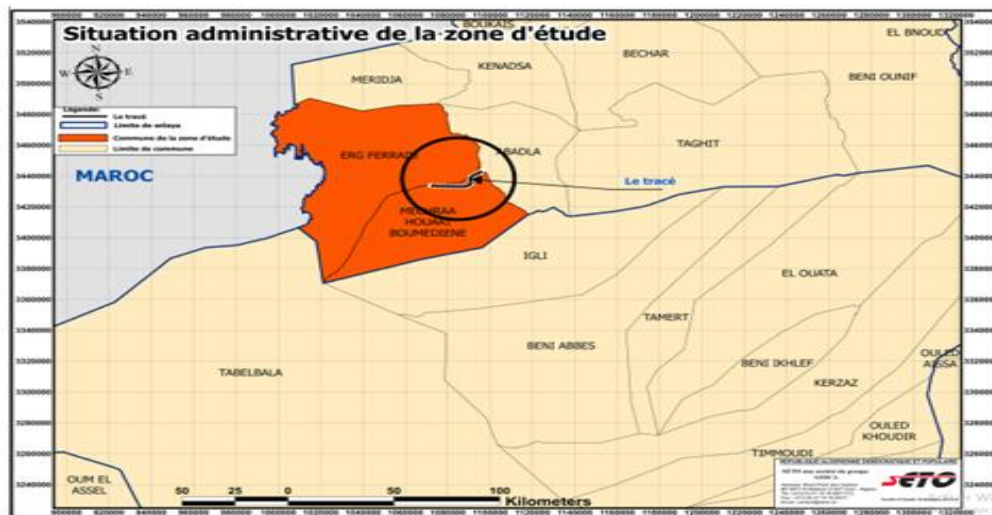


Figure XII-1: Situation administratif de notre zone d'étude

La zone présente un relief de plateau, bordé de chaînes montagneuses et traversé par l'oued Guir, essentiel à l'irrigation. La plaine d'Abadla, caractérisée par ses terres alluviales fertiles, favorise l'agriculture. À l'ouest, Hammaguir s'étend sur une hamada désertique historiquement connue pour son

rôle dans les essais spatiaux français.

Le climat est aride, typique du Sahara : très chaud en été, doux en hiver, avec des précipitations rares.

La zone d'étude (Abadla et Mechraa Houari Boumediene) est définie par les limites :

- Au Nord par les communes de Béchar, Kenadsa et Meridja.
- A l'Ouest par la commune d'Erg Ferradj.
- A l'Est par la commune de Taghit.
- Au Sud par la commune d'Igli.

XI.4 Milieu Naturel et Biodiversité :

XI.4.1 Milieu physique :

Le projet est situé dans l'ouest de l'Algérie, entre Tindouf et Béchar, dans une région semi-aride en bordure du désert du Sahara. Ce territoire, à climat sec et aux ressources limitées, présente des défis environnementaux et d'accessibilité, mais aussi un potentiel stratégique en raison de sa position géographique à proximité de frontières et de routes transsahariennes.

a. Relief :

La région présente une grande diversité géomorphologique. On y trouve des chaînes montagneuses telles que le Djebel Antar et le Djebel Grouz, composées de roches sédimentaires et volcaniques. De vastes dunes de sable, pouvant atteindre 300 mètres de hauteur, façonnent un paysage saharien en constante évolution. Les oueds Saoura et Guir traversent la zone, alimentant des oasis où subsiste une agriculture traditionnelle. Enfin, des plateaux rocheux formés de grès et de calcaire offrent des reliefs plats à légèrement ondulés.

b. Climat :

Le climat de la wilaya de Béchar est de type désertique continental qui se caractérise par un été très chaud (+45°C) et un hiver très froid. Les précipitations sont de faible niveau avec 15-200 mm/an.

Le régime des vents à Béchar révèle une prédominance de vitesses élevées en été, favorisant

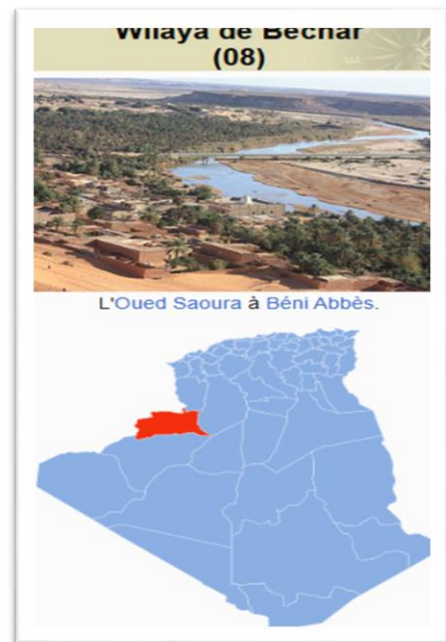


Figure XI-2 : carte de localisation de la wilaya de Bechar

l'ensablement, tandis que l'hiver, plus calme et dominé par des vents du nord, offre des conditions météorologiques plus stables.

c. Réseau hydrographique :

La région est traversée par plusieurs oueds, formant un réseau hydrographique intermittent mais essentiel pour l'équilibre écologique et les activités humaines locales. Parmi les principaux cours d'eau, on trouve :

- **Oued Saoura**, l'un des oueds les plus importants de la région, issu de la confluence de l'oued Guir et de l'oued Zouzfana
- **Oued Guir** et **Oued Zouzfana**, qui prennent naissance dans les montagnes du sud-oranais et confluent à Igli pour former l'oued Saoura
- **Oued Béchar**, qui traverse la ville de Béchar et joue un rôle central dans la vie locale
- **Oued Daoura** et **Oued Namous**, plus petits mais localement importants, notamment pour l'alimentation des oasis et la recharge des nappes phréatiques

d. Sismologie :

Selon le **Règlement Parasismique Algérien 2024 (RPA 2024)**, la zone située entre Tindouf et Béchar est classée en **zone de sismicité faible**. Cela signifie que les contraintes sismiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages sont limitées, mais non nulles. Les structures doivent néanmoins respecter les exigences minimales du RPA 2024 pour les zones de faible activité sismique, en particulier en ce qui concerne la stabilité des constructions, la résistance des matériaux et les dispositions constructives de base.

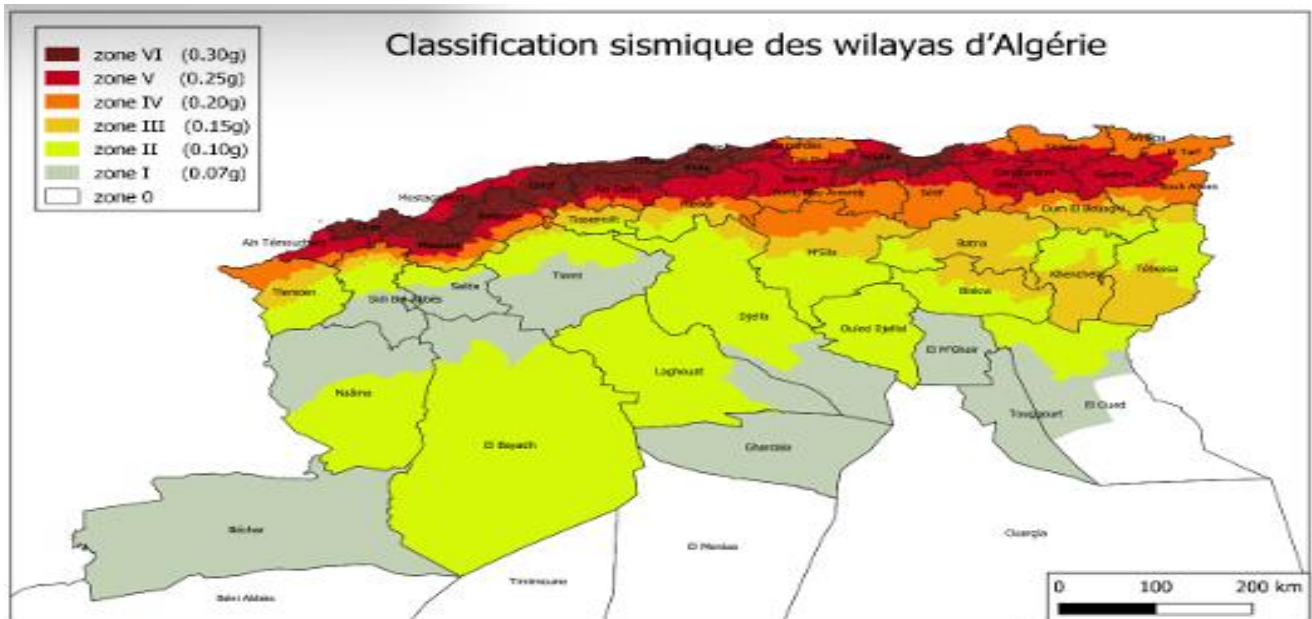


Figure XI- 3: Zonage sismique de l'Algérie

XI.4.2 Milieu biologique :

A. La Faune : résumé sur la faune remarquable répandue dans la région étudiée (Béchar/Tindouf)

1) **Mammifères :** Présence de plusieurs espèces sahariennes :

- Gazelles (dorcas, de Cuvier, leptocère)
- Fennec, renard famélique, chacal doré, hyène rayée
- Mouflon à manchettes (espèce emblématique)
- Rongeurs (gerbilles, lièvres, goundi)
- Chauves-souris variées

2) **Oiseaux :** Région importante pour les oiseaux migrateurs et sédentaires :

- Rapaces (aigle royal, faucon, buse)
- Outarde houbara, hérons, limicoles
- Passereaux, perdrix, caille des blés, guêpier

3) **Reptiles & Amphibiens :** Faune adaptée au climat aride :

- Varan du désert, fouette-queue, caméléon

- Tortues terrestres et aquatiques
- Divers lézards et geckos sahariens



Figure XII-4 :Photos de la faune

B. La Flore :

- ✓ **Types de formations végétales** : La flore est très variée grâce à une géomorphologie diversifiée (hamadas, ergs, oueds, montagnes). On distingue plusieurs types de végétation :
 - **Steppe saharienne** : Armoise (*Artemisia* sp.), Chiendent (*Cynodon dactylon*), chardons.
 - **Végétation désertique** : Plantes xérophiiles comme l'Aloe vera, le Ficus de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), cactées.
 - **Oasis** : Palmiers dattiers (*Phoenix dactylifera*) et cultures irriguées.
 - **Maquis** : Lentisque (*Pistacia lentiscus*), myrte, thym, romarin.
 - **Forêts claires** : Oléastre (*Olea europaea* var. *sylvestris*), genévriers.
 - **Zones humides** : Roseaux (*Phragmites* sp.), typhas (*Typha* sp.), nénuphars (*Nymphaea* sp.).



Figure XI-5 : les flores de la zone étudiée

C. Bassins versants et écoulement de surface :

la wilaya de Béchar compte six principaux oueds orientés globalement du nord au sud (Namous, Zouzfana, Béchar, Guir, Saoura et Daoura). L'oued Guir draine la plaine d'Abadla, et sa confluence avec l'oued Zouzfana donne naissance à l'oued Saoura, qui traverse les oasis d'Igli, Beni Abbès et El Ouata. L'oued Béchar est indépendant et se perd dans les sables du Erg Boudib.

Les eaux de surface issues des précipitations, accentuées par la géomorphologie locale, s'écoulent jusqu'à la Sebkhât El Mellah au sud. Les crues, souvent violentes, sont favorisées par l'étendue nord-sud des bassins versants. L'oued Guir, provenant du Haut Atlas marocain, possède un bassin de 27 500 km² en amont de sa confluence avec la Zouzfana. Son écoulement dure en moyenne 82 jours par an.

D'après des données historiques sur 67 ans (études de Roche), les crues importantes sont espacées d'environ deux ans, avec une fréquence accrue en novembre (22 occurrences sur 67 ans). Elles se produisent surtout en automne et au printemps, et peuvent atteindre la Sebkhât El Mellah (14 fois en 17 ans). À Igli, une crue dure en moyenne 13,5 jours.

XI.4.3 Milieu humain :

La région traversée par le projet ferroviaire Béchar-Tindouf présente un milieu humain structuré autour de centres urbains comme Béchar, principale agglomération, et de petites communes à vocation agro-pastorale. La population, estimée à plus de 300 000 habitants, est

inégalement répartie, avec une forte concentration dans les zones urbaines et une faible densité dans les zones rurales et désertiques. L'économie repose principalement sur l'agriculture oasienne, l'élevage extensif et, dans une moindre mesure, le tourisme et l'artisanat. Le tissu industriel reste peu actif malgré l'existence de zones d'activités. Sur le plan éducatif, la présence d'un établissement universitaire renforce l'attractivité de Béchar, mais le taux de chômage demeure élevé, reflétant des déséquilibres socio-économiques persistants entre les différentes communes de la région.

XI.5 Les risques majeurs :

Les différents types de risques majeurs auxquels chacun de nous peut être exposé sont regroupés en 3 catégories :

XI.5.1 Les risques naturels :

a. L'ensablement :

L'ensablement est le déplacement des grains de sable par les vents et s'accumulent sur les agglomérations, les villages, routes, chemin de fer, les oasis, cultures, jardins maraîchers, canaux d'irrigation et barrages, entraînant ainsi des dégâts matériels et socio-économiques très importants.

- Les effets de l'érosion éolienne
- Détérioration la structure du sol
- Déclanchement du phénomène de décapage
- Produire des terrains accidentés
- Rendre le sol impropre à la culture
- Heurtement des tiges et les feuilles avec force, entraînant l'abrasion de leurs tissus

b. Les infestations acridiennes :

Au début de l'année 2004, l'Algérie a été confrontée à une invasion massive de criquets pèlerins, conséquence d'une reproduction intense dans les pays du Sahel (notamment la Mauritanie) due aux fortes pluies de l'été 2003.

Pour y faire face, d'importants moyens ont été mobilisés : pesticides, moyens terrestres et aériens,

XI.5.2 Les risques d'inondations importants :

La wilaya de Béchar est particulièrement exposée aux risques d'inondations en raison de facteurs naturels (fortes précipitations, terrains en pente, présence d'oueds) et anthropiques (encombrement des lits d'oueds, constructions précaires). L'un des événements les plus marquants est celui des 18 et 19 octobre 2007, où des pluies torrentielles ont provoqué des crues importantes de tous les oueds de la région. L'oued Ain Safra a notamment détruit un pont crucial reliant Béchar à d'autres wilayas, isolant ainsi la région du reste du pays. À Béchar, l'oued principal a inondé plusieurs quartiers, des dégâts matériels importants, notamment sur le réseau d'assainissement, et des interruptions ferroviaires.

XI.5.3 Les risques technologiques :

La wilaya de Bechar est traversée par une conduite de Gaz et des lignes électriques de haute et moyenne tension qui peut provoquer un risque d'explosion ou un risque d'électrocution.

XI.5.4 Les risques TMD :

Le passage des routes nationales dans la wilaya de Bechar expose la wilaya au risque TMD (Transport de Matières Dangereuses).

XI.6 L'impact du projet :**XI.6.1 Paramètres de l'évaluation des impacts :**

Les paramètres qui nous permettent d'évaluer les impacts du projet, sur chaque aspect environnemental sont :

- Intensité de l'impact
- Durée
- Étendue
- Fréquence de l'impact
- Effet d'entraînement

XI.6.2 Les impacts positifs :

Le projet ferroviaire Oran–Tindouf vise à désengorger les routes, faciliter le transport des personnes et des marchandises, réduire la pollution et les accidents, et améliorer la connectivité régionale avec un service moderne, fiable et économique.

- ✓ **Réduction des nuisances en milieu urbain** : Minimiser la perturbation et protéger l'environnement de la ville de Béchar en limitant le passage des trains de marchandises à travers la zone urbaine.
- ✓ **Renforcement de la capacité logistique** : Augmentation de la capacité de la ligne minière pour répondre à une demande croissante en transport de minerais.
- ✓ **Création d'emplois** : Génération d'opportunités d'emploi directes et indirectes à travers les phases de construction, d'exploitation et de maintenance de la ligne.
- ✓ **Optimisation des performances ferroviaires** : Amélioration de la vitesse des trains et réduction des temps de trajet, rendant le transport plus compétitif et efficace.
- ✓ **Réduction de la pression sur les infrastructures routières** : Suppression progressive du transport routier des produits miniers, diminuant ainsi les dépenses d'entretien des routes.
- ✓ **Baisse du trafic routier** : Réduction de la congestion, de la pollution atmosphérique et des risques d'accidents liés au transport de marchandises par camion.
- ✓ **Dynamisation économique** : Amélioration de l'accessibilité à la région, attirant de nouvelles entreprises et investissements.
- ✓ **Meilleure gestion des ressources locales** : Optimisation de l'utilisation des ressources locales grâce à un système de transport plus efficace et durable.

XI.6.3 Les impacts négatifs :

1. Impact sur l'agriculture de la mise en place :

La réalisation d'une infrastructure ferroviaire peut avoir plusieurs impacts négatifs sur l'agriculture :

- Perte directe de terres agricoles : L'emprise de la voie ferrée peut entraîner la suppression ou la fragmentation de parcelles cultivées.

2. Modification des facteurs de production :

- **Eau** : La construction peut perturber les systèmes d'irrigation ou le drainage naturel affectant l'accès à l'eau.
- **Sol** : Les travaux peuvent entraîner la dégradation de la qualité des sols, l'érosion ou la

pollution.

- Perturbation des pratiques agricoles : Accès plus difficile aux champs, bruit, vibrations, et autres nuisances peuvent nuire à l'activité agricole.

3. Impact sur l'air :

Les travaux de construction de la voie ferrée entraîneront une dégradation temporaire de la qualité de l'air, principalement à cause :

- **Des émissions de poussières** générées par les terrassements, les mouvements de sol et la circulation des engins.
- **Des polluants atmosphériques** issus de la combustion des hydrocarbures (véhicules de chantier, machines).

XI.6.4 Impacts sur la végétation :

Les travaux de préparation du site, notamment le décapage et le terrassement, entraînent une destruction partielle ou totale de la végétation locale. Cette perturbation altère la structure des sols et leur topographie, ce qui compromet :

- La capacité des plantes à se régénérer naturellement,
- Le maintien de la biodiversité végétale dans les zones touchées,
- Et accroît fortement le risque d'érosion, surtout dans les secteurs à forte pente ou déjà fragilisés.

XI.6.5 Impacts sur la faune :

La construction de la voie ferrée fragmentera les habitats naturels, isolant les populations animales et augmentant le risque d'extinction. Les collisions avec les trains menacent particulièrement les espèces lentes ou migratrices, tandis que le bruit pousse les animaux à éviter les zones proches, réduisant leur accès aux ressources vitales.

XI.6.6 Impacts sur Milieux humain :

- **Expropriation et relocalisation** : La mise en place de nouvelles lignes ferroviaires peut nécessiter l'expropriation de terres, forçant certains résidents à se relocaliser.

- **Nuisances sonores** : Le passage fréquent des trains à proximité des zones résidentielles peut générer un bruit constant, perturbant le sommeil, la concentration et le bien-être général des habitants, ce qui affecte négativement leur qualité de vie.
- **Risque accru d'accidents** : Les chantiers de construction ainsi que la circulation des trains augmentent les risques d'accidents, tant pour les travailleurs que pour les riverains, posant ainsi des enjeux en matière de sécurité.

XI.7 Les solutions proposées :

- Adopter des méthodes de stabilisation du sol afin de réduire l'érosion.
- Contrôler la poussière en arrosant les zones de travail et en installant des barrières pour limiter sa dispersion.
- Rétablir l'état des lieux par la re-végétalisation de l'Alpha des sites dégradés par les installations de chantier et pistes ainsi que les zones touchées par les déboisements et le décapage du couvert végétal, en utilisant les espèces végétales présentes sur site.
- Installer des barrières acoustiques le long des voies ferrées pour atténuer le bruit pour les zones résidentielles.

XI.8 Conclusion :

La création d'une nouvelle ligne ferroviaire présente des défis liés à l'occupation des sols et à la fragmentation des milieux naturels. Cependant, grâce à un cadre réglementaire adapté et à des solutions techniques modernes, ces impacts peuvent être maîtrisés et compensés. La réussite du projet repose avant tout sur un dialogue ouvert et collaboratif entre tous les acteurs concernés. Cette approche collective garantit non seulement la protection de l'environnement, mais aussi l'optimisation des bénéfices pour les populations locales et le développement Durable de territoire.

CHAPITRE XII :
DEVIS QUANTITATIF ET
ESTIMATIF

Chapitre XII : Devis quantitatif et estimatif

N°	DESIGNATIONS	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
1	INSTALLATIONS GENERALES				
1.01	Amenée du matériel et installation générale de chantier	F	1	868 000 000.00	868 000 000.00
1.02	Repli du matériel	F	1	36 500 000.00	36 500 000.00
1.03	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	24 000 000.00	24 000 000.00
1.04	Repliement de laboratoire de chantier	F	1	15 000 000.00	15 000 000.00
TOTAL 1					943 500 000
2	DEGAGEMENT DES EMPRISES				
2.01	Déplacement ligne électrique haute tension	KM	6,7	12 000 000.00	80 400 000.00
TOTAL 2					80 400 000.00
3	TERRASSEMENTS GENERAUX				
3.01	<i>Études d'exécution des terrassements généraux</i>	F	1	12 000 000.00	12 000 000.00
3.02	Décapage de terre végétale sure épaisseur de 0,30 m	M3	229 820.10	6750.00	172 365 075.00
3.03	Remblai provenant des zones de déblais en terrain meuble	M3	111 631,198	1 500,00	167 446 797.00
3.04	Remblai provenant des zones de déblais en terrain rocheux	M3	837 233,985	1 500,00	1 255 850 977,50
3.05	Déblais en terrain meuble	M3	159 473.14	1 200.00	191 367 768.00
3.06	Déblais en terrain rocheux	M3	1196048.50	2 500.00	2990 121 375.00
3.07	Fourniture Mise en place du Géotextile	M2	13 615.65	1 150.00	15 657 997.5
3.08	Matériau de zone inondable	M3	54 000.00	3 800.00	205 200 000.00
TOTAL 3					5 010 009 990.00
4	ASSISE FERROVIAIRE				
4.01	Fourniture et pose de Ballast	M3	59 692.50	7400	441 724 500.00
4.02	Fourniture et mise en place du matériau pour Couchede sous ballast	M3	44 200.00	3 800.00	167 960 000.00
4.03	Fourniture et mise en place du matériau pour Couchede foundation	M3	52000.00	3 200.00	166 400 000.00
4.04	Fourniture et mise en place du matériau pour Couchede forme	M3	97 500.00	2 600.00	253 500 000.00
TOTAL 4					1 029 584 500.00
5	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT				
5.01	Étude d'exécution	F	1	1000 000.00	1000 000.00
5.02	Dalots en béton armé (3x2)	M3	2 066	7 500.00	15 495 000.00
5.03	Buses en béton arme diamètre (1500)	ML	414.24	34 000.00	14 084 160.00
5.04	Fossé trapézoïdaux en béton arme.	ML	19500	15000	292 500 000,00
5.05	Fossés trapézoïdaux en terre	ML	11 000,00	15 000,00	165 000 000,00
TOTAL 5					488 079 160.00
6	TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE				
6.01	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,21 kg/m)	T	3 194.743	199 962.00	638 827 119.78
6.02	Pose de voie UIC 60	ML	26 530.00	8 500.00	225 505 000.00

6.03	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	U	2.00	29 900 000.00	59 800 000
6.04	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-500-1/9	U	6.00	25 300 000.00	151 800 000
6.05	Fourniture et Pose de garage franc	U	8.00	40 891.56	327 132.48
6.06	Fourniture des traverses mono bloc	U	44 217.00	12 000.00	530 600 000.00
6.07	Soudage aluminothermique	U	184	20 800.00	3832111.11
6.08	Soudage électrique	U	2764	18 400.00	50853511.11
6.09	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	176 867.00	1 800.00	3180360000
6.10	Heurtoir	U	936 686.56	2.00	1 873 373.12
6.11	Fourniture semelle cannellée (200x165x9)	U	88 433	450.00	39 795 000,00
6.12	Réalisation du bâtiment Voyageurs de la gare de HAMMAGUIR	M2	80 000.00	594.44	47 555 200.00
6.13	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare deHAMMAGUIR	M2	40 000.00	5 366.76	214 670 400.00
TOTAL 6					5145798847.6
7	OUVRAGES D'ART				
7.01	TOTAL - VIADUC DU PK 125+800 AU PK 126+600	F	1	2 337 704 125.00	2 337 704 125.00
7.02	Total - Passage Supérieur	F	1	86 283 472.50	86 283 472.50
TOTAL 7					2 423 987 597.5
Total en HT					15121360092.6
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)					2873058417.5
MONTANT TOTAL EN TTC					17994418511

Montant total en TTC (en lettres) :

Dix-sept milliards neuf cent quarante-vingt-quatorze millions quatre cent dix-huit mille cinq cent onze

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude, réalisée dans le cadre de l'avant-projet détaillé (APD) de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar – Tindouf – Ghar Djebilet (du PK 118+000 au PK 142+000) et portant sur la conception de la gare de Hammaguir, s'inscrit dans un objectif stratégique de renforcement du réseau ferroviaire national. Ce projet vise à la fois à soutenir le développement du secteur minier, pilier essentiel de l'économie algérienne, et à améliorer la desserte ainsi que la connectivité des régions du Sud-Ouest.

L'analyse approfondie du tracé, prenant en compte les contraintes topographiques et géotechniques, ainsi que la conformité aux normes ferroviaires nationales et internationales, a permis de proposer des solutions techniques innovantes destinées à optimiser la qualité de l'infrastructure, les performances d'exploitation et la sécurité.

La modélisation et la simulation des composantes du projet ont été réalisées à l'aide d'outils spécialisés tels qu'AutoCAD, Civil 3D, et Geo5, facilitant la production de plans précis et de représentations visuelles détaillées, indispensables à la prise de décision et à la coordination entre les différents acteurs du projet. L'application rigoureuse des normes de l'UIC et de la SNTF a garanti la conformité et la fiabilité du projet.

En conclusion, ce projet de fin d'études a constitué une expérience enrichissante dans le domaine du transport ferroviaire. Nous sommes convaincus que les compétences et connaissances acquises au cours de cette étude seront des atouts précieux pour notre avenir professionnel. Nous sommes également motivés à contribuer activement au développement et à l'amélioration des systèmes de transport ferroviaire.

Bibliographie

- [1] : Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2008, Alger, ministère des Travaux Publics.
- [2]SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
- [3]IN 0272, Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h.
- [4] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.
- [5] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.
- [6] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
- [7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».
- [8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [9] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [10] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
- [11] : SNTF, «Constituants de la voie,» Référentiel technique. Chapitre 9 : SNTF, ed.,2005.
- [12] SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.
- [13] SNTF, Appareils de vois.
- [14] Cour voie ferrée de Mr.Morsli «enseignant à ENSTP »;
- [15] ST N°590 B-Oct 95.

ANNEXE

ANNEXE A : Listing de l'axe en plan

Axe en plan : axe

Plage d'abscisse : Début : 118+000, Fin : 142+000

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			118+000.00	522473.1392	3426665.1999
DR1	ANG=235.6553 (g)	590.670			
			118+590.67	522159.3473	3426164.7741
CLO2	A=500.000				
	R=2500.000	100.000			
			118+690.67	522105.6599	3426080.4100
ARC3	XC=520014.6020				
	YC=3427450.6204				
	R=2500.000	1934.440			
			120+625.11	520552.7284	3425009.2233
CLO4	A=500.000				
	R=2500.000	100.000			
			120+725.11	520454.7959	3424989.0025
DR5	ANG=287.4619 (g)	364.663			
			121+089.77	520097.1823	3424917.6461
CLO6	A=424.264				
	R=1800.000	100.000			
			121+189.77	519999.3042	3424897.1719
ARC7	XC=520400.4152				
	YC=3423142.4326				
	R=1800.000	677.289			
			121+867.06	519382.5772	3424627.0221
CLO8	A=424.264				
	R=1800.000	100.000			
			121+967.06	519301.1641	3424568.9599
DR9	ANG=259.9709 (g)	1867.774			
			123+834.84	517790.6048	3423470.4196
CLO10	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			123+934.84	517710.1599	3423411.0209
ARC11	XC=519103.0305				

	YC=3421580.7446				
	R=2300.000	2738.945			
			126+673.78	516886.7038	3420966.0122
CLO12	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			126+773.78	516914.8244	3420870.0497
DR13	ANG=181.3914 (g)	541.900			
			127+315.68	517070.9774	3420351.1357
CLO14	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			127+415.68	517099.0980	3420255.1731
ARC15	XC=514882.7713				
	YC=3419640.4408				
	R=2300.000	3412.117			
			130+827.80	515688.3312	3417486.1258
CLO16	A=479.583				
	R=2300.000	100.000			
			130+927.80	515594.1696	3417452.4632
DR17	ANG=278.6037 (g)	997.398			
			131+925.20	514652.5754	3417123.5213
CLO18	A=387.298				
	R=3000.000	50.000			
			131+975.20	514605.3274	3417107.1625
ARC19	XC=513639.5623				
	YC=3419947.4614				
	R=3000.000	1204.979			
			133+180.18	513418.0607	3416955.6497
CLO20	A=387.298				
	R=3000.000	50.000			
			133+230.18	513368.2186	3416959.6184
DR21	ANG=305.2352 (g)	8799.223			
			142+029.40	504598.7316	3417682.4023

ANNEXE B : Abscisse Sommets et Raccordements

Profil en long : FSR

Plage d'abscisse : Début : 118+000, Fin : 142+000

LONGUEUR DE L'AXE : 24000.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			122+771	607.229
PAR0	S= 122+802 Z= 607.392 Point eleve= 607.459m (122+833)			
	R= 20000.000	62.090		
			122+833	607.459
DI	PENTE= 0.22%	4825.923		
			127+659	617.882
PARI	S= 127+710 Z= 617.993 Point bas= 617.882m (127+659)			
	R= 12000.000	102.754		
			127+761	618.543
D2	PENTE= 0.67%	9662.333		
			137+424	722.147
PAR2	S= 137+585 Z= 723.872 Point eleve= 723.872m (137+745)			
	R= 30000.000	321.796		
			137+746	723.872
D3	PENTE= -0.00%	4276.320		
			142+022	723.854

ANNEXE C : Classes de qualité des sols UIC 719R

Classification des sols (identification géotechnique)		Classe de qualité des sols
0.1	Sols organiques	QS0
0.2	Sols fins (comportant plus de 15 % de fines ^a) foisonnés, humides et donc non compactables	
0.3	Sols thixotropes ^b (quick-clay par exemple)	
0.4	Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)	
0.5	Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)	
0.6	Sols mixtes "minéraux organiques" ^b	
1.1	Sols comportant plus de 40 % de fines ^a (sauf sols 0.2)	QS1
1.2	Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	
1.3	Sols comportant de 15 à 40 % de fines ^a (sauf sols 0.2)	QS1 ^c
1.4	Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes altérés	
1.5	Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1	Sols comportant de 5 à 15 % de fines ^a	QS2 ^d
2.2	Sols comportant moins de 5 % de fines ^a mais uniformes ($C_u \leq 6$)	
2.3	Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} \leq 40$	

ANNEXE D : Les épaisseurs minimales de la couche d'assiseselon UIC719R

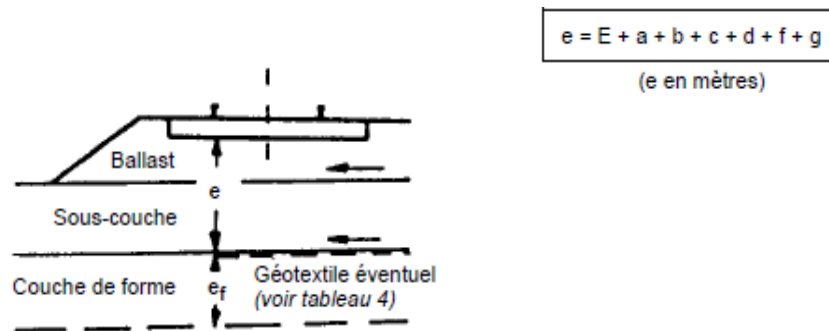


Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 ^a
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 ^a
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3 ^a
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC) ^b
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4 ^b
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6 ^b
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	= $\frac{2,50 - L}{2}$	pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	= 0	pour un dimensionnement normal
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur" ^b
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	= 0	pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse ^a
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 ^c
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3 ^c

a. Les classes de portance des plates-formes sont définies au tableau 4.

b. Les groupes UIC sont définis dans la fiche n° 714 (édition du 01.01.89) (voir Bibliographie).

c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

ANNEXE E : Annexe 4 de UIC 719R

Annexes



A.4 - Définition de la classe de qualité des sols à partir de la classification de la norme NF P 11 300

Classification de la norme NF P 11 300			Classe de qualité des sols (voir tableau 3 - page 15)			
Classe	Désignation	Sous-classe	QS 0	QS 1	QS 2	QS 3
A	Sols fins	A1	A1h	A1m & A1s	A1s B.C. Hydro. saison sèche	
		A2	A2h	A2m & A2s	A2s B.C. Hydro. saison sèche	
		A3	A3h	A3m & A3s		
		A4	A4h	A4m & A4s ^a		
B	Sols sableux et graveleux avec fines	B1				
		B2	B2h	B2m	B2s B.C. Hydro.	
		B3				Propre et bien gradué Dureté élevée
		B4	B4h	B4m	B4s	Propre et bien gradué Dureté élevée
		B5	B5h	B5m	B5s	
		B6	B6h	B6m	B6s B.C. Hydro.	
C	Sols comportant des fines et de gros éléments	C1	La classe de qualité est celle de la fraction 0/50			
		C2	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w \geq 1,25 w_{opt}$	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w < 1,25 w_{opt}$	fraction 0/50 de classe de qualité QS1	Propre et bien gradué Dureté élevée
D	Sols insensibles à l'eau	D1			Assurer la traficabilité Planche d'essai	
		D2		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée
		D3		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée
Légende h : matériau classé humide (h) ou très humide (th) selon la norme NF P 11 300 m : matériau classé d'humidité moyenne selon la norme NF P 11 300 s : matériau classé sec (s) ou très sec (ts) selon la norme NF P 11 300 w : teneur en eau w _{opt} : teneur en eau à l'optimum Proctor Normal B.C. Hydro. : bonnes conditions hydrologiques et hydrogéologiques Planche d'essai : planche d'essai obligatoire						

a. Ne prend pas en compte les sols gonflants qui doivent faire l'objet d'une étude particulière.

ANNEXE F : Classification du sol selon GTR

		← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN REMBLAI →				← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN COUCHE DE FORME →		
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
D _{max} ≤ 50 mm et tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	- tamisat à 80 µm ≤ 12% - tamisat à 2 mm ≤ 70% - VBS > 0,2 ou ES ≤ 25	B ₄ Graves argileuses (peu argileuses)...	La plasticité de leurs fines rend ces sols sensibles à l'eau. Ils sont plus graveleux que les sols B ₂ et leur fraction sableuse est plus faible. Pour cette raison, ils sont en général perméables. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique (humidification - séchage). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe, il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir 'moyen'. Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	IP _I ≤ 7 ou w _L ≥ 1,25 w _{OPH}	B ₄ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ th
				7 < IP _I ≤ 15 ou 1,10 w _{OPH} ≤ w _L < 1,25 w _{OPH}	B ₄ h	LA > 45 ou MDE > 45	B ₄ th	
				0,9 w _{OPH} ≤ w _L < 1,10 w _{OPH}	B ₄ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ h	
				0,6 w _{OPH} ≤ w _L < 0,9 w _{OPH}	B ₄ s	LA > 45 ou MDE > 45	B ₄ m	
				w _L < 0,6 w _{OPH}	B ₄ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ s	
					B ₄ ts	LA > 45 ou MDE > 45	B ₄ s	
		- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - VBS ≤ 1,5 ou I _p ≤ 12	B ₃ Sables et graves très siliceux...	La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières, rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A ₁ . Pour la même raison qu'indiquée à propos des sols A ₁ , il y a lieu de préférer le critère VBS au critère I _p , pour l'identification des sols B ₃ . Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite de connaître leur résistance mécanique (Los Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	IP _I ≤ 5 ou w _L ≥ 1,25 w _{OPH}	B ₃ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₃ th
				5 < IP _I ≤ 12 ou 1,10 w _{OPH} ≤ w _L < 1,25 w _{OPH}	B ₃ h	LA > 45 ou MDE > 45	B ₃ th	
				12 < IP _I ≤ 30 ou 0,9 w _{OPH} ≤ w _L < 1,10 w _{OPH}	B ₃ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₃ h	
				0,6 w _{OPH} ≤ w _L < 0,9 w _{OPH}	B ₃ s	LA > 45 ou MDE > 45	B ₃ m	
				w _L < 0,6 w _{OPH}	B ₃ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₃ s	
					B ₃ ts	LA > 45 ou MDE > 45	B ₃ s	

ANNEXE G : Canalisation circulaires partiellement

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,0021	0,189	0,033	0,0600	0,548	0,166	0,1179	0,670	0,232	0,1758	0,750	0,283	0,2337	0,814	0,329	0,2916	0,866	0,370
0,0031	0,219	0,040	0,0611	0,551	0,167	0,1190	0,672	0,233	0,1769	0,752	0,284	0,2348	0,815	0,329	0,2927	0,867	0,371
0,0042	0,249	0,048	0,0621	0,554	0,169	0,1200	0,674	0,234	0,1779	0,753	0,285	0,2359	0,816	0,330	0,2938	0,867	0,371
0,0053	0,266	0,053	0,0632	0,557	0,170	0,1211	0,676	0,235	0,1790	0,755	0,286	0,2369	0,817	0,331	0,2948	0,868	0,372
0,0064	0,278	0,057	0,0643	0,560	0,172	0,1222	0,677	0,236	0,1801	0,756	0,287	0,2380	0,818	0,332	0,2959	0,869	0,373
0,0074	0,290	0,061	0,0653	0,563	0,173	0,1233	0,679	0,237	0,1812	0,757	0,288	0,2391	0,819	0,333	0,2970	0,870	0,373
0,0085	0,302	0,065	0,0664	0,566	0,175	0,1243	0,681	0,238	0,1822	0,759	0,289	0,2401	0,820	0,333	0,2981	0,871	0,374
0,0096	0,315	0,069	0,0675	0,569	0,176	0,1254	0,682	0,239	0,1833	0,760	0,290	0,2412	0,821	0,334	0,2991	0,872	0,375
0,0107	0,327	0,073	0,0686	0,571	0,177	0,1265	0,684	0,240	0,1844	0,762	0,290	0,2423	0,822	0,335	0,3002	0,873	0,376
0,0117	0,337	0,076	0,0696	0,574	0,179	0,1275	0,686	0,241	0,1855	0,763	0,291	0,2434	0,823	0,336	0,3013	0,874	0,376
0,0128	0,344	0,079	0,0707	0,576	0,180	0,1286	0,687	0,242	0,1865	0,764	0,292	0,2444	0,824	0,337	0,3023	0,874	0,377
0,0139	0,352	0,082	0,0718	0,579	0,181	0,1297	0,689	0,243	0,1876	0,766	0,293	0,2455	0,825	0,337	0,3034	0,875	0,378
0,0149	0,360	0,085	0,0729	0,582	0,183	0,1308	0,691	0,244	0,1887	0,767	0,294	0,2466	0,826	0,338	0,3045	0,876	0,378
0,0160	0,367	0,088	0,0739	0,584	0,184	0,1318	0,692	0,245	0,1897	0,768	0,295	0,2477	0,828	0,339	0,3056	0,877	0,379
0,0171	0,375	0,090	0,0750	0,587	0,185	0,1329	0,694	0,246	0,1908	0,770	0,296	0,2487	0,829	0,340	0,3066	0,878	0,380
0,0182	0,382	0,093	0,0761	0,589	0,187	0,1340	0,696	0,247	0,1919	0,771	0,297	0,2498	0,830	0,341	0,3077	0,879	0,381
0,0192	0,390	0,096	0,0771	0,592	0,188	0,1351	0,698	0,248	0,1930	0,773	0,298	0,2509	0,831	0,341	0,3088	0,880	0,381
0,0203	0,397	0,099	0,0782	0,594	0,189	0,1361	0,699	0,250	0,1940	0,774	0,299	0,2519	0,832	0,342	0,3099	0,881	0,382
0,0214	0,404	0,101	0,0793	0,597	0,190	0,1372	0,701	0,251	0,1951	0,775	0,300	0,2530	0,833	0,343	0,3109	0,881	0,383
0,0224	0,409	0,103	0,0804	0,599	0,192	0,1383	0,702	0,251	0,1962	0,777	0,300	0,2541	0,834	0,344	0,3120	0,882	0,384
0,0235	0,415	0,105	0,0814	0,602	0,193	0,1393	0,704	0,252	0,1972	0,778	0,301	0,2552	0,835	0,345	0,3131	0,883	0,384
0,0246	0,420	0,108	0,0825	0,604	0,194	0,1404	0,705	0,253	0,1983	0,779	0,302	0,2562	0,836	0,345	0,3141	0,884	0,385
0,0257	0,425	0,110	0,0836	0,607	0,196	0,1415	0,706	0,254	0,1994	0,780	0,303	0,2573	0,837	0,346	0,3152	0,885	0,386
0,0267	0,431	0,112	0,0846	0,609	0,197	0,1426	0,708	0,255	0,2005	0,781	0,304	0,2584	0,838	0,347	0,3163	0,886	0,386
0,0278	0,436	0,114	0,0857	0,612	0,198	0,1436	0,709	0,256	0,2015	0,782	0,304	0,2594	0,839	0,348	0,3174	0,887	0,387
0,0289	0,441	0,116	0,0868	0,615	0,200	0,1447	0,710	0,257	0,2026	0,783	0,305	0,2605	0,840	0,349	0,3184	0,887	0,388
0,0300	0,447	0,118	0,0879	0,617	0,201	0,1458	0,712	0,258	0,2037	0,784	0,306	0,2616	0,841	0,349	0,3195	0,888	0,389
0,0310	0,452	0,120	0,0889	0,619	0,202	0,1468	0,713	0,259	0,2048	0,785	0,307	0,2627	0,842	0,350	0,3206	0,889	0,389
0,0321	0,457	0,122	0,0900	0,621	0,203	0,1479	0,715	0,260	0,2058	0,786	0,308	0,2637	0,843	0,351	0,3216	0,890	0,390
0,0332	0,463	0,125	0,0911	0,623	0,204	0,1490	0,716	0,261	0,2069	0,787	0,308	0,2648	0,844	0,352	0,3227	0,891	0,391
0,0342	0,467	0,126	0,0922	0,625	0,205	0,1501	0,717	0,261	0,2080	0,788	0,309	0,2659	0,845	0,352	0,3238	0,892	0,391
0,0353	0,471	0,128	0,0932	0,627	0,206	0,1511	0,719	0,262	0,2090	0,789	0,310	0,2670	0,846	0,353	0,3249	0,893	0,392
0,0364	0,474	0,130	0,0943	0,629	0,208	0,1522	0,720	0,263	0,2101	0,790	0,311	0,2680	0,847	0,354	0,3259	0,894	0,393
0,0375	0,478	0,132	0,0954	0,631	0,209	0,1533	0,721	0,264	0,2112	0,791	0,312	0,2691	0,848	0,355	0,3270	0,894	0,394
0,0385	0,481	0,133	0,0964	0,632	0,210	0,1544	0,723	0,265	0,2123	0,792	0,312	0,2702	0,848	0,355	0,3281	0,895	0,394
0,0396	0,485	0,135	0,0975	0,634	0,211	0,1554	0,724	0,266	0,2133	0,794	0,313	0,2712	0,849	0,356	0,3292	0,896	0,395
0,0407	0,489	0,137	0,0986	0,636	0,212	0,1565	0,726	0,267	0,2144	0,795	0,314	0,2723	0,850	0,357	0,3302	0,897	0,396
0,0418	0,492	0,139	0,0997	0,638	0,213	0,1576	0,727	0,268	0,2155	0,796	0,315	0,2734	0,851	0,357	0,3313	0,898	0,397
0,0428	0,496	0,140	0,1007	0,640	0,214	0,1586	0,728	0,269	0,2166	0,797	0,316	0,2745	0,852	0,358	0,3324	0,899	0,397
0,0439	0,500	0,142	0,1018	0,642	0,215	0,1597	0,730	0,270	0,2176	0,798	0,317	0,2755	0,853	0,359	0,3334	0,900	0,398
0,0450	0,503	0,144	0,1029	0,644	0,216	0,1608	0,731	0,270	0,2187	0,799	0,317	0,2766	0,854	0,360	0,3345	0,900	0,399
0,0460	0,507	0,146	0,1040	0,646	0,217	0,1619	0,733	0,271	0,2198	0,800	0,318	0,2777	0,854	0,360	0,3356	0,901	0,399
0,0471	0,511	0,147	0,1050	0,648	0,219	0,1629	0,734	0,272	0,2208	0,801	0,319	0,2788	0,855	0,361	0,3367	0,902	0,400
0,0482	0,514	0,149	0,1061	0,650	0,220	0,1640	0,735	0,273	0,2219	0,802	0,320	0,2798	0,856	0,362	0,3377	0,903	0,401
0,0493	0,518	0,151	0,1072	0,652	0,221	0,1651	0,737	0,274	0,2230	0,803	0,321	0,2809	0,857	0,363	0,3388	0,904	0,401
0,0503	0,521	0,152	0,1082	0,654	0,222	0,1661	0,738	0,275	0,2241	0,804	0,321	0,2820	0,858	0,363	0,3399	0,904	0,402
0,0514	0,524	0,154	0,1093	0,656	0,223	0,1672	0,739	0,276	0,2251	0,805	0,322	0,2830	0,859	0,364	0,3410	0,905	0,403
0,0525	0,527	0,155	0,1104	0,658	0,224	0,1683	0,741	0,277	0,2262	0,806	0,323	0,2841	0,860	0,365	0,3420	0,906	0,403
0,0535	0,530	0,157	0,1115	0,660	0,225	0,1694	0,742	0,278	0,2273	0,807	0,324	0,2852	0,861	0,365	0,3431	0,906	0,404
0,0546	0,533	0,158	0,1125	0,662	0,226	0,1704	0,744	0,279	0,2283	0,808	0,325	0,2863	0,861	0,366	0,3442	0,907	0,405
0,0557	0,536	0,160	0,1136	0,664	0,227	0,1715	0,745	0,280	0,2294	0,809	0,325	0,2873	0,862	0,367	0,3452	0,908	0,405
0,0568	0,539	0,161	0,1147	0,665	0,228	0,1726	0,746	0,280	0,2305	0,811	0,326	0,2884	0,863	0,368	0,3463	0,909	0,406
0,0578	0,542	0,163	0,1157	0,667	0,229	0,1737	0,748	0,281	0,2316	0,812	0,327	0,2895	0,864	0,368	0,3474	0,909	0,407

ANNEXE H : Les types des appareils de voie

