

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Travaux Publics

Option : Voies et Ouvrages d'Art

Présenté par :

DAHOU Ladjel

&

HACHELAF Mohamed Lamine

Sujet du mémoire

**ÉTUDE DE RECTIFICATION DU TRACÉ FERROVIAIRE TISSEMSILT- BOUGUEZOUL POUR
ÉVITEMENT D'UN GAZODUC À HAUTE PRESSION ENTRE PK74 ET PK84.**

Soutenu publiquement le ... /06/2023 devant le jury composé de :

M. SERBAH Boumediene	Président
M. BEKKI Hadj	Rapporteur
M. RADIM Ghelamallah	Co-Rapporteur
M ^{me} DRAOUI Aicha	Examineur
M ^{elle} RENNAK Zohra	Examineur

PROMOTION : 2022/2023



Remerciements



Au terme de ce travail, nous devons remercier tout d'abord dieu qui nous a donné la force et le courage de suivre nos études et d'arriver à ce stade et à nos parents qui nous ont beaucoup soutenus pendant tous le long de notre parcours.

Nous exprimons notre sincère gratitude envers notre encadreur, M. BEKKI Hadj, pour avoir accepté de superviser ce mémoire. Sa précieuse contribution, ses remarques pertinentes et ses suggestions constructives ont grandement contribué à l'amélioration de notre travail. Nous le remercions chaleureusement pour ses conseils avisés, ses recommandations éclairées et la confiance qu'il nous a accordée. C'est un véritable honneur pour nous d'avoir bénéficié de son encadrement.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance envers notre co-encadreur, M. RADIMR, pour son soutien inestimable, son assistance précieuse et sa disponibilité tout au long de notre travail. Nous le remercions chaleureusement pour son incroyable aide : ses orientations éclairées, ses encouragements constants et ses conseils avisés. Nous sommes également reconnaissants pour son soutien moral et la confiance qu'il nous a accordée tout au long de ce processus.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements au Président M. SERBAH B. ainsi qu'aux membres du jury, Mme RENNAK Z. et Mme DRAOUI A., pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en examinant attentivement notre travail. Nous sommes reconnaissants pour leur temps, leur expertise et leur évaluation de notre mémoire.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers nos enseignants de l'université Ibn Khaldoun. Leur expertise, leur dévouement et leurs précieux enseignements ont contribué à notre développement académique. Nous sommes également reconnaissants envers toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide, qu'elle soit proche ou éloignée. Leurs contributions ont été précieuses et nous leur adressons nos sincères remerciements, avec une profonde gratitude. Merci, et encore mille fois merci.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers nos familles et nos amis pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de ce parcours. Leur présence et leur soutien ont été une source de motivation et de réconfort précieux. Nous leur adressons nos sincères remerciements pour leur amour, leur compréhension et leur encouragement constants.

DAHO LADJEL&HACHLEF MED LAMINE



Dédicaces

Merci **MON DIEU** de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager à me donner l'aide et à me protéger.

A ma mère celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

A mon frère Nacer à Larbi à Amine à Laide et à mes sœurs, je vous souhaite un avenir plein de joie de bonheur de réussite et de sérénités, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

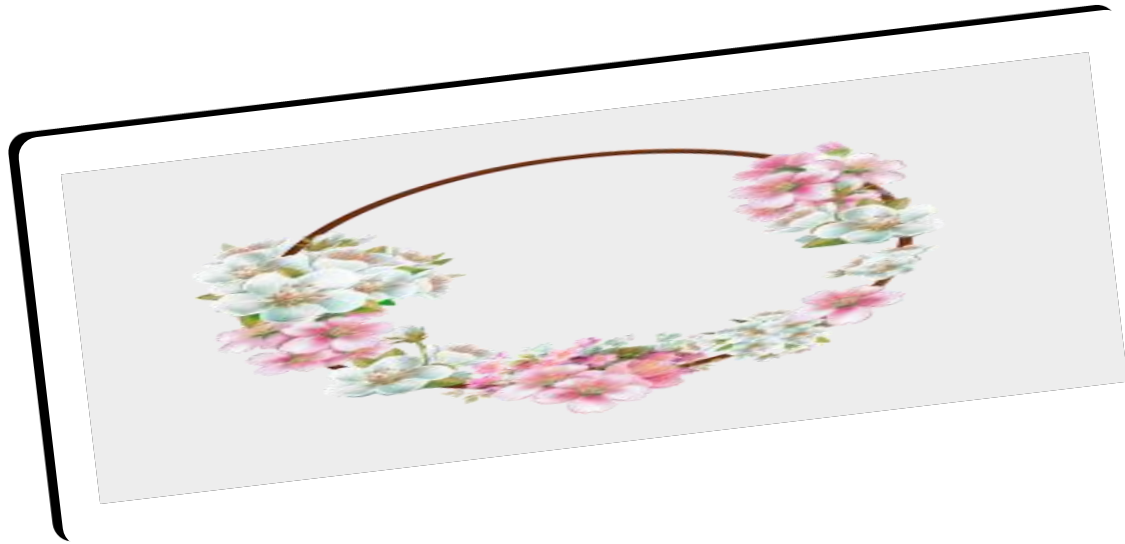
A tous les membres de ma famille, petite et grande.

A mes chers amis : yassine, sidehmed, Hamidou, mouhamed, et à mon binôme Lamine, à mes chers camarades de VOA.

A mon encadreur Mr **BEKKI Hadj** à Mr **RADIM Ghelamallah**.

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.

DAHOU LADJEL



Dédicaces

IL n'y a rien de mieux que de remercier et d'apprécier les membres qui nous ont donné tout ce qu'ils ont pour nous amener à ce moment.

En premier lieu :

Nous remercions beaucoup **ALLAH** de nous avoir donné courage et la volonté et la santé pour réaliser ce travail.

Je dédie cet humble travail à :

Mon père et ma mère qui ont jugé mes premiers pas et ont fait de moi ce que je suis maintenant.

À mes sœurs, à toutes les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom **HACHELEF** et le nom **TAIF** et. À mes amis proches. Merci mes amis.

À Mon encadreur M. **BEKKI Hadj** et M. **GHELAM RADIM** merci beaucoup c'est un grand honneur pour moi d'apprendre de vous.

À tous mes professeurs et mes jurys, je dédie se travail et je dis un grand merci pour tout.

À tous mes amis de promotion de 2e année master **VOA** toute personne qui occupe une place dans mon cœur. Et surtout mon binôme **LADJEL DAHO**.

Je dédie à tous les présents mercis de nous honorer de votre présence

Et à la fin je dis allhamdullilah.

HACHELEF MED LAMINE

Résumé

Le réseau ferroviaire est une infrastructure industrielle majeure qui a été développée pour répondre aux besoins de transport public ainsi que pour soutenir les activités de production. Il joue un rôle essentiel dans le déplacement des personnes et des marchandises à grande échelle. Lun des avantages importants du réseau ferroviaire est son impact sur la circulation et la distribution des produits. Par rapport aux convois de poids lourds sur les routes, les trains peuvent transporter de grandes quantités de marchandises de manière plus efficace et économique sur de longues distances. Cependant, l'étude d'un tracé ferroviaire comporte généralement des contraintes techniques qui peuvent rendre le projet très couteux ou difficilement réalisable. Dans ce contexte, notre travail consiste à étudier la rectification du tracé de la ligne ferroviaire Tissemsilt-Bouguezoul située entre le PK 74 et le PK 84, dans le but d'éviter un gazoduc à haute pression. L'étude menée nous a permis de proposer un tracé rationnel, éviter la contrainte technique posée tout en respectant les normes techniques en vigueur.

Mots clés : Tracé ferroviaire, conception, optimisation, logiciels AUTOCAD et COVADIS.

Abstract

The rail network is indeed a significant industrial infrastructure that has been developed to cater to the transportation requirements of the public and to facilitate various production activities. It serves as a vital component of the transportation sector and plays a crucial role in economic development. One of the major advantages of the rail network is its impact on the movement and distribution of products. Trains have several advantages over heavy truck convoys on roads when it comes to transporting goods efficiently and economically over long distances. However, the study and implementation of a railway line involve various technical constraints that can make the project challenging and costly. In this context, our work consists of studying the rectification of the line of the Tissemsilt-Bougezoul railway located between PK 74 and PK 84, with the aim of avoiding a high-pressure gas pipeline. The study carried out allowed us to propose a rational line that avoids technical constraints, such as a high-pressure gas pipeline, while adhering to technical standards.

Key words: Railway layout, design, optimization, AUTOCAD and COVADIS software.

ملخص

شبكة السكك الحديدية هي في الواقع بنية تحتية صناعية مهمة كانت وضعت لتلبية متطلبات النقل وتسهيل أنشطة الإنتاج المختلفة. إنها بمثابة عنصر حيوي في النقل القطاع ويلعب دورا حاسما في التنمية الاقتصادية. واحدة من كبرى مزايا شبكة السكك الحديدية هو تأثيرها على حركة وتوزيع المنتجات. القطارات لديها العديد من المزايا على قوافل الشاحنات الثقيلة على الطرق عندما تأتي لنقل البضائع بكفاءة واقتصاديا لمسافات طويلة.

ومع ذلك ، فإن دراسة وتنفيذ خط السكك الحديدية تنطوي على العديد من التقنيات القيود التي يمكن أن تجعل المشروع صعبا ومكلفا. في هذا السياق ، عملنا يتكون من دراسة تصحيح خط سكة حديد تيسمسيلت-بوقويزول تقع بين النقطة الكيلومترية 74 و النقطة الكيلومترية 84 ، بهدف تجنب خط أنابيب الغاز عالي الضغط. سمحت لنا الدراسة التي أجريت باقتراح خط عقلائي يتجنب القيود التقنية ، مثل خط أنابيب الغاز عالي الضغط ، مع الالتزام بما يلي المعايير الفنية.

الكلمات المفتاحية: تخطيط السكك الحديدية ، التصميم ، التحسين ، برنامج أوتوكاد وكوفاديس.

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 1

Chapitre I: Généralités sur le chemin de fer

I.1.Introduction : 3

I.2.Historique des chemins de fer: 3

I.3. Historique des chemins de fer en Algérie : 4

I.4.L'Union internationale des chemins de fer : 5

I.4.1.Présentation de l'UIC :5

I.4.2.La mission de l'UIC:5

I.4.3.Classification des lignes d'UIC :6

I.5. Avantages des chemins de fer : 6

I.6.Réseau ferroviaire National actuel : 7

I.7. Conclusion : 8

Chapitre II : Présentation du Projet

II.1.Introduction :10

II.2.Présentation de la ville de Sidi Ladjel :10

II.2.1.Situation géographique :10

II.2.2.Situation démographique:10

II.3.Présentation du projet:10

II.4.Objectifs du projet :11

II.5. Intervenants dans le projet :12

II.6.Données du projet :12

II.7.Tronçon étudié :14

II.8.Description du Tracé :14

II.9.Conclusion :17

CHAPITRE III : TRACE EN PLAN

III.1.Introduction :19

III.2.Conditions et règles de trace :19

III.3. Les éléments du tracé en plan :.....	19
III.4.Courbe et conditions de raccordement :	20
III.4.1.La clothoïde :.....	20
III.4.2.Conditions de raccordement :.....	20
III.5.Le dévers :	21
III.5.1. Le dévers théorique :.....	21
III.5.2. Le dévers pratique (normal) :.....	22
III.5.3. L'insuffisance de dévers (I) :.....	22
III.5.4. L'excès de dévers :.....	22
III.5.5.Coefficient de dévers :.....	23
III.5.6.Longueur minimum des éléments de trace :.....	23
III.5.7.Rayon minimum de l'alignement circulaire :.....	23
III.5.8. Raccordement de dévers :	24
III.5.9.Gauchissement et variation du dévers :.....	24
III.6.Application pour notre projet :	25
III.7.Conclusion :.....	26

CHAPITRE IV : PROFIL EN LONG

IV.1.Introduction :	28
IV.2.les déclivités :	28
IV.3.Déclivité maximale :.....	29
IV.4.Longueur minimale des éléments du profil en long :.....	30
IV.5.Rayon admissible en raccordement de profil en long :.....	30
IV.6.Raccordement de projet :.....	31
IV.7.Coordination profil en long-tracé en plan :	31
IV.8.Conclusion :	31

CHAPITRE V : Profil en travers et calcul des cubatures

V.1.Introduction :.....	33
V.2.Constituants du profil en travers type :.....	34
V.3.Les éléments du profil en travers :	35
V.4.Profil type de notre projet :.....	36
V.5.Couches d'assise ferroviaire :	36
VI.5. Calcul des cubatures :	37
V.6.Conclusion :	37

CHAPITRE VI :DONNEES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

VI.1.ETUDE HYDROLOGIQUE :.....	39
VI.1.1. Présentation générale :.....	39

VI.1.2.:DONnées hydrologiques utilisées :	39
VI.1.2.1 Introduction :	39
VI.1.2.2Pluies annuelles :	39
VI.1.2.3 : Précipitations journalières :	40
VI.1.2.4 : Intensité de pluie (I) :	40
VI.1.2.5 : LES CRUES :	40
VI.2.3 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants :	41
VI.2.4 : Résultats des calculs hydrologiques :	44
VI.2.ETUDE HYDRAULIQUE :	46
VI.2.1 Méthode de MANNING STRICKLER.....	46
VI.2.2 Liste globale des ouvrages à projeter :	47
CHAPITRE VII: La superstructure de voie	
VII.1.Introduction :	50
VII.2. Catégories de la voie :	50
VII.3. Caractéristique de notre voie :	50
VII.4.Les rails :	50
VII.4.1.Description :	50
VII.4.2.Type de rail :	51
VII.4.3.Fabrication du rail :	54
VII.4.4.Inclinaison du rail :	54
VII.4.5.Ecartement des rails :	54
VII.5.Les longs rails soudés (LRS) :	54
VII.5.1.Soudage par forgeage électrique :	54
VII.5.2.Soudage aluminothermique :	55
VII.5.3.Avantages et inconvénients des LRS :	59
VII.6.Traverse :	59
VII.6.1.Rôle des traverses :	62
VII.7.Les attaches :	62
VII.7.1.Type d'attaches :	62
VII.7.2.rôle d'attache :	63
VII.8.Les appareils de voie :	64
VII.8.1. Description :	64
VII.8.2. Les éléments constitutifs d'un appareil de voie:.....	65
VII.9. Conclusion :	66
CHAPITRE VIII : l'infrastructure de la voie	
VIII.1.Introduction :	68

VIII.2. Le ballast :	68
VIII.2.1.Caractéristique du ballast :	69
VIII.2.2 La sous-couche :	70
VIII.2.3.La couche de forme :	70
VIII.3.dimensionnement des couches d'assises :	70
VIII.3.1.Classification de la plate-forme :	70
VIII.4.Application au projet :	72
VIII.5 Contexte géologique régional :	73
VIII.6.Conclusion :	74
<i>CHAPITRE IX : Les ouvrages d'Art</i>	
IX.1. Introduction :	76
IX.2. OUVRAGES EN TERRE :	77
IX.3.LES OUVRAGES D'ART :	78
IX.3.1. Influence sur le choix de l'ouvrage :	78
IX.3.2. Croisement avec une route :	78
IX.4. Définition et catégories des ponts :	79
IX.5. Les ouvrage d'art de notre projet :	80
IX.6. Conclusion :	80
<i>Chapitre X : Analyse multicritère</i>	
X.1. Introduction :	82
X.2. Etude de la variante :	82
X.3. Analyse multicritère :	82
X.3.1. Critère urbanistique et territorial :	82
X.3.2. Critère environnemental :	82
X.3.3. Critère d'exploitation :	83
X.3.4. Critère économique :	84
DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DES TRAVAUX :	84
X.4. Conclusion :	87
Conclusion générale	89
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	90
ANNEXES.....	92

LISTE DES TABLEAUX

N° du Tableau	Désignation du Tableau	N° de page
TAB II.1	Résume les différents intervenants dans le projet	12
TAB III.1	longueur minimal à respecter (source fiche SNTF Géométrie)	22
TAB III.2	Paramètres de tracé pour notre projet (source fiche UIC 703R)	24
TAB III.3	Calcul récapitulatif des éléments géométriques	25
TAB IV.1	Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF)	29
TAB IV.2	Valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter	30
TAB IV.3	Raccordement en long	30
TAB V.1	Les Valeurs des déblais et remblais	36
TAB VI.1	Caractéristiques statistiques des pluies annuelles	39
TAB VI.2	Caractéristiques physiques des bassins versants	41
TAB VI.3	valeurs des débits de projet (100ans)	44
TAB VI.4	Pluies de durées (tc) pour différentes périodes de retour	44
TAB VI.5	Débits de pointe pour les bassins 39 et 47.	45
TAB VI.6	Tableau de dimensionnement des ouvrages de drainage par la méthode de Manning –Strickler	46
TAB VII.1	Profilé UIC 60	52
TAB VIII.1	classes de portance de la plate-forme (normes UIC 719 R. 34)	70
TAB VIII.2	Les paramètres de couches d'essai	71
TAB VIII.3	Les épaisseurs des différentes couches	72
TAB IX.1	Liste des ouvrages d'art pour notre projet	79
TAB X.1	Critère d'exploitation	83

LISTE DES FIGURES

N° de la figure	Désignations des figures	N° de page
Fig I.1	Réseau de chemin de fer algérien	03
Fig III.1	Eléments du tracé en plan	19
Fig III.2	le dévers théorique	20
Fig III.3	Raccordement de dévers	23
Fig IV.1	Eléments géométriques du profil en long	28
Fig IV.2	Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF	28
Fig IV.3	Schéma du raccordement circulaire	29
Fig V.1	Exemple profil en travers type	34
Fig V.2	Les éléments du profil en travers	34
Fig V.3	profil en travers types d'une voie unique	35
Fig VII.1	Rail a patin (Vignole)	50
Fig VII.2	Rail à gorge	51
Fig VII.3	Rail DC (double)	51
Fig VII.4	le rail UIC 60	52
Fig VI.5	L'écartement entre les rails	53
Fig VII.6	Soudure électrique	54
Fig VII.7	Préchauffage	55
Fig VII.8	Mise en feu	56
Fig VII.9	Soudage	56
Fig VII.10	Tranchage du rail	57
Fig VII.11	Meulage du rail	57
Fig VII.12	Travers en bois	59
Fig VII.13	Travers en Bi bloc	59

Fig VII.14	Eléments du Travers en béton bi-blocs	60
Fig VII.15	Travers en Monobloc	60
Fig VII.16	Travers métalliques	61
Fig VII.17	Attache de type Nabla	62
Fig VII.18	Les éléments d'une attache de type Nabla	63
Fig VII.19	Les différents appareils de voie	64
Fig VII.20	un branchement et ces éléments constitutifs	65
Fig VIII.1	les différentes couches d'assises	67
Fig VIII.2	Les couches de corps d'assise	72
Fig IX.1	Pont rail d'une voie unique	76
Fig IX.2	Viaducs	79

Introduction générale :

Les voies de communication sont essentielles pour le développement socio-économique d'un pays. Face à l'augmentation de la population mondiale, les voies ferrées sont de plus en plus utilisées pour renforcer les infrastructures de transport. Les chemins de fer électrifiés et les tramways sont privilégiés, car ils réduisent la pollution par les gaz à effet de serre, contribuant ainsi à la protection de l'environnement.

L'Algérie, qui a longtemps été en retard dans le domaine ferroviaire, a entrepris des projets majeurs pour moderniser son réseau national de voies ferrées. Le linéaire total des voies sera porté à 12 500 kilomètres. Le programme ferroviaire national de l'Algérie comprend plusieurs axes de développement, allant du nord au sud et d'est en ouest. Ces axes comprennent des rocades ferroviaires, des lignes minières et des pénétrantes pour relier différentes régions du pays.

Cette expansion du réseau ferroviaire en Algérie vise à améliorer les déplacements de personnes et de marchandises, favorisant ainsi le développement économique et social du pays. Ces investissements dans les infrastructures ferroviaires reflètent également la volonté de l'Algérie de promouvoir un mode de transport plus respectueux de l'environnement.

Il est clair que l'Algérie accorde une grande importance au développement du transport ferroviaire et met en œuvre des projets ambitieux pour moderniser son réseau, offrir des solutions de transport plus efficaces et contribuer à la protection de l'environnement grâce à un mode de transport écologique.

Notre projet vise à trouver une solution au problème de l'intersection de la voie ferrée avec le gazoduc au niveau de la ligne de chemin de fer reliant l'État (tissemsilet et bugzoul) exactement à la gare de Sidi El Ajal de PK73 + 200 à PK75+800.

Où nous avons proposé une nouvelle route à plus de 75 mètres du gaz et il n'y a pas d'intersection avec les conduites de gaz.

La thèse est organisée en dix chapitres :

Dans le premier chapitre : on présente des généralités sur les chemins de fer.

Le deuxième chapitre : est consacré à la présentation du projet.

La conception du tracé ; Tracé en plan, Profil en long et Profil en travers et calcul des cubatures. Sont présentés dans les chapitres 3, 4 et 5 respectivement.

Dans le chapitre 6, on a présenté le rapport hydrologique et hydraulique.

Et dans le chapitre 7 on a présenté la superstructure de la voie ferrée tandis que l'infrastructure est présentée dans le chapitre 8.

Et, la partie d'ouvrages d'Art est présentée dans le chapitre 9.

Et enfin le chapitre 10 présente analyse multicritère.

En fin, nous concluons notre thèse par des conclusions sur les principaux résultats que nous avons obtenus.

CHAPITRE I : Généralités sur le chemin de fer

I.1.Introduction :

Le chemin de fer est un mode de transport de marchandises et de passagers guidé sur deux rails parallèles, permettant la circulation des trains, tramways et métro. Il est également connu sous le nom de chemin de fer, de train, de rail ou de voie ferrée. Les chemins de fer sont utilisés dans le monde entier pour le transport de marchandises telles que le charbon, les produits agricoles, les produits manufacturés, les matériaux de construction et bien d'autres encore. Ils sont également utilisés pour le transport de passagers, allant des trajets locaux aux voyages à grande vitesse entre les villes.

Le chemin de fer a joué un rôle important dans l'histoire économique et industrielle de nombreux pays, favorisant le commerce et les échanges entre les régions et les nations. Aujourd'hui, les chemins de fer sont toujours une partie importante de l'infrastructure de transport de nombreux pays et continuent d'évoluer pour répondre aux besoins de la société.

I.2.Historique des chemins de fer:

L'histoire des chemins de fer remonte au début du 19ème siècle, lorsque les premiers prototypes de locomotives à vapeur ont été développés en Angleterre. En 1804, l'ingénieur britannique Richard Trevithick a construit une locomotive à vapeur appelée la "Puffing Devil", qui a été utilisée pour transporter du minerai sur un court tronçon de voie ferrée.

En 1825, George Stephenson a construit la première locomotive à vapeur à succès, appelée "Locomotion No. 1", qui a été utilisée pour transporter du charbon sur la ligne ferroviaire de Stockton et Darlington en Angleterre. Cela a été suivi en 1830 par l'ouverture de la première ligne ferroviaire passagère entre les villes britanniques de Liverpool et Manchester.

Au cours des années 1800, les chemins de fer ont commencé à se développer rapidement dans toute l'Europe, en Amérique du Nord et dans d'autres parties du monde. Les lignes ferroviaires ont été construites pour transporter des marchandises et des passagers sur de longues distances, permettant aux économies locales de se développer en reliant les régions éloignées aux centres urbains et industriels.

Dans les années 1900, les chemins de fer ont continué à se développer, mais ont également commencé à être concurrencés par de nouveaux modes de transport, tels que les automobiles et les avions. Malgré cela, les chemins de fer restent un mode de transport important dans de nombreux pays du monde, offrant une alternative efficace et écologique aux autres moyens de transport pour répondre aux besoins de la société moderne.

Après la Première Guerre mondiale, le chemin de fer continue à se développer, notamment les lignes secondaires à voie étroite, mais il est fortement concurrencé, sur les courtes distances, par l'automobile et le camion. Après la Seconde Guerre mondiale arrive la concurrence de l'avion sur les longues distances ; les lignes secondaires disparaissent. La crise pétrolière de 1973 marque le début du renouveau

du chemin de fer, principalement pour les transports de voyageurs à l'intérieur des grandes métropoles et grâce à de nouvelles lignes inter cités, parcourues par des trains à grande vitesse. La sustentation magnétique (dite Maglev) dont une ligne de 43 km a été mise en exploitation en 2005 à Shanghai (Chine) peut devenir un concurrent viable.

I.3. Historique des chemins de fer en Algérie :

L'histoire des chemins de fer en Algérie remonte à l'époque coloniale française. Les premiers chemins de fer ont été construits à la fin du 19ème siècle pour transporter des marchandises, principalement du minerai et du charbon, entre les mines et les ports.

Le premier chemin de fer a été inauguré en 1857 entre Alger et Blida, et d'autres lignes ont été construites dans les années suivantes pour relier les régions minières de l'est et du sud de l'Algérie aux ports de la côte.

Pendant la période coloniale, le réseau ferroviaire algérien a connu une expansion rapide, avec la construction de nouvelles lignes pour relier les principales villes et régions agricoles. Le chemin de fer est devenu un élément clé de l'infrastructure de transport en Algérie, permettant le développement économique et facilitant la mobilité des populations.

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, le réseau ferroviaire a été nationalisé et modernisé, avec la construction de nouvelles lignes et la mise à niveau des infrastructures existantes. Aujourd'hui, le réseau ferroviaire algérien s'étend sur plus de 4 000 kilomètres et relie la plupart des grandes villes du pays, ainsi que des régions frontalières avec la Tunisie et le Maroc.

L'état algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts :

- La SNTF qui assure l'exploitation du réseau ferré algérien;
- La SNERIF chargé de la maintenance et de la construction des lignes ferroviaires;
- La SIF pour le développement du réseau ferré algérien.



Figure I.1 : Réseau de chemin de fer algérien durant la période coloniale

I.4.L'Union internationale des chemins de fer :

L'Union internationale des chemins de fer (UIC) est une organisation mondiale qui regroupe les principales compagnies ferroviaires de différents pays. Fondée en 1922, l'UIC a pour mission de promouvoir la coopération internationale entre les chemins de fer pour favoriser le développement et l'expansion du transport ferroviaire dans le monde.

L'UIC travaille à l'harmonisation des normes techniques et réglementaires pour faciliter les échanges commerciaux entre les différents réseaux ferroviaires. Elle organise également des conférences, des séminaires et des groupes de travail pour promouvoir les bonnes pratiques et les innovations dans le domaine ferroviaire.

L'UIC est basée à Paris, en France, et compte plus de 200 membres dans plus de 100 pays à travers le monde.

I.4.1. Présentation de l'UIC :

❖ Les membres de l'UIC :

L'U.I.C est une organisation Internationale qui compte:

- ❖ **81 membres actifs** : dont les Chemins de fer d'Europe, de Russie, du Proche-Orient, du Maghreb, de l'Afrique du Sud, de l'Inde, du Pakistan, de la Chine, du Japon, de la Corée, du Kazakhstan, et de compagnies à rayonnement mondial telles que Veolia Transport.
- ❖ **79 membres associés** : comprenant des Chemins de fer d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Australie.
- ❖ **34 membres affiliés** : exerçant des activités connexes ou complémentaires au transport ferroviaire.

I.4.2. La mission de l'UIC:

L'UIC a un rôle important à jouer dans la promotion du transport ferroviaire comme moyen de transport durable et respectueux de l'environnement. Elle collabore avec d'autres organisations internationales pour promouvoir la mobilité durable et le développement des transports en commun, en particulier dans les zones urbaines.

I.4.3. Objectifs principaux de l'U.I.C :

Les objectifs principaux de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) sont les suivants :

- ❖ Favoriser la coopération internationale entre les chemins de fer.
- ❖ Harmoniser les normes techniques et réglementaires.
- ❖ Encourager l'innovation et la recherche.
- ❖ Promouvoir la mobilité durable.
- ❖ Offrir une plateforme d'échange et de partage de connaissances.
- ❖ Défendre les intérêts des compagnies ferroviaires.

- ❖ - Développer des centres d'excellence (technologie et recherche ferroviaire management, formation etc.)

I.4.4. Classification des lignes d'UIC :

L'Union internationale des chemins de fer (UIC) a mis en place une classification des lignes ferroviaires en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic

Cette classification permet de définir la politique de maintenance du réseau ferroviaire.

Les lignes sont classées en 9 groupes définis par des seuils indiqués ci-après :

Tableau 01 : Classification des lignes d'UIC

Groupe 1	$T_f > 120000$ tonnes
Groupe 2	$120000 > T_f > 85000$ tonnes
Groupe 3	$85000 > T_f > 50000$ tonnes
Groupe 4	$50000 > T_f > 28000$ tonnes
Groupe 5	$28000 > T_f > 14000$ tonnes
Groupe 6	$14000 > T_f > 7000$ tonnes
Groupe 7	$7000 > T_f > 3500$ tonnes
Groupe 8	$3500 > T_f > 1500$ tonnes
Groupe 9	$1500 \geq T_f$ en tonnes

I.5. Avantages des chemins de fer :

Les chemins de fer ont plusieurs avantages par rapport à d'autres modes de transport :

- Capacité de transport** : Les trains ont une grande capacité de transport de marchandises et de passagers. Ils peuvent transporter une grande quantité de marchandises en une seule fois, ce qui permet d'économiser du temps et de l'argent. Les trains de passagers peuvent également transporter un grand nombre de personnes en une seule fois.
- Économie d'énergie** : Les trains ont une efficacité énergétique élevée par rapport aux autres modes de transport. Ils consomment moins d'énergie par tonne-kilomètre ou par passager-kilomètre transporté.
- Sécurité** : Les trains sont considérés comme l'un des modes de transport les plus sûrs, grâce à des normes de sécurité élevées et à la formation continue du personnel.
- Impact environnemental réduit** : Les trains émettent moins de gaz à effet de serre que les camions et les avions, ce qui en fait un mode de transport plus respectueux de l'environnement.

- e) **Coûts réduits** : Les coûts de transport par train sont souvent moins élevés que ceux des autres modes de transport, en particulier pour les marchandises à longue distance.
- f) **Inter modalité** : Les chemins de fer peuvent être utilisés en combinaison avec d'autres modes de transport, tels que les navires et les camions, pour offrir une solution de transport complète.

I.6.Réseau ferroviaire National actuel :

Le réseau ferroviaire algérien est en cours de modernisation et d'extension, avec des projets en cours pour améliorer les infrastructures et augmenter la capacité de transport des trains.

Le réseau ferroviaire national algérien est géré par la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF) et s'étend sur plus de 6300 km. Le réseau relie les principales villes algériennes et les ports de la Méditerranée.

Le réseau est organisé en plusieurs lignes principales, notamment :

1. **Ligne Alger-Oran** : c'est la plus longue ligne du réseau, avec une distance de 463 km. Elle relie la capitale Alger à la ville d'Oran, sur la côte ouest de l'Algérie.
2. **Ligne Alger-Annaba** : cette ligne relie la capitale Alger à la ville d'Annaba, sur la côte est de l'Algérie. Elle a une distance de 657 km.
3. **Ligne Alger-Constantine** : cette ligne relie la capitale Alger à la ville de Constantine, dans l'est de l'Algérie. Elle a une distance de 431 km.
4. **Ligne Oran-Béchar** : cette ligne relie la ville d'Oran à la ville de Béchar, dans le sud-ouest de l'Algérie. Elle a une distance de 963 km.

Il y a également plusieurs autres lignes secondaires qui desservent les régions intérieures du pays.

En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2030

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

Le 13 octobre 2019, mise en service d'une nouvelle ligne reliant Alger à Touggourt.

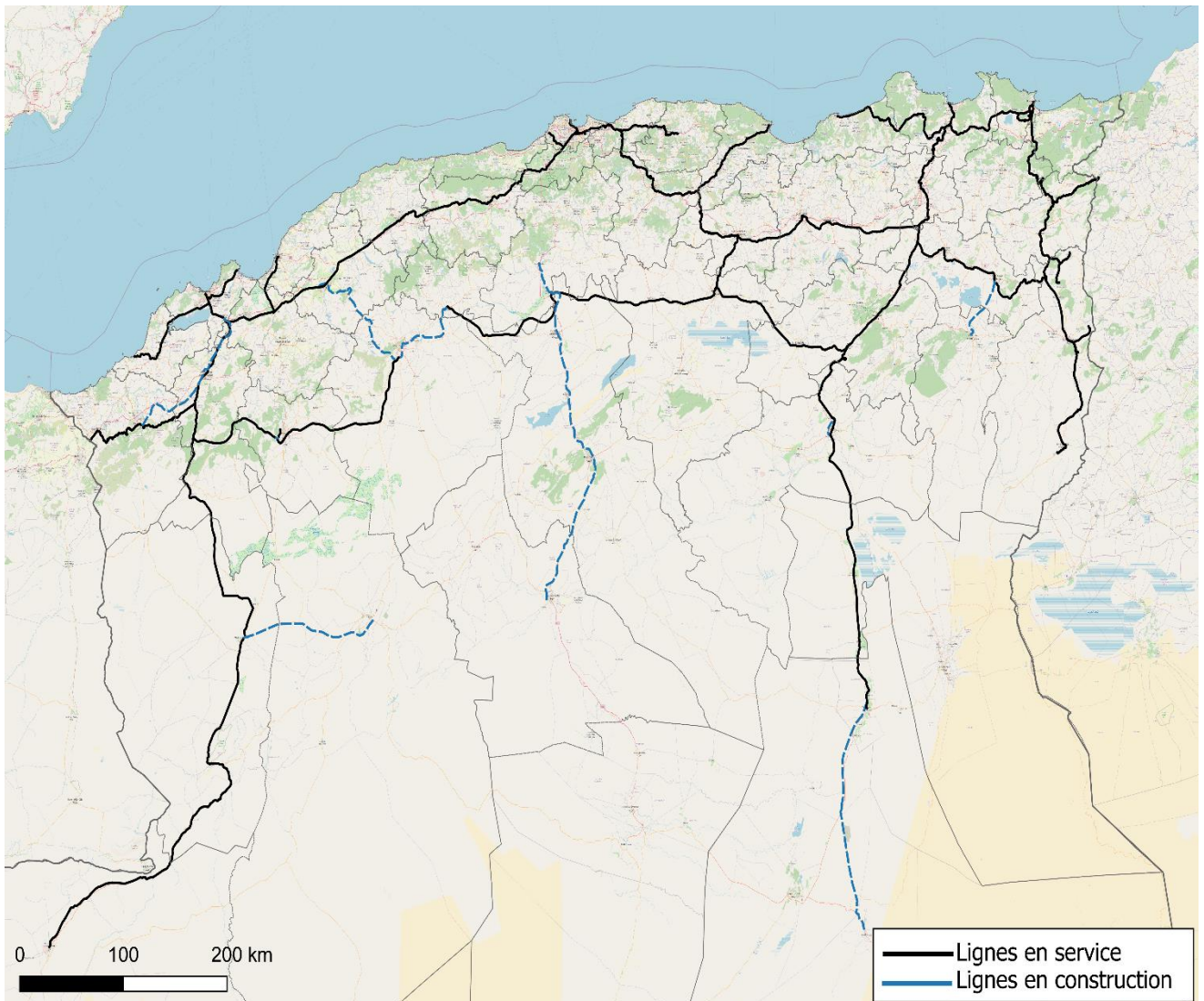
Elle est desservie par un train de longues distances offrant des compartiments couchettes de 1ère et 2ème classes.

Le 26 décembre 2022, la ligne reliant Tissemsilt à M'Sila en passant par Boughezoul, longue de 290 km, est inaugurée lignes ferroviaires exploitées par la SNTF.

En 2022, la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF) exploite un réseau de 4 200 km de lignes de chemin de fer. L'ensemble du réseau ferré algérien a une longueur de 4 560 km.

La SNTF et ANESRIF (Agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires) répartissent les lignes ferroviaires algériennes en quatre ensembles géographiques :

- Les lignes du Nord ;
- Les lignes des hauts plateaux;
- Les lignes pénétrantes Ouest, Centre et Est ;
- Les lignes minières.



Carte du réseau ferré algérien en 2023

I.7. Conclusion :

On peut conclure que Le secteur ferroviaire en Algérie a connu des améliorations importantes ces dernières années, notamment grâce à des investissements importants dans la modernisation de l'infrastructure et l'acquisition de nouveaux équipements. Cependant, il reste encore des défis à relever pour améliorer la qualité des services, tels que la fréquence des trains et la ponctualité.

CHAPITRE II :

Présentation du Projet

II.1. Introduction :

Le transport est un secteur clé pour le développement d'un territoire donné.

En effet, dans une économie moderne, le transport joue un rôle prépondérant car, non seulement il facilite les échanges entre les agents économiques, mais également améliore la circulation des personnes et des biens, des idées et des services, ainsi que la solidification des liens d'amitié et de fraternité entre les citoyens.

II.2. Présentation de la ville de Sidi Ladjel :

Sidi Ladjel est une charmante ville située dans la wilaya de Djelfa en Algérie. Elle est située à environ 211 kilomètres au sud d'Alger, la capitale du pays.

II.2.1. Situation géographique :

Sidi Ladjel se trouve à une altitude de 693 m mètres. Elle est réputée pour sa beauté naturelle et son environnement paisible. La ville est entourée de paysages pittoresques, notamment des collines et des vallées verdoyantes, ce qui en fait un endroit attrayant pour les amoureux de la nature.

La ville elle-même possède une atmosphère chaleureuse et accueillante. Les habitants de Sidi Ladjel sont connus pour leur hospitalité et leur gentillesse envers les visiteurs.

En ce qui concerne les infrastructures, Sidi Ladjel propose des services et des équipements essentiels tels que des commerces, des écoles, des centres de santé et des lieux de culte.

La région environnante offre également des opportunités d'activités de plein air, telles que la randonnée, le camping et l'exploration de la nature.

En résumé, Sidi Ladjel est une ville agréable à visiter pour ceux qui recherchent un cadre naturel paisible et une expérience de vie locale authentique dans la wilaya de Djelfa, en Algérie.

La ville de sidi ladjel est limitée:

- Au nord, par village de Chahbounia.
- A l'est par village de Bou Aiche.
- A l'ouest, par la ville de l'El Khemis.
- Au sud-ouest, par village de Serghine.

II.2.2. Situation démographique:

La ville de sidi ladjel a une population totale de 13 661 habitants soit une densité de 37 habitants par Km².

II.3. Présentation du projet:

Le présent projet vise à étudier la rectification du tracé d'une voie ferrée située entre le PK 74 et le PK 84, dans le but d'éviter un gazoduc à haute pression.

La voie ferrée en question est une ligne de transport de marchandises à grande vitesse (160km/h pour les trains de voyageurs et 100km/h pour les trains de marchandises), reliant deux grands centres de production industrielle. Le gazoduc, quant à lui, transporte du gaz naturel à haute pression, pour alimenter plusieurs régions en énergie.

Cependant, la proximité de ces deux infrastructures peut engendrer des risques importants en cas d'incident, tels qu'une collision entre un train et le gazoduc ou une fuite de gaz suite à un endommagement du gazoduc.

Elle comportera une gare :(Sidi-Laadjel) et les réalisations de plusieurs ouvrages d'art : viaducs ponts rail et ponts route.

II.4. Objectifs du projet :

L'objectif principal de cette étude est d'optimiser la rectification du tracé de la voie ferrée par rapport à l'étude d'APD, en vue d'éviter le gazoduc à haute pression. Les autres objectifs sont les suivants :

- Identifier les contraintes et les exigences réglementaires à respecter lors de la rectification du tracé ;
- Evaluer les impacts de la rectification sur la voie ferrée et sur le gazoduc ;
- Proposer des solutions techniques pour réaliser la rectification du tracé, en garantissant la sécurité des installations et des personnes ;
- Estimer les coûts et les délais de réalisation des travaux de rectification du tracé.

II.5. Problématique de l'étude :

Il s'agit de croisement entre la ligne ferroviaire et la conduite du gaz à haute pression Il s'agit Φ 63 Entre le pk 73+200 ou PK 75+800.

Ce croisement est réglementé par la législation technique en vigueur à savoir le décret exécutif N°10-331 du 29/12/2010 Fixant les limites du périmètre de protection autour des installations et infrastructure de transports et de distribution d'hydrocarbures d'électricité et de gaz.

II.5.1. Le périmètre de protection :

Est une zone dans la limite commence à partir de la clôture Pour les installations fixe et à partir de l'axe de l'ouvrage pour, les infrastructures de transport et de distribution hydrocarbures d'électricité et de gaz.

Soit interdite à l'intérieur du périmètre de protection toute nouvelle réalisation au construction permanente ou provisoire.

Les limites du périmètre de protection citées sans fixer par arrêté conjoint des ministres chargés de l'Intérieur et de l'énergie, en fonction du degré du risque susceptible d'être généré par l'occupation, la circulation, la navigation, et le survol, si limite doit être confort aux normes et règle en vigueur

II.5.2. Procédure de protection :

Procédure de protection_Été élaboré pour garantir la sécurité des canalisations et de se conformer aux règlements et norme lors de la réalisation des travaux de croisement.

À cet effet, une procédure définissant les exigences techniques s'appliquant ou travaux de croisement d'ouvrage tierces avec la canalisation a été élaboré par "SONATRACH" TRC.EXP-RTO :

- Point de sondage
- Point de passage
- Installation avoisinante

- Exigences à respecter : la conduite gaz est protégée par une protection Mécanique de type dalots en béton armé selon des plans dressés par le bureau de suivi et de contrôle du projet ferroviaire puis visé par le service du SONATRACH et réalisé sous sa supervision.

II.6. Intervenants dans le projet :

Le tableau II.1 résume les différents intervenants dans le projet.

II.7. Données du projet :

- **Caractéristiques de Base:**

- Longueur totale 04+009 km
- Caractéristiques géométriques selon les standards UIC ;
- Type de voie ferrée (voie unique) ;
- Type de ballast et épaisseur ;
- Type et espacement des traverses ;
- Type de rails, profil et poids linéaire ;
- Écartement des rails.
- Caractéristiques du gazoduc :
 - Diamètre et épaisseur des parois ;
 - Pression de fonctionnement ;
 - Type de gaz transporté ;
 - Distance de sécurité requise par rapport à la voie ferrée.
- Caractéristiques du terrain :
 - Relief et topographie du terrain ;
 - Contraintes géologiques ;
 - Présence de cours d'eau, de zones humides ou de zones inondables ;
 - Accès pour la réalisation des travaux.
- Contraintes réglementaires.
- Normes et réglementations en vigueur en matière de sécurité ferroviaire et de transport de gaz ;
- Préconisation de mesures de protection de l'environnement pendant les travaux.
- Coûts et délais.

Tableau II.1 : les différents intervenants dans le projet.

Entité	Logos	Adresse	Représentant	Coordonnées
Maitre d'Ouvrage :	ANESRIF	 15, Bis Rue Colonel Amirouche, Rouiba, Alger, Algérie	Mr Directeur de Projet : CHANDERLI Abedelkader	Tél/Fax : 046 57 43 91 projet.bt@anesrif.dz
Entreprise de réalisation :	Groupement GRTB • INFRAFER • E.N.G.C.B • SAPTA • ENGOA • SETIRAIL • ESTEL	 06, Rue Bouras Mohamed, Tissemsilt	Mr Directeur de Projet : TALEBI Elyes	Tél/Fax : 046 57 48 45 projet.grtb@outlook.com
Maitre d'œuvre :	Groupement 3S Algérie • SAETI • SETA • SIDEM	 Rue Frères Hamidi (en face du siège de la wilaya de Tissemsilt)	Mr Directeur de Projet : OMRI nourridinne	Tél/Fax : 046 57 40 17 groupement3s.bt@gmail.com

- **Caractéristiques de la Voie:**

- a) **Ecartement :**

La voie normale sera construite avec un écartement standard de $e=1435$ mm, sans sur écartement dans les courbes.

- b) **Gabarit:**

Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC

- c) **Charges par essieu :**

Sur voie principale : 20 tonnes

Sur ouvrages d'art : 25 tonnes

- d) **Vitesses :**

Vitesse maximale : 160 km/h

Trafic marchandises sur terrain plat et en zone montagneuse : 100 km/h

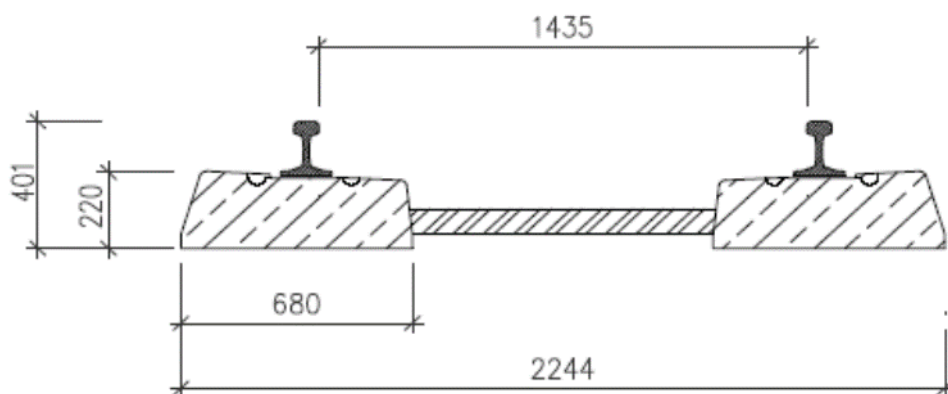
- **Superstructure:**

- a) **Rails:**

En raison de son utilisation répandue à l'échelle mondiale, nous avons choisi d'adopter pour notre ligne étudiée le **rail Vignole UIC 60**, qui pèse 60 kg par mètre linéaire.

- b) **Traverse:**

- Traverses bi-bloc en pleine voie et voies de gare.
- Traverses en bois pour les appareils de voie.
- Traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.



- c) **Attache:**

Attaches élastiques de type NABLA.

- d) **Appareils de voie:**

Choisis dans la gamme ci-après:

- UIC-60 300-1:9 50 km/h

• UIC-60 500-1:12 60 km/h

• **Equipements signalisation, Télécommunication :**

• Système de signalisation : ERTMS/ETCS Niveau 1. sigle de European Rail Traffic Management System)

• Système de télécommunication : GSM-R.

II.8. Tronçon étudié :

Le tronçon étudié dans ce projet de fin d'étude est compris entre le **PK 72 et le PK 78.**

Il est situé au nord de Djelfa, à peu près à 135Km de la ville, de l'est de Hassi fedoul, du Sud de Ksar chellala, et de l'ouest d'Ain Ouassara.

II.9. Description du Tracé :

Le tracé se caractérise par un rayon en plan de 2500 m avec un terrain vallonné et une pente de 1 %.

A la sortie d'Oued Touil (Pk 70+200), la ligne croise un chemin communal au Pk 70+700 (PRA) Entre le Pk 71+300 et le Pk 72+000 le tracé traverse une zone urbaine ou une servitude de 25 m est laissée pour assurer l'emprise ferroviaire règlementaire.

Le croisement avec un chemin vicinal au Pk 72+050 donne lieu a un pont rail

La gare de Sidi Ladjel est située au Pk 72+750

Un premier chevauchement avec le gazoduc 63" au pk 73+230,

Un second croisement avec le raccordement de la conduite moyenne pression est situé au niveau du Pk 73+960,

Le dernier point de croisement avec la conduite haute pression se localise au Pk 75+780

La RN 40 sera croisée avec un pont route au **PK 84** à l'entrée de la ville de Chahbounia.

Avant la localité Ferme Valette, une conduite hydraulique en construction, un coteau rocheux et la Zone urbanisée constituent des points contraints pour l'emplacement du tracé.

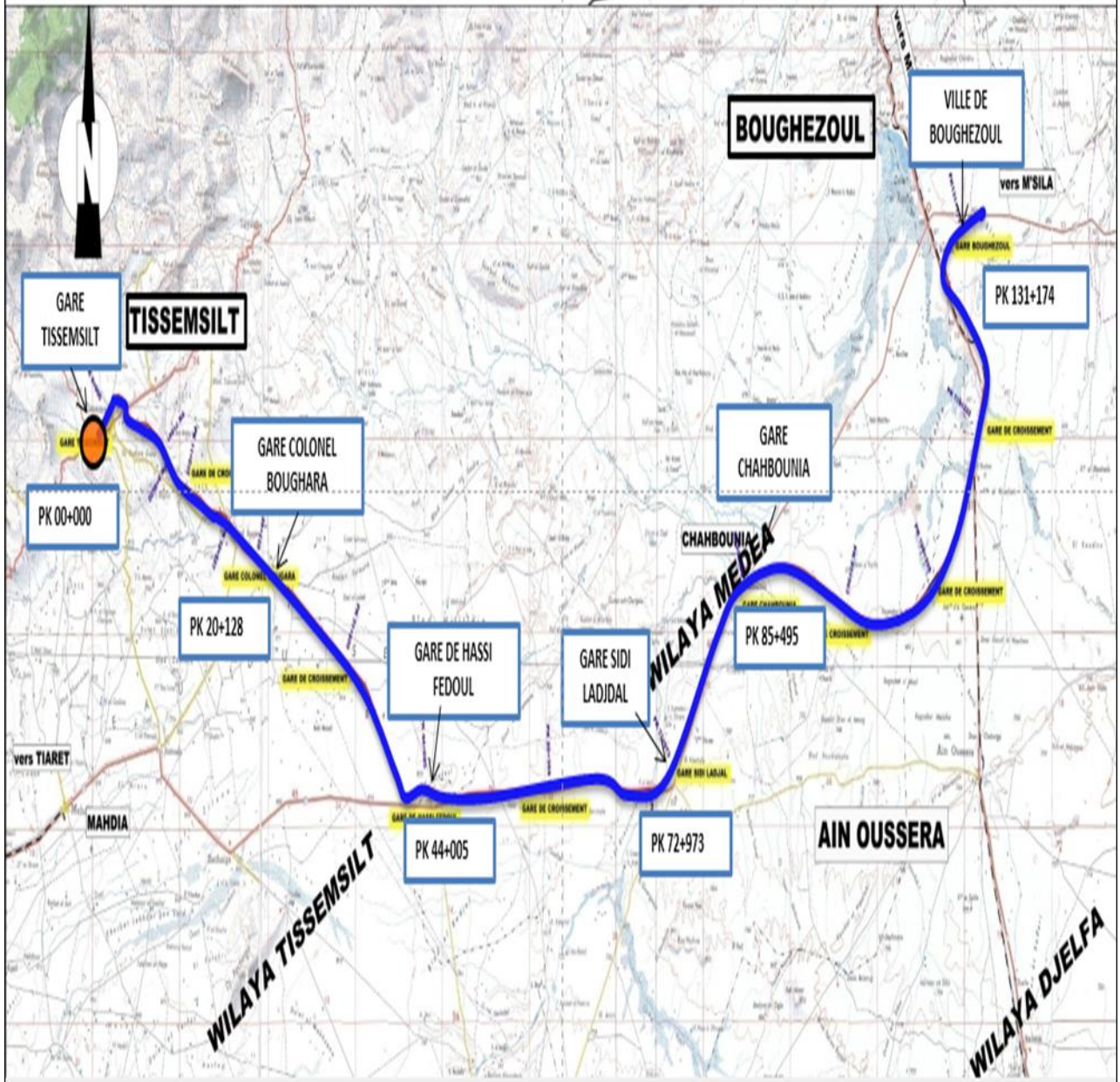
Ci-après :

Tableau II.3.: des caractéristiques géométriques tracé en plan du tronçon d'étude

N	Pk	Courbure		Rayon	devers (mm)
23	70+413.718	ORC	1736.511	2500	110
	70+477.718	OC			
	72+086.229	FC			
	72+150.229	FRC			

	72+200.000	AD	Alignement		
	74+700.000	AD	Alignement		
24	74+719.685	ORC	972.539	1500	110
	74+829.685	OC			
	75+582.224	FC			
	75+692.224	FRC			
	75+700.000	AD	Alignement		
	75+850.000	AD	Alignement		
25	75+853.852	ORC	623.093	1500	140
	75+963.852	OC			
	76+366.944	FC			
	76+476.944	FRC			
	76+500.000	AD	Alignement		

PLAN SYNOPTIQUE BOUGHZOUL / TISSEMSILT



II.10. Conclusion :

Notre contribution, en tant que groupe, dans la résolution de la problématique posée par l'optimisation de l'étude, peut être résumée comme suit :

- a) Nous avons pris en compte les différentes servitudes affectées à chaque ouvrage.
- b) Nous avons également pris en compte les contraintes, à la fois topographiques et socioéconomiques.
- c) Nous avons investi massivement dans ce secteur, ce qui permettra à de nombreuses régions de sortir de leur isolement géographique simultanément.
- d) Les caractéristiques du projet que nous avons proposé répondent aux objectifs de l'ANESRIF.

CHAPITRE III : TRACE EN PLAN

III.1. Introduction :

La planification de trajectoire est une projection orthogonale de tous les points d'une trajectoire
Le plan horizontal consiste généralement en une série d'arcs droits alignés de circuits reliés entre eux par des courbes de conduction de phase.

En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

VR : vitesse des trains rapides (voyageurs).

VL : vitesse des trains lents (marchandises).

La géométrie du tracé en plan d'une voie ferrée est bordée par certaines contraintes physiques et technologiques:

- Le confort des voyageurs et la stabilité des véhicules.
- La capacité de réaliser certain nombre de formes géométrique en génie civil et à la maintenir dans le temps.
- La complexité de l'entretien.

III.2. Conditions et règles de tracé :

Le tracé en plan doit assurer un confort technique et un coût économique, et pour atteindre cet objectif, on doit respecter les conditions et les considérations suivantes :

- Éviter le passage sur des terrains agricoles, des zones forestières et les propriétés privées.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes des terrassements.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement droit et respecter la longueur minimale.
- Evite le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz et des transformateurs électriques.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Eviter les problèmes de talus.

III.3. Les éléments du tracé en plan :

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements, des liaisons et des arcs de cercles de raccordements.

- **Alignement ($R=\infty$)** : il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers
- **Arcs de cercles ($R=\text{constante}$)**: la liaison entre l'alignement se fait avec Jonctions circulaires
La valeur du rayon de jonction dépend de la vitesse des trains dans la courbe. Le rayon des arcs de cercles et leurs pentes doivent être au moins autorisés un train circulant à une vitesse de référence, V_r de ne pas dérapier.

- **courbe de raccordement progressif (CRP)** : C'est un élément géométrique reliant l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement du rayon $R = \infty$ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur constante de R au début de l'arc de cercle.

Pour ce type de raccordement, on utilise la clothoïde, grâce à la différence linéaire, garantit la stabilité à la flexion et le confort en plus de son aspect esthétique agréable.

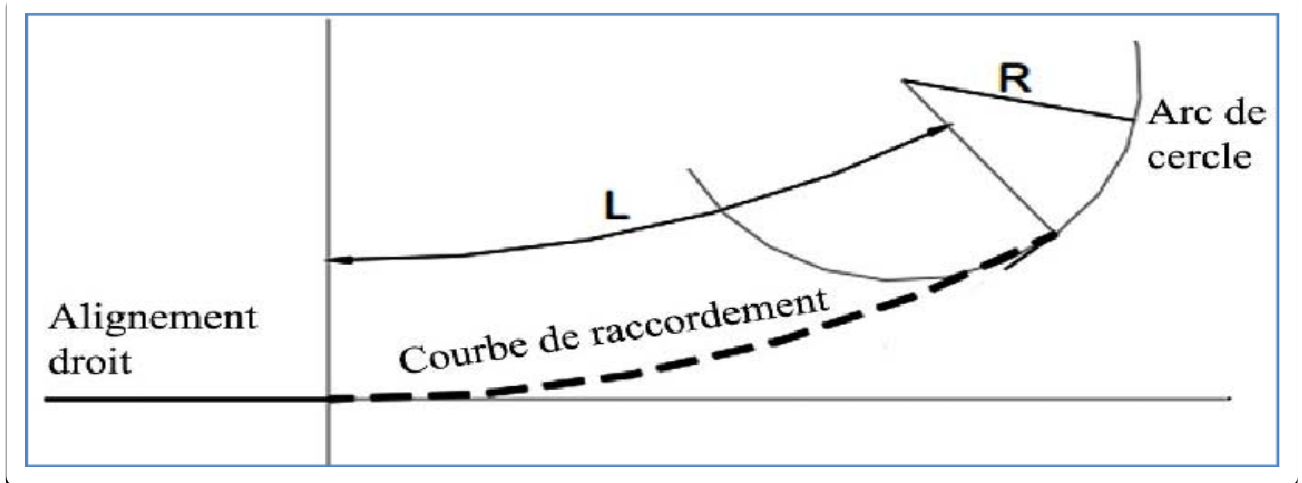


Figure III.1: Eléments du tracé en plan

III.4.Courbe et conditions de raccordement :

III.4.1.La clothoïde :

La clothoïde est une courbe utilisée sur les routes et les voies de chemin de fer pour raccorder une droite à un cercle. Cette courbe est plus connue sous la dénomination "Spirale de Cornu".

Il existe plusieurs types de courbes de raccordement progressif mais La clothoïde est la plus CRP qui sera appliquée dans le tracé de notre projet pour plusieurs raisons :

- C'est la CRP idéale en point de vue dynamique.
- Maintient constante la variance de l'accélération transversale, ce qui est très utile Pour le confort de l'utilisateur.
- Répond aux exigences esthétiques et de confort visuel, l'expression mathématique de la clothoïde est le choix pour des raisons d'homogénéité, avec l'équation suivante :

$$A^2=L \cdot R$$

A : Paramètre de la clothoïde

L: Longueur de clothoïde (m).

R : Rayon de courbe (m).

III.4.2. Conditions de raccordement :

•**Condition de gauchissement** : On doit limiter dans les zones de variation de dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

•**Condition de confort optique** : C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

•**Condition de confort dynamique** : C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

III.5. Le dévers :

Le dévers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. Une courbe est posée en dévers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur à la courbe) est surélevée par rapport à la file petit rayon (rail intérieur à la courbe) et en contre-dévers lorsque la file de petit rayon est surélevée par rapport à l'autre.

Le dévers a pour but de s'opposer aux déraillements des trains dus à la force centrifuge exercée sur les trains qui se déplacent sur une courbe.

III.5.1. Le dévers théorique :

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Mécaniquement la résultante doit être perpendiculaire à la surface de roulement.

Tel que, ces forces sont : la force centrifuge (GA) et le poids du véhicule (GB) Pour faire équilibrer La composante $GC = \frac{mv^2 \cos \alpha}{R}$ de la force centrifuge qui tend à rejeter le train vers l'extérieur, nous avons la composante $GH = P \sin \alpha \rightarrow \frac{mv^2 \cos \alpha}{R} = P \sin \alpha$

Comme : $P = m g$ et L'angle α étant très petit, on peut prendre :

$$\sin \alpha = \tan \alpha = \frac{d_{th}}{e} \text{ et } \cos \alpha = 1 \text{ Donc: } \frac{mv^2}{R} = \frac{mg d_{th}}{e} \rightarrow d_{th} = \frac{ev^2}{gR}$$

Et la formule donnant le dévers théorique : $d_{th} = \frac{11.8V^2}{R} [mm]$

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h. (IN0272))

R : Rayon de courbe (m)

V : Vitesse (km/h)

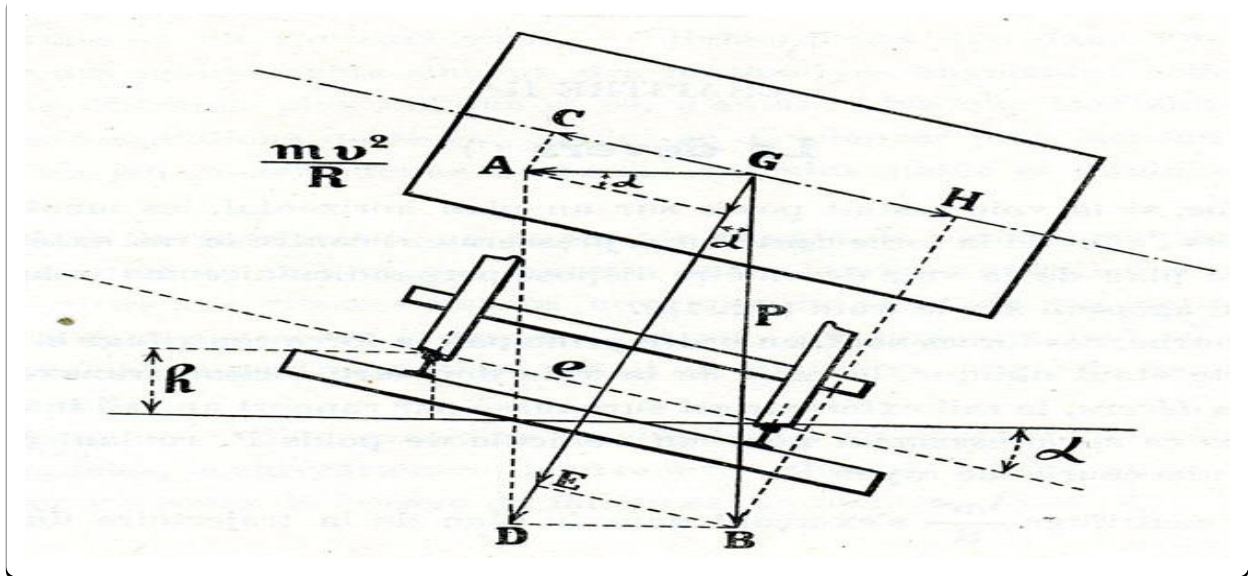


Figure III.2 : Le dévers théorique

III.5.2. Le dévers pratique (normal) :

Le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents. C'est pour cela qu'on prévoit un dévers moyen (dévers normal) qui tient compte des grandes vitesses ainsi que des vitesses réduites. Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

La formule du dévers pratique est : $dp = \frac{1000.c}{R} [mm]$

C : coefficient du dévers.

III.5.3. L'insuffisance de dévers (I) :

Lorsque la vitesse d'un train prendre une courbe est élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce train est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieure de la courbe. On appelle insuffisance de devers (**exprimée en mm**) la différence entre le dévers théorique est le dévers pratique.

Elle est donnée par : $I = \frac{11.8Vmax^2}{R} - dp$

Vmax : Vitesse des trains de voyageurs (maximale) (km/h).

R : Rayon de courbe (m).

III.5.4. L'excès de dévers :

Lorsque la vitesse d'un train en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce train est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimée en mm) la différence entre le dévers théorique et le dévers pratique

Elle est donnée par: $E = dp - \frac{11.8Vmax^2}{R}$

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes.

V_{min} : Vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h).

R : Rayon de courbe (m).

III.5.5. Coefficient de dévers :

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

$$C = \frac{R_{min}.DR_{min}}{1000}$$

Lors de la construction d'une ligne, un coefficient de pente commun à toutes les courbes est observé. Cela conduit à une relation stable entre la courbure et l'incapacité à l'imperfection. Considérant cette disposition constitue un facteur de commodité.

Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante : **$C = 0.006V^2$**

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante **$V \leq 220$ km/h.** (IN0272))

III.5.6. Longueur minimum des éléments de trace :

Afin de faciliter le roulement et adoucir le roulis des wagons de train, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments du tracé (Tableau III.1).

Longueur : exprimée en (m).

vitesse : exprimée en (Km/h).

Tableau III.1: longueur minimal à respecter (source fiche SNTF Géométrie)

Valeur minimal normale	$\frac{V}{2}$
Valeur minimal exceptionnelle	$\frac{V}{3}$

V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale).

Pour notre projet la longueur minimale est **$L_{min} = \frac{v}{2} = \frac{160}{2} = 80$ m**

III.5.7. Rayon minimum de l'alignement circulaire :

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants. Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

❖ **Remarques** : Le rayon minimum de la courbe devra être déterminé comme suit:

- Pour la vitesse minimale de circulation des trains (trains lents), l'excès de dévers (E) devra être inférieur à la valeur maximum admissible.

- Pour la vitesse maximale de circulation des trains (trains rapides), l'insuffisance de dévers (I) devra être inférieure à la valeur maximale admissible.

Donc le rayon minimum doit se traduire par l'équation suivante :

$$\frac{11.8v_{min}^2}{D_{max} - E} \geq R_{min}(m) \geq \frac{11.8v_{max}^2}{D_{max} + I}$$

D_{max} : Rayon de courbe (m).

v : Vitesse des trains de voyageurs (maximale) (km/h)

v : Vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h)

I : Valeur admissible d'insuffisance de dévers

E : Excès de dévers (mm)

III.5.8. Raccordement de dévers :

Le passage d'un dévers nul en alignement à un dévers prévu en pleine courbe doit se faire d'une façon progressive. Cette progression se fait sur une longueur appelée « rampe de dévers ». La variation de dévers par unité de longueur est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie, cette variation est accompagnée aussi de la variation de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Son exécution se fait par la surélévation progressive du rail extérieur par rapport au rail intérieur.

La longueur de la rampe de dévers est donnée par : $dd/dt = [dp \times V_{max} / (3.6 \times L)]$

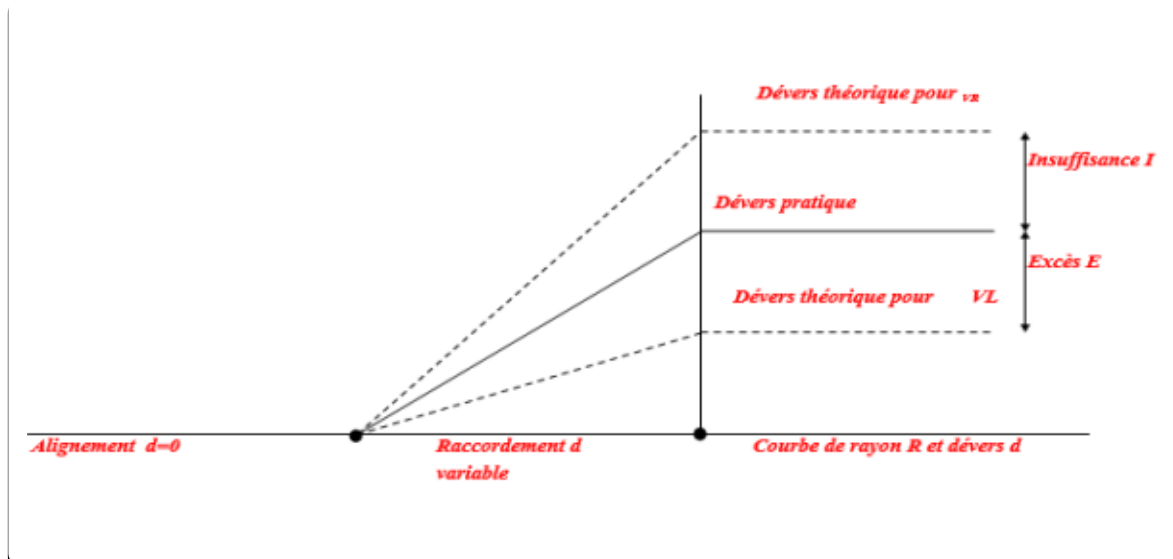


Figure III.3 : Raccordement de dévers.

III.5.9. Gauchissement et variation du dévers :

Lorsque les trains traversent des courbes et en présence des dévers, les points de contact entre les roues des wagons avec le rail ne sont pas au même niveau et sous

des charges dynamiques à grande vitesse inégalement réparties sur les roues, cela deviendra le problème très dangereux. Pour résoudre ce problème, il faut définir cette pente par unité de longueur.

- Le rapport ($\Delta D/\Delta L$) exprime cette différence en (mm/m).

III.6. Application pour notre projet :

On se réfère aux normes UIC (union internationale des chemins de fer) pour notre projet. On a les données SNTF du projet:

- 1) Vitesse des trains de voyageurs (maximale) : 160 km/h
- 2) Vitesse des trains de marchandises (minimale) : 80 km/h
- 3) Voici la fiche (UIC N° 703R) pour la vitesse (LGV).

Remarque : les paramètres géométriques sont déduits à partir des standards UIC et des pratiques de la S.N.T.F et seront conditionnés par une limitation de valeurs afin de respecter les exigences de sécurité, de confort et de tenue de la voie.

Tableau III.2 : Paramètres de tracé pour notre projet (source fiche UIC 703R)

Valeurs	Normales	Maximales
I (Insuffisance de dévers) (mm)	120	150
E (Excès de dévers) (mm)	90	110
D (dévers) (mm)	150	160
dl/dt (mm/s)	75	90
dd/dt (mm/s)	35	-

✓ Calcule R_{min} :

La formule donnant le rayon minimale :

$$R_{min} = \frac{11.8v_{max}^2}{D_{max}+I}$$

$$A.N: R_{min} = \frac{11.8 \times 160^2}{160+50} = 974.45m \rightarrow R_{min} = 974$$

✓ Calcule C :

La formule donnant le coefficient de dévers :

$$C = 0.006V^2$$

$$A. N: C = 0.006 \times 160^2 = 153.6 \rightarrow C=153$$

✓ **Calcule dp :**

La formule donnant le dévers pratique :

$$dp = \frac{1000.c}{R}$$

A.N: $dp = \frac{1000 \times 153}{974} = 157.08 \rightarrow dp = 157mm$

✓ **Calcul la valeur de L :**

La formule donnant la longueur de la clothoïde :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dvmax}{3.6 \times L} \leq \left(\frac{dd}{dt}\right) \rightarrow L \geq \frac{dp \times V \text{ voy}}{3.6 \left(\frac{dd}{dt}\right)}$$

D'après la fiche (UIC N° 703R) :

On a $\left(\frac{dd}{dt}\right) = 35$

Donc : $L \geq \frac{157 \times 160}{3.6 \times 35} \rightarrow L=200m$

✓ **Calcule du paramètre A :**

La formule donnant du paramètre du clothoïde :

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

A. N: $A = \sqrt{974 \times 200} \rightarrow A=441.36$

Tableau III.3: Calcul récapitulatif des éléments géométriques

Rayon (m)	dp	Trains voyageurs 160 km/h		Trains marchandise 100 km/h		L (m)	$A = \sqrt{R \cdot L}$ (m)
		d _{th}	I	d _{th}	E		
1000	153.6	302.08	148.48	118	35.6	195.047	441.64125
1500	102.4	201.38	98.98	78.66	23.73	130.031	441.64069
2500	61.44	120.83	59.39	47.2	15.24	78.019	441.6418

III.7. Conclusion :

On peut conclure que l'étude géométrique du traçage est très importante pour obtenue bon fonctionnement des trains.

Le calcul a été effectué sur la base des paramètres d'ingénierie et techniques précédemment recommandés règles UIC et SNCF.

CHAPITRE IV : PROFIL EN LONG

IV.1. Introduction :

Le profil en long d'une voie ferrée est une représentation continue de l'altitude de l'axe de la voie en fonction de sa position le long de la voie. Il est obtenu en créant une coupe longitudinale imaginaire de la voie.

Le profil en long est constitué de segments linéaires reliés par des portions de cercle.

Les règles à respecter dans le tracé du profil en long sont essentielles pour garantir un design efficace et fonctionnel de la voie ferrée. Voici une analyse des différentes règles :

- Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé : Cette règle assure la continuité et l'inter connectivité du réseau ferroviaire, en garantissant une transition fluide entre les sections existantes et nouvelles.
- Respecter la déclivité maximale : La déclivité maximale de 16‰ (ou 1,6%) limite la pente de la voie, permettant aux trains de circuler en toute sécurité. Les zones de gares et haltes doivent avoir une déclivité nulle pour faciliter l'embarquement et le débarquement des passagers.
- Le rayon minimum en profil en long : Cette règle, qui utilise la formule $Rv_{min} = 0.35v_R^2$, définit le rayon de courbure minimal autorisé sur le profil en long. Un rayon de courbure plus grand permet des virages plus doux, ce qui est préférable pour la circulation des trains.
- Minimiser les quantités de déblai et remblai et les équilibrés : Cette règle vise à réduire les coûts de construction et à minimiser l'impact environnemental en limitant les volumes de terre déplacée. Les équilibrés, où les quantités de déblai et de remblai sont égales, sont économiquement avantageux.
- Éviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux : Les angles rentrants dans les sections en déblai peuvent entraîner des problèmes d'évacuation des eaux de pluie, provoquant des inondations et des dommages à la voie. Il est donc important d'éviter ces angles pour assurer un drainage adéquat.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long : Cette règle, définie par $L_{min} = V/2$, spécifie une longueur minimale pour les éléments du profil en long. Cela permet une représentation précise des variations d'altitude et assure une lecture claire du profil en long.
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long : Cette règle garantit la cohérence entre le tracé horizontal (en plan) et vertical (en long) de la voie ferrée, assurant ainsi une conception harmonieuse et fonctionnelle de la voie.

En respectant ces règles, on peut obtenir un profil en long optimisé qui garantit une circulation fluide et sécurisée des trains tout en minimisant les coûts et l'impact environnemental.

IV.2.les déclivités :

- Pour un tronçon de la voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation, on parle d'une **déclivité négative** ou **pente**.
- Pour un tronçon de la voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation, on parle d'une **déclivité positive** ou **rampe**.
- Pour un tronçon de la voie où l'altitude est constante, on parle de palier.

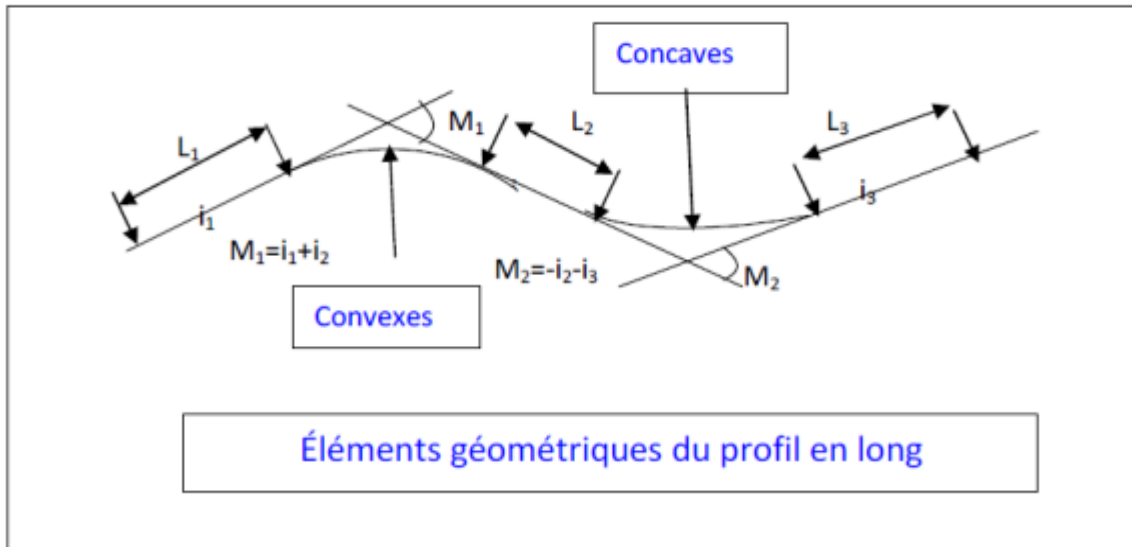


Figure IV.1 : Eléments géométriques du profil en long

IV.3. Déclivité maximale :

Les valeurs admissibles de déclivité varient en fonction de la longueur du tronçon. Voici une reformulation des différentes valeurs :

- Pour une déclivité d'une longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰, conformément aux dispositions de l'instruction SNCF/IN0272.
- Pour une déclivité d'une longueur comprise entre 3000 m et 15000 m, la déclivité diminue progressivement de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- Pour une déclivité d'une longueur supérieure à 15000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.
- Il convient de noter que ces valeurs peuvent être dépassées dans le cadre d'une étude de variante, à condition de respecter les dispositions spécifiées dans la dernière version de l'instruction SNCF/IN0272.

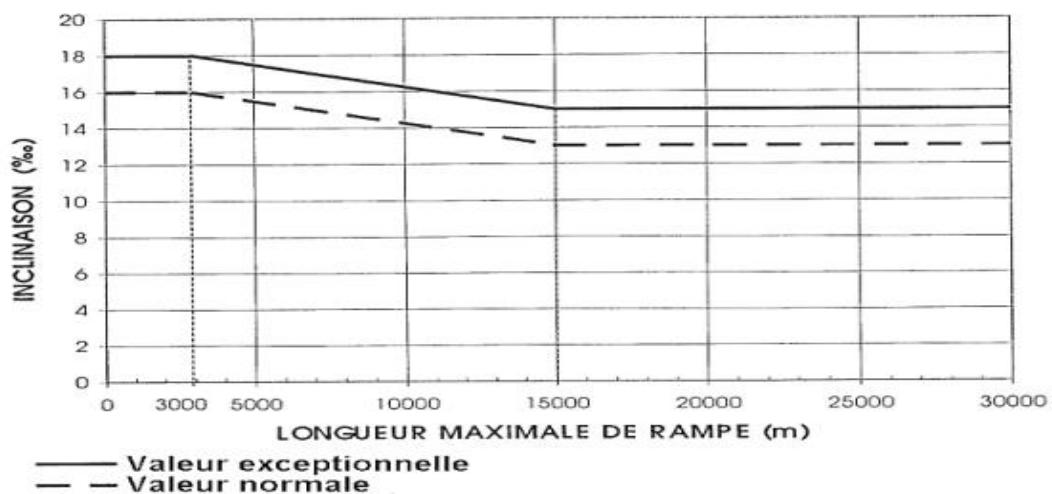


Figure IV.2 : Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNCF)

N.B : pour notre projet :

- ❖ La déclivité maximale est fixée à **16‰**.
- ❖ La déclivité dans les gares et gares de croisement est fixée à **0,00‰**.

IV.4. Longueur minimale des éléments du profil en long :

Afin de minimiser les sollicitations subies par les véhicules en raison des variations successives de déclivité, il est recommandé de prévoir une longueur minimale pour chaque déclivité.

Tableau IV.1: Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF)

Valeur minimale normale	$\frac{v}{2}$
Valeur minimale exceptionnelle	$\frac{v}{3}$

V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale)

N.B : Pour notre projet, longueur minimale des déclivités est $V/2 = 160/2 = 80\text{m}$

IV.5. Rayon admissible en raccordement de profil en long :

Ce sont des courbes circulaires réalisées aux points de changement de pente entre deux déclivités.

Ces courbes circulaires (figure IV.3) sont définies sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement.

Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes de raccordement.

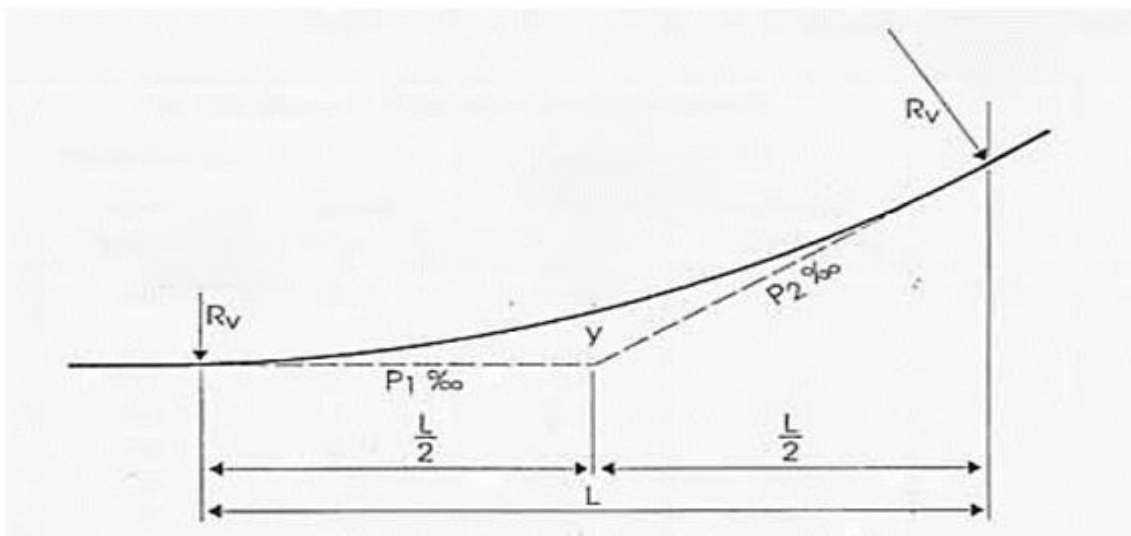


Figure IV.3 : Schéma du raccordement circulaire

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

Tableau IV.2: Valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter

Valeur normale	$0,35V^2$
Valeur exceptionnelle	$0,25V^2$
Points particuliers	$0,15V^2$

V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale)

N.B : pour notre projet, $R_{min} = 0.35V^2 = 0.35 \times 160 = 56m$

IV.6. Raccordement de projet :

Tableau IV.3: Raccordement en long

Projet	Cote
Début	886.856
Fin	831.576

Note: le calcul d'axe est fait automatiquement par le logiciel Covadis9.1 et les résultats sont joints en annexe.

IV.7. Coordination profil en long-tracé en plan :

Pour assurer une coordination adéquate entre le profil en long et le tracé en plan, il est important de respecter les conditions suivantes :

- **Éviter les coïncidences de rayons :** Il est préférable de ne pas avoir les mêmes rayons dans le profil en long et le tracé en plan afin d'éviter des transitions brusques et une perturbation de la stabilité des trains.
- **Éviter les courbes consécutives :** Il est recommandé d'éviter de placer une courbe dans le profil en long immédiatement après une courbe dans le tracé en plan. Cela permet d'assurer une transition plus douce et une meilleure conduite des trains.
- **Prévenir les points élevés avant les points singuliers :** Il est important de ne pas avoir de points élevés juste avant les points singuliers (tels que les aiguillages ou les croisements). Cela permet une meilleure visibilité et facilite la manœuvre des trains.
- **Éviter les courbes ou déclivités aux points d'appareils de voie :** Les points de placement des appareils de voie, comme les aiguillages, doivent être évités dans les sections courbes ou en déclivité. Cela garantit une meilleure stabilité et manœuvrabilité des trains.
- **Offrir du confort aux voyageurs :** Une coordination adéquate entre le profil en long et le tracé en plan permet d'éviter les variations abruptes de déclivité et les courbes serrées.
- **Assurer la sécurité des voyageurs et du matériel roulant :** En respectant la coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on évite les situations potentiellement dangereuses.

IV.8. Conclusion :

En conclusion, la coordination entre le profil en long et le tracé en plan est essentielle pour assurer un design ferroviaire efficace, sécurisé et confortable. En respectant les règles de coordination, telles que l'évitement des coïncidences de rayons, l'évitement de courbes

consécutives et la prévention des points élevés avant les points singuliers, on garantit une circulation fluide des trains, une meilleure visibilité, une sécurité accrue pour les voyageurs et le matériel roulant, ainsi qu'un confort optimal. La coordination entre le profil en long et le tracé en plan permet de créer une infrastructure ferroviaire harmonieuse et fonctionnelle, offrant une expérience de voyage agréable pour les utilisateurs.

CHAPITRE V : Profil en travers et calcul des cubatures

V.1.Introduction :

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe dans le sens transversal menée selon un plan perpendiculaire à l'axe d'une voie ferrée.

La section transversale est une montée perpendiculaire à l'axe de la voie dans un plan Vertical. L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

• Classification du profil en travers:

Ils existent deux types de profil :

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

• Profil en travers type :

Est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

• Profil en travers courant :

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, les éléments de la superstructure, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux.....etc.)

V.2.Constituants du profil en travers type :

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

• 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).
- Le type de traverse utilisé.
- Poteaux caténaires 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.

• Eléments de l'infrastructure :

- Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.
- Les pentes de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.

• Eléments du talus :

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

• Eléments d'assainissement :

Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinale)

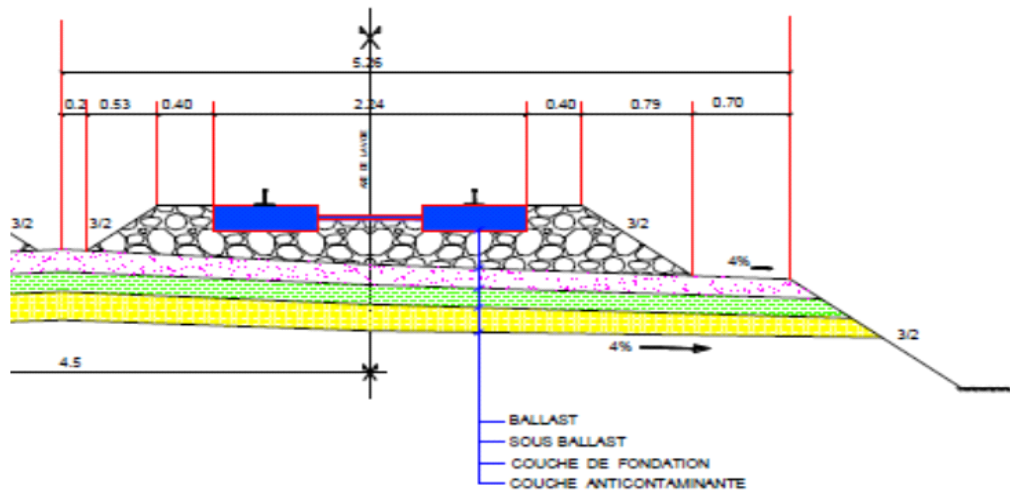


Figure V.1 : Exemple profil en travers type

V.3. Les éléments du profil en travers :

- **Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie ; limitée par le domaine public.
- **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme** : Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.
- **La voie** : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme** : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.). Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé** : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

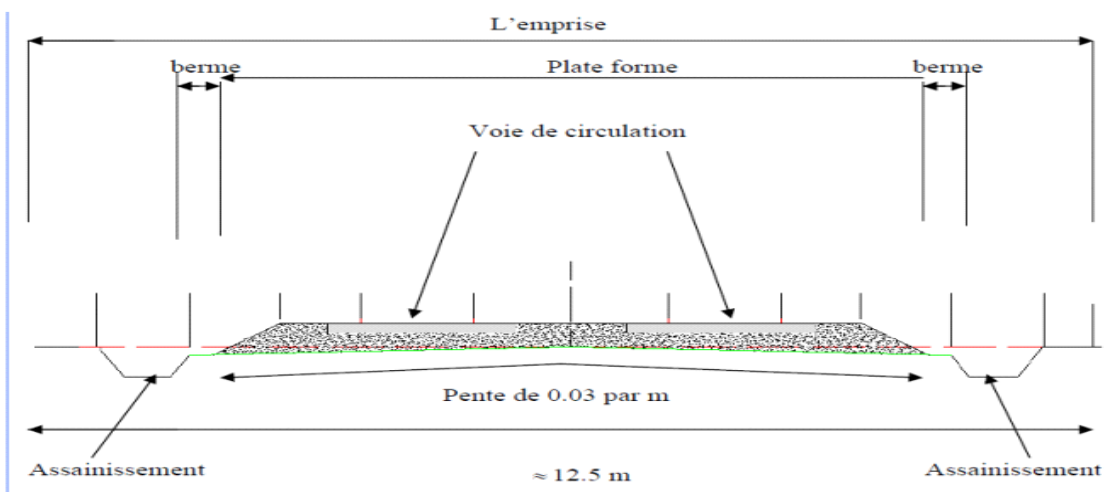


Figure V.2 : Les éléments du profil en travers

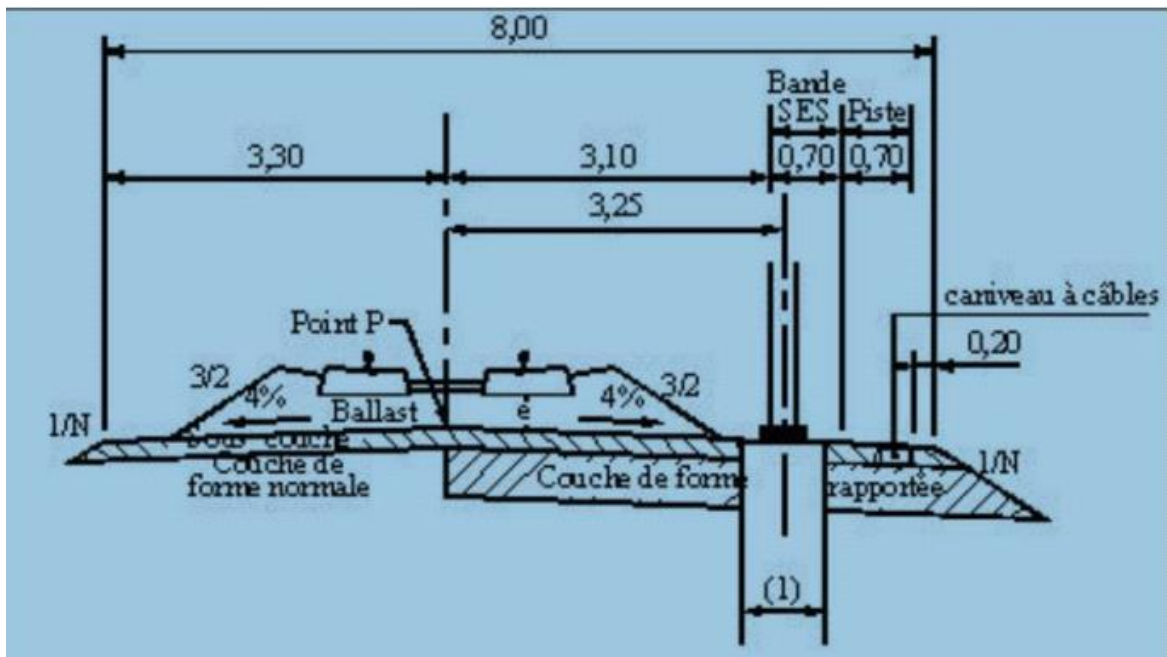


Figure V.3 : profil en travers types d'une voie unique

V.4.Profil type de notre projet :

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

- Type de ligne : voie unique
- Ecartement de la voie : 1.435 m (universel)
- Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4 %.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- Epaisseur du ballast : 33 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 35 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 35 cm.
- Dans les sections d'ouvrage art (passages inférieurs et supérieurs, Ponts Rail.....)
- les caractéristiques suivantes seront modifiées :
- Pente latérale de la plate-forme : 4 %.
- Epaisseur du ballast : 35 cm.
- En ce qui concerne les gares, il faut tenir en compte les distances entre l'axe et les obstacles ci-après :
- Entraxe des voies en gares de voyageurs : 4.6 m
- Largeurs de quai : 8 m.

V.5.Couches d'assise ferroviaire : (UIC 719f)

Calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise :

$E = 55 \text{ CM}$, $a = -10 \text{ CM}$, $B = 0,05 \text{ CM}$, $C = 0$, $d = 0$, $f = 0,05$ (classe de portance P2), $g = 0$ (couche de forme QS3)

Donc : $E = 55 \text{ CM}$ avec une couche de forme de 35 cm, soit une épaisseur totale de 90 cm

V.5. Calcul des cubatures :

Les cubatures sont Les calculs effectués 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.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.
- Les profils en travers.
- Les distances entre les profils. Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux, on peut citer :
 - Méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).
 - Méthode de l'aire moyenne (méthode par défaut).
 - Méthode de la longueur applicable.
 - Méthode approchée.

Aucune de ces méthodes donnent de résultats exactes.

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel COVADIS, les détails de calcul sont joints dans l'annexe.

Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique.

Tableau V.1 : Les Valeurs des déblais et remblais (longueur de la ligne = 6018 ml)

Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)
130 000	190 500

Surface décapage : 115 500 m^2 .

V.6.Conclusion :

Le profile en travers il nous renseigne sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, sur les valeurs des pentes des talus sur le mode d'assainissement et sur les systèmes éventuels de protection de la voie.

CHAPITRE VI :
DONNEES
HYDROLOGIQUES ET
HYDRAULIQUES

VI.1. INTRODUCTION :

Le présent rapport concerne l'étude hydrologique et hydraulique pour la section du kilomètre 70+000 au kilomètre 130+000. L'objectif de cette étude est d'évaluer les caractéristiques des cours d'eau, les risques d'inondation et les facteurs hydrauliques qui pourraient influencer la conception et la construction d'infrastructures dans cette zone spécifique.

VI.2. ETUDE HYDROLOGIQUE :

VI.2.1. Présentation générale :

Le tracé de la nouvelle voie ferrée se situe au Nord - Ouest de l'Algérie, Cette région se caractérise par un climat méditerranéen avec parfois des averses très importantes qui peuvent conduire à des catastrophes naturelles.

La desserte ferroviaire reliant la ville de Tissemsilt à celle de Bougezoul traverse le bassin versant du Chéouli.

Le bassin du Chéouli codé (01) par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), est situé au Centre-Ouest du pays entre les bassins des Côtiers Algérois (02) au Nord, de l'Isser (09) et Chott Hodna (05) à l'Est, de Zahrez (17) et du Sahara (13) au Sud, des Côtiers Oranais (04), des Hautes Plaines Oranaises (08) et Macta (11) à l'Ouest.

A l'Ouest, le bassin du Chéouli est délimité au Nord par les monts du Dahra et au Sud par l'Atlas Saharien.

Le PK (Point Kilométrique) sert de repérage du passage d'un tronçon de la voie ferrée sur l'Oued. La délimitation des bassins versants est faite à partir de son intersection.

VI.2.2.: Données hydrologiques utilisées :

VI.2.2.1 Introduction :

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H) et de l'Office National de la Météorologie (O N M). Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M).

Dans cette partie on s'intéresse en particulier :

- Aux pluies annuelles des pluies et ses fluctuations temporelles.
- Aux pluies journalières maximales en tant que facteur déclenchant des crues.
- Aux pluies de courtes durées.

VI.2.2.2 Pluies annuelles :

Les données pluviométriques de 5 stations appartenant au bassin du Chéouli et proches du tracé ont été exploitées et qui caractérisent au mieux la pluviométrie de la région d'étude.

Les paramètres statistiques des pluies annuelles des cinq stations calculées à base des données pluviométriques recueillies au niveau de l'ANRH sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau VI.1 : Caractéristiques statistiques des pluies annuelles

Nom de la Station	Période d'observations	Moyenne annuelle (mm)	Ecart type (mm)
Tissemsilt	68 ans	271.7	83.1
Hamadia	37 ans	338.6	91.8
Ksar Chellala	29 ans	271.6	87.5
Ain Oussera	58 ans	240.1	70.7
Boughezoul	43 ans	223.9	73.5
Moyenne		268.6	

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 250 et 350 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du Nord de l'ANRH, nous prenons en considération la valeur de $P_{moy} = 268.6 \text{ mm}$

VI.2.2.3 : Précipitations journalières :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger les différents ouvrages hydrauliques.

VI.2.2.4 : Intensité de pluie (I) :

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques. A partir des dépouillements à intensités constantes on a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps.

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

$$\frac{P(t)}{P_{j \max}} = a \cdot t^b$$

P (t): Pluie de durée t (temps de concentration).

Pj max: Pluie journalière maximale.

T: Temps de concentration.

A et b: Paramètres climatiques.

Les valeurs des intensités pour différentes fréquences sont données sous forme de courbes I.D.F. C'est dernier sont représentées dans l'annexe.

Vu l'importance des pluies de courtes durées dans la détermination des débits projets maxima, et vu la non disponibilité de données pluviographique à Boughezoul, nous avons pris en considération la station pluviographique de Ksar el Boukhari qui se rapproche le plus de Boughezoul sachant qu'elle est la mieux représentative de cette région.

VI.2.2.5 : LES CRUES :

L'intérêt de la détermination du débit max. d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques.

Lorsqu'on projette la construction des ouvrages hydrauliques, on doit déterminer le maximum probable de la crue auquel l'ouvrage devra faire face. On doit tenir compte de sa durée de vie et calculer la crue max. qui pourrait se produire pendant cette période.

Une crue est caractérisée par :

- Son débit Maximum
- Sa durée
- Son volume,

Vu l'indisponibilité des stations hydrométriques nous n'avons pas pris en considération l'étude des crues dans la région.

VI.2.3 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante.

La superficie (S) des bassins, exprimées en km^2 , est déterminée avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major au 1/50 000.

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des Oueds traversant la nouvelle voie ferrée sont données par le tableau VI.2.

Avec :

S (km^2) : Surface.

P (km) : Périmètre.

L (km) : Longueur du cours d'eau principal.

K_c : Indice de compacité.

T_c (h): Temps de concentration en heures

H_{max}(m) : Altitude max.

H_{min}(m) : Altitude min.

H_{moy}(m) : Altitude moyenne.

P(%): pente du talweg principal en %.

C : coefficient de ruissellement.

Tableau VI.2 : Caractéristiques physiques des bassins versants

N° B V	PK	S (Km ²)	P (Km)	Lcour (Km)	Kc	Hmax (m)	Hmin (m)	H moy (m)	Δh (m)	pentetalweg (%)	Tc (h)	Cruiss
28	17+800	1,433	6,17	2,492	1,44	722	682	702	40	1,61	0,4	0,23
29	25	2,064	6,391	2,555	1,25	722	682	702	40	1,57	0,4	0,23
30	40	0,275	2,163	0,304	1,15	692	682	687	10	3,29	0,5	0,23
31	114	30,164	35,949	16,353	1,83	929	850	889,5	79	0,48	9,2	0,23
32	122	7,902	15,635	6,08	1,56	752	677	714,5	75	1,23	0,6	0,23
33	122+--	79,26	50,301	23,69	1,58	843	677	760	166	0,70	9,8	0,23

NB : Vu l'importance du cours d'eau au PK 70 et la non disponibilité de cartes au 1/50 000 qui couvrent la totalité de la superficie du bassin versant N° 27, nous n'avons pas pu compléter la délimitation de ce dernier. Néanmoins, nous envisageons de projeter un ouvrage d'art, dont le dimensionnement sera établi par notre bureau d'étude chargé de la conception des ouvrages d'art.

VI.2.3.1. Le temps de concentration « tc » :

Les formules de détermination du temps de concentration sont utilisées suivant la superficie du bassin versant :

A /Superficie inférieure à 5 Km² :

Il est calculé par la formule de VENTURA :

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

Tc: Temps de concentration en heure

S: Surface du bassin versant en km²

P: Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

B/ Superficie comprise entre 5 et 25 Km :

Tc est calculé par la formule de PASSINI :

$$t_c = 0,11 \frac{\sqrt[3]{S x L}}{\sqrt{P}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

C/. Superficie comprise entre 25 et 200 km² :

T_c est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$t_c = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

H : Attitude moyenne du bassin versant en (m).

VI.2.3.2. Choix du coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

Coefficient C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

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

Coefficient C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).

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

Coefficient C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

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

La connaissance et la détermination de ces paramètres sont indispensables pour la prédétermination des débits de projet nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

VI.2.4 : Résultats des calculs hydrologiques :

VI.2.4.1. Méthodes utilisées :

Nous avons le choix entre une multitude de formules pour le calcul du débit de projet, cependant nous optant pour la méthode la plus simple et qui s'adapte le mieux à la région d'étude à savoir la méthode rationnelle.

A/ La méthode rationnelle :

Le débit de crue pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² a été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

$$QA = 0.278 C.I. S$$

Dans laquelle :

QA: Débit de crue de fréquence déterminée en m³/s.

C: Coefficient de ruissellement.

I: Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

S: Surface du bassin versant en (km²).

B/ La méthode de TURAZZA :

Pour les bassins versants dont la superficie dépasse 200km², on a opté pour la méthode de Turazza, les résultats obtenus par cette formule sont relativement plus élevés, et cela par mesure de précaution.

$$Q_{max\%} = P_{tc} \% * S * C / (3,6 * t_c)$$

Q_{max} % : débit de crue de période de retour voulue (en m³/s)

tc: temps de concentration du bassin (en heures)

P_{tc} %: pluie de durée **tc** et de période de retour voulue en mm

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S : superficie du BV en Km².

VI.2.4. 2 : Résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle:

Les débits de pointes calculés par la méthode rationnelle pour une période de retour centennale, et cela pour les bassins versants dont la superficie est inférieure ou égale à 200Km² sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.3 : valeurs des débits de projet (100ans)

Station	N° BV	PK	S (Km2)	C ruiss	Tc (h)	I(t, 100) (mm/h)	Q projet (100) m ³ /s
Station de ksar El Boukhari (011301)	28	17+800	1,43	0,23	0,44	64,85	5,94
	29	25	2,06	0,23	0,45	64,06	8,45
	30	40	0,28	0,23	0,52	57,62	1,01
	31	114	30,16	0,23	9,25	7,71	14,88
	32	122	7,90	0,23	0,58	53,91	27,24
	33	122+---	79,26	0,23	9,76	7,43	37,64

VI.2.4.3. Résultats de calcul des débits par la méthode de Turazza:

Concernant les bassins versant N°**39** et **47** dont la superficie étant supérieure à 200 Km² et qui se trouvent au niveau des PK 107+725 et 119+00 respectivement on a utilisé la méthode de TURAZZA, l'utilisation de cette dernière nécessite la connaissance des pluies de durée « Tc ».

Le calcul des pluies de durée « tc » pour différentes fréquences a été à partir des intensités des pluies calculées à partir du dépouillement de la station pluvio-graphique de Ksar el Boukhari.

Tableau VI.4 : Pluies de durées (tc) pour différentes périodes de retour

PK	N°BV	Tc (h)	Ptc(10ans)	Ptc (20ans)	Ptc (50ans)	Ptc (100ans)
107+725	39	10,57	47,9	56,0	66,5	74,3
119+00	47	12,88	50,8	59,4	70,6	78,8

Tableau VI.5 : Débits de pointe pour les bassins 39 et 47.

PK	N°BV	Ptc(100) (mm)	S (Km2)	C	Tc (h)	Q100 (m ³ /s)
107+725	39	74,3	748,08	0,28	10,57	408,73
119+00	47	78,8	1074,49	0,23	12,88	419,92

VI.2. ETUDE HYDRAULIQUE :**VI.2.1 Méthode de MANNING STRICKLER**

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale.

Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule de MANNING-STRICKLER

$$Q_s = V \cdot S_u \quad \text{et} \quad V = K_{st} J^{1/2} R_h^{2/3}$$

K_{st}: Coefficient de rugosité.

K_{st}: 30 en terre

K_{st}: 40 buses métalliques

K_{st}: 50 maçonneries

K_{st}: 70 bétons (buses et dalots préfabriqués).

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

R_h : Rayon hydraulique

R_h= sélection mouillée

Périmètre mouillé

S_t: Section totale de l'ouvrage (m²).

S_u: Section utile de l'ouvrage b x H_u (m²).

b: Largeur de l'ouvrage (m).

H_u: Hauteur utile (m).

Pour **H_t** = 2,5 m hauteur utile = 80 % hauteur totale.

Pour **H_t** > 2,5 m hauteur utile = hauteur totale - 0,50 m.

Le tirant d'air (différence entre la côte des plus hautes eaux et la côte de l'intraudox) doit être ménagé pour laisser le passage des corps flottant détritux, branchages, etc.... qui peuvent au

passage sous un ouvrage hydraulique (pont, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.

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

La formule de **MANNING-STRICKLER** s'écrit alors :

$$Q_{sat} = \mu * k * (b * h) * \left(\frac{b * h}{b + 2 * h} \right)^{2/3} * I^{1/2}$$

Où :

- **b** : Largeur du fond (m),
- **h** : Hauteur d'eau (m)
- μ : Coefficient de contraction (pris égale à 1)

VI.2.2 Liste globale des ouvrages à projeter :

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés dans les cartes. Nous avons recensé lors de nos visites de reconnaissance plusieurs cours d'eaux importants pour lesquels nous avons projetés des ouvrages de drainage.

Tableau VI.6 : Tableau de dimensionnement des ouvrages de drainage par la méthode de Manning –Strickler

N° BV	Exutoire au PK	Q projet (100) m ³ /s	Dalot bxh (mxm)	Tirant d'eau h _e (m)	Pente de l'OH %	Qsat m ³ /s	Vadm (m/s)	Description constructive
28	17+800	5,94	1x (2.00x2.00)	1,5	0,8	13,36	4,45	Dalot
29	25	8,45	1x (2.00x1.50)	1	1	8,82	4,41	Dalot
30	40	1,01	1x (1.50x1.50)	1	0,8	5,34	3,56	Dalot
31	114	14,88	1x (2.00x2.00)	1,5	0,8	13,36	4,45	Dalot
32	122	27,24	2x (2.50x2.00)	1,5	0,5	28,76	3,83	Dalot
33	122+---	37,64	2x (2.50x2.50)	2	0,5	41,55	4,16	Dalot

L'importance des débits calculés pour certains ouvrages de franchissement, nous a poussés à effectuer une sortie sur terrain, pour voir de visu l'état et la nature du terrain traversé par la voie ferrée et vérifier les dimensions des dalots et buses proposés.

Pour le tronçon visité, nous avons fait la remarque suivante : dans la majorité des cas le terrain était plat (du moins dans la partie du tracé de la voie) et par conséquent marécageux (zone inondable), ce qui nous a poussés à revoir quelques dimensions des ouvrages proposés.

Les ouvrages hydrauliques qui traversent la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique : Tissemsilt-Boughezoul sont des cadres en béton armé à section quadrangulaire ou tuyaux circulaires. Les cadres en béton armé sont utilisés lorsque les sections nécessaires ne peuvent être obtenues au moyen de tuyaux avec diamètre 1500 mm. Les têtes aval et amont des dalots en cadre sont également en béton armé, avec des sections en « U ».

Le dimensionnement des dalots en cadre a été fait individuellement pour chaque ouvrage (par mètre linéaire d'ouvrage). Donc, pour chaque dalot (cadre ferme) est présenté un groupe individuel des dessins : « Détails de conception », « Plan de coffrage » et « Plan de ferrailage ». Les deux premiers dessins sont élaborés sur la coupe transversale type de la ligne ferroviaire, avec indication des cotations et des principales caractéristiques de l'ouvrage (pk, coordonnées et cotes des points d'implantation, biais, inclinaison des talus, pente longitudinale, longueur de l'ouvrage, angle des murs d'aile, caractéristiques du remblai contigu, ...).

Les cotes de terrain naturel et la plate-forme sont représentées dans les profils en long de chaque ouvrage dans le Dossier terrassement.

CHAPITRE VII: La superstructure de voie

VII.1. Introduction :

La structure d'une voie ferrée comprend des éléments physiques et mécaniques qui assurent la transmission des charges statiques et dynamiques des roues vers l'infrastructure. Deux rails, maintenus par des traverses, sont positionnés le long de la voie et reposent sur une couche de ballast. Les traverses permettent de maintenir l'inclinaison et l'écartement des rails. L'ensemble est conçu pour supporter les forces verticales, transversales et longitudinales.

VII.2. Catégories de la voie :

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune réservée pour un objectif bien précis, on distingue ainsi :

- **Les voies de service** : affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes voies principales déclassées.
- **Les voies d'évitement** : qui permettent à deux trains qui circulent à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- **Les voies de garage** : affectées au stationnement du matériel roulant.
- **Les voies principales** : affectées à la circulation des trains.

VII.3. Caractéristique de notre voie :

• **Le type de rail utilisé :**

- LRS type UIC 60 E1 en pleine voie, en gare.

• **Type de traverses :**

- Traverses bi-bloc en pleine voie et voies de gare.
- Traverses en bois pour les appareils de voie.
- Traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.

• **Le support :**

- ballast.

• **Tonnage des essieux à supporter :**

- Pleine voie 20 T.
- Ouvrages d'art 25 T.

• **Les attaches :**

- Attaches élastiques de type NABLA.

• **Les appareils de voie** : Choisis dans la gamme ci-après:

- UIC-60 300-1:9 50 km/h. - UIC-60 500-1:12 60 km/h.

VII.4. Les rails :

VII.4.1. Description :

Les rails sont des barres d'acier profilées utilisées pour former les voies ferrées. Ils offrent une surface de roulement lisse et durable pour les roues des trains, assurant ainsi un déplacement régulier et sûr. De plus, les rails servent de support de guidage, maintenant les

roues des trains sur la voie pour assurer la stabilité et la direction. Ils jouent également un rôle de conducteur électrique, permettant le passage du courant de traction des véhicules et des courants de signalisation. En résumé, les rails sont essentiels pour former le chemin de fer, offrir une surface de roulement, guider les trains et transmettre l'électricité nécessaire au fonctionnement du réseau ferroviaire.

Les rails doivent supporter différents types d'efforts qui leur sont appliqués et les transmettre aux autres éléments de l'infrastructure de la voie. Voici quelques-uns de ces efforts :

- ❖ **Charge verticale :** Les rails doivent résister au poids des trains et de leur cargaison. Cela comprend le poids des wagons, des passagers ou du fret transporté. Les rails doivent être suffisamment solides pour supporter ces charges sans se déformer ou se briser.
- ❖ **Charge horizontale :** Lorsque les trains circulent, ils génèrent une force horizontale due à l'accélération, au freinage et aux virages. Les rails doivent être capables de résister à cette force et de la transmettre au reste de la voie, en maintenant l'intégrité de la structure.
- ❖ **Des efforts longitudinaux :** sont prioritairement d'ordre thermique, mais ils résultent aussi de l'adhérence des roues, soit au moment du démarrage d'un train, soit au moment de freinage brusque.
- ❖ **Effets environnementaux :** Les rails sont également soumis à des conditions environnementales telles que les variations de température, l'humidité et la corrosion. Ils doivent être résistants à ces éléments pour assurer leur durabilité et leur fonctionnement à long terme.

VII.4.2. Type de rail :

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

Le rail à « double champignon symétrique » avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc doubler sa durée de vie. Le défaut de ce système était que lorsque le rail était retourné, il était déjà abimé (poinçonnements dû à l'écrasement au niveau des bordereaux).

Des rails à gorge de type « Broca » sont utilisés pour les voies encastées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway

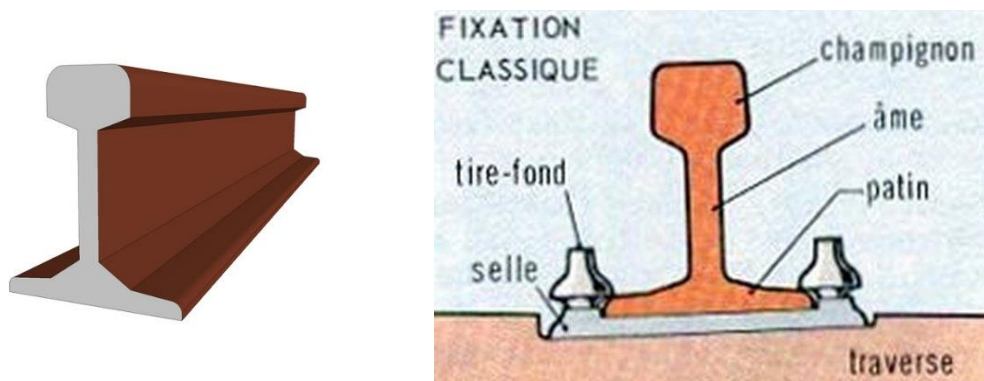


Figure VII.1 : Rail à patin (Vignole)



Figure VII.2 : Rail à gorge



Figure VII.3 : Rail DC (double)

Dans notre projet, nous utilisons Le rail de « Vignole » type UIC 60 (Figure VII.4).

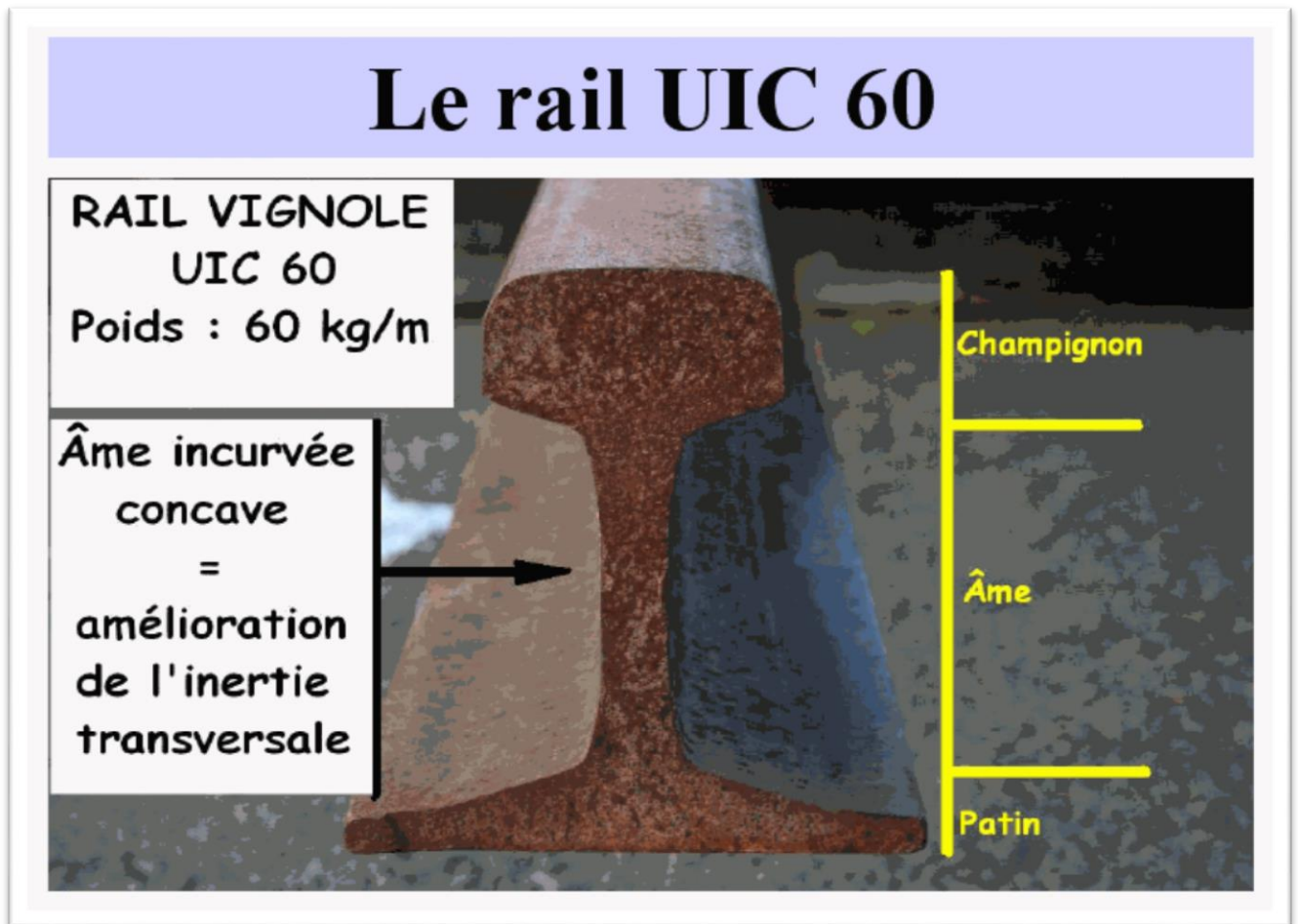


Figure VII.4 : le rail UIC 60.

Les caractéristiques géométriques du profilé UIC 60 sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VII.1 : Profilé UIC 60

Masse linéique théorique	moment d'inertie I_x	Module d'inertie I_x/v	Section	résistance à la traction
60. 21 kg/m	3038.3 cm⁴	335.6 cm³	76.7 cm²	880 N/mm

VII.4.3. Fabrication du rail :

La fabrication des rails implique plusieurs étapes complexes. Les rails sont généralement fabriqués en acier, choisi pour sa résistance et sa durabilité. Le processus commence par la fusion de l'acier dans un haut fourneau, suivi de la coulée continue pour former des brames d'acier. Les brames sont ensuite laminées à chaud pour obtenir le profil spécifique des rails. Après le laminage, les rails sont refroidis, redressés et soumis à des processus de finition pour obtenir une surface lisse. Un traitement thermique peut être appliqué pour améliorer les propriétés mécaniques des rails. Enfin, les rails sont inspectés et soumis à des tests de qualité avant d'être utilisés dans la construction des voies ferrées.

VII.4.4. Inclinaison du rail :

L'inclinaison du rail représente l'angle entre l'axe de symétrie du profil du rail et la perpendiculaire au plan de roulement. Pour les lignes à grande vitesse, l'angle d'inclinaison du rail est $1/20e$ avec une tolérance de réalisation à la mise en service de 0,01. Cette inclinaison assure un meilleur guidage des essieux et a tendance à ramener constamment les trains dans l'axe de la voie, elle permet également de limiter les frottements dans les passages en courbe.

VII.4.5. Écartement des rails :

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. L'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie « normale », c'est le plus utilisé à travers le monde (60%) (Figure VII.5).

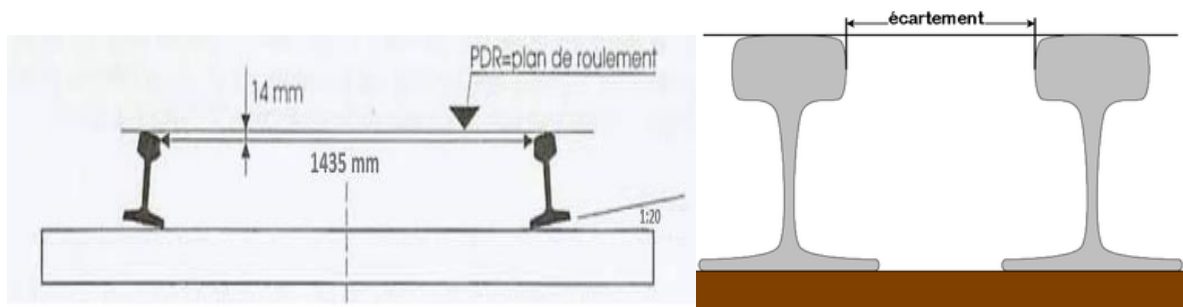


Figure VII.5 : L'écartement entre les rails.

VII.5. Les longs rails soudés (LRS) :

Dans le passé, la pose traditionnelle des rails utilisait des barres normales assemblées par éclissage boulonné, ce qui entraînait une usure et un montage imparfait. Cela nécessitait une maintenance coûteuse pour resserrer les boulons et corriger les défauts de géométrie. De nos jours, la préférence va à la soudure des rails, ce qui permet d'avoir une voie continue, réduisant ainsi les problèmes d'usure et de maintenance à long terme. La soudure offre une meilleure stabilité, réduit les vibrations et permet une diminution des coûts de maintenance, améliorant ainsi la sécurité.

VII.5.1. Soudage par forgeage électrique :

Le soudage par forgeage électrique est utilisé pour souder des rails en atelier, que ce soit à poste fixe ou avec des machines mobiles. Ce processus utilise un courant électrique pour chauffer et fondre le matériau des rails, formant ainsi un cordon de soudure continu. Cette méthode permet de construire des barres longues sans avoir besoin d'éclissage boulonné, ce

qui garantit une voie ferroviaire plus stable et durable. Le soudage par forgeage électrique offre une alternative efficace pour créer des joints solides dans la construction de rails.

Temps requis : 3 min/soudure.



Figure VII.6 : Soudure électrique.

• **Procédure :**

- Dressage et encastrement des extrémités des rails.
- Brulage des extrémités des rails et réchauffement par le passage du courant.
- Réalisation du joint par refoulement (forgeage).
- Réchauffement supplémentaire avec impulsion de courant, ou refroidissement selon des gradients de température prédéfinis (pour obtenir une structure cristalline optimale).
- Ebavurage mécanique.
- Meulage du joint de soudure.

• **Avantages :**

- Absence de matériau étranger.
- Expulsion des impuretés (oxydes) lors du forgeage.
- Répartition uniforme de la dureté grâce à une zone de réchauffement courte (30-40 mm).
- Procédé de soudage entièrement mécanisé, ce qui résulte un soudage constant et régulier, de bonne qualité et absence de défauts dus à la fatigue ou le manque de concentration du soudeur.

VII.5.2. Soudage aluminothermique :

C'est un processus d'oxydation exothermique de l'aluminium avec du fer ou de l'oxyde ferrique. Des additifs supplémentaires et des matériaux d'alliage spécifiques transforment le fer. Ce type de soudage est pratiqué sur site pour le raccord en voie des barres longues ou des appareils de voie, et il ne nécessite que des moyens légers.

Les rails à souder sont alignés en laissant un espace précis entre leurs extrémités. Des moules sont ajustés autour du joint entre deux rails le processus récent fait appel à un creuset jetable.

Temps requis : 20 min/soudure.

• **Procédure :**

- **Préchauffage :** avec un brûleur spécialement conçu. Les moules et les abouts des rails sont préchauffés à 2000°C environ pendant un temps précis pour atteindre la température correcte pour le soudage (Figure VII.7).



Figure (VII.7) : Préchauffage.

- **Mise en feu :** lorsque la température de préchauffage correcte est atteinte, la réaction est amorcée dans le creuset à l'aide d'un tison spécial. L'acier fondu est obtenu par réaction

aluminothermique.



Figure VII.8 : Mise en feu

- **Soudage** : au moment adéquat, le bouchon fusible au bas du creuset libère l'acier en fusion dans le moule par le passage prévu.



Figure VII.9 : Soudage.

- **Tranchage du rail** : il est réalisé lorsque la soudure a pris et avant qu'elle ne soit refroidie. Le tranchage se fait sur la surface de roulement.



Figure VII.10 : Tranchage du rail

- **Meulage du rail :** Immédiatement après le tranchage, un meulage rapide est effectué sur le rail.

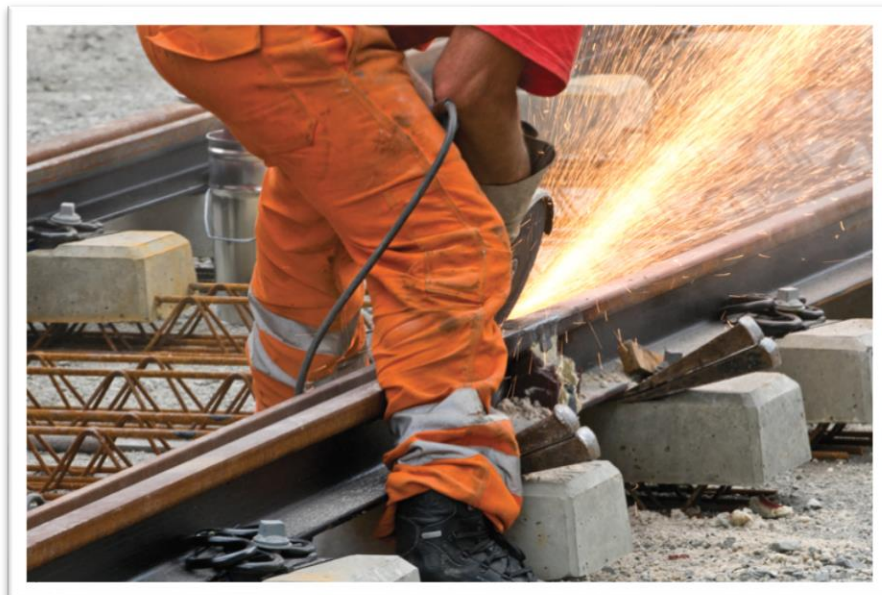


Figure VII.11 : Meulage du rail.

L'étape cruciale de la finition des soudures dans la construction de rails est indispensable pour assurer une continuité parfaite du profilé. Cela nécessite l'élimination des bavures

résultant de la soudure aluminothermique. Pour ce faire, des outils tels que l'ébavureuse hydraulique et la meuleuse de profilé sont utilisés. L'ébavureuse hydraulique permet de supprimer les excès de matériau, tandis que la meuleuse de profilé affine la soudure et élimine les bavures restantes. Ces opérations sont effectuées par des opérateurs qualifiés qui respectent les normes de qualité et de sécurité. La finition des soudures garantit une voie ferroviaire sûre et performante, avec un profilé de rail continu et exempt de défauts. Les travaux de pose et de soudage sont suspendus lorsque des conditions atmosphériques anormales surviennent, notamment lorsque la température mesurée au rail dépasse +45°C.

VII.5.3. Avantages et inconvénients des LRS :

- Les principaux avantages des LRS sont :
 - Réduction des coûts de maintenance.
 - Réduction des défauts et d'usure de rail.
 - Diminution du bruit et des émissions sonores.
 - Mécanisation plus facile de la pose et de la maintenance de la voie.
- Les principaux inconvénients des LRS sont :
 - Un risque de déformation par flambement de la voie sous les contraintes de compression excessives lors de périodes de très fortes chaleurs.
 - Un risque plus grand par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid.
 - Une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses.

VII.6. Traverse :

Les traverses sont des éléments clés dans la construction des voies ferrées. Elles sont placées transversalement entre les rails pour soutenir et maintenir leur espacement. Les traverses en bois, béton précontraint ou acier sont utilisées, offrant durabilité et résistance. Elles sont fixées au ballast pour assurer la stabilité et la sécurité de la voie. Les traverses supportent la charge des trains, absorbent les vibrations et maintiennent la stabilité.

Une maintenance régulière est essentielle pour préserver leur intégrité et éviter les problèmes potentiels.

• Travers en bois :

Elles sont fabriquées à partir du bois de chaîne ou hêtre qui sont appréciés pour leur résistance (Figure VII.12), leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre, mais leur durée de vie est très courte, alors pour régler le problème, on procède à un traitement chimique avec de la créosote et sous pression.

Dans notre projet, les traverses en bois sont utilisées dans les appareils de voie.



Figure VII.12 : Traverse en bois.

• **Traverse en béton armé:** Les traverses en béton ont une durée de vie plus importante ainsi qu'il coûte moins cher ce qui a élevé leur utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc.

Il en existe deux types:

- **Traverses en Bi bloc :** Formées de deux blocs de béton reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.



Figure VII.13 : Travers en Bi bloc

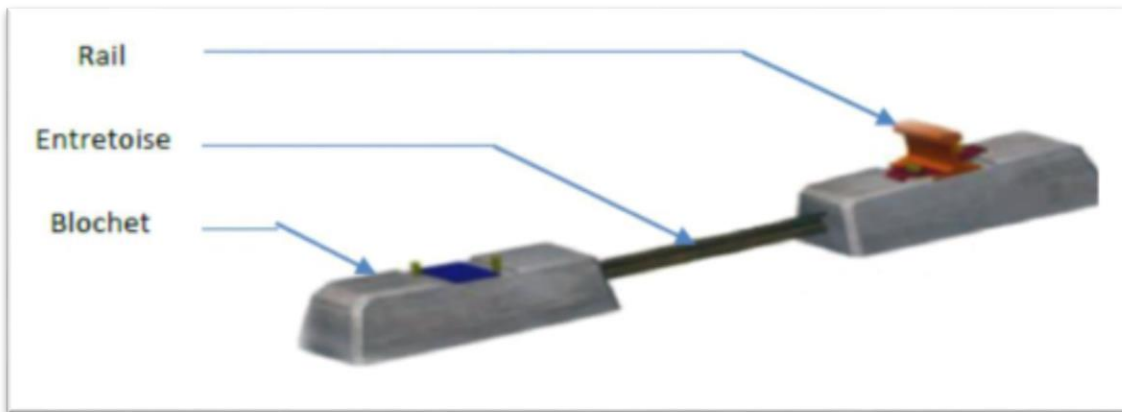


Figure VII.14 : Eléments de la Traverse en béton bi-blocs

- Traverse en Monobloc :

En béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

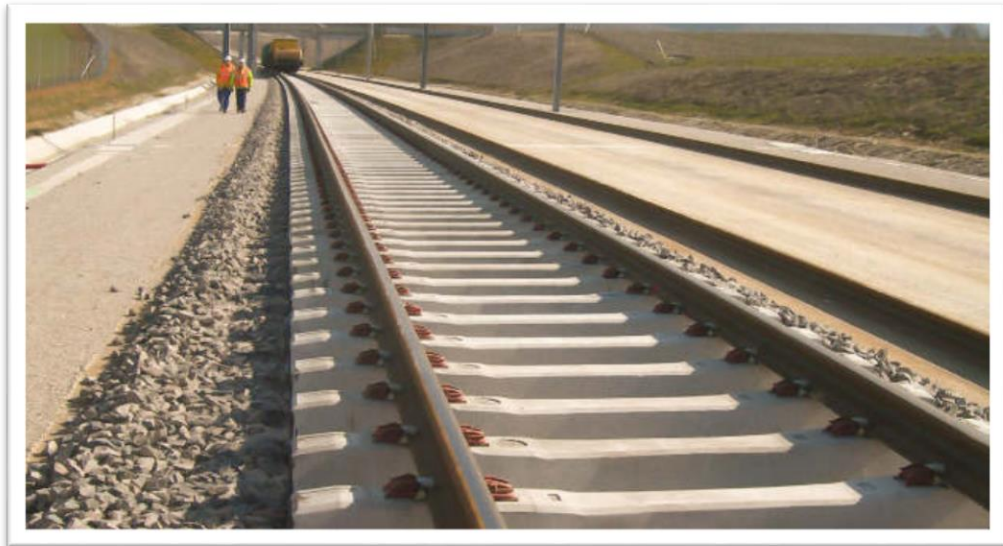


Figure VII.15: Traverse en Monobloc

- Travers métalliques :

Les traverses métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisées. Elles sont bruyantes, surtout à vitesse élevée, s'ancrent moins bien dans le ballast à cause de leur légèreté.

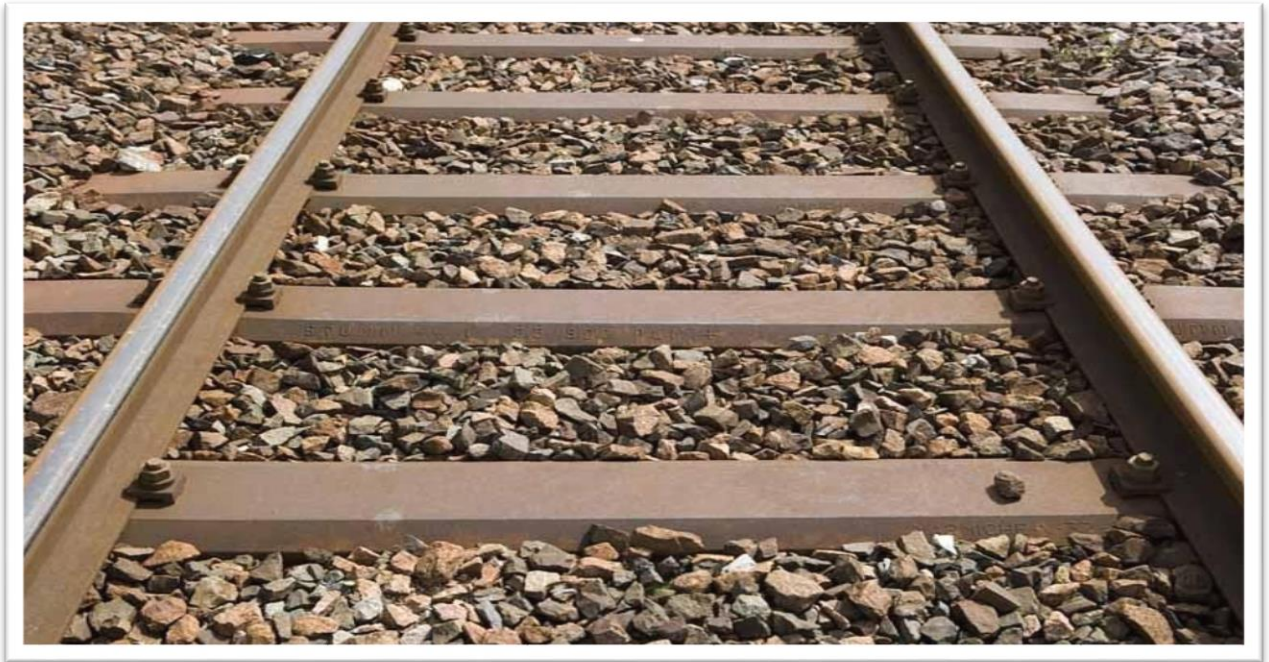


Figure VII.16 : Traverses métalliques

VI.6.1. Rôle des traverses :

Les traverses se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails, elles doivent assurer les fonctions suivantes :

- Réalisation et maintien de l'écartement normal (1435 mm) des rails.
- Répartition et transmission des efforts sur la couche de ballast, à savoir :
 - Charges verticales des essieux.
 - Forces centrifuges horizontales.
 - Efforts longitudinaux.
- Permettent l'inclinaison de 1/20 aux rails.
- Amortissement des vibrations des rails.

VII.7. Les attaches :

Les attaches sont des dispositifs cruciaux dans la fixation des rails sur les traverses de chemin de fer. Elles empêchent tout déplacement du rail en le fixant solidement à la traverse, garantissant ainsi la stabilité et la sécurité de la voie ferrée.

VII.7.1. Type d'attaches : Les anciennes attaches étaient pour les traverses en bois, on distingue : Les crampons puis les tirefonds ; le premier type fait mal au patin, le rail alors peut se relever de la traverse

Le deuxième est tellement rigide, que le rail peut soulever la traverse en se redressant, pour les traverses métalliques, il s'agit des boulons qui fixent les crapauds sur le patin.

Le développement technologique a permis de concevoir et mettre en œuvre des attaches élastiques qui peuvent résister d'une manière élastique aux mouvements verticaux, surtout vers le haut, ces déplacements se font sans jeu, sans chocs.

L'attache NABLA (Figure VII.17) :

Ainsi appelée en raison de sa forme triangulaire, comme l'opérateur mathématique, elle est constituée par un crapaud (lame-ressort) maintenue par un écrou "tirefond" vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet (Figure VII.18). Le rail repose généralement sur une semelle cannelée en caoutchouc qui joue le rôle d'un amortisseur. Ce type d'attache est le plus répandu au monde, il convient aux longs rails soudés sur traverses en béton.

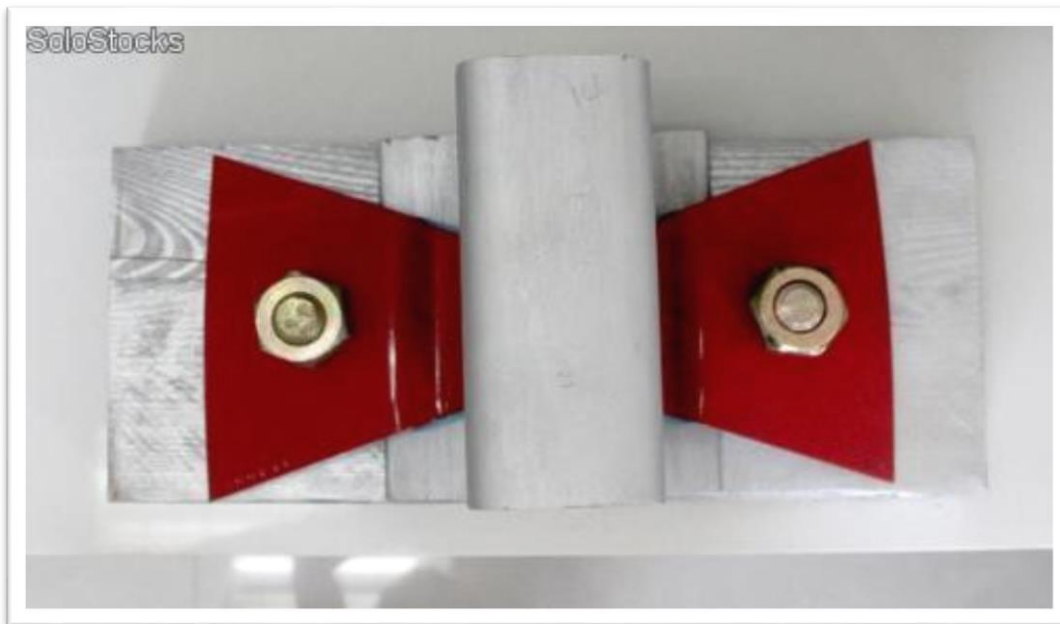


Figure VII.17 : Attache de type Nabla

VII.7.2. rôle d'attache :

L'attache doit remplir les rôles suivants :

- ❖ Assurer le serrage du rail sur la traverse avec un effort tel que la résistance au glissement du rail sur la traverse soit largement supérieure à la résistance au déplacement longitudinal de la traverse dans le ballast.
- ❖ Cet effort de serrage ne doit pas trop s'affaiblir en présence des effets vibratoires engendrés à l'approche des charges roulantes.
- ❖ La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier à un éventuel relâchement du dispositif de fixation.
- ❖ Les caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages.
- ❖ Le rendement de l'attache (rapport entre l'effort exercé par l'attache sur le rail et l'effort exercé par le dispositif de serrage de l'attache ancré dans la traverse) doit être aussi élevé que possible.

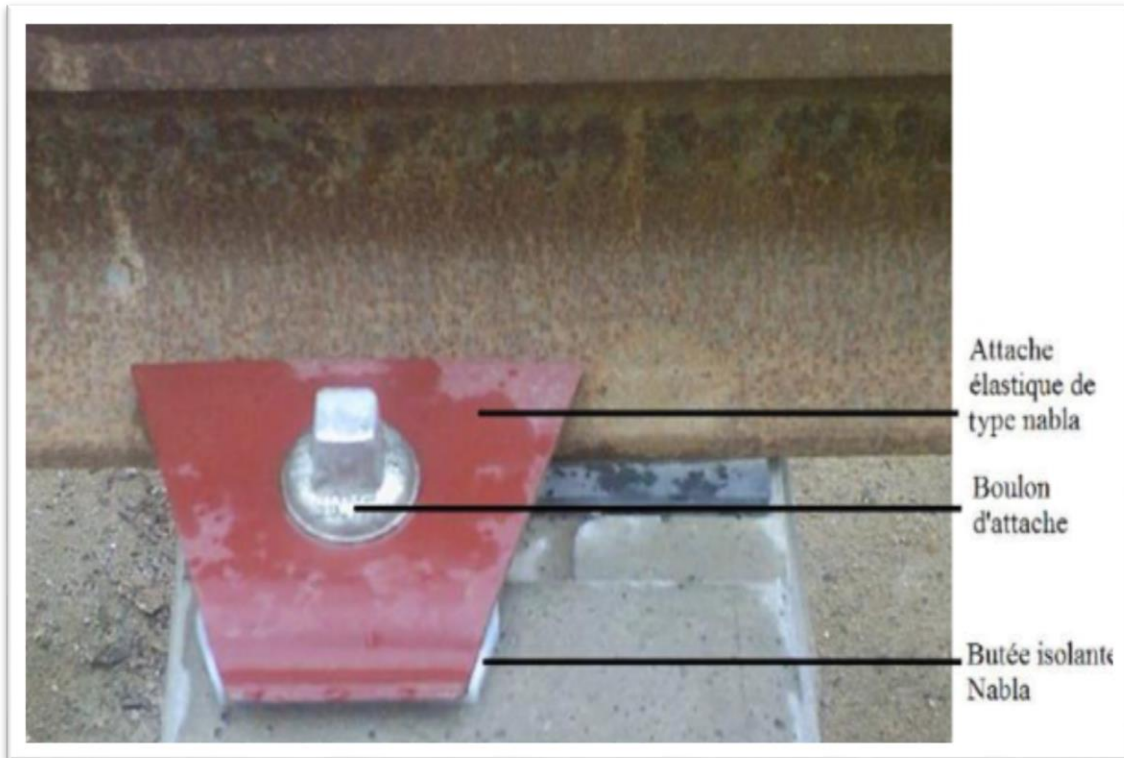


Figure VII.18 : Les éléments d'une attache de type Nabra.

VI.8. Les appareils de voie :

VI.8.1. Description :

Les appareils de voie sont un moyen de franchissement ou de passage d'un train (de voyageur ou de marchandise) d'une voie principale à une voie service ou de franchissement d'une voie de croisement.

Les appareils de voie (Figure VII.19) sont des éléments dont les frés d'investissement et de Maintenance sont élevés et qui peuvent perturber sensiblement la circulation des véhicules. Ils doivent être disposés et conçus de façon à obtenir un tracé favorable du point de vue de la dynamique. Actuellement, la durée de vie des appareils de voie est d'environ 30 ans (avec traverses en béton).

Pour les véhicules ferroviaires, il est nécessaire de prévoir des dispositifs de voie pour leur permettre de changer de voie. Ils peuvent être classés en deux groupes :

- **Groupe 1 (branchement, traversées et traverse jonctions) :**

Ils permettent aux trains dépasser sans discontinuité d'une voie sur une autre. Dans un branchement, les axes de voies se réunissent tandis que dans une traversée, ils se coupent.

- **Groupe 2 (plaques, ponts ou secteurs tournants et chariots transbordeurs) :**

Ces appareils permettent de passer d'une voie sur une autre de façon discontinue.

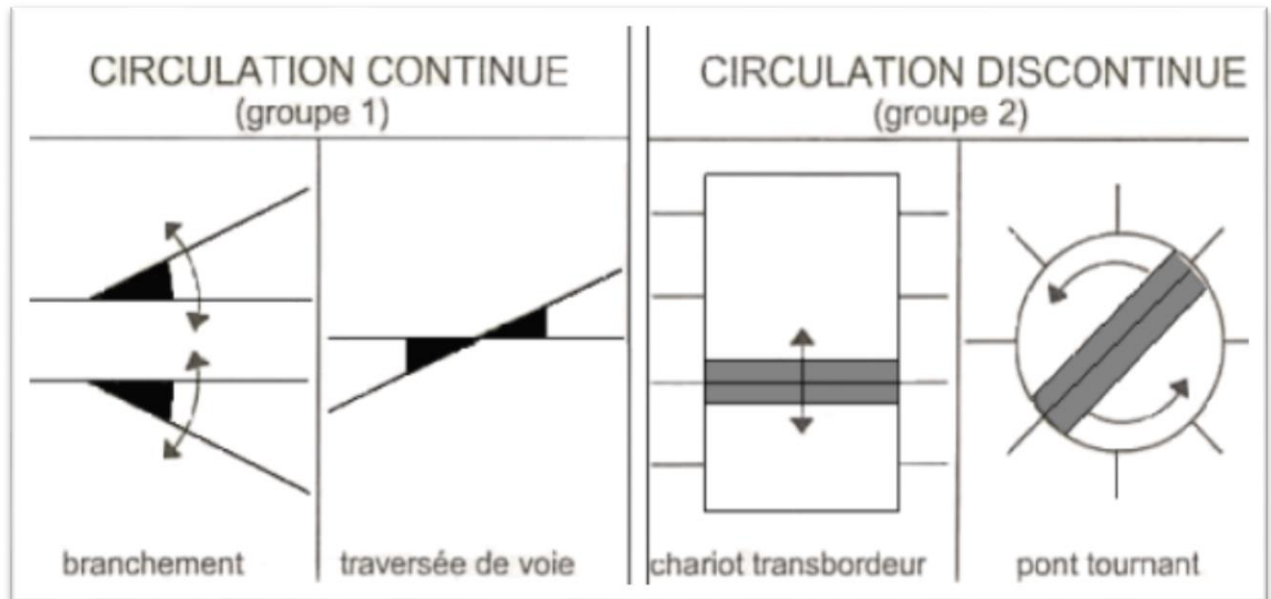


Figure VII.19 : Les différents appareils de voie.

Dans notre projet, seuls les branchements du groupe 1 seront utilisés. Les véhicules ferroviaires doivent franchir les branchements sans effets dynamiques et sans chocs.

VII.8.2. Les éléments constitutifs d'un appareil de voie (Figure VII.20) :

Les éléments constitutifs d'un appareil de voie sont :

- **L'aiguillage** : Partie constituée de rails et de lames usinées et articulées qui assurent la continuité d'un des 2 ou 3 itinéraires divergents à l'origine de la divergence.
- **La partie intermédiaire** : qui est assimilable à la voie courante
- **Le croisement** : Partie de l'appareil assurant la continuité de deux itinéraires sécants au droit de l'intersection entre files opposées et comprenant un cœur de croisement en acier monobloc ou assemblés, 2 rails extérieurs équipés de 2 contre-rails avec entretoises de liaison.

Les éléments de sécurité des appareils de voie sont :

✓ **Motorisation :**

Un moteur électrique, équipé de tringles rigides, permet le déplacement des 2 lames d'aiguille en fonction de l'itinéraire choisi.

✓ **Système de verrouillage :**

Pour des raisons de sécurité, les appareils de voie parcourus par des trains rapides sont équipés d'un contrôle électrique de position afin d'immobiliser les lames d'aiguille dans la

position choisie sur le rail contre aiguille.

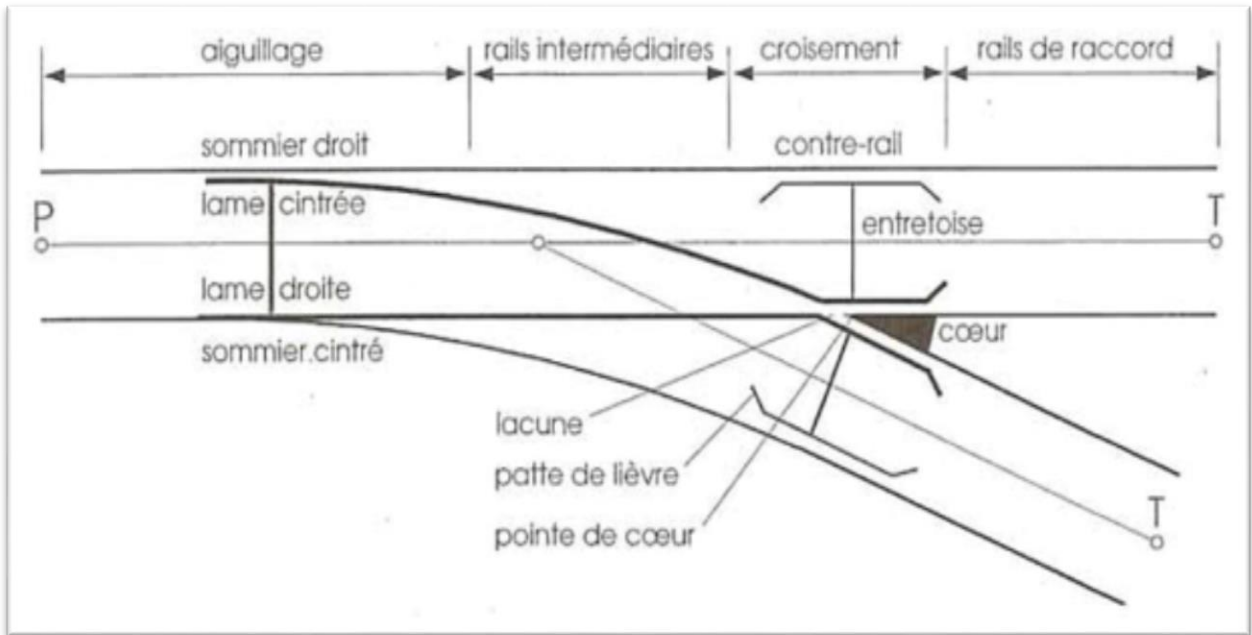


Figure VII.20 : Branchement et ses éléments constitutifs.

VII.9. Conclusion :

La superstructure ferroviaire joue un rôle vital dans la transmission des charges des roues vers la plate-forme. Ce chapitre met en évidence son importance dans l'étude du tracé ferroviaire. La superstructure comprend les rails, les traverses, les attaches et le ballast, et elle est responsable de supporter les charges statiques et dynamiques des trains. Une conception adéquate de la superstructure est nécessaire pour résister aux forces et les distribuer efficacement à la plate-forme. L'interaction entre la superstructure et la plate-forme est prise en compte dans l'étude du tracé ferroviaire, en prenant en considération des facteurs tels que la géométrie des rails, la résistance des traverses, du ballast et les propriétés du sol.

En résumé, la superstructure est essentielle pour assurer la sécurité, la stabilité et la durabilité de la voie ferrée.

CHAPITRE VIII :

l'infrastructure de la voie

VIII.1.Introduction :

L'infrastructure de la voie désigne l'ensemble des éléments physiques qui permettent le fonctionnement et l'utilisation d'une voie de transport, que ce soit une route, une autoroute ou encore une ligne ferroviaire. Cette infrastructure comprend notamment les chaussées (ou rails), les ponts, les tunnels, les viaducs ainsi que tous les équipements nécessaires à leur entretien et à leur sécurité tels que les panneaux de signalisation routière ou encore le système électrique pour alimenter un réseau ferré.

L'infrastructure de la voie est essentielle car elle garantit la fluidité du trafic tout en assurant sa sécurité. Elle doit être régulièrement entretenue afin d'éviter toute dégradation pouvant entraîner des accidents ou perturbations dans le trafic. L'amélioration continue de cette infrastructure est également nécessaire pour répondre aux besoins croissants liés au développement économique et démographique des territoires desservis par ces infrastructures.

Les différentes couches d'assise jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement de la voie ferrée en termes de rigidité, nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast, la sous-couche et la plate-forme. Ces couches sont spécifiquement conçues en fonction de leur nature et de leur épaisseur pour assurer la stabilité et la performance de la voie ferrée.

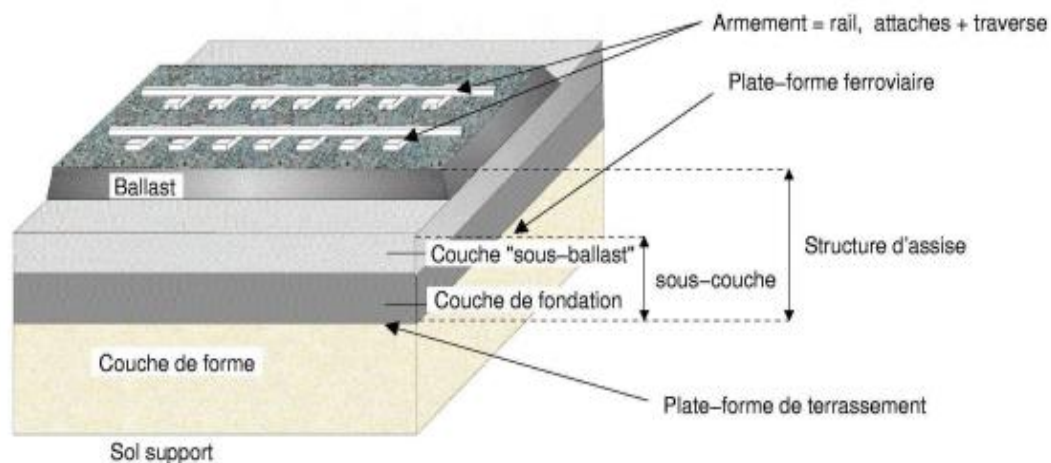


Figure VIII.1 : les différentes couches d'assises.

VIII.2. Le ballast :

Le ballast est une couche de matériau granulaire, généralement composée de pierres concassées ou de gravier, qui est utilisée comme couche de support et de drainage sous les traverses dans une voie ferrée. Il remplit plusieurs fonctions essentielles :

- Distribution des charges : Le ballast répartit uniformément les charges exercées par les traverses et le matériel roulant sur la plate-forme de la voie. Il aide à éviter les concentrations de contraintes et à maintenir la stabilité de la voie.
- Stabilité : Le ballast fournit une base solide et stable pour les traverses. Il empêche le mouvement et l'affaissement excessif des traverses, assurant ainsi la stabilité de la voie.

- Amortissement des vibrations : Le ballast absorbe les vibrations générées par le passage des trains, contribuant ainsi à réduire les nuisances sonores et les vibrations transmises aux structures environnantes.
- Drainage : Le ballast permet le drainage efficace de l'eau. Il est généralement constitué de matériaux poreux qui permettent à l'eau de s'écouler à travers eux, évitant ainsi l'accumulation d'eau et les problèmes d'humidité.

VIII.2.1. Caractéristique du ballast :

❖ Caractéristique physiques :

Les caractéristiques physiques du ballast dans une voie ferrée peuvent varier en fonction des normes et des spécifications spécifiques du réseau ferroviaire. Cependant, voici quelques caractéristiques générales du ballast :

- a) **Granulométrie** : Le ballast est constitué de fragments de pierres concassées ou de gravier, qui sont classés en différentes tailles ou fractions granulométriques. Les tailles courantes varient généralement de quelques millimètres à plusieurs centimètres.
- b) **Forme** : Les pierres de ballast sont généralement anguleuses ou éclatées plutôt que rondes ou lisses. Cela aide à fournir un meilleur inter verrouillage des pierres, favorisant ainsi la stabilité et la résistance du ballast.
- c) **Dureté** : Le ballast est généralement composé de pierres dures et résistantes, telles que le granite ou le basalte. Cela garantit que le ballast peut supporter les charges et les contraintes exercées par les trains sans se déformer excessivement.
- d) **Porosité** : Le ballast doit être suffisamment poreux pour permettre le drainage efficace de l'eau. Cela est généralement réalisé en utilisant des pierres concassées avec des espaces vides entre elles, permettant à l'eau de s'infiltrer et de s'écouler librement.
- e) **Résistance à l'abrasion** : Le ballast doit être résistant à l'usure et à l'abrasion causée par le frottement des roues des trains. Cela garantit que le ballast conserve ses propriétés de stabilité et de support à long terme.
- f) **Stabilité** : Le ballast doit être suffisamment stable pour résister aux forces exercées par les trains en mouvement, en minimisant le mouvement et l'affaissement des traverses.

❖ Caractéristiques mécaniques :

- a) **Résistance à la compression** : Le ballast doit présenter une résistance suffisante pour supporter les charges exercées par les trains et les vibrations. Une résistance élevée permet d'éviter l'écrasement du ballast et maintient la stabilité de la voie, en Algérie ($RC > 14 \text{ KN/cm}^2$, Document SNTF).
- b) **La résistance à l'attrition** : se réfère à sa capacité à résister à l'usure causée par les charges concentrées et les vibrations, qui provoquent un frottement entre les granulats. L'essai DEVAL est utilisé pour évaluer cette résistance, en effectuant des mesures à la fois à l'état sec (DS) et à l'état humide (DH). Selon les directives de la SNTF, les valeurs minimales requises sont $DS > 14$ pour les pierres dures, $DH > 6$ pour les pierres dures à l'état humide, et $DS > 12$ pour les pierres carbonatées.
- c) **Résistance aux chocs** : Le ballast est soumis à des contraintes engendrées par les charges roulantes et les chocs provenant des traverses et des bourroirs. L'essai LOS ANGELES est utilisé pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottement. Un coefficient 'LA' inférieur à 25% est considéré comme acceptable pour le ballast.
- d) **Dureté** : La dureté du ballast est importante pour résister aux efforts et à l'usure par abrasion causée par les vibrations des charges roulantes. Elle est évaluée en termes de résistance à l'attrition et aux chocs, mesurée par le coefficient de dureté relative globale 'DRG'. Ce coefficient varie en fonction de la nature des traverses et du trafic ferroviaire.

VIII.2.2 La sous-couche :

Située entre le ballast et la plate-forme, joue un rôle essentiel dans l'infrastructure de la voie ferrée. Ses principales fonctions sont les suivantes :

- Amélioration de la portance
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast
- Protection contre l'érosion et le gel,
- Evacuation des eaux de pluies

VIII 2.2.1. Constitution de la sous couche :

❖ Sous-ballast :

La sous-couche de la voie ferrée est constituée d'une couche de grave propre, bien graduée de granulométrie 0/31,5 mm, avec au moins 30 % de concassé. Elle est compactée à 100 % de l'OPN et doit présenter une DRG d'au moins 12. Cette couche est présente dans tous les cas, y compris sur les plateformes rocheuses, pour assurer une assise solide et stable.

❖ Couche de fondation :

La sous-couche de la voie ferrée est une couche de grave propre, bien graduée, compactée à 100 % de l'OPN, d'une épaisseur minimale de 15 cm et avec une DRG d'au moins 10. Elle peut être complétée par une couche anti-contaminant en sable moyen propre et un géotextile pour renforcer la structure.

VIII.2.3.La couche de forme :

La couche de forme est généralement composée de matériaux de terrassement, tels que des remblais (la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleur.) ou des déblais (cette couche de forme est obtenue en générale par le compactage du fond de feuille à 100 %), les caractéristiques de la couche de forme varient en fonction des conditions géotechniques du site et des exigences spécifiques du projet, (son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm).

La couche de forme peut également être traitée aux liants.

VIII.3.dimensionnement des couches d'assises :

Ce dimensionnement consiste à calculer l'épaisseur minimale du ballast, la sous-couche et la couche de forme. Il dépend principalement de trois paramètres à savoir :

- La classe de portance de la plateforme de terrassement.
- Types de lignes (caractéristiques du trafic).
- L'armement de la voie (type de traverses)

VIII.3.1.Classification de la plate-forme :

On fait la classification de la plate-forme selon l'UIC (Fiche 719 R), Pour classer les plates-formes il faut tout d'abord connaître la classe de qualité de chaque sol composant la plateforme, puis estimer la classe de portance de la plate-forme.

VIII.3.1.1.Classe de qualité du sol selon L'UIC (fiche UIC 719R) :

D'après les règlements de l'union internationale des chemins de fer (fiche UIC 719R): La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ces conditions, en ce qui concerne l'influence sur la portance des sols, sont réputées bonnes si :
 - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable.
 - La plate-forme n'est pas le siège de percolations naturelles nocives transversales longitudinales Ou verticales.

- Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plate-forme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

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

On distingue, selon les conditions ci-dessus sont bonnes ou mauvaises, les quatre classes de qualité QSi de sol ci-après : de la qualité du sol

(QS0 = sols impropres, QS1 = sols médiocres, QS2 = sols moyens, QS3 = bons sols), 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).

VIII.3.1.2. Classes de portance de plate-forme :

La portance d'une plate-forme dépend :

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

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

P3 : bonne plate – forme.

P2 : plate-forme moyenne.

P1 : plate –forme mauvaise.

Tableau VIII.1: classes de portance de la plate-forme (normes UIC 719 R. 34)

Qualité du matériel	Capacité de support nécessaire pour la plate-forme	Qualité du matériel posé	Epaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	--
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	--
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	==

VIII.3.2. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

La formule de calcul de l'épaisseur minimal de la couche d'assise est donnée comme suit :

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

E: paramètre qui dépend de la qualité de portance de la plate-forme.

a, b, c, d, f et **g** sont des paramètres qui dépendent de la classe de voie, de l'armement (type de rails), de l'intensité du trafic de la voie et de vitesse du train ils sont données comme suit :

Tableau VIII.2 : Les paramètres de couches d'essai

E	= 70 cm = 55 cm = 45 cm	- pour les plates-formes de classe de portance PF1 - pour les plates-formes de classe de portance PF2 - pour les plates-formes de classe de portance PF3
a	= 0 = -05 cm = -10 cm = -15 cm	- pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le - groupe UIC) - pour les groupes UIC 3 et 4 - pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs - pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur
b	= 0 = $(2,50 - L)/2$	- pour les traverses bois de longueur 2,60 m - avec L est la longueur des traverses (b en m. L en m, b peut être négatif si $L > 2,50$ m)
c	= 0 = -10 cm = -05 cm	- pour un dimensionnement normal - à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur" - à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageur"
d	= 0 = +05 cm = +12 cm	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN - lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN - lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	= 0 = +05 cm = +10 cm	- pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plates-formes de portance PF3 des lignes à grande vitesse. - pour les plates-formes de classe de portance PF2 des lignes à grande vitesse. - pour les plates-formes de classe de portance PF1 des lignes à grande vitesse
g	= + géotextile = 0	- pas de géotextile

VIII.4. Application au projet :**• épaisseur de la couche de forme :**

Le sol de notre projet est classée en **QS3** « Bon sol » et la classe de portance de la plateforme est de type **P2**.

• Les paramètres de dimensionnement de notre projet :

- **E** = 0.55.
- **a** = -0.05m (groupe UIC 3).
- **b** = $(2.5 - 2.24)/2 = 0.13$ m : traverses en béton de longueur $L = 2.24$ m

- $c = 0$ m : dimensionnement normal.
- $d = 0$
- $f = 0.05$: la classe de portance de la plate-forme est de type **P2**.
- $g =$ Pas de géotextile car notre sol est de type **QS3**.

Donc :

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

$$= 0.55 - 0.55 + 0.13 + 0 + 0 + 0.55 + 0$$

$$= 0.676 \text{ m}$$

On prend :

$$e = 0.68 \text{ m}$$

Tableau VIII.3 : Les épaisseurs des différentes couches

couches	Epaisseur en (cm)
ballast	33
Sous-ballast	35
Couche de fondation	35

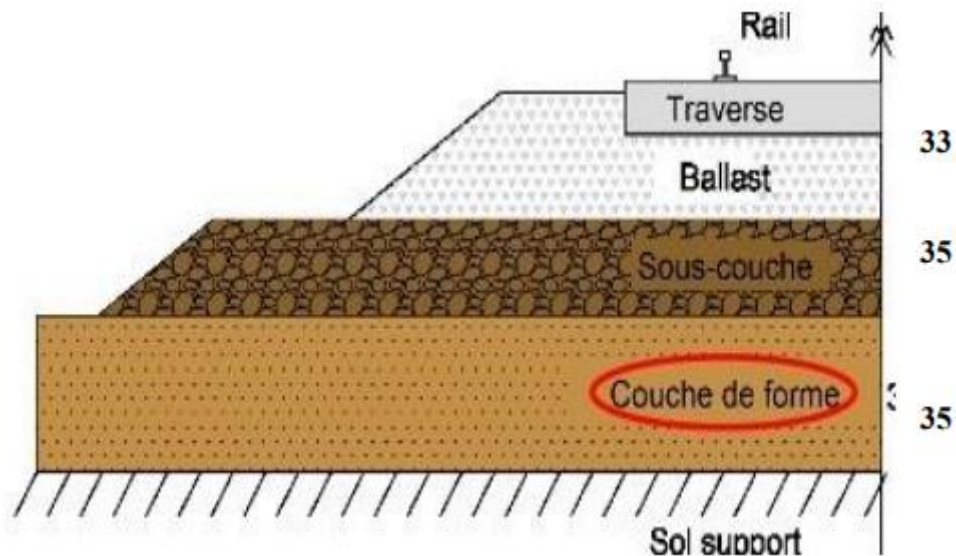


Figure VIII.2 : Les couches de corps d'assise

VIII.5 Contexte géologique régional :

La région de Djelfa en Algérie est située dans le nord du pays, dans la zone géologique du Tell. Elle est caractérisée par une géologie complexe et variée.

VIII.5.1. Mésozoïque :

Il est représenté par les formations suivantes :

❖ **Trias :**

Il est essentiellement formé de gypse, de dolomies, de calcaires, et de marnes. Les importants dépôts de gypses affleurent aux environs des communes d'El Khemis et serghine.

- ❖ **Jurassique** : Les formations de cet âge affleurent uniquement sur le grand pic de l'Atlas et ses alentours. Elles sont constituées de mudstone, calcaire et siltstones et des grès.
- ❖ **Crétacé** : Ces affleurements sont largement développés sur le territoire de la wilaya excepté au sud où ils paraissent sous les dépôts tertiaires. Les formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes, des marno-calcaires, des argilites et des grès quartzifères.

VIII.5.2. Tertiaire :

Il est représenté par :

- ❖ **Paléocène** : Il est constitué essentiellement de marne à intercalations carbonatées
- ❖ **Eocène** : Il est constitué de calcaires massifs localement dolomitiques, des argiles et de marne affleurant au sud de la région.
- ❖ **Miocène** : Il est constitué d'argiles, marne, grès et conglomérats. Il affleure à l'Est et à l'Ouest du chef de la wilaya.

VIII.5.3. Quaternaire :

Il est représenté par le plio -quaternaire et est constitué de dépôts caillouteux et alluvionnaires, limons, limons sableux, sables argileux, grès, conglomérats, poudings qui affleurent à l'Est de Khemsti.

L'étude des résultats des investigations géotechniques a révélé que le sol de l'emplacement du projet est principalement composé de sols cohérents de type argile silteuse jaunâtre présentant des propriétés plastiques, et par endroits, il devient compact.

VIII.6. Conclusion :

Le calcul des épaisseurs des différentes couches de l'infrastructure ferroviaire nous a permis de déterminer les dimensions requises pour supporter et répartir les charges exercées par le matériel roulant. Nous avons pris en compte les normes actuelles de l'UIC en Algérie pour garantir la conformité et la sécurité des installations.

CHAPITRE IX : Les ouvrages d'Art

IX.1. Introduction :

Pour concevoir un tracé ferroviaire optimal qui satisfait aux exigences techniques, économiques et environnementales, tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne et le franchissement des infrastructures existantes, y compris les cours d'eau, plusieurs types d'ouvrages d'art sont nécessaires. Voici les principaux ouvrages d'art à considérer pour cette nouvelle ligne ferroviaire :

- **Ponts Rail.**
- **Ponts routes.**
- **Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots).**
- **Tunnels ferroviaires.**



- **Ponts Rail.**

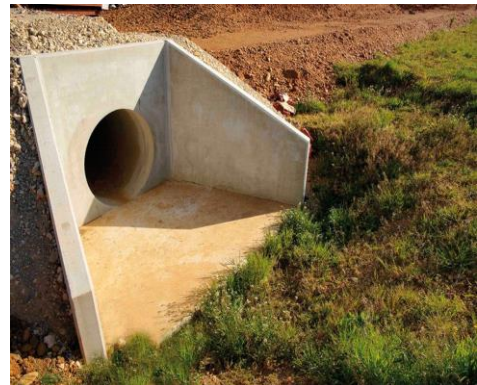


- **Ponts routes.**

- Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots)



Dalot.



Buse.



- Tunnels ferroviaires.

IX.2. OUVRAGES EN TERRE :

Bien sûr, l'étude et le contrôle d'exécution des ouvrages en terre ferroviaire doivent être conduits d'une manière particulièrement stricte. Cela est dû à l'importance de la stabilité, de la résistance et de la durabilité des terrassements dans le contexte ferroviaire, où la sécurité des trains et des passagers est primordiale. Voici quelques recommandations et prescriptions généralement utilisées dans les réseaux ferroviaires concernant les terrassements :

➤ La stabilité :

La sécurité au glissement, tant à court terme qu'à long terme, doit être montrée par le calcul à partir des caractéristiques du sol.

➤ Tassement :

L'étude de tassement des remblais doit vérifier néanmoins que les tassements à attendre après mise en service sont facilement maîtrisables par reprises habituelles sur la ligne considérée.

➤ **Pentes et talus :**

Selon le type du sol et leurs caractéristiques physiques et mécaniques, on adopte une pente qui assure une stabilité satisfaisante, tant au remblai qu'au déblai.

➤ **Compactage :**

La technique de compactage est déterminante concernant la qualité des ouvrages en terre, les taux de compactage et les modules de déformations minimaux prescrits dépendent de la nature du sol, du type de compacteur et de l'état d'humidité.

IX.3.LES OUVRAGES D'ART :

IX.3.1. Influence sur le choix de l'ouvrage :

Effectivement, le choix du type d'ouvrage en terre dépend des contraintes imposées, qui peuvent être de deux types :

➤ **Données naturelles :**

Écoulement des eaux nature du sol, etc....

➤ **Exigences techniques :**

Les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- La voie portée, ou l'obstacle franchi.
- Programme de charges.
- Gabarit.
- Tirant d'eau.
- Adaptation architecturale à la région.
- Surjection à respecter pendant la construction.

IX.3.2. Croisement avec une route :

Lors de la résolution des problèmes de croisement dans un réseau ferroviaire, il est important d'analyser individuellement chaque type de croisement en fonction de la vitesse maximale autorisée, en prenant en compte la nature et le débit de chaque voie traversée.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Passage supérieur :** Si la vitesse des trains est importante ≥ 100 km/h et si la topographie ne le permet pas.
- **Passage à niveau :** pour les routes de faibles débits

- **Passage inférieur de la route** : rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

IX.4. Définition et catégories des ponts :

En général, un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant à une voie de circulation (dite voie portée) de franchir un obstacle naturel ou artificiel : rivière, vallée, route, voie ferrée, canal, etc...

La voie portée peut être :

- Une voie routière (pont-route).
- Piétonne (passerelle).
- Ferroviaire (pont-rail). (**Figure IX.1**).
- Ou plus rarement une voie d'eau (pont-canal).

On distingue les différents types d'ouvrages suivants :

- **Ponceau ou dalot** : pont de petites dimensions (quelques mètres).
- **Viaduc** : ouvrage de franchissement à grande hauteur, généralement constitué de nombreuses travées, comme la plupart des ouvrages d'accès aux grands ponts.
- **Passerelle** : ouvrage destiné aux piétons, exceptionnellement aux canalisations ou au gibier.



Figures IX.1 : Pont rail d'une voie unique.

IX.5. Les ouvrage d'art de notre projet :

Le tableau suivant récapitule les différents ouvrages d'art de notre projet.

œuvre	Type	Quantité
Ouvrage d'art	Pont rail	3
	Viaducs	00
Ouvrage hydraulique	Dalots	5
	Buses	29

Tableau IX.1: Liste des ouvrages d'art pour notre projet.

IX.6. Conclusion :

Dans ce projet, les ouvrages les plus utilisés sont les passages inférieurs et supérieurs tels que (les ponts rails et les pont-route), ainsi que les ouvrages hydrauliques comme (les dalots et les buses).

Les passages inférieurs et supérieurs permettent de créer des voies de passage pour les trains et les véhicules routiers au-dessus ou en dessous d'obstacles. Les ouvrages hydrauliques assurent un bon drainage des eaux.

Chapitre X : Analyse multicritère

X.1. Introduction :

L'analyse multicritères est une méthode d'évaluation et de prise de décision qui permet de comparer différentes alternatives et de les hiérarchiser selon plusieurs critères. Cette approche est largement utilisée dans de nombreux domaines tels que la Gestion de projet, l'Économie, l'écologie, l'urbanisme, etc...

X.2. Etude de la variante :

Notre projet concerne la ligne ferroviaire unique (Tissemsilt-Boughezoul) du PK [72] au PK [77].

Les conditions de réalisation du projet sont énoncées dans le marché.

Nous présentons tout d'abord les variantes, ensuite nous les analyserons puis les évaluerons selon des critères territorial, environnemental, fonctionnel, d'exploitation et économique.

Enfin, nous présenterons une évaluation globale qui combine tous les critères d'analyse avec une pondération en fonction de l'importance de chacun de ces critères pour déterminer la proposition de chemin qui répond le mieux aux objectifs du projet.

X.3. Analyse multicritère :

X.3.1. Critère urbanistique et territorial :

L'analyse de variantes urbanistiques et territoriales s'est appuyée sur les longueurs d'occupation des sols urbanisés, urbanisables et non urbanisés.

Les données ont été recueillies à partir de photographies aériennes de la zone d'étude. Les infrastructures de transport existantes et l'impact du projet sur celles-ci ont également été pris en compte, en particulier aux points de croisement. Il est important de souligner que notre variante n'a eu aucun impact sur les moyens de transport pendant le transit.

L'objectif de cette analyse était d'assurer une intégration harmonieuse du projet dans son environnement urbain et territorial, tout en préservant les infrastructures de transport existantes et en minimisant les perturbations. Cette approche a permis de développer une solution optimale qui répond aux besoins urbanistiques et territoriaux de manière efficace.

X.3.2. Critère environnemental :

Lors de l'évaluation des variantes d'un projet, il est essentiel de prendre en compte la valeur environnementale, notamment en ce qui concerne l'affectation du tracé sur la végétation naturelle et la faune dans les espaces naturels, dont la préservation revêt un intérêt majeur.

L'Algérie, en tant que membre de la Conférence des Nations Unies sur la désertification (UNCOD), accorde une importance particulière à la préservation de la végétation naturelle, en particulier sur les pentes des vallées, qui jouent un rôle crucial dans la lutte contre l'érosion.

Ainsi, l'évaluation des variantes doit prendre en compte les aspects suivants :

- La longueur totale du projet et son tracé, qui ont un impact sur l'environnement de la zone d'étude.
- La longueur de zone naturelle traversée, agricole et sauvage.

- La possible affectation au bruit dû au passage des trains, de voyageurs comme de marchandises.
- Le volume de terres déversées en décharge suite aux travaux du projet, généralement estimé à 50% des excavations réalisées pendant les travaux.
- L'effet de barrière que représente la ligne de chemin de fer sur la population, la faune et la végétation, en créant une coupure dans l'espace.
- Le nombre d'oueds traversés, impliquant des ouvrages (viaducs, ponts, dalots, buses) perturbant l'écoulement et l'activité aquatique des êtres vivant

X.3.3. Critère d'exploitation :

L'évaluation des variantes en se basant sur le critère d'exploitation implique de prendre en compte tous les facteurs qui influent sur le temps de parcours du tracé par un train type, à savoir :

➤ **La longueur du tracé :**

Une plus grande longueur peut entraîner des temps de parcours plus longs, tandis qu'une distance plus courte peut permettre des trajets plus rapides.

➤ **Les pentes :**

Le profil longitudinal du tracé, c'est-à-dire les variations d'altitude et les pentes, peut influencer la vitesse de circulation des trains. Des pentes abruptes peuvent nécessiter une réduction de vitesse, tandis que des pentes plus douces permettent des vitesses plus élevées.

➤ **Les rayons :**

Les rayons de courbure des voies jouent un rôle dans la vitesse de circulation des trains. Des rayons plus grands permettent des virages plus doux et des vitesses plus élevées, tandis que des rayons plus petits imposent des limitations de vitesse.

➤ **Les ouvrages à franchir :**

La présence d'ouvrages tels que des ponts, des tunnels ou des passages à niveau peut affecter le temps de parcours en raison des éventuelles limitations de vitesse ou des arrêts requis pour assurer la sécurité.

- **Les ouvrages à franchir :**

La présence d'ouvrages tels que des ponts, des tunnels ou des passages à niveau peut affecter le temps de parcours en raison des éventuelles limitations de vitesse ou des arrêts requis pour assurer la sécurité.

Les résultats de la quantification de ces facteurs pour l'analyse des variantes proposées se présentent comme suit (**Tableau X.2**) :

Tableau X.2 : Critère d'exploitation

	Variant l'ancien.	Variant nouvelle.
La longueur du tracé.	-	+
Les pentes.	//	//
Les rayons.	-	+
Les ouvrages à franchir.	//	//

X.3.4. Critère économique :

Les estimations budgétaires sont essentielles à la planification et à la gestion des ressources financières d'un projet, en tenant compte des coûts associés à la construction, aux matériaux, à l'équipement et aux services professionnels. Il facilite les décisions de financement éclairées et garantit la viabilité économique des variantes proposées.

Les tableaux suivants expliquant cela :

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DES TRAVAUX :

N° DES PRIX	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	UNITE	Prix Unitaire	Quantité	Montant
LOT : 02 - TERRASSEMENTS GENERAUX					
1101	Décapage de terre végétale	M3	260.000	115 500	30 030 000.00
1102	Déblais en terrain meuble mis en remblai	M3	260.000	130 000	33 800 000.00
1112	Mis en remblai de terrain meuble issu de lieux d'emprunt	M3	435.000	190 500	82 867 500.00
1120	Couche de fondation	M3	1 400.000	24 080	33 712 000.00
1121	Sous ballast	M3	3 200.000	24 080	77 056 000.00
	SOUS TOTAL (01)				257 465 500.00
LOT : 04 -DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS					
1232	Déblai des fossés, pierres maçonnés des fossés et fixation des talus	M	6 000.000	1300	7 800 000.00
1233	Fossé revêtu en béton armé	M	22 000.000	11700	257 400 000.00
1234	Semi tuyaux pour bermes	M	7 000.000	200	1 400 000.00
	SOUS TOTAL (02)				266 600 000.00
04.03 - BUSES ET DALOTS					
1243	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1000 mm	M	35 000.000	100	3 500 000.00
1244	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500 mm	M	35 000.000	150	5 250 000.00

1245	Dalot en béton armé type 1, section de tuyaux en béton armé diamètre 2000 mm	M3	40 000.000	120	4 800 000.00
1247	Dalot en béton armé type 3; coupe transversale 3,0 X 3,0m	M3	40 000.000	80	3 200 000.00
1248	Dalot en béton armé type 4; coupe transversale 4,0 X 3,0m	M3	40 000.000	60	2 400 000.00
1249	Dalot en béton armé type 5; coupe transversale 5,0 X 3,5m	M3	40 000.000	60	2 400 000.00
1239N	Chemisage en béton armé des buses	M3	25 000.000	300	7 500 000.00
1240N	Plus-value pour bétonnage en milieu agressif (dosage 350 KG/M3)	M3	951.040	140	133 145.60
1253N	Badigeonnage au flint kot des surfaces enterrées des ouvrages de drainage	M2	350.000	500	175 000.00
1259N	Remblais technique GNT	M3	2 900.000	1500	4 350 000.00
1260N	Béton armé pour têtes des buses	M3	25 000.000	120	3 000 000.00
	SOUS TOTAL (03)				36 708 145.60
LOT : 05 -TRAVAUX VOIE					
2004	Ballastage voie nouvelle	M3	4 164.450	17000	70 795 650.00
2005	Fourniture des traverses bi-bloc	U	6 087.270	9500	57 829 065.00
2007	Fourniture des rails NEUFS UIC 60(60,34 Kg/m)	Tonne	106 863.830	750	80 147 872.50
2008	Fourniture des attaches pour rails UIC 60	U	419.540	40000	16 781 600.00
2009	Pose de la voie	ML	5 898.170	6020	35 506 983.40
2020	Anticheminants	U	856.300	950	813 485.00
2101	Borne Kilométrique	U	7 831.330	6	46 987.98
2102	Poteau hectométrique	U	6 040.030	54	326 161.62
2103	Borne repère	U	5 702.370	83	473 296.71
2104	Coupe de rail	U	853.900	10	8 539.00
2105	Soudage Aluminothermique	U	20 562.740	64	1 316 015.36
2110	Poteaux de déclivité	U	1 835.360	4	7 341.44
2106N	Soudage électrique du rail	U	17 969.740	300	5 390 922.00
SOUS TOTAL (04)					269 443 920.01

TOTAL GENERAL EN HT : **830 217 565.61 DA****.ESTIMATION DES TRAVAUX DE PROTECTION DU GAZODUC A(DEDUIRE)**

Protection PK 72	Installation de chantier	F	40 973.130	1.000	40 973.13
3003N PK72	Fouille de fondation pour l'ensemble de l'ouvrage	M3	427.520	117.000	50 019.84
3022NPK72	Badigeonnage au flint kot des surfaces enterrées des ouvrages d'art	M2	350.000	320.000	112 000.00
3050N PK72	Protection des conduite -béton armé	M3	28 007.430	21.000	588 156.03
3081N PK72	Remblais de la conduite avec sable 0/3	M3	2 900.000	7.000	20 300.00
3188N PK72	Remblais technique GNT	M3	2 900.000	114.000	330 600.00
sous total (01)					1 142 049.00
Protection PK 72	Installation de chantier	F	40 973.130	1.000	40 973.13
3003N PK73+233	Etablissement Etudes d'Exécution	F	98 000.000	1.000	98 000.00
3001N PK73+233	Fouille de fondation pour l'ensemble de l'ouvrage	M3	427.520	943.901	403 536.56
3022NPK73+233	Badigeonnage au flint kot des surfaces enterrées des ouvrages d'art	M2	350.000	731.444	256 005.40
3050NPK73+233	Protection des gazoducs-béton armé	M3	28 007.430	238.882	6 690 470.89
3181NPK73+233	Remblais de la conduite avec sable 0/3	M3	2 900.000	210.343	609 994.70
3188NPK73+233	Remblais technique GNT	M3	2 900.000	678.300	1 967 070.00
sous total (02)					10 066 050.68
PK 75 + 775	Installation de chantier	F	40 973.130	1.000	40 973.13
3003NPK75+775	Etablissement Etudes d'Exécution	F	98 000.000	1.000	98 000.00
3001N PK75+775	Fouille de fondation pour l'ensemble de l'ouvrage	M3	427.520	563.000	240 693.76

3022NPK75+775	Badigeonnage au flint kot des surfaces enterrées des ouvrages d'art	M2	350.000	435.960	152 586.00
3050NPK75+775	Protection des gazoducs-béton armé	M3	28 007.430	142.380	3 987 697.88
3181NPK75+775	Remblais de la conduite avec sable 0/3	M3	2 900.000	125.370	363 573.00
3188NPK75+775	Remblais technique GNT	M3	2 900.000	406.980	1 180 242.00
sous total (02)					6 063 765.77

Total protection : **17 271 865.45 DA**

DECOMPTE :

- GAIN EN SUR LA LONGUEUR DE LA VOIE : 55 ML

CORRESPOND A 7 610 000 DA

- GAIN EN MATIERE DE SUPPRESSION DES PROTECTION DU GAZODUC :

CORRESPOND A 17 271 000 DA

GAIN TOTAL DECOULANT DE LA PROPOSITION : 24 888 100 DA

X.4. Conclusion :

Après une analyse multicritères approfondie, nous avons conclu que la variante que Notre choix est le meilleur pour le projet.

Cette conclusion est basée sur l'évaluation de différents critères tels que l'impact urbanistique et territorial, l'environnement, les infrastructures de transport, le temps de parcours, la sécurité, l'efficacité d'exploitation et le coût. La variante sélectionnée a été jugée comme offrant le meilleur compromis global en termes de performances et de résultats attendus.

Cette conclusion nous permet de continuer avec confiance le développement et la mise en œuvre de cette variante spécifique.

Conclusion générale

Conclusion générale :

A la lumière de ce qui a été étudié Nous pouvons conclure que la variante retenue répond ou critères technico-économique d'une étude d'optimisation d'un tracé ferroviaire à savoir :

Amélioration de la sécurité : En rectifiant le tracé ferroviaire, nous avons la possibilité d'éliminer ou de réduire les risques associés à la proximité d'un gazoduc à haute pression. Cela contribuerait à assurer la sécurité des opérations ferroviaires, protégeant ainsi les voyageurs, le personnel et l'environnement contre les accidents ou les incidents potentiellement dangereux.

Optimisation de l'efficacité du réseau ferroviaire : En évitant le gazoduc à haute pression, nous pouvons maximiser l'utilisation des ressources et de l'infrastructure ferroviaires. Cette optimisation globale du réseau pourrait réduire les temps de trajet, améliorer l'efficacité des transports de marchandises et de passagers, et favoriser un meilleur flux logistique.

Réduction des coûts d'entretien et de maintenance : Un tracé ferroviaire rectifié, sans proximité directe avec le gazoduc à haute pression, permettrait de réduire les dépenses associées à la surveillance et à la préservation de l'intégrité du gazoduc. Cela libérerait des ressources financières qui pourraient être réaffectées à d'autres besoins ferroviaires.

Protection de l'environnement : La rectification du tracé ferroviaire offre l'opportunité d'éviter des zones sensibles sur le plan environnemental, telles que des habitats naturels ou des sources d'eau potable. En minimisant les impacts négatifs sur l'environnement, nous pourrions préserver la biodiversité locale et garantir une meilleure gestion des ressources naturelles.

Conformité réglementaire : En évitant le gazoduc à haute pression, la rectification du tracé ferroviaire nous permettrait de nous conformer aux réglementations en vigueur concernant la sécurité et la protection de l'environnement. Cela nous aiderait à respecter les normes et les exigences légales qui s'appliquent au secteur ferroviaire.

Ces perspectives générales doivent être approfondies dans le cadre d'études spécifiques. Des évaluations plus détaillées, telles que des analyses d'impact environnemental et des études économiques approfondies, seront nécessaires pour évaluer la faisabilité et les avantages spécifiques de la rectification du tracé ferroviaire dans ce contexte particulier. Dans l'ensemble, nous concluons que l'évitement d'un gazoduc à haute pression lors de la rectification du tracé ferroviaire est une question complexe qui exige une analyse approfondie des différents facteurs impliqués. Nous devons évaluer soigneusement les avantages en termes de sécurité et de réduction des risques potentiels par rapport aux coûts, aux impacts environnementaux et aux autres considérations techniques et réglementaires.



Références bibliographiques :

• Fiches U.I.C :

- 703R : caractéristiques de trace des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.
- 741F: quais des voyageurs -règle pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie (4^{ème} éditions, décembre 2005).
- 719R : ouvrage en terre et couche d'assises ferroviaires (2^{ème} éditions, 01.01.94).
- UIC 703 et les normes de l'IN 0272 SNCF du 12/09/2006.

• Livres et cours :

- La voie ferrée-technique de construction et d'entretien, par Jean ALIAS, 2^{ème} édition –Paris 1984.
- Le manuel de la voie, par Dr. Bernhard LICHTBERGER.
- LES CHEMIN DE FER (Pierre Weil).
- La voie ferrée - Géométrie et tracé générale, par Robert E. RIVIER.
- Cours de chemins de fer (Paris tech 2011-2012), par Philippe POULIGNY.
- Cours d'exploitation des chemins de fer-ULYSSE LAMALLE.
- Infrastructures de transport, mobilité et croissance. Rapport Michel Didier et Rémy Prud'homme.
- Système de transport 1, par Robert Rivier.
- Cours de chemins de fer de l'Ecole el Hassania des travaux publics (MAROC).
- Matériel fixe de la voie par Mm. GRÉGOIRE.

• Document ENSTP (l'école nationale supérieur des travaux publics) :

- Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Supérieur des Travaux Publics, par Mr.GHAFFAR.
- Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Supérieur des Travaux Publics, par MOKHTAR Khedidja.
- Mémoires de fin d'étude de L'ENSTP (2010, 2012,2014).

• Documents de base :

- Fiche technique de la ligne Tissemsilt-Boughezoul

• **Sites internet :**

- Alstom transport, [<http://www.transport.alstom.com>], France.
- Ministère des transports algériens [www.ministere-transport.gov.dz].
- INFRARAIL [www.infrarail.dz].
- ANESRIF [www.anesrif.dz].
- Dictionnaire visuel [www.infovisuel.info].
- Ainsi que d'autres sites (Google, Wikipédia....etc.).

ANNEXES

Axe En Plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	96.7314 g	552.233	0.000	453714.365	3922339.937
Clothoïde 1	Paramètre	400.000	64.000	552.233	454265.870	3922368.278
Arc 1	Rayon	2500.000 m	1287.822	616.233	454329.771	3922371.835
	Centre X	454169.524 m				
	Centre Y	3924866.694 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-400.000	64.000	1904.054	455538.060	3922774.540
Droite 2	Gisement	62.3076 g	9.033	1968.054	455591.318	3922810.030
Clothoïde 3	Paramètre	331.662	110.000	1977.087	455598.813	3922815.071
Arc 2	Rayon	1000.000 m	223.467	2087.087	455688.936	3922878.114
	Centre X	455086.084 m				
	Centre Y	3923675.967 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-331.662	110.000	2310.554	455850.760	3923031.552
Droite 3	Gisement	41.0784 g	1680.256	2420.554	455918.506	3923118.197
Clothoïde 5	Paramètre	-406.202	110.000	4100.811	456929.019	3924460.629
Arc 3	Rayon	-1500.000 m	272.021	4210.811	456996.238	3924547.693
	Centre X	458160.780 m				
	Centre Y	3923602.261 m				
Clothoïde 6	Paramètre	406.202	110.000	4482.832	457185.849	3924742.221
Droite 4	Gisement	57.2919 g	692.847	4592.832	457271.163	3924811.647
Clothoïde 7	Paramètre	406.202	110.000	5285.679	457813.862	3925242.361
Arc 4	Rayon	1500.000 m	313.680	5395.679	457899.177	3925311.787
	Centre X	456924.245 m				
	Centre Y	3926451.747 m				
Clothoïde 8	Paramètre	-406.202	110.000	5709.359	458114.592	3925539.017
Droite 5	Gisement	39.3103 g	734.729	5819.359	458179.368	3925627.914
				6554.088	458604.766	3926226.966
Longueur totale de l'axe 6554.088 mètre(s)						

Cubatures Décapage (Gulden)

Num.	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumes		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
p7	300.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p8	320.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p9	340.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p10	350.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p11	360.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p12	380.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p13	400.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p14	420.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p15	440.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p16	450.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p17	460.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p18	480.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p19	500.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p20	520.000	20.00	Non	Non	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00

			Calculé	Calculé					
p21	540.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p22	550.000	6.12	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p23	552.233	5.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p24	560.000	13.88	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p25	580.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p26	600.000	18.12	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p27	616.233	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p28	620.000	11.88	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p29	640.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p30	650.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p31	660.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p32	680.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p33	700.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p34	720.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p35	740.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p36	750.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p37	760.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p38	780.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p39	800.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
p40	820.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	201.23	201.23
p41	840.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p42	850.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p43	860.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p44	880.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p45	900.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p46	920.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p47	940.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	201.23
p48	950.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	90.31	291.54
p49	960.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p50	980.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p51	1000.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p52	1020.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p53	1040.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p54	1050.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p55	1060.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p56	1080.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54

p57	1100.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p58	1120.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p59	1140.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p60	1150.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p61	1160.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p62	1180.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p63	1200.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p64	1220.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p65	1240.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54

Num.	Abscisse	Lg Ap.	Décapage		Surface En Coupe	Volumés		Surfaces en plan	
			Gauche	Droite		Partiels	Cumulés	Partielles	Cumulées
p66	1250.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p67	1260.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p68	1280.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p69	1300.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p70	1320.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p71	1340.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p72	1350.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p73	1360.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p74	1380.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p75	1400.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p76	1420.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p77	1440.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p78	1450.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p79	1460.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p80	1480.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p81	1500.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p82	1520.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p83	1540.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p84	1550.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p85	1560.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p86	1580.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p87	1600.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p88	1620.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p89	1640.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p90	1650.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p91	1660.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p92	1680.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p93	1700.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p94	1720.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p95	1740.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p96	1750.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p97	1760.000	15.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p98	1780.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p99	1800.000	20.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54
p100	1820.000	10.00	Non Calculé	Non Calculé	0.00	0.000	0.000	0.00	291.54

Profils En Travers

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers		Pente longitudinale
									Gauche	Droite	
p7	300.000	Droite 1	Pente 1	684.23	689.75	196.731	454013.97	3922355.33	0.00	0.00	-1.00
p8	320.000	Droite 1	Pente 1	686.61	689.55	196.731	454033.94	3922356.36	0.00	0.00	-1.00
p9	340.000	Droite 1	Pente 1	687.49	689.35	196.731	454053.92	3922357.39	0.00	0.00	-1.00
p10	350.000	Droite 1	Pente 1	687.19	689.25	196.731	454063.90	3922357.90	0.00	0.00	-1.00
p11	360.000	Droite 1	Pente 1	687.05	689.15	196.731	454073.89	3922358.41	0.00	0.00	-1.00
p12	380.000	Droite 1	Pente 1	686.37	688.95	196.731	454093.86	3922359.44	0.00	0.00	-1.00
p13	400.000	Droite 1	Pente 1	684.90	688.75	196.731	454113.84	3922360.47	0.00	0.00	-1.00
p14	420.000	Droite 1	Pente 1	683.28	688.55	196.731	454133.81	3922361.49	0.00	0.00	-1.00
p15	440.000	Droite 1	Pente 1	682.21	688.35	196.731	454153.79	3922362.52	0.00	0.00	-1.00
p16	450.000	Droite 1	Pente 1	681.63	688.25	196.731	454163.77	3922363.03	0.00	0.00	-1.00
p17	460.000	Droite 1	Pente 1	681.10	688.15	196.731	454173.76	3922363.54	0.00	0.00	-1.00
p18	480.000	Droite 1	Pente 1	679.69	687.95	196.731	454193.73	3922364.57	0.00	0.00	-1.00
p19	500.000	Droite 1	Pente 1	679.49	687.75	196.731	454213.71	3922365.60	0.00	0.00	-1.00
p20	520.000	Droite 1	Pente 1	680.38	687.55	196.731	454233.68	3922366.62	0.00	0.00	-1.00
p21	540.000	Droite 1	Pente 1	680.33	687.35	196.731	454253.65	3922367.65	0.00	0.00	-1.00
p22	550.000	Droite 1	Pente 1	680.21	687.25	196.731	454263.64	3922368.16	0.00	0.00	-1.00
p23	552.233	Droite 1	Pente 1	680.18	687.22	196.731	454265.87	3922368.28	0.00	0.00	-1.00
p24	560.000	Clothoïde 1	Pente 1	679.96	687.15	196.719	454273.63	3922368.68	0.00	0.00	-1.00
p25	580.000	Clothoïde 1	Pente 1	679.68	686.95	196.578	454293.60	3922369.73	0.00	0.00	-1.00
p26	600.000	Clothoïde 1	Pente 1	679.35	686.75	196.277	454313.57	3922370.84	0.00	0.00	-1.00
p27	616.233	Clothoïde 1	Pente 1	679.22	686.58	195.917	454329.77	3922371.84	0.00	0.00	-1.00
p28	620.000	Arc 1	Pente 1	679.30	686.55	195.821	454333.53	3922372.08	0.00	0.00	-1.00
p29	640.000	Arc 1	Pente 1	679.59	686.35	195.311	454353.48	3922373.47	0.00	0.00	-1.00
p30	650.000	Arc 1	Pente 1	679.77	686.25	195.057	454363.45	3922374.23	0.00	0.00	-1.00
p31	660.000	Arc 1	Pente 1	679.98	686.15	194.802	454373.42	3922375.02	0.00	0.00	-1.00
p32	680.000	Arc 1	Pente 1	680.49	685.95	194.293	454393.35	3922376.73	0.00	0.00	-1.00
p33	700.000	Arc 1	Pente 1	681.23	685.75	193.783	454413.26	3922378.60	0.00	0.00	-1.00
p34	720.000	Arc 1	Pente 1	682.20	685.55	193.274	454433.16	3922380.63	0.00	0.00	-1.00
p35	740.000	Arc 1	Cercle 1	682.94	685.35	192.765	454453.04	3922382.82	0.00	0.00	-0.99
p36	750.000	Arc 1	Cercle 1	682.99	685.25	192.510	454462.97	3922383.98	0.00	0.00	-0.94
p37	760.000	Arc 1	Cercle 1	682.99	685.16	192.256	454472.90	3922385.1	0.00	0.00	-0.89

								7			
p38	780.000	Arc 1	Cercle 1	682.98	684.99	191.746	454492.74	3922387.68	0.00	0.00	-0.79
p39	800.000	Arc 1	Cercle 1	683.25	684.84	191.237	454512.56	3922390.34	0.00	0.00	-0.69
p40	820.000	Arc 1	Cercle 1	683.64	684.71	190.728	454532.36	3922393.16	0.00	0.00	-0.59
p41	840.000	Arc 1	Cercle 1	684.38	684.60	190.218	454552.14	3922396.15	0.00	0.00	-0.49
p42	850.000	Arc 1	Cercle 1	684.92	684.55	189.964	454562.02	3922397.70	0.00	0.00	-0.44
p43	860.000	Arc 1	Cercle 1	685.71	684.51	189.709	454571.89	3922399.29	0.00	0.00	-0.39
p44	880.000	Arc 1	Cercle 1	687.12	684.44	189.200	454591.62	3922402.58	0.00	0.00	-0.29
p45	900.000	Arc 1	Cercle 1	687.85	684.40	188.690	454611.32	3922406.04	0.00	0.00	-0.19
p46	920.000	Arc 1	Cercle 1	687.53	684.37	188.181	454630.99	3922409.65	0.00	0.00	-0.09
p47	940.000	Arc 1	Cercle 1	686.15	684.36	187.672	454650.63	3922413.42	0.00	0.00	0.01
p48	950.000	Arc 1	Cercle 1	685.29	684.36	187.417	454660.44	3922415.37	0.00	0.00	0.06
p49	960.000	Arc 1	Cercle 1	684.57	684.37	187.163	454670.24	3922417.35	0.00	0.00	0.11
p50	980.000	Arc 1	Cercle 1	683.38	684.40	186.653	454689.82	3922421.43	0.00	0.00	0.21
p51	1000.000	Arc 1	Pente 2	682.53	684.45	186.144	454709.36	3922425.67	0.00	0.00	0.30
p52	1020.000	Arc 1	Pente 2	682.00	684.51	185.635	454728.87	3922430.07	0.00	0.00	0.30
p53	1040.000	Arc 1	Pente 2	682.13	684.57	185.125	454748.35	3922434.62	0.00	0.00	0.30
p54	1050.000	Arc 1	Pente 2	682.49	684.60	184.871	454758.07	3922436.96	0.00	0.00	0.30
p55	1060.000	Arc 1	Pente 2	682.98	684.63	184.616	454767.79	3922439.33	0.00	0.00	0.30
p56	1080.000	Arc 1	Pente 2	684.55	684.69	184.107	454787.19	3922444.20	0.00	0.00	0.30
p57	1100.000	Arc 1	Pente 2	685.61	684.75	183.598	454806.55	3922449.22	0.00	0.00	0.30
p58	1120.000	Arc 1	Pente 2	686.13	684.81	183.088	454825.86	3922454.39	0.00	0.00	0.30
p59	1140.000	Arc 1	Pente 2	686.05	684.87	182.579	454845.14	3922459.72	0.00	0.00	0.30
p60	1150.000	Arc 1	Pente 2	686.00	684.90	182.324	454854.76	3922462.44	0.00	0.00	0.30
p61	1160.000	Arc 1	Pente 2	685.82	684.93	182.070	454864.38	3922465.20	0.00	0.00	0.30
p62	1180.000	Arc 1	Pente 2	685.50	684.99	181.560	454883.57	3922470.83	0.00	0.00	0.30
p63	1200.000	Arc 1	Pente 2	685.45	685.05	181.051	454902.71	3922476.62	0.00	0.00	0.30
p64	1220.000	Arc 1	Cercle 2	685.12	685.12	180.542	454921.81	3922482.56	0.00	0.00	0.38
p65	1240.000	Arc 1	Cercle 2	684.87	685.20	180.032	454940.85	3922488.66	0.00	0.00	0.48

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers		Pente longitudinale
									Gauche	Droite	
p66	1250.000	Arc 1	Cercle 2	684.25	685.25	179.778	454950.36	3922491.76	0.00	0.00	0.53
p67	1260.000	Arc 1	Cercle 2	683.70	685.31	179.523	454959.85	3922494.91	0.00	0.00	0.58
p68	1280.000	Arc 1	Cercle 2	682.05	685.43	179.014	454978.80	3922501.30	0.00	0.00	0.68
p69	1300.000	Arc 1	Cercle 2	679.78	685.58	178.505	454997.70	3922507.85	0.00	0.00	0.78
p70	1320.000	Arc 1	Cercle 2	678.62	685.74	177.995	455016.54	3922514.56	0.00	0.00	0.88
p71	1340.000	Arc 1	Cercle 2	678.96	685.93	177.486	455035.33	3922521.41	0.00	0.00	0.98
p72	1350.000	Arc 1	Cercle 2	678.96	686.03	177.231	455044.71	3922524.89	0.00	0.00	1.03
p73	1360.000	Arc 1	Cercle 2	678.96	686.13	176.977	455054.07	3922528.41	0.00	0.00	1.08
p74	1380.000	Arc 1	Cercle 2	678.32	686.36	176.467	455072.75	3922535.56	0.00	0.00	1.18
p75	1400.000	Arc 1	Cercle 2	678.83	686.60	175.958	455091.37	3922542.86	0.00	0.00	1.28
p76	1420.000	Arc 1	Cercle 2	679.72	686.87	175.449	455109.93	3922550.31	0.00	0.00	1.38
p77	1440.000	Arc 1	Cercle 2	682.03	687.15	174.939	455128.43	3922557.91	0.00	0.00	1.48
p78	1450.000	Arc 1	Pente 3	683.82	687.30	174.685	455137.65	3922561.76	0.00	0.00	1.50
p79	1460.000	Arc 1	Pente 3	685.35	687.45	174.430	455146.87	3922565.65	0.00	0.00	1.50
p80	1480.000	Arc 1	Pente 3	688.37	687.75	173.921	455165.24	3922573.54	0.00	0.00	1.50
p81	1500.000	Arc 1	Pente 3	690.72	688.05	173.412	455183.56	3922581.58	0.00	0.00	1.50
p82	1520.000	Arc 1	Pente 3	691.35	688.35	172.902	455201.81	3922589.77	0.00	0.00	1.50
p83	1540.000	Arc 1	Pente 3	691.43	688.65	172.393	455219.99	3922598.10	0.00	0.00	1.50
p84	1550.000	Arc 1	Pente 3	690.52	688.80	172.138	455229.05	3922602.32	0.00	0.00	1.50
p85	1560.000	Arc 1	Pente 3	688.99	688.95	171.884	455238.10	3922606.57	0.00	0.00	1.50
p86	1580.000	Arc 1	Pente 3	689.29	689.25	171.374	455256.15	3922615.20	0.00	0.00	1.50
p87	1600.000	Arc 1	Pente 3	691.77	689.55	170.865	455274.13	3922623.96	0.00	0.00	1.50
p88	1620.000	Arc 1	Pente 3	694.53	689.85	170.356	455292.03	3922632.87	0.00	0.00	1.50
p89	1640.000	Arc 1	Pente 3	694.34	690.15	169.847	455309.87	3922641.92	0.00	0.00	1.50
p90	1650.000	Arc 1	Pente 3	694.10	690.30	169.592	455318.76	3922646.50	0.00	0.00	1.50
p91	1660.000	Arc 1	Pente 3	693.87	690.45	169.337	455327.63	3922651.11	0.00	0.00	1.50
p92	1680.000	Arc 1	Pente 3	692.44	690.75	168.828	455345.32	3922660.45	0.00	0.00	1.50
p93	1700.000	Arc 1	Pente 3	691.73	691.05	168.319	455362.93	3922669.93	0.00	0.00	1.50
p94	1720.000	Arc 1	Cercle 3	691.61	691.35	167.809	455380.46	3922679.54	0.00	0.00	1.41
p95	1740.000	Arc 1	Cercle 3	692.11	691.62	167.300	455397.92	3922689.30	0.00	0.00	1.31
p96	1750.000	Arc 1	Cercle 3	692.92	691.75	167.045	455406.62	3922694.23	0.00	0.00	1.26
p97	1760.000	Arc 1	Cercle 3	692.93	691.87	166.791	455415.30	3922699.20	0.00	0.00	1.21
p98	1780.000	Arc 1	Cercle 3	692.43	692.11	166.281	455432.60	3922709.23	0.00	0.00	1.11
p99	1800.000	Arc 1	Cercle 3	693.82	692.32	165.772	455449.82	3922719.41	0.00	0.00	1.01
p100	1820.000	Arc 1	Cercle 3	696.27	692.51	165.263	455466.96	3922729.72	0.00	0.00	0.91

Contrôle du projet : axe1

1) Table courante

Pas de table affectée au projet !

Contrôle entre l'abscisse 300.00m et l'abscisse 1820.00m

2) Axe en plan

Longueur de l'axe : 1904.05m

Nombre d'éléments : 3, dont :

- Nombre de droites : 1
- Nombre d'arcs : 1
- Nombre de clothoïdes : 1

2-1) Généralités

Droite 1

Longueur = 552.23m

Clothoïde 1

Continuité avec l'élément précédent : OK

Rayon = 2500.00m, Longueur = 64.00m

Arc 1

Continuité avec l'élément précédent : OK

Rayon = 2500.00m, Longueur = 1287.82m

2-2) Analyse des courbes de l'axe en plan

Pas de table!

3) Profil en long projet

Longueur du profil en long projet : 1710.28

Nombre d'éléments : 6, dont :

- Nombre de pentes-rampes : 3
- Nombre de raccordement circulaires : 3

3-1) Généralités

Pente 1

Longueur = 446.36m

Pente = -1.00%

Cercle 1

Continuité avec l'élément précédent : OK

Longueur = 259.99m

Pente de départ = -1.00%

Pente de fin = 0.30%

Rayon = 20000.00m

Pente 2

Continuité avec l'élément précédent : OK

Longueur = 206.02m

Pente = 0.30%

Cercle 2

Continuité avec l'élément précédent : OK

Longueur = 239.97m

Pente de départ = 0.30%

Pente de fin = 1.50%

Rayon = 20000.00m

Pente 3

Continuité avec l'élément précédent : OK

Longueur = 257.97m

Pente = 1.50%

Cercle 3

Continuité avec l'élément précédent : OK

Longueur = 299.97m

Pente de départ = 1.50%

Pente de fin = 0.00%

Rayon = -20000.00m

3-2) Analyse du profil en long projet

Pas de table!

4) Contrôle des dévers

4-1) Contrôle des abscisses de variation de dévers

Pas de table!

4-2) Contrôle du dévers réellement appliqué aux profils

OK : dévers correctement appliqué.

4-3) Contrôle de la variation du dévers

OK : dévers correctement appliqué.

Axe En Plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Clothoïde 1	Paramètre	447.214	80.000	0.000	454263.105	3922368.136
Arc 1	Rayon	2500.000 m	1137.442	80.000	454342.975	3922372.668
	Centre X	454174.746 m				
	Centre Y	3924867.001 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-300.000	36.000	1217.442	455421.975	3922700.340
Droite 1	Gisement	66.2897 g	6.907	1253.442	455453.089	3922718.450
Clothoïde 3	Paramètre	300.000	90.000	1260.350	455459.050	3922721.939
Arc 2	Rayon	1000.000 m	280.433	1350.350	455536.027	3922768.555
	Centre X	454992.595 m				
	Centre Y	3923608.009 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-327.109	107.000	1630.782	455747.135	3922951.754
Droite 2	Gisement	42.1661 g	1883.159	1737.782	455814.422	3923034.932
Clothoïde 5	Paramètre	-327.109	107.000	3620.941	456972.502	3924519.902
Arc 3	Rayon	-1000.000 m	128.041	3727.941	457039.789	3924603.080
	Centre X	457794.329 m				
	Centre Y	3923946.826 m				
Clothoïde 6	Paramètre	327.109	107.000	3855.983	457129.765	3924694.057
Droite 3	Gisement	57.1293 g	783.886	3962.983	457212.193	3924762.260
Clothoïde 7	Paramètre	367.423	90.000	4746.869	457824.955	3925251.135
Arc 4	Rayon	1500.000 m	329.850	4836.869	457894.741	3925307.963
	Centre X	456924.507 m				
	Centre Y	3926451.923 m				
Clothoïde 8	Paramètre	-367.423	90.000	5166.719	458120.912	3925547.150
Droite 4	Gisement	39.3103 g	744.432	5256.719	458173.749	3925620.002
				6001.151	458604.766	3926226.966
Longueur totale de l'axe 6001.151 mètre(s)						

Profils En Travers

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers	
									Gauche	Droite
P.1	0.000	Clothoïde 1	Aucun	680.213	Aucun	196.731	454263.105	3922368.136	0.00	0.00
P.2	50.000	Clothoïde 1	Aucun	679.366	Aucun	196.334	454313.033	3922370.806	0.00	0.00
P.3	80.000	Clothoïde 1	Aucun	679.398	Aucun	195.713	454342.975	3922372.668	0.00	0.00
P.4	100.000	Arc 1	Aucun	679.770	Aucun	195.204	454362.924	3922374.093	0.00	0.00
P.5	150.000	Arc 1	Aucun	681.225	Aucun	193.930	454412.742	3922378.355	0.00	0.00
P.6	200.000	Arc 1	Aucun	682.996	Aucun	192.657	454462.464	3922383.612	0.00	0.00
P.7	250.000	Arc 1	Aucun	683.245	Aucun	191.384	454512.071	3922389.863	0.00	0.00
P.8	300.000	Arc 1	Aucun	684.902	Aucun	190.111	454561.543	3922397.105	0.00	0.00
P.9	350.000	Arc 1	Aucun	687.889	Aucun	188.837	454610.860	3922405.334	0.00	0.00
P.10	400.000	Arc 1	Aucun	685.417	Aucun	187.564	454660.003	3922414.548	0.00	0.00
P.11	450.000	Arc 1	Aucun	682.546	Aucun	186.291	454708.951	3922424.743	0.00	0.00
P.12	500.000	Arc 1	Aucun	682.484	Aucun	185.018	454757.687	3922435.915	0.00	0.00
P.13	550.000	Arc 1	Aucun	685.636	Aucun	183.744	454806.188	3922448.059	0.00	0.00
P.14	600.000	Arc 1	Aucun	686.064	Aucun	182.471	454854.438	3922461.171	0.00	0.00
P.15	650.000	Arc 1	Aucun	685.575	Aucun	181.198	454902.415	3922475.245	0.00	0.00
P.16	700.000	Arc 1	Aucun	684.462	Aucun	179.925	454950.102	3922490.276	0.00	0.00
P.17	750.000	Arc 1	Aucun	679.857	Aucun	178.651	454997.478	3922506.257	0.00	0.00
P.18	800.000	Arc 1	Aucun	678.990	Aucun	177.378	455044.525	3922523.183	0.00	0.00
P.19	850.000	Arc 1	Aucun	678.828	Aucun	176.105	455091.224	3922541.046	0.00	0.00
P.20	900.000	Arc 1	Aucun	683.785	Aucun	174.832	455137.557	3922559.839	0.00	0.00
P.21	950.000	Arc 1	Aucun	690.810	Aucun	173.558	455183.505	3922579.556	0.00	0.00
P.22	1000.000	Arc 1	Aucun	690.890	Aucun	172.285	455229.049	3922600.187	0.00	0.00
P.23	1050.000	Arc 1	Aucun	691.681	Aucun	171.012	455274.171	3922621.725	0.00	0.00
P.24	1100.000	Arc 1	Aucun	693.979	Aucun	169.739	455318.854	3922644.161	0.00	0.00
P.25	1150.000	Arc 1	Aucun	691.676	Aucun	168.466	455363.079	3922667.486	0.00	0.00
P.26	1200.000	Arc 1	Aucun	692.700	Aucun	167.192	455406.829	3922691.691	0.00	0.00
P.27	1217.442	Arc 1	Aucun	692.896	Aucun	166.748	455421.975	3922700.340	0.00	0.00
P.28	1250.000	Clothoïde 2	Aucun	693.730	Aucun	166.294	455450.118	3922716.711	0.00	0.00
P.29	1253.442	Clothoïde 2	Aucun	694.202	Aucun	166.290	455453.089	3922718.450	0.00	0.00
P.30	1260.350	Droite 1	Aucun	695.150	Aucun	166.290	455459.050	3922721.939	0.00	0.00
P.31	1300.000	Clothoïde 3	Aucun	697.746	Aucun	165.734	455493.212	3922742.066	0.00	0.00
P.32	1350.000	Clothoïde 3	Aucun	693.491	Aucun	163.447	455535.733	3922768.365	0.00	0.00
P.33	1350.350	Clothoïde 3	Aucun	693.435	Aucun	163.425	455536.027	3922768.555	0.00	0.00
P.34	1400.000	Arc 2	Aucun	688.911	Aucun	160.264	455577.019	3922796.560	0.00	0.00
P.35	1450.000	Arc 2	Aucun	690.748	Aucun	157.081	455616.845	3922826.783	0.00	0.00
P.36	1500.000	Arc 2	Aucun	689.544	Aucun	153.898	455655.109	3922858.959	0.00	0.00
P.37	1550.000	Arc 2	Aucun	689.733	Aucun	150.715	455691.718	3922893.007	0.00	0.00
P.38	1600.000	Arc 2	Aucun	689.994	Aucun	147.532	455726.580	3922928.842	0.00	0.00
P.39	1630.782	Clothoïde 4	Aucun	689.317	Aucun	145.572	455747.135	3922951.754	0.00	0.00
P.40	1650.000	Clothoïde 4	Aucun	688.467	Aucun	144.458	455759.615	3922966.368	0.00	0.00
P.41	1700.000	Clothoïde 4	Aucun	690.008	Aucun	142.591	455791.121	3923005.190	0.00	0.00
P.42	1750.000	Droite 2	Aucun	690.996	Aucun	142.166	455821.936	3923044.566	0.00	0.00
P.43	1800.000	Droite 2	Aucun	690.853	Aucun	142.166	455852.684	3923083.994	0.00	0.00
P.44	1850.000	Droite 2	Aucun	686.979	Aucun	142.166	455883.432	3923123.422	0.00	0.00
P.45	1900.000	Droite 2	Aucun	686.699	Aucun	142.166	455914.181	3923162.849	0.00	0.00
P.46	1950.000	Droite 2	Aucun	688.923	Aucun	142.166	455944.929	3923202.277	0.00	0.00
P.47	2000.000	Droite 2	Aucun	693.284	Aucun	142.166	455975.677	3923241.705	0.00	0.00
P.48	2050.000	Droite 2	Aucun	694.856	Aucun	142.166	456006.426	3923281.132	0.00	0.00
P.49	2100.000	Droite 2	Aucun	692.508	Aucun	142.166	456037.174	3923320.560	0.00	0.00
P.50	2150.000	Droite 2	Aucun	695.515	Aucun	142.166	456067.922	3923359.987	0.00	0.00
P.51	2200.000	Droite 2	Aucun	694.486	Aucun	142.166	456098.671	3923399.415	0.00	0.00
P.52	2250.000	Droite 2	Aucun	693.901	Aucun	142.166	456129.419	3923438.843	0.00	0.00
P.53	2300.000	Droite 2	Aucun	693.145	Aucun	142.166	456160.167	3923478.270	0.00	0.00
P.54	2350.000	Droite 2	Aucun	690.982	Aucun	142.166	456190.916	3923517.698	0.00	0.00
P.55	2400.000	Droite 2	Aucun	685.787	Aucun	142.166	456221.664	3923557.126	0.00	0.00
P.56	2450.000	Droite 2	Aucun	691.387	Aucun	142.166	456252.412	3923596.553	0.00	0.00
P.57	2500.000	Droite 2	Aucun	696.281	Aucun	142.166	456283.161	3923635.981	0.00	0.00
P.58	2550.000	Droite 2	Aucun	695.444	Aucun	142.166	456313.909	3923675.409	0.00	0.00
P.59	2600.000	Droite 2	Aucun	690.446	Aucun	142.166	456344.657	3923714.836	0.00	0.00

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers	
									Gauche	Droite
P.60	2650.000	Droite 2	Aucun	687.451	Aucun	142.166	456375.406	3923754.264	0.00	0.00
P.61	2700.000	Droite 2	Aucun	686.243	Aucun	142.166	456406.154	3923793.692	0.00	0.00
P.62	2750.000	Droite 2	Aucun	682.251	Aucun	142.166	456436.902	3923833.119	0.00	0.00
P.63	2800.000	Droite 2	Aucun	682.737	Aucun	142.166	456467.651	3923872.547	0.00	0.00
P.64	2850.000	Droite 2	Aucun	687.800	Aucun	142.166	456498.399	3923911.975	0.00	0.00
P.65	2900.000	Droite 2	Aucun	689.180	Aucun	142.166	456529.147	3923951.402	0.00	0.00
P.66	2950.000	Droite 2	Aucun	687.398	Aucun	142.166	456559.896	3923990.830	0.00	0.00
P.67	3000.000	Droite 2	Aucun	688.816	Aucun	142.166	456590.644	3924030.257	0.00	0.00
P.68	3050.000	Droite 2	Aucun	686.137	Aucun	142.166	456621.392	3924069.685	0.00	0.00
P.69	3100.000	Droite 2	Aucun	685.684	Aucun	142.166	456652.141	3924109.113	0.00	0.00
P.70	3150.000	Droite 2	Aucun	689.797	Aucun	142.166	456682.889	3924148.540	0.00	0.00
P.71	3200.000	Droite 2	Aucun	692.779	Aucun	142.166	456713.638	3924187.968	0.00	0.00
P.72	3250.000	Droite 2	Aucun	694.007	Aucun	142.166	456744.386	3924227.396	0.00	0.00
P.73	3300.000	Droite 2	Aucun	689.168	Aucun	142.166	456775.134	3924266.823	0.00	0.00
P.74	3350.000	Droite 2	Aucun	685.348	Aucun	142.166	456805.883	3924306.251	0.00	0.00
P.75	3400.000	Droite 2	Aucun	685.403	Aucun	142.166	456836.631	3924345.679	0.00	0.00
P.76	3450.000	Droite 2	Aucun	687.638	Aucun	142.166	456867.379	3924385.106	0.00	0.00
P.77	3500.000	Droite 2	Aucun	686.831	Aucun	142.166	456898.128	3924424.534	0.00	0.00
P.78	3550.000	Droite 2	Aucun	686.330	Aucun	142.166	456928.876	3924463.962	0.00	0.00
P.79	3600.000	Droite 2	Aucun	686.547	Aucun	142.166	456959.624	3924503.389	0.00	0.00
P.80	3620.941	Droite 2	Aucun	685.396	Aucun	142.166	456972.502	3924519.902	0.00	0.00
P.81	3650.000	Clothoïde 5	Aucun	684.996	Aucun	142.417	456990.403	3924542.793	0.00	0.00
P.82	3700.000	Clothoïde 5	Aucun	688.000	Aucun	144.025	457021.724	3924581.766	0.00	0.00
P.83	3727.941	Clothoïde 5	Aucun	687.415	Aucun	145.572	457039.789	3924603.080	0.00	0.00
P.84	3750.000	Arc 3	Aucun	684.440	Aucun	146.976	457054.448	3924619.563	0.00	0.00
P.85	3800.000	Arc 3	Aucun	679.302	Aucun	150.159	457088.996	3924655.701	0.00	0.00
P.86	3850.000	Arc 3	Aucun	680.591	Aucun	153.343	457125.306	3924690.067	0.00	0.00
P.87	3855.983	Arc 3	Aucun	680.946	Aucun	153.723	457129.765	3924694.057	0.00	0.00
P.88	3900.000	Clothoïde 6	Aucun	684.097	Aucun	155.949	457163.204	3924722.678	0.00	0.00
P.89	3950.000	Clothoïde 6	Aucun	687.382	Aucun	157.079	457202.046	3924754.161	0.00	0.00
P.90	3962.983	Clothoïde 6	Aucun	687.520	Aucun	157.129	457212.193	3924762.260	0.00	0.00
P.91	4000.000	Droite 3	Aucun	684.550	Aucun	157.129	457241.129	3924785.346	0.00	0.00
P.92	4050.000	Droite 3	Aucun	684.432	Aucun	157.129	457280.214	3924816.529	0.00	0.00
P.93	4100.000	Droite 3	Aucun	688.162	Aucun	157.129	457319.299	3924847.712	0.00	0.00
P.94	4150.000	Droite 3	Aucun	688.083	Aucun	157.129	457358.384	3924878.895	0.00	0.00
P.95	4200.000	Droite 3	Aucun	686.488	Aucun	157.129	457397.469	3924910.077	0.00	0.00
P.96	4250.000	Droite 3	Aucun	685.276	Aucun	157.129	457436.554	3924941.260	0.00	0.00
P.97	4300.000	Droite 3	Aucun	686.800	Aucun	157.129	457475.639	3924972.443	0.00	0.00
P.98	4350.000	Droite 3	Aucun	686.947	Aucun	157.129	457514.724	3925003.626	0.00	0.00
P.99	4400.000	Droite 3	Aucun	684.941	Aucun	157.129	457553.809	3925034.809	0.00	0.00
P.100	4450.000	Droite 3	Aucun	682.178	Aucun	157.129	457592.894	3925065.991	0.00	0.00
P.101	4500.000	Droite 3	Aucun	682.636	Aucun	157.129	457631.978	3925097.174	0.00	0.00
P.102	4550.000	Droite 3	Aucun	681.713	Aucun	157.129	457671.063	3925128.357	0.00	0.00
P.103	4600.000	Droite 3	Aucun	683.884	Aucun	157.129	457710.148	3925159.540	0.00	0.00
P.104	4650.000	Droite 3	Aucun	686.441	Aucun	157.129	457749.233	3925190.723	0.00	0.00
P.105	4700.000	Droite 3	Aucun	686.207	Aucun	157.129	457788.318	3925221.905	0.00	0.00
P.106	4746.869	Droite 3	Aucun	684.591	Aucun	157.129	457824.955	3925251.135	0.00	0.00
P.107	4750.000	Clothoïde 7	Aucun	684.359	Aucun	157.127	457827.403	3925253.088	0.00	0.00
P.108	4800.000	Clothoïde 7	Aucun	685.711	Aucun	156.464	457866.372	3925284.415	0.00	0.00
P.109	4836.869	Clothoïde 7	Aucun	688.457	Aucun	155.219	457894.741	3925307.963	0.00	0.00
P.110	4850.000	Arc 4	Aucun	688.167	Aucun	154.662	457904.718	3925316.500	0.00	0.00
P.111	4900.000	Arc 4	Aucun	685.209	Aucun	152.540	457942.014	3925349.798	0.00	0.00
P.112	4950.000	Arc 4	Aucun	685.441	Aucun	150.418	457978.179	3925384.321	0.00	0.00
P.113	5000.000	Arc 4	Aucun	684.310	Aucun	148.296	458013.174	3925420.030	0.00	0.00
P.114	5050.000	Arc 4	Aucun	682.977	Aucun	146.174	458046.959	3925456.886	0.00	0.00
P.115	5100.000	Arc 4	Aucun	681.091	Aucun	144.052	458079.498	3925494.847	0.00	0.00
P.116	5150.000	Arc 4	Aucun	681.653	Aucun	141.930	458110.753	3925533.871	0.00	0.00
P.117	5166.719	Arc 4	Aucun	682.509	Aucun	141.220	458120.912	3925547.150	0.00	0.00
P.118	5200.000	Clothoïde 8	Aucun	683.318	Aucun	140.069	458140.727	3925573.888	0.00	0.00
P.119	5250.000	Clothoïde 8	Aucun	681.861	Aucun	139.321	458169.859	3925614.524	0.00	0.00
P.120	5256.719	Clothoïde 8	Aucun	682.157	Aucun	139.310	458173.749	3925620.002	0.00	0.00
P.121	5300.000	Droite 4	Aucun	685.161	Aucun	139.310	458198.808	3925655.291	0.00	0.00
P.122	5350.000	Droite 4	Aucun	688.090	Aucun	139.310	458227.758	3925696.058	0.00	0.00

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers	
									Gauche	Droite
P.123	5400.000	Droite 4	Aucun	684.514	Aucun	139.310	458256.707	3925736.825	0.00	0.00
P.124	5450.000	Droite 4	Aucun	684.379	Aucun	139.310	458285.656	3925777.591	0.00	0.00
P.125	5500.000	Droite 4	Aucun	689.121	Aucun	139.310	458314.606	3925818.358	0.00	0.00
P.126	5550.000	Droite 4	Aucun	688.093	Aucun	139.310	458343.555	3925859.125	0.00	0.00
P.127	5600.000	Droite 4	Aucun	683.690	Aucun	139.310	458372.504	3925899.892	0.00	0.00
P.128	5650.000	Droite 4	Aucun	682.215	Aucun	139.310	458401.454	3925940.659	0.00	0.00
P.129	5700.000	Droite 4	Aucun	682.312	Aucun	139.310	458430.403	3925981.426	0.00	0.00
P.130	5750.000	Droite 4	Aucun	681.642	Aucun	139.310	458459.352	3926022.193	0.00	0.00
P.131	5800.000	Droite 4	Aucun	682.926	Aucun	139.310	458488.302	3926062.959	0.00	0.00
P.132	5850.000	Droite 4	Aucun	682.659	Aucun	139.310	458517.251	3926103.726	0.00	0.00
P.133	5900.000	Droite 4	Aucun	679.305	Aucun	139.310	458546.200	3926144.493	0.00	0.00
P.134	5950.000	Droite 4	Aucun	676.400	Aucun	139.310	458575.150	3926185.260	0.00	0.00
P.135	6000.000	Droite 4	Aucun	677.276	Aucun	139.310	458604.099	3926226.027	0.00	0.00
P.136	6001.151	Droite 4	Aucun	677.304	Aucun	139.310	458604.766	3926226.966	0.00	0.00