



Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Présenté par :

CHERIER Kheir Eddine Khaled

CHAIB Seyyid Ahmed

Sujet du mémoire

**Etude d'un tronçon ferroviaire du PK 30
au PK 35 de la nouvelle ligne ferroviaire Saida-Tiaret**

Soutenu publiquement en juin 2023 devant le jury composé de :

Prof.	HADJI Lazreg	Président
Prof.	BENFERHAT Rabia	Encadreur
Dr.	ABDELAZIZ Hadj Henni	Examinateur
Dr.	AIT AMAR MEZIANE Med	Examinateur

Promotion 2022/2023

Remerciements

Allah le bénéfique soit loué et qu'il nous guide sur la bonne voie

Ainsi nous remercions notre encadreur «Mr. Rabia Benferhat», pour tous ses conseils et ses orientations pour la réalisation de ce travail.

Aux membres du jury qui ont bien voulu lire et évaluer le présent mémoire.

Nos remerciements A monsieur Abada Et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*D*édicace

Nos chers parents, pour leurs dévouements, leurs amours, leur compréhension, leurs sacrifices, leur tendresse, leurs prières et leur patience a notre égard.

Nos chers frères et sœurs : Pour leurs soutien durant toute la période de nos études.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le transport ferroviaire joue un rôle économique significatif et est considéré comme essentiel au développement économique d'une région dans le contexte contemporain. En Algérie, la croissance de la population dans les régions des hauts plateaux a renforcé la nécessité d'infrastructures de transport ferroviaire.

Cette étude se concentre principalement sur l'analyse et la conception d'un tronçon ferroviaire mixte d'une longueur de 5 km dans le cadre du projet de la nouvelle ligne ferroviaire reliant Saida à Tiaret. L'étude a été réalisée en respectant les normes en vigueur, notamment les normes européennes et le code de l'Union internationale des chemins de fer. Différentes disciplines techniques ont été consultées et appliquées, et les logiciels Autocad et Covadis ont été utilisés pour les dessins et les calculs.

Les caractéristiques techniques du tracé en plan et du profil en long ont été conçues pour assurer le confort et la sécurité. Les couches de fondation ont été définies et dimensionnées, et une estimation quantitative de ces couches a également été établie dans le cadre de ce travail.

Mots clés : Tronçon ferroviaire, IUC, Tracé en plan, Profil en long.

Abstract

Railway transportation plays a significant economic role and is considered essential for the economic development of a region in the contemporary context. In Algeria, the population growth in the high plateau regions has reinforced the need for railway transportation infrastructure.

This study primarily focuses on the analysis and design of a 5 km mixed-traffic railway section as part of the project for the new railway line connecting Saida to Tiaret. The study was conducted in accordance with current standards, including European norms and the International Union of Railways code. Various technical disciplines were consulted and applied, and AutoCAD and Covadis software were used for drawings and calculations.

The technical characteristics of the horizontal alignment and longitudinal profile were designed to ensure comfort and safety. The foundation layers were defined and dimensioned, and a quantitative estimate of these layers was also established as part of this work.

Keywords: Rail section, UCI, Layout, Long profile.

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Lectures Piézométriques	20
Tableau III.2 : Description lithologique du sol	21
Tableau III.3 : Résultats des essais au Laboratoire	22
Tableau III.4 : Résultats des essais au Laboratoire	23
Tableau IV.1 : Détermination de la classe de portance de la plate-forme	28
Tableau V.1. - Calcul récapitulatif des éléments géométriques :.....	39
Tableau V.2. Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur	40
Tableau VI .1. Volume des terrassements.....	43
Tableau VI .2. Volumes des couches d'assise ferroviaires	43

Liste des figures

Figure I.1 : Répartition des émissions mondiales des GES par mode de transport (source: EUROSTAT)	6
Figure I.2 : Réseau ferroviaire national en période coloniale.....	8
Figure II.1 : Localisation géographique de ligne de projet	10
Figure III.1 : Carte de la situation géographique de la zone de tronçon étudié	16
Figure III . 2 - Réseau hydrographique du fleuve Mina.....	17
Figure. III.3. Profil en longue du canal creusée dans les terrains imperméables..... les eaux d'écoulement et de précipitations sont recueillies au fond du canal.....	18
Figures III.4. Toute l'eau accumulée est conservée et devient stagnante, elle pourra être..... éliminée par l'évapotranspiration, pendant les mois les plus chauds, et par les ouvrages de drainage.....	18
Figure III.5. : Carte hydrogéologique du nord de l'Algérie.....	19
Figure IV.1 : Les couches constituant le profil en travers.....	28
Figure V.1. Raccordement à rayon de courbe progressive	33
Figure V.2. Raccordement d'entrée de courbe.....	36
Figure V.2: Schéma du raccordement circulaire	41
Figure VI.1. Les couches constituant le profil en travers	42
Figure VII.1.- Composition des rails.....	46
Figure VII.2. Le soudage aluminothermique.....	48
Figure VII.3.- Traverse en béton -Traverse en bois	49
Figure VII.4. traverse bi-blocs	49
Figure VII.5. -Traverse bi-bloc	50
Figure VII.6. -Constituant du rail.....	51
Figure VII.7. Eléments constitutifs d'un branchement simple	52
Figure VII.8. -Schéma d'un branchement symétrique	53
Figure VII.9. --Traversées simples	54
Figure VII.10. -La traversée-jonction simple	54
Figure VII.11. -La traversée-jonction double	55

Table de matières

Remerciements

Dédicace

Liste de figures

Liste des tableaux

résumé

Introduction

Chapitre I: Transport ferroviaire

I.1. Introduction.....	4
I.2. Aspect économique:	4
I.3. Aspect technique	5
I.4. Aspect écologique	5
I.5. Réseau ferroviaire en Algérie:	6

Chapitre II: Présentation du projet

II. 1.Description générale:	10
II.2. Les acteurs de projet:	11
II.3. Les caractéristiques techniques:.....	12
II.4. Le tronçon étudié:	13

Chapitre III : Géologie et géotechnique

III.1.Introduction.....	15
III.2-Cadre géologique.....	15
III.3. Granulométrie par tamisage:	22
III.4. Limites d'Atterberg :.....	23

Chapitre IV: Dimensionnement des couches d'assise

IV.2. Couche d'assise :	27
IV.3. Plate-forme :.....	27
IV.4. Epaisseur de couche de forme :	28
IV.5. Epaisseur de la couche d'assise :	28
IV.6. Détermination des paramètres :.....	30

Chapitre V: Tracé ferroviaire

V.1-Introduction	33
V.2-Tracé en plan	33
V.3.Insuffisance de dévers (I).....	35
V.4.Excès de dévers (E) :.....	35
V.5.Limite de la variation d'insuffisance de dévers :	37
V.6-PROFIL EN LONG :	39

Chapitre VI: Profil en travers

VI.1.Gabarits.....	42
VI.2.Entraxe	42
VI.3.Clôtures.....	42
VI.4.Méthode de calcul.....	43

Chapitre VII: Superstructure de la voie

VII .1. Introduction	46
VII .2.Les voies	46
VII .3.Les traverses	48
VII .4.Les attaches.....	50
VII .5.Les appareils de voie	51

Chapitre VIII: Signalisation ferroviaire

VIII .1. Introduction	56
VIII .2. Evolution des systèmes de signalisation.....	57
VIII .3. Conception de la signalisation.....	61
VIII .4. Conception de la télécommunication	66

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes



Introduction

Introduction

Le transport ferroviaire de marchandises et de voyageurs est essentiel au développement de toutes les régions d'un pays. Il permet d'acheminer de grandes quantités de marchandises, facilite les échanges entre les acteurs économiques et permet aux populations des zones desservies de se déplacer plus facilement vers les villes de l'intérieur, la capitale ou les grandes villes pour diverses raisons telles que l'approvisionnement, la santé, l'éducation, etc. En raison de ces avantages, le transport ferroviaire est privilégié par rapport aux autres modes de transport. Cependant, il nécessite une infrastructure spécifique appelée "voie ferrée", dont les coûts de construction et d'entretien sont élevés en raison de sa rigidité et de sa complexité technique.

L'Algérie a pris conscience de son retard dans le domaine du transport ferroviaire et accorde une grande importance au développement de ce secteur. Le pays a entrepris des projets structurants qui transformeront le réseau national des voies ferrées. Une fois le programme ferroviaire national entièrement achevé, la longueur totale des voies atteindra 12 500 km.

Notre projet s'inscrit dans le cadre du développement de l'axe de la rocade ferroviaire des hauts plateaux. Il consiste en la réalisation d'une nouvelle ligne ferroviaire Tiaret-Saida à voie unique, s'étendant sur 153 km. Le présent mémoire porte sur l'étude d'Avant-Projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon spécifique de ce projet, allant du PK30+000 au PK 35+000, sur une distance d'environ 5 km, dans la région de la wilaya de Tiaret.



Chapitre I:

Transport ferroviaire

I.1. Introduction

Le transport ferroviaire est non seulement l'un des moyens les plus sûrs de se déplacer d'un endroit à un autre, mais également l'un des plus efficaces pour transporter de grandes quantités de marchandises et faciliter la fluidité de la circulation routière. Ce mode de transport existe depuis des siècles, et il a connu son premier développement notable avec la création de la première locomotive à vapeur par l'ingénieur Richard Trevithick. Cette locomotive a effectué son premier trajet le 21 février 1804 au Pays de Galles. Depuis lors, le transport ferroviaire a connu de nombreuses évolutions et est devenu un pilier essentiel du système de transport moderne.

I.2. Aspect économique:

- Coûts d'investissement élevé :

Le transport ferroviaire implique des coûts importants liés à la construction et à l'entretien de l'infrastructure, ainsi qu'à l'acquisition et à la maintenance du matériel roulant. La complexité technique du système ferroviaire et les normes de sécurité strictes entraînent des dépenses supplémentaires. Les investissements nécessaires comprennent la création des voies, des gares, des ponts, des tunnels et l'installation d'équipements tels que la signalisation et les dispositifs de sécurité. L'achat et l'entretien des locomotives, des wagons et autres véhicules spécialisés sont également coûteux. Il est essentiel de prendre en compte ces facteurs de coûts pour assurer la viabilité financière et l'efficacité du système ferroviaire.

Transport collectif :

Le transport ferroviaire, en tant que mode de transport collectif réglementé par l'État, est associé à la notion de service public. Il influence l'urbanisme en favorisant le développement de pôles économiques et sociaux autour des gares. De plus, il contribue à l'aménagement du territoire en connectant les zones rurales aux centres urbains, ce qui stimule le développement économique des régions desservies. En résumé, le transport ferroviaire joue un rôle essentiel dans l'organisation des déplacements collectifs et a un impact significatif sur l'urbanisme et l'aménagement du territoire.

- Transport peu coûteux :

Le transport ferroviaire assure une mobilité accessible à tous, contribuant ainsi à préserver l'unité de la nation. Il est généralement abordable sur le plan financier et est souvent assuré par le service public.

- Transport intégré :

Les exigences techniques étroites liant les voies ferrées et le matériel roulant ont généralement conduit à la création d'entreprises ferroviaires intégrées, qui assurent à la fois la gestion du réseau et l'exploitation des trains. Cependant, la politique actuelle de libéralisation vise à introduire la concurrence entre les opérateurs en confiant la gestion du réseau à des entités indépendantes. Dans le même temps, il est essentiel de garantir l'interopérabilité des réseaux.

I.3. Aspect technique

- Transport guidé (par les rails) :

Le transport ferroviaire est un mode de transport guidé par des rails, offrant aux véhicules une seule direction, soit en avant, soit en arrière. Les changements de voie sont possibles uniquement aux aiguillages, et les dépassements ne peuvent être effectués qu'à certains endroits spécifiques de la ligne, tels que les gares ou les zones de circulation dédiées. La formation des trains nécessite des manœuvres complexes.

- Rapidité et régularité :

Le transport par voie ferrée présente généralement une vitesse plus élevée que le transport routier en raison de son système de guidage et de l'absence d'obstacles fréquemment rencontrés sur les routes. De plus, les horaires sont soigneusement planifiés et les délais sont généralement respectés. Le transport ferroviaire est adapté pour le transport de tout type de marchandises, offrant ainsi une grande polyvalence.

- Capacité de transport :

Le transport ferroviaire permet de transporter efficacement un grand nombre de passagers sur de longues distances. De plus, grâce à la capacité de charge élevée des wagons, il est possible de transporter davantage de marchandises avec une seule unité de matériel roulant (train). Par exemple, un wagon couvert peut remplacer l'équivalent de trois camions en termes de capacité de transport de marchandises. Cette efficacité accrue dans le transport de marchandises contribue à la réduction du trafic routier et de l'empreinte carbone.

- Sécurité assurée :

Contrairement à la circulation individuelle sur les routes, les trains circulent en convois (transport guidé) et sont régis par un système de signalisation strict. Ce système d'exploitation en groupe confère au chemin de fer un niveau élevé de sécurité. Les signaux ferroviaires, les règles de priorité et les procédures de communication entre les trains et les opérateurs garantissent une circulation ordonnée et sécurisée. Grâce à ces mesures, le transport ferroviaire bénéficie d'une réputation solide en termes de sécurité.

I.4. Aspect écologique

- Transport écologique :

Le transport ferroviaire est le moyen de transport le moins polluant, avec de faibles émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

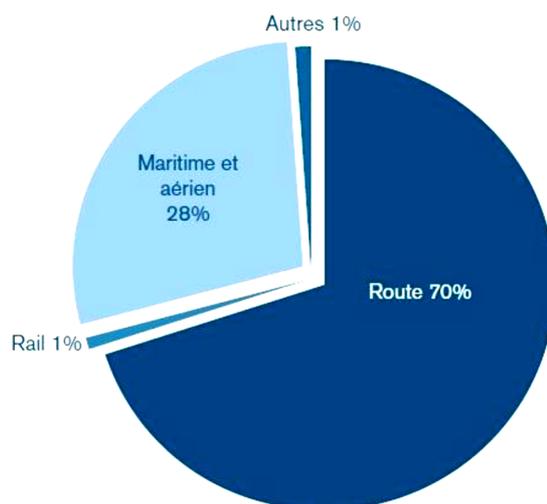


Figure I.1 : Répartition des émissions mondiales des GES par mode de transport
(source:EUROSTAT)

- **Rendement énergétique :**

Le transport ferroviaire présente un rendement énergétique élevé par rapport au trafic qu'il transporte. Grâce à ses roues en acier sur des rails en acier, il offre une faible résistance au roulement, ce qui réduit les pertes d'énergie dues aux frottements par rapport à d'autres modes de transport. En fait, le transport ferroviaire utilise l'énergie trois fois plus efficacement que la route, couvrant ainsi de plus grandes distances avec une consommation d'énergie moindre.

- **Respect de l'environnement :**

Grâce à sa plus grande capacité de transport et sa moindre consommation d'espace à volume transporté égal, le transport ferroviaire est plus respectueux des paysages. (Par voyageur-kilomètre parcouru, les chemins de fer exigent un tiers de moins d'espace que la voiture particulière).

I.5. Réseau ferroviaire en Algérie:

Un réseau ferroviaire est l'ensemble de lignes de chemin de fer, de gares et d'installations techniques diverses qui permettent la circulation de convois ferroviaires ou trains dans un pays.

Restée longtemps en retard pour ce qui est du transport ferroviaire, l'Algérie veut mettre le changement et réalise actuellement des projets structurants qui vont changer la carte de réseau ferroviaire national.

I.5.1. Histoire du réseau ferroviaire national:

Le réseau ferroviaire algérien a été parmi les premiers réseaux installés en Afrique, son développement a pris un siècle.

L'histoire des chemins de fer en Algérie commence avec le Décret Impérial (Napoléon III) du 8 Avril 1857 qui autorise la construction de 1357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie. Le programme prévoyait, au départ, de Constantine à Alger et ensuite vers Oran selon un tracé donnant les bases du parcours par Aumale, Sétif, El Blidah, Orléansville Sainte Barbe du Tlélat.

Le premier chantier, démarré le 12 décembre 1859, porte sur la construction de la ligne Alger-Blida dans la Mitidja.

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

L'objectif des 1 357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

Le 18 juillet 1879 une nouvelle campagne d'investissement est lancée à niveau national pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites "d'intérêt local" est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales.

Dans les 30 ans qui suivirent, 2 035 km de ligne chemin de fer vont s'ajouter au réseau, constituant l'armature du futur réseau ferroviaire algérien.

Entre 1907 et 1946 une 3ème campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau. Au début de l'année 1925 on comptait 4724 km de chemins de fer auxquels il faut ajouter 127 km de tramways.

A la fin de la Seconde Guerre Mondiale le réseau ferroviaire algérien s'étend sur plus de 5 000 km.

Le 30 juin 1959 l'État français signe une convention créant la Société nationale des chemins de fer français en Algérie (SNCFA) et rassemble toutes les lignes exploitées sous la gestion de cette compagnie.



Figure I.2 : Réseau ferroviaire national en période coloniale

Le même sigle –SNCF – fut longtemps gardé par l’Algérie indépendante (depuis 1963) mais pour désigner la Société nationale des chemins de fer algériens. Après l’indépendance, de nombreuses lignes ont été abandonnées pour des raisons diverses liées à l’économie désastreuse dans laquelle la France a laissé l’Algérie et à la non-conformité de certaines lignes avec les nouvelles normes mondiales. Tel que en 1999, l’Algérie disposait seulement de 1700 km de voies ferrées disponibles et exploitées.

II. 1. Description générale:

Notre projet vise à créer une nouvelle ligne ferroviaire reliant Tiaret à Saida dans le cadre du développement de la rocade ferroviaire des hauts plateaux. Cette ligne, d'une longueur de 153 kilomètres, sera à voie unique et accueillera à la fois du trafic voyageurs et marchandises. Les trains de voyageurs pourront atteindre une vitesse maximale de 160 km/h, tandis que les trains de marchandises auront une vitesse maximale de 100 km/h.

La ligne comprendra quatre gares, dont deux dédiées aux voyageurs (à Freneda et Ain Kermès) et deux destinées aux marchandises/voyageurs (à Tiaret et Saida). En outre, neuf gares de croisement seront aménagées le long de la ligne.

La réalisation de cette ligne nécessitera la construction de 15 viaducs, 31 ponts ferroviaires et 36 ponts routiers, ainsi que l'installation de 78 appareils de voie. Le poids total des rails à poser dépassera les 22 600 tonnes. Les travaux de terrassement ont impliqué le déplacement de plus de 8 856 000 tonnes de déblais et 8 129 000 tonnes de remblais.

Pour mener à bien ce projet d'envergure, un total de 1 691 personnes, dont 132 cadres algériens et 44 expatriés, sont impliqués.

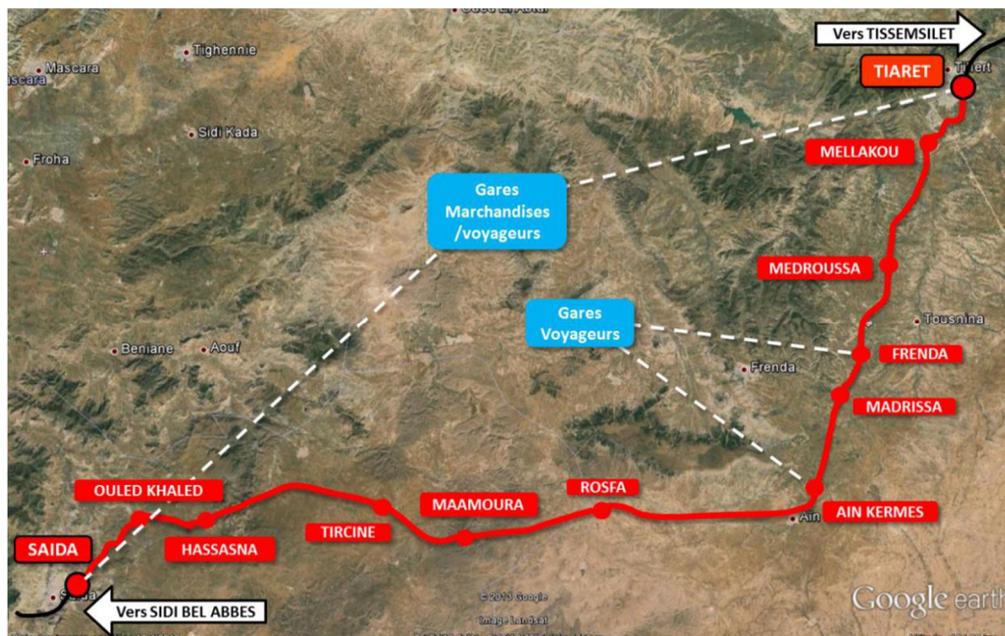


Figure II.1 : Localisation géographique de ligne de projet

Ce projet a pour objectifs :

- Désenclaver les zones semi-arides des Hauts-Plateaux et favoriser une croissance économique et sociale équilibrée dans le pays, en particulier en tant qu'élément clé de l'axe de la rocade ferroviaire des hauts plateaux qui permettra de relier ces zones au nord du pays.
- Réduire les temps de trajet entre la rocade ouest et le centre du pays.
- Raccourcir les distances entre les différents points de la région.

Une fois terminé, ce projet contribuera au développement économique et apportera la modernité aux wilayas concernées (Tiaret et Saida), y compris les zones les plus éloignées et défavorisées.

II.2. Les acteurs de projet:

Les différents intervenants qui participent à l'élaboration et à la réalisation de ce projet sont :

- **Maître de l'ouvrage :**

Ministère de transport

- **Maître de l'ouvrage délégué :**

Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF)



■ Maîtrise d'œuvre :

Groupement de bureaux : POYRY-SETIRAIL-GETINSA



■ Entrepreneur :

Groupement d'entreprises : ASTALDI SPA ITALIE-COSIDER TP ALGERIE



L'organisation du Chantier se fait en deux lots :

Lot COSIDER : (Sur un linéaire de 108,475 km)

Du pk 0+000 au pk 102+315 traversant le territoire de la wilaya de Tiaret.

Du pk 102+315 au pk 108+475 traversant le territoire de la wilaya de Saida.

Lot ASTALDI : (Sur un linéaire de 44,68 km)

Du pk 108+475 au pk 153+160 traversant le territoire de la wilaya de SAIDA

II.3. Les caractéristiques techniques:**■ Caractéristiques de base :**

- Ligne mixte à voie unique.
- Caractéristiques géométriques selon les standards UIC.
- Ponts-rail et ponts-route et viaducs sont prévus pour double.
- Trafic mixte voyageurs et marchandises.
- Traction actuellement diesel.
- Ligne sans passages à niveau.
- Ligne clôturée sur toute la longueur.

■ Caractéristiques de voie :

- Écartement normal de 1435 mm sans sur écartement dans les courbes.
- Gabarit : gabarit GC de l'UIC (celui des lignes à grande vitesse).
- L'entraxe des voies est de 4,20 m (la voie unique étant réalisée à son emplacement définitif, l'axe de la deuxième voie sera placé ultérieurement).
- L'entraxe des Voies dans les gares de croisement est de 5,00.
- Charges à l'essieu :
 - ✓ Infrastructure : 22,5 T.
 - ✓ Ouvrages d'art : 25 T.
- Vitesse maximale :
 - ✓ Vitesse des trains de voyageurs : 160 km/h.
 - ✓ Vitesse des trains de marchandises : 100 km/h.
 - ✓ Vitesses de branchement dans les appareils de voie : 60 km/h.

■ Caractéristiques de superstructure :

- Rails : UIC 60 E1
- Traverses : bi bloc en béton armé
- Attaches : élastiques de type NABLA
- Système de signalisation : ERTMS/ETCS Niveau 1.
- Système de télécommunication : GSM-R.

II.4. Le tronçon étudié:

Le tronçon étudié dans ce projet de fin d'étude s'étend du PK 30+000 au PK 35+000. Il est situé au sud-ouest de Tiaret, à une distance d'environ 50 à 60 km de la ville. Le tronçon est entouré par les villages de Frenda à l'ouest, Madrissa et Ain kermes au sud, et Medroussa au nord.



Chapitre III:

Géologie et géotechnique

III.1.Introduction

Ce chapitre illustre les caractéristiques géologiques et géotechniques des matériaux sur lesquels sera réalisée la nouvelle ligne ferroviaire Tiaret-Saida, le long de tronçon entre le PK.30+000 et le PK. 35+000.

Initialement, on a décrit la stratigraphie, la géomorphologie et l'hydrogéologie des formations géologiques présentes le long du tronçon pour donner une appréciation générale et déterminer leurs propriétés géotechniques et géo mécaniques.

Ensuite, on a déterminé le pourcentage des matériaux en provenance des déblais qui sont réutilisables pour : la réalisation des remblais et des couches de forme, et pour la production du béton (la construction de l'ouvrages d'art), conformément aux normes de référence.

Enfin, on a vérifié la stabilité des talus des déblais et des remblais pour déterminé les pentes à adopter pour les différentes situations géologiques.

III.2-Cadre géologique

L'étude géologique s'est appuyée sur :

- Les cartes géologiques à l'échelle 1:500.000 (Institut Géographique National, Paris: IGN, 1967).
- Les observations directes in-situ.
- Les données obtenues à partir des différents sondages stratigraphiques

III. 2.1.Stratigraphie

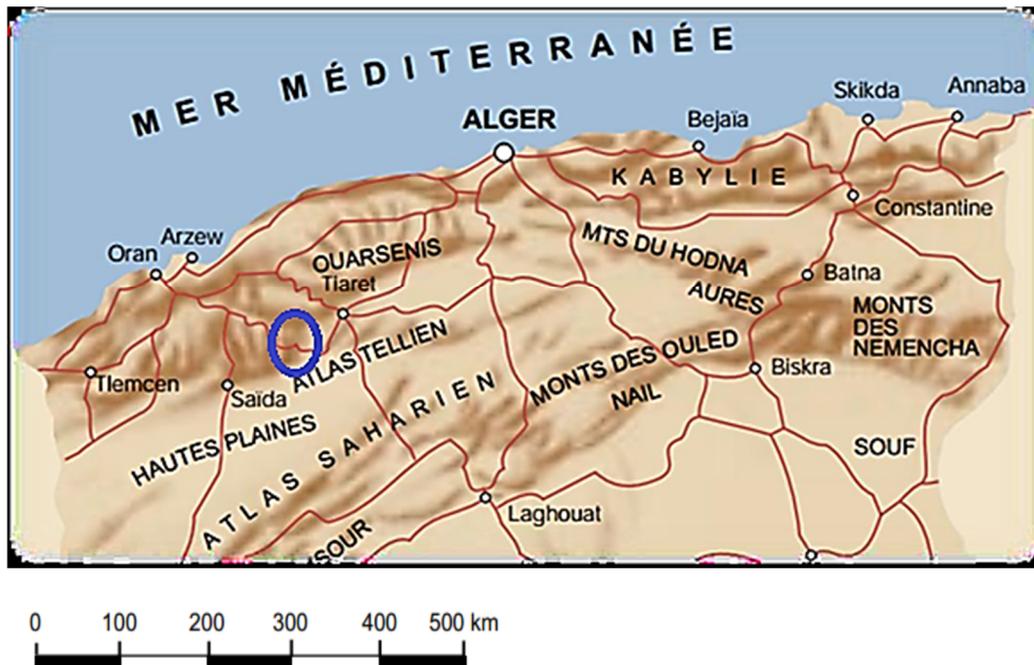


Figure III-1 : Carte de la situation géographique de la zone de tronçon étudié

Le tronçon étudié est réalisé dans la zone structuro-sédimentaire des hauts plateaux qui se situe entre les éléments géologiques suivants :

- ▀ Au sud, l'Atlas saharien : une chaîne de montagnes d'origine alpine.
- ▀ Au nord, l'Atlas tellien : est une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur.

III.2.2. Géomorphologie

Le tracé en objet est situé à une altitude qui varie de 1.100 m à PK 30 + 575 et 1.165 m à PK 34 + 925. La Morphologie générale de la zone d'étude est plus ou moins plaine, avec des pentes topographiques modestes, qu'ils peuvent atteindre jusqu'au 5 – 10 %.

La morphologie générale est douce, en raison des dépôts affleurants et de l'état de fracturation et de karstification des massifs calcaires.

La région, comprise entre les villes de Medroussa et Sidi Amar, est située sur un vaste plateau calcaire, Les couches stratigraphiques qui composent le massif calcaire sont représentées par des termes carbonatiques plus ou moins karstifiés, parfois représentés par des faciès latérales marneuses et par des profils d'altération argileuses, qui peuvent être plus ou moins cailloutées ; les niveaux argileux supérieures ont été érodés avec des incisions récentes, en formant des morphologies à oued.

Les oueds sont à régime hydrologique très irrégulier, ils sont alimentés par les rares et fortes précipitations en hiver tandis que pendant les saisons chaudes ils sont le plus souvent

secs. Tout le tracé du projet se trouve dans le haut cours de l'Oued Mina, dont seul le cours d'eau principal a un régime hydrique constant, également dans les périodes plus sèches.

Le réseau hydrographique est bien développé à cause du ruissellement dans les bassins versants et à cause la manque d'infiltration dans les sols argileux ; les terrains superficiels sont constitués par des altérations argileuses, leurs particularités sont l'imperméabilité et la tendance à la formation des bassins de drainage et de collecte hydrique.

Le bassin versant est limité par des frontières naturelles : les lignes de crêtes ou « lignes de partage des eaux ». De part et d'autre de ces lignes s'écoulent les eaux des précipitations.

Le tracé de la ligne ferroviaire est placé auprès de la ligne de partage des eaux entre le bassin du Oued Mina et l'Oued Ouaoui, qui s'écoulent en direction parallèle vers le nord.

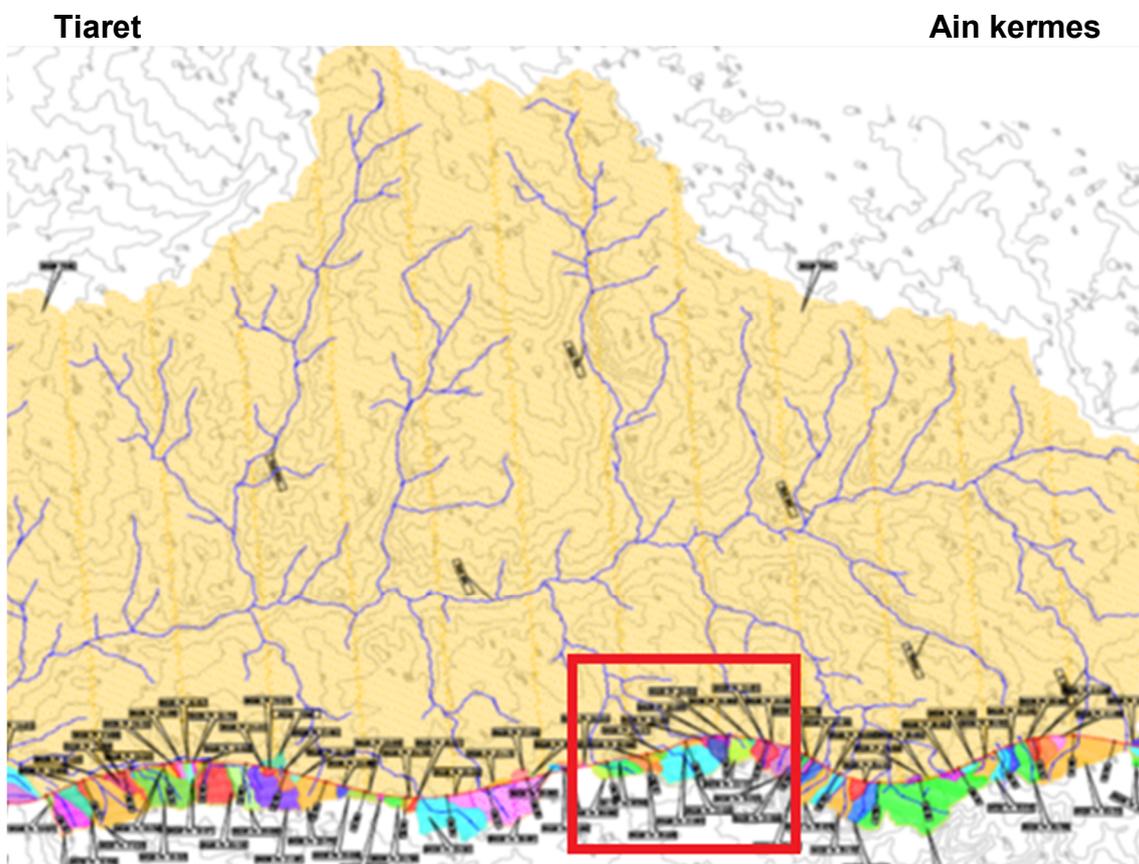


Figure III.2 - Réseau hydrographique du fleuve Mina

Les litotypes argileux, gréseux-calcaire et marneux-calcaire, donnent lieu à des terrains de couverture qui ont une perméabilité bien moins importante que les unités des calcaires sous-jacents; dans les terrains de couverture imperméables l'eau de pluie reste

emprisonnée et on observe donc le phénomène de la stagnation de l'eau; pendant la période sèche, l'eau stagnante emprisonnée pourrait disparaître par évaporation

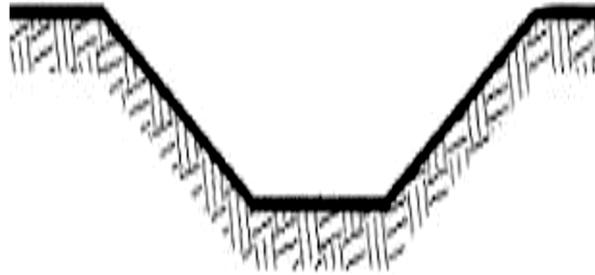


Figure. III.3. Profil en long du canal creusée dans les terrains imperméables
les eaux d'écoulement et de précipitations sont recueillies au fond du canal



Figures III.4. Toute l'eau accumulée est conservée et devient stagnante, elle pourra être éliminée par l'évapotranspiration, pendant les mois les plus chauds, et par les ouvrages de drainage

III.2-3- Hydrogéologie

En terrain élevé, le système hydrodynamique est ouvert. Dans l'Atlas saharien (situé au sud), l'étanchéité des réservoirs est liée à la profondeur. A partir du bassin versant situé dans l'Atlas saharien plissé, la hauteur potentielle chute vers les hautes terres, et la fermeture du réservoir démontre la fonction de barrière jouée par l'accident du Sud Atlas.

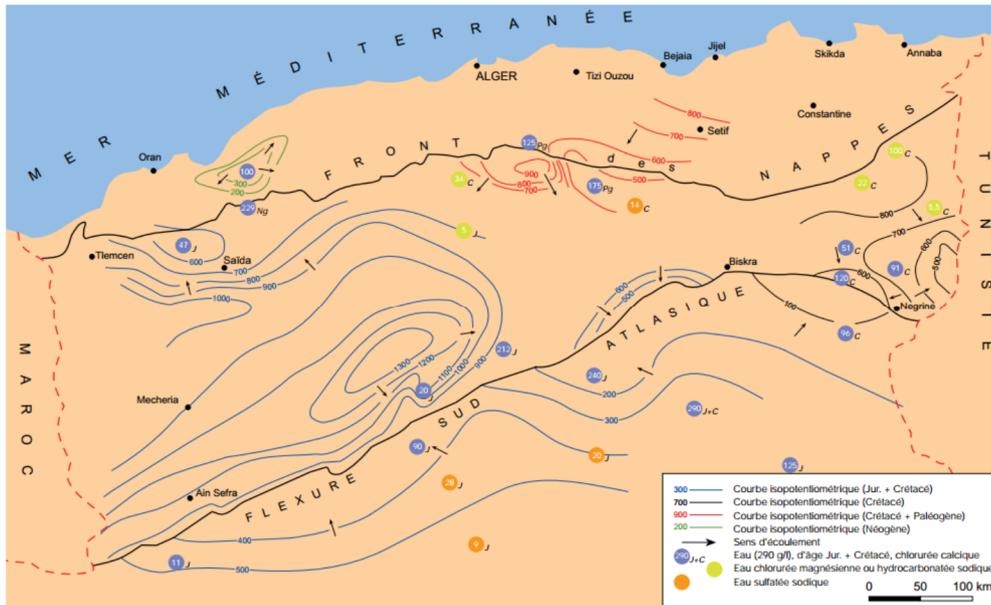


Figure III.5.: Carte hydrogéologique du nord de l'Algérie

Les formations géologiques, de haut en bas, sont les suivantes:

– **Unité des calcaires gréseux (GC)**

calcaires gréseux, calcaires marneux et grès calcaires, de compactes à peu compactes, beiges et jaunâtres, parfois riches en alvéoles et cavités, avec intercalations marno-calcaires; leur perméabilité est comprise entre 10^{-3} et 10^{-9} m/s; leur bas perméabilité est de type primaire, liée à la présence de matériaux granulaires cimentés.

– **Unité des calcaires (CB / Cbf)**

calcaire stratifié; parfois il se peut présenter altéré et karstifié avec un aspect brêcheux à fragment calcaires; leur perméabilité est de type secondaire est liée à la présence de fractures.

– **Unité des calcaires (All)**

Dépôts éluvio-colluviales, argiles sableuse avec galets calcaires gréseux et marneux

– **Unité des calcaires (T)**

Dépôts calcaire-gréseux et calcaire-argileux et encroutements grésocalcaires

III.2.4.1 Piézométrie

Les lectures piézométriques à la table suivante montrent des valeurs de profondeur d'eau qui ne sont pas corrélables, ils ne peuvent pas être mis en correspondance avec l'eau de surface et ils ne peuvent pas montrer des excursions saisonnières, car ils ne sont pas alimentés

par les précipitations. Tous les niveaux d'eau mesurés par les piézomètres en question peuvent correspondre à la circulation dans les fractures des formations carbonatiques.

Lectures Piézométriques				
PK	Prof. (m)	Date	Niveau piézométrique (m)	date de lecture
30+400	10	17/10/2011	Sec	17/10/2011
32+200	15	22/12/2014	Sec Sec Sec Sec	22/12/2014 07/01/2015 12/01/2015 11/04/2015
33+074	15	17/10/2011	Sec	17/10/2011
34+000	15	04/04/2015	Sec 12.60 12.80	05/04/2015 06/04/2015 11/04/2015
34+200	15	22/12/2014	8.80 5.00 8.80 9.50 6.34 7.00 6.48	23/12/2014 07/01/2015 12/01/2015 22/03/2015 05/04/2015 06/04/2015 11/04/2015
34+400	15	05/04/2015	5.30 5.30 4.80	05/04/2015 06/04/2015 11/04/2015

Tableau III.1 : Lectures Piézométriques

Puits	PK	Profondeur en (m)	Description Lithologique
Pt1	30+400	0.00-0.40	Terre végétale
		0.40-1.00	Tuf à concrétion carbonaté
		1.00-2.00	tuf marno gréseux
		2.00-5.00	Marne argileuse verdâtre à faible intrusion calcaire
Pt2	31+641	0.00-0.40	Terre végétale
		0.40-1.25	Tuf carbonatique blanchâtre
		1.25-5.00	grès jaunâtre
Pt3	31+653	0.00-0.40	Terre végétale
		0.40-0.80	Sable fin iaunatre carbonatique
		0.80-1.25	calcaires légèrement gréseux et fracturé
		1.25-2.00	calcaire gréseux sain.dur.légèrement fissuré
		2.00-5.00	calcaire gréseux
Pt4	33+074	0.00-0.40	Terre végétale
		0.40-2.00	Marne argileuse a vendatre tendre a peu compact
		2.00-5.00	Tuf jaunatreaverdatre carbonaté a intrusion marneuse
Pt5	33+087	0.00-0.40	Terre végétale+cailloux
		0.40-1.50	Tuff carbonatique friable
		1.50-2.00	Passage argilo-mameuxplaqtique
		2.00-5.00	Tuff plus au moins mameux et très friable
Pt6	35+282	0.00-0.40 0.40-2.80 2.80-5.00	Terre végétale Tuf jaunatre a verdatre carbonaté a intrusion marneuse Marne argileuse rougeatre a verdatre tendre a peu compact

Tableau IV.2: Description lithologique du sol

RESULTATS DES ESSAIS AU LABORATOIRE SUR CAROTTES PRELEVEES

Programme d'essais:

Essais physique:

(mesures de la teneur en eau, mesures de la densité sèche et humide, degrés de saturation).

$$\omega : \text{Teneur en eau. } W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

γ_h : Densité humide.

$$\gamma_d : \text{Densité sèche. } \gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Sr : Degré de

$$\text{saturation } S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

PK	Profondeur (m)	ω %	γ_h t/m ³	γ_d t/m ³	Sr %	Interprétation des résultats suivant la Norme XP 94-011
33+600	4.70 – 5.00	26.4	1.97	1.56	97	
	9.60 – 10.00	18.2	2.09	1.77	93	
35 +282	4.70 – 5.00	9.23	1.975	1.803	50.15	Sol non saturé, dense
	9.60 – 10.00	12.74	2.11	2.874	77.68	Sol non saturé, très dense

Tableau III.3: Résultats des essais au Laboratoire

III.3. Granulométrie par tamisage:

Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80 μ m) Qui permet par exemple de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fines) ; C'est un essai qui a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leur dimension ou grosseur. Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

% < 2 mm : Pourcentage des passants inférieure à 2 mm

% < 80 μ : Pourcentage des passants inférieure à 80 μ

PK	Profondeur (m)	% < 2 mm	% < 80 μ	Obs
35 +282	4.70 – 5.00	50.90	43.33	Sol à matrice fine
	9.60 – 10.00	72.40	62.63	

Tableau III.4: Résultats des essais au Laboratoire

III.4. Limites d'Atterberg :

Limites d'Atterberg Limite de plasticité (Wp) et limite de liquidité (WL), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol : WP sépare l'état solide de l'état plastique et WL sépare l'état plastique de l'état liquide ; les sols qui présentent des limites d'Atterberg voisines, c'est à dire qui ont une faible valeur de l'indice de plasticité ($IP = WL - WP$), sont donc très sensibles à une faible variation de leur teneur en eau

Pk	Profondeur	WL %	WP %	Ic	IP %	OBS
33+600	4.70–5.00	52.75	25.69	2.68	27.06	Sol non plastique
35+282	4.70 – 5.00	36.72	22.02	1.87	14.70	Sol peu plastique, dure
	9.60 – 10.00	42.21	31.61	2.78	10.60	Sol non plastique, dure

Les essais mécaniques:

Résistance à la compression:

PK et Profondeur	Φ (cm)	H(cm)	Poids (g)	Densité (t/cm^3)	Charge (KG)	R.C (bar)	R.C.C (bar)
31+641(7.70_8.00)	8.3	17	2134	2.34	4461	8.2	8.3
33+074(8.00_8.40)	8.3	9.5	1240	2.41	3000	55	48

Conditions d'utilisation des sols en Remblais:

- Les matériaux des remblais seront établis par couche de 30 cm d'épaisseur en moyenne avant le compactage. Une couche ne devra pas être mise en place et compactée avant que la couche précédente n'ait été réceptionnée après vérification de son compactage.

- Avant la construction des remblais, il faudra retirer la couche de terre végétale, des sols faibles ou le matériel originaire des anciens remblais, effectuer un scarifiage et compactage du terrain de siège du remblai et substituer par le sol de caractéristiques non inférieures à celle du sol A 3m, pour réduire de possibles effondrements (d'après le rapport géotechnique, une excavation superficielle moyenne de 1 m inclut l'épaisseur de la terre végétale sera réalisée).
- La dimension des plus gros blocs ne doit pas dépasser cinq cents millimètres (500 mm).
- Pré-chargement de consolidation du sol support, ou surcharge provisoire de remblai.
- Mise en œuvre du remblai avec des matériaux sélectionnés et compactés par couche de 30 cm pour atteindre une compacité de 95 % de l'OPM.
- Il est considéré important qu'une pente transversale présente la surface des remblais d'au moins 4 % afin d'éviter les marécages de l'eau de pluie.
- Végétalisation des talus de déblais et de remblais. La terre végétale réutilisable destinée aux revêtements de talus doit être mise en dépôt provisoire et l'excédent mis en dépôt définitif ou évacué. Elle ne peut en aucun cas être réutilisée en remblai.
- Les matériaux de remblais seront exempts de :
 - Matériaux plastique IP > 20% ou organique.
 - Matériaux gélifs.
 - On évite les sols à forte teneur en argile.

Le terrain végétal considéré pour les vérifications de stabilité des talus des déblais, n'ont pas été considéré pour les vérifications de stabilité des remblais puisque il sera emporté par les opérations de décapage.

En respectant l'Union international des chemins de fer (UIC) et

NF-P 11300 (Guide Technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme - septembre 1992) qui prescrit la nature et l'état des sols des matériaux utilisés pour les remblais, pour la couche de fondation et pour celle de sous-ballast au-dessus du remblais même, ainsi que la méthodologie de réalisation de cette ouvrage,

NOTA

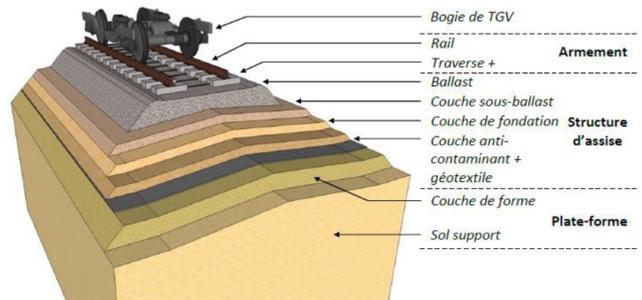
Pour notre projet La structure de la zone comprise entre le PK 30+000 et le PK 35+000 est formée de bancs de roches carbonatés, marneuses et dolomitiques, à composante alcaire .

Donc

Selon les conditions de réutilisation des matériaux définis par le GTR (Guide des Terrassement Routiers-SETRA). Les matériaux rencontrés dans cette couche sont le plus souvent des sols fins de classe A et selon la fiche UIC 719R, la classe de qualité du sol de la plate-forme, correspond globalement au **QS1**.

■ ■ *Chapitre IV:*

Dimensionnement des couches d'assise



IV.1. Introduction:

La sous-structure, située en dessous des voies, joue un rôle crucial dans la répartition et la transmission des charges générées par le passage du train sur le sol. Dans cette section, nous allons étudier en détail les épaisseurs spécifiques des différentes couches qui forment la base de la sous-structure.

IV.2. Couche d'assise :

La couche d'assise a pour objectif de garantir un comportement optimal de la voie ferrée en termes de rigidité, de stabilité et de drainage. Elle est composée de deux éléments essentiels : la couche de ballast et la sous-couche.

IV.2.1 Ballast : est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure, matériaux granulaire qui doit avoir des qualités de haute résistance, la granulométrie du ballast comprise entre 22.4 et 63 mm d'épaisseurs minimal de 25 cm

Leur qualité est exprimée à partir des essais classiques :

- Essai de la résistance à l'usure (essai Deval ou micro-Deval)
- Essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angeles)
- Essai de la résistance à la compression

IV.2.2.Sous couche :est la couche d'acclimatation entre le ballast et la plate-forme, monocouche et multicouche, constituée de matériaux granulaires bien calibrés (sable ou gravier), comprenant parfois des matelas divers, des solins plastiques (géomembranes) ou des panneaux de feutre synthétique antialissure (géotextiles), constitués de:

- **Sous ballast :** constitué de grave propre bien graduée comprise entre 0 et 31.5mm
- **Fondation :** on utilise une couche de fondation si certaines conditions du sol ne sont pas satisfaites d'une épaisseur minimale de 15cm.
- **Anti-contaminant :** protéger les sous couches supérieurs de la remontés de particules fines de la plateforme, cette couche est éventuelle.

IV.3. Plate-forme :C'est la partie supérieure de la structure du sol supportant les sous-couches, la plate-forme est constituée de terre introduite dans le cas d'un remblai ou in situ dans le cas d'une incision.

La portance de la plateforme dépend de la qualité du sol constituant (remblai ou déblai).

On peut distinguer trois classes de portance de la plateforme :

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

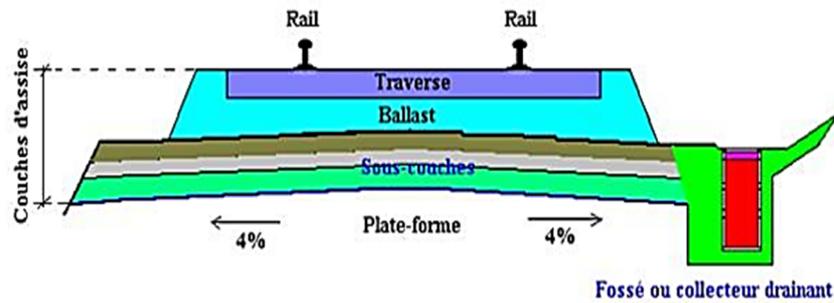


Figure IV.1 : Les couches constituant le profil en travers

IV.4. Epaisseur de couche de forme :

La portance d'une plate-forme dépend principalement de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme, ainsi que de la qualité du sol.

Pour notre projet, la classe de la plateforme est définie comme **P2**.

Tableau IV.1 : Détermination de la classe de portance de la plate-forme

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

IV.5. Epaisseur de la couche d'assise :

La formule de calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise est donnée comme suit :

$$e = \text{épaisseur ballast} + \text{épaisseur sous couche} = E + a + b + c + d + f + g$$

Les paramètres E, a, b, c, d, f et g sont données comme suit :

E	= 70 cm	- pour les plates-formes de classe de portance P1
	= 55 cm	- pour les plates-formes de classe de portance P2
	= 45 cm	- pour les plates-formes de classe de portance P3
a	= 0	- pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le - groupe UIC)
	= -05 cm	- pour les groupes UIC 3 et 4
	= -10 cm	- pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs
	= -15 cm	- pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur
b	= 0	- pour les traverses bois de longueur 2,60 m
	= $(2,50 - L)/2$	- avec L est la longueur des traverses (b en m. L en m, b peut être négatif si $L > 2,50$ m)
c	= 0	- pour un dimensionnement normal
	= -10 cm	- à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur"
	= -05 cm	- à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageur"
d	= 0	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN
	= +05 cm	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN
	= +12 cm	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	= 0	- pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes à grande vitesse.
	= +05 cm	- pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes à grande vitesse.
	= +10 cm	- pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes à grande vitesse
g	= + géotextile	
	= 0	- pas de géotextile

☞ *Remarque* : L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) a établi une classification des lignes en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic.

- Ligne de groupes (UIC 1, UIC 2, UIC 3 et UIC 4) ce sont des lignes à grande vitesse supportant un trafic important.
- Ligne de groupes (UIC 5 et UIC 6). ce sont des lignes à moyenne vitesse supportant un trafic moyen.
- Les lignes faiblement chargées des groupes (UIC 7, UIC 8 et UIC 9) correspondent en général au réseau capillaire, généralement régional, dont le trafic est faible.

IV.6. Détermination des paramètres :

Pour notre projet, les paramètres précédents prennent les valeurs suivantes :

Paramètre E :

En fonction de la classe de qualité du sol en place dans le cas de déblai et le sol rapporté dans le cas de remblai, et en fonction de la classe de qualité et l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe), on détermine la classe de portance de la plate-forme, qui permet de calculer la paramètre E.

Pour le sol support **QS1** et en absence de couche de forme, le UIC 719 prévoit une classe de portance de la plate-forme équivalente à **P2 : E = 55 cm**

En remblai : le sol utilisé dans la réalisation des remblais provient essentiellement des déblais extraits et partiellement des carrières, dans tous les cas il est considéré équivalent à la classe de qualité **QS1** dans la classification UIC 719.

Pour le sol support **QS1** et en absence de couche de forme, le UIC 719 prévoit une classe de portance de la plate-forme équivalente à **P2 : E = 55 cm**

Pour le sol support **QS2** et avec une couche de forme **QS3** d'épaisseur **35 cm**, le UIC 719 prévoit une classe de portance de la plate-forme équivalente à **P3 : E = 45 cm** (c'est le cas prévu pour notre projet).

Paramètre a :

Ligne de groupe UIC 2 (ligne à grande vitesse) : $\Rightarrow a = 0$.

Paramètre b : La longueur de la traverse Bi-Bloc est équivalente à 209.4 cm, donc :

$$b = (250 - 209.4) / 2 \Rightarrow b = 20 \text{ cm}$$

Paramètre c :

Pour un dimensionnement normal : $\Rightarrow c = 0$

Paramètre d :

La charge maximale d'essieu est 225 KN, donc : $\Rightarrow d = 5 \text{ cm}$

Paramètre f :

Notre ligne est conçue pour $V \leq 160 \text{ km/h}$, donc : $\Rightarrow f = 0$

Paramètre g :

L'épaisseur de géotextile est négligeable, mais on prend 1cm en faveur de la sécurité :

$$\Rightarrow g = 1 \text{ cm (+géotextile)}$$

Calcul de l'épaisseur « e »:

En déblai:

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

$$e = 55 + 0 + 20 + 0 + 5 + 0 + 1$$

$$e = \mathbf{81\text{cm}}$$

On prend: $e = \mathbf{85\text{ cm}}$

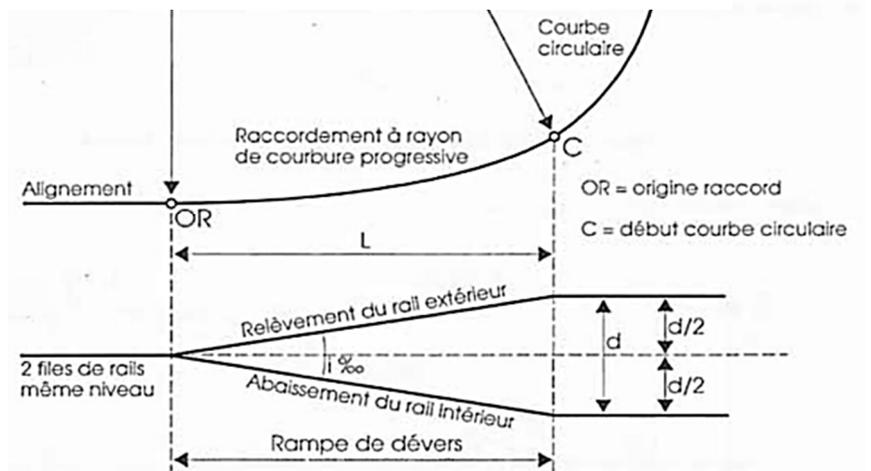
- Ballast : **30 cm** (sous traverses)
- Sous-ballast : **20 cm**
- Couche de fondation : **35 cm**

Conclusion:

Le bon dimensionnement des différents éléments du profil en travers de la voie ferrée, en respectant les normes, est crucial pour garantir la capacité de supporter les charges du matériel roulant et assurer une longue durée de vie. Les rails, les traverses et le ballast doivent être dimensionnés en fonction des charges prévues, de la stabilité et du drainage. Le choix approprié des matériaux, des dimensions et des espacements, ainsi que le respect des normes spécifiques, sont essentiels pour assurer la résistance, la stabilité et la durabilité de la voie ferrée. Une expertise spécialisée est recommandée pour obtenir un dimensionnement adéquat et une performance optimale de la voie.

Chapitre V:

Tracé ferroviaire



V.1-Introduction

La détermination précise du tracé en plan de la voie ferrée est une tâche complexe qui requiert une grande expertise technique. Les ingénieurs doivent considérer de nombreux facteurs, tels que les contraintes topographiques et les exigences du trafic ferroviaire, pour garantir la sécurité des voyageurs et la fiabilité du transport de marchandises. Ils évaluent également la stabilité du sol, la pente maximale admissible et la courbure minimale nécessaire pour assurer un roulement confortable des trains. L'étude géométrique du tracé de la voie est donc essentielle pour la réussite de tout projet ferroviaire.

V.2-Tracé en plan

L'axe de tracé en plan dessine la trajectoire de la ligne vue du dessus. Il se composera de la Succession des alignements droits et des courbes circulaires, qu'il faut raccorder entre eux par des Courbes de raccordement progressif. On trouve deux vitesses caractéristiques. Dans le chemins de fer

- Vitesse des trains de voyageurs (maximale) : =160 km/h
- Vitesse des trains de marchandises (minimale) : =100 km/h

Le tracé en plan d'une voie ferrée doit respecter certaines règles pour assurer la sécurité des voyageurs et du personnel ferroviaire.

Tout d'abord, il est important de prendre en compte les caractéristiques du terrain sur lequel la voie sera construite. Les pentes, les courbes et les dénivelés doivent être étudiés avec soin pour éviter les terrassements importants.

- Évitez de traverser des terres agricoles, des zones forestières et des propriétés privées
- Éviter de traverser les vallées fluviales pour réduire la quantité d'œuvres d'art, ce qui est des raisons économiques.

V.2-1 Eléments du tracé en plan

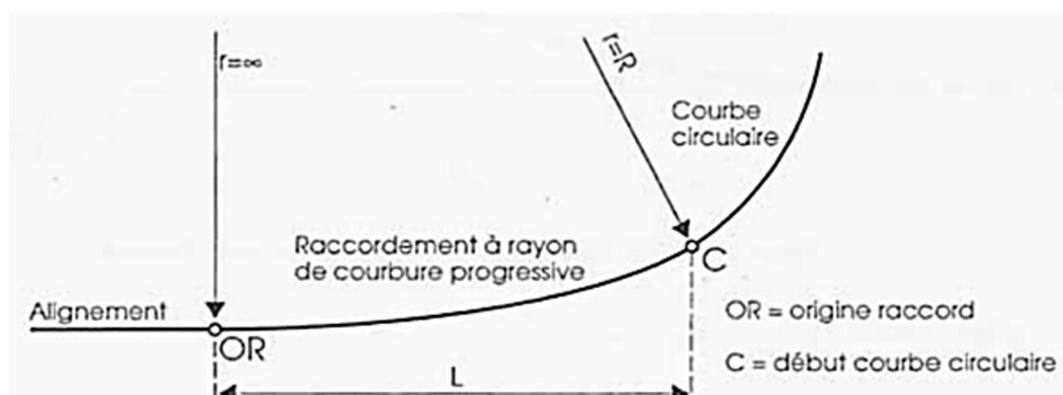


Figure V.1. Raccordement à rayon de courbure progressive

V.2.1.1. Alignement droit

C'est une technique consiste à tracer une ligne droite entre deux points donnés, en utilisant des instruments de mesure précis

Valeur limite normale	V/2
Valeur limite exceptionnelle	V/3

N.B : pour notre projet, $L_{min} = V/2 = 160/2 = 80$ m

V.2.1.2-courbes circulaires

Dans les zones où le terrain ne permet pas l'alignement, Utilisez des connexions circulaires avec le plus grand rayon possible. Dans certains cas, nous n'aimons pas faire de gros rayons, nous sommes Fallait utiliser un rayon plus ou moins faible, mais correspondant à la vitesse basique.

Elles sont caractérisées par les éléments suivants :

-Le rayon minimum

La valeur du rayon minimum admissible est limité pour assurer le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants elle déterminé comme

$$\text{suit: } R_{min} = \frac{11,8.V_{max}^2}{D_{Rmin} + I_{max}} [m]$$

Avec :

R_{min} = Rayon de courbe (m) minimum

V = Vitesse (km/h) des trains voyageurs

I = Insuffisance de dévers (mm)

E = Excès de dévers (mm)

D_{Rmin} = dévers pour le rayon minimum.

2-Les dévers

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

▀ Devers théorique :(d_{th})

Le dévers théorique est s'agit de la pente latérale que l'on donne aux rails pour permettre une meilleure stabilité des trains en courbe.

$$d_{th} = \frac{11,8 \times V_R^2}{R}$$

•Dévers pratique (prescrit): (dP)

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

Il est obtenue à partir de selon la formule suivante :

$$d_P = \frac{1000 \cdot c}{R} (\text{mm})$$

R : Rayon de courbe (m)

C : coefficient de dévers $C = 0.006 \times V_R^2$

• Dévers maximum admissible (Dmax):

Le dévers maximale est limitée afin de ne pas compromettre le confort des passagers et d'éviter Déplacement de la cargaison lorsqu'un train de marchandises tourne et s'arrête brusquement.

pour notre projet, Dmax= 160 mm

Valeur normale	120
Valeur maximale	150
Valeur exceptionnelle	160

V.3. Insuffisance de dévers (I)

Lorsque la vitesse de train empruntant une courbe est plus 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'extérieur de la courbe ; Elle est donné par :

$$I = d_{th} - d_P$$

V.4. Excès de dévers (E) :

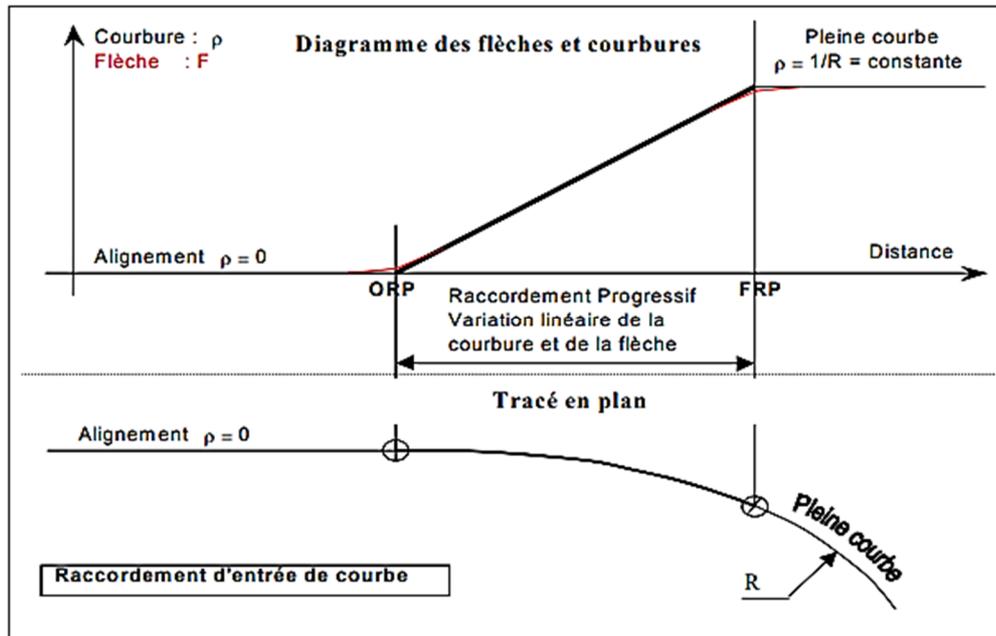
Lorsque la vitesse d'un train en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce train est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers ; Cet excès de

dévers est calculé comme suit : $E = d_P - \frac{11.8 \times V_m^2}{R}$

V=Vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h)

V.4.1. courbe de raccordement progressif (CRP) :

C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre un alignement et une pleine courbe ou entre deux courbes circulaires de rayons différents.



FRP : Fin du raccordement progressif. ORP : Origine de raccordement progressif,

Figure V.2. Raccordement d'entrée de courbe

-La clothoïde

La courbe de liaison la plus utilisée est la clothoïde, dont la courbure est Proportionnel à l'abscisse de la courbe, y compris sa spécification sous forme de courbe.

Ce type de connexion est utilisé pour :

- Introduire les techniques progressivement.
- Concevoir de belles mises en page.
- Respecter les conditions de confort et de sécurité.

Elle est donné par : $A^2 = L_{RP} \cdot R$

V.4.2.Limite de la variation de dévers :

En raison du changement de dévers de la courbe de transition, les deux rails forment un "Gauche" qui affecte la stabilité du véhicule. dont le taux de montée ou de descente Voie du véhicule par rapport à une autre voie : 50 mm/s (60 mm/s max)

Afin d'éviter l'instabilité du trafic et déraillement, la longueur de la courbe de transition dépendra du dévers et de la vitesse adoptés

La variation de dévers admissible est calculée selon la relation suivante : $\frac{\Delta d}{\Delta l} \leq \frac{180}{V_R}$

Limites de ce taux exprimé en mm (la vitesse est exprimée en km/h):

Valeur maximale normale	180/V
Valeur maximale exceptionnelle	216/V

V.5.Limite de la variation d'insuffisance de dévers :

Quand le véhicule parcourt la clothoïde, le voyageur ressent progressivement la force centrifuge non compensée à cause de la variation de l'insuffisance de dévers ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$), cette progression doit être si possible inconsciente pour le voyageur.

Pour le mouvement le plus rapide, les valeurs limites sont :

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

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

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I}{L_R} \cdot \frac{V_R}{3.6}$$

Avec :

I = Insuffisance dans la pleine courbe (en mm),

V = Vitesse du mouvement (en km/h),

LRP = Longueur du RP (en m).

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 :

Vitesse des trains rapides VR = 160 Km/h.

Vitesse des trains de marchandises Vm = 100 Km/h

- fiche (UIC 703 R) pour la vitesse maximale de 160 Km/h

-calcul du rayon minimal :

$$R_{min} = \frac{11,8.V_R^2}{D_{Rmin} + I_{max}}$$

Valeurs	Normales	Maximales	Exceptionnelles
I(mm)	100	120	150
E(mm)	70	90	110
D(mm)	120	150	160
dI/dt (mm/s)	25	70	-
dd/dt (mm/s)	28	35	-

$$\text{Avec : } d_{Rmin} = \frac{V_R^2 \cdot E_{max} + V_m^2 \cdot I_{max}}{V_R^2 - V_m^2}$$

$$d_{Rmin} = 276.66 \text{ mm}$$

le dévers associé au rayon minimal est supérieur au dévers exceptionnel, donc on prend

$$d_{Rmin} = 160 \text{ mm}$$

$$R_{min} = 974.45 \text{ m} \longrightarrow \text{on prend } R_{min} = 1000 \text{ m}$$

-Le dévers théorique :

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_R^2}{R} \longrightarrow \frac{11.8 \times 160^2}{1000} = 302.08 \quad d_{th} = 302.08$$

-le dévers pratique :

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

$$\text{avec } C = 0.006 \times V_R^2$$

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

$$c = 153.6$$

$$d_p = \frac{1000 \times 153.6}{1000} = 153.6 \text{ mm}$$

-Insuffisance de dévers :

$$I = D_{th} - D_p \longrightarrow I = 303 - 154 = 149 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \text{ c'est vérifié !}$$

-Excès de dévers :

$$E = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R_{min}} \longrightarrow E = 153.6 - \frac{11.8 \times 100^2}{1000} = 35.6$$

$$E = 35.6 \leq 70 \text{ c'est vérifié}$$

-Limite de la variation de dévers :

$$\Delta d / \Delta l = R_p \longrightarrow R_p = 180 / V_R \longrightarrow R_p = 180 / 160 = 1.125 \text{ mm/m}$$

$$\Delta d / \Delta l = 1.125 \text{ mm/m}$$

$$\text{-Limite de la variation d'insuffisance de dévers : } \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I}{L_R} \cdot \frac{V_R}{3.6} \text{ avec } L_R = \frac{d_p}{\frac{\Delta d}{\Delta l}}$$

$$= 153.6 / 1.125 = 136.53 \text{ m} \longrightarrow$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{149}{136.5} \cdot \frac{160}{3.6} = 48.5 \text{ mm/s} \leq 70 \text{ c'est vérifié}$$

-La clothoïde :

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

$$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{1000 \times 136.5} = 369.45$$

Rayon (m)	VR (km/h)	dth (mm)	dmax (mm)	Dp (mm)	E (mm)	I (mm)	$\frac{\Delta d}{\Delta l}$	LR (m)	$\frac{\Delta l}{\Delta t}$ (mm/s)	A
1000	160	302.08	160	153.6	35.6	149	1.125	136.53	48.5	369.45

Tableau V.1.- Calcul récapitulatif des éléments géométriques :

V.6-Profil en long :

Le profil en long de la voie est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires. Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

V.6.1-les déclivités

-Pour le tronçon de voie dont la hauteur décroît dans le sens de la circulation, on dit **Pente** ou pente négative.

-Pour les tronçons de voie dont la hauteur augmente dans le sens de la circulation, on dit pente positive ou **rampe**.

-Pour la portion de piste où l'altitude est constante, on parle en **palier**.

Le choix de la valeur du gradient est conditionnel au départ et au problème Freinage par rapport à la capacité de l'équipement.

Les valeurs admissibles qu'une pente ne doit pas dépasser varient en fonction de sa longueur :

-Sur les déclivité inférieures à 3000 m de longueur, 16‰ ne doit pas être dépassé et Anormal 18‰.

-Sur les déclivité d'une longueur comprise entre 3 000 mètres et 15 000 mètres, elle diminue progressivement

De 16‰ à 13‰, surtout de 18‰ à 15‰.

-Sur les déclivité de plus de 15 000 mètres, la pente ne doit pas dépasser 13 ‰ , et Anormal 15‰.

-Contraintes du profil en long

Sauf cas exceptionnel, il ne doit pas y avoir d'interférences entre courbes de raccordement progressif en plan (clothoïde) et courbes de raccordement en profil en long définies dans l'article ci-après

3-2-Déclivité maximale :

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur. En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-après ; cependant dans le cadre d'une étude de variante, ces valeurs pourront être dépassées tout en respectant les dispositions reprises dans la dernière version de l'instruction

SNCF/RFF IN 0272. :(Référentiel technique - Géométrie de la voie)

Le tableau ci-après précise la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application :

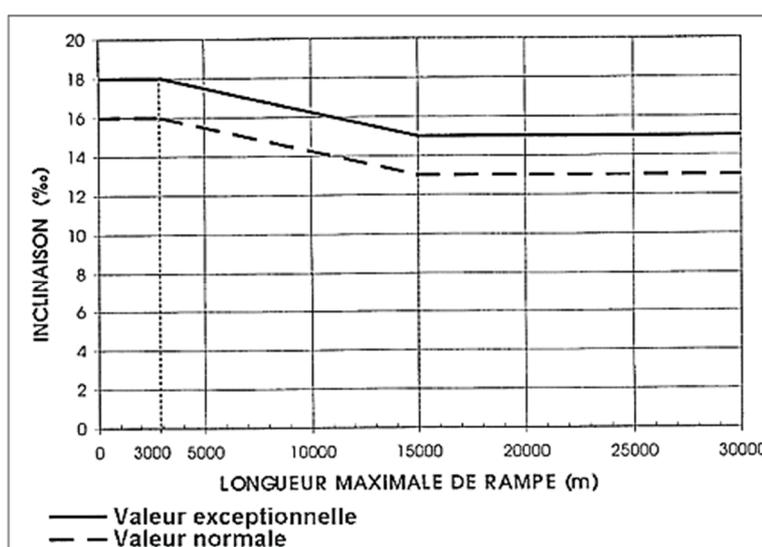


Tableau V.2. Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur

- Déclivités minimale

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

Cette longueur, exprimée en m, est fixée à :

Valeur minimale normale	$v/2$
Valeur minimale exceptionnelle	$v/2.5$

V.6.2. Rayon admissible en raccords de profil en long :

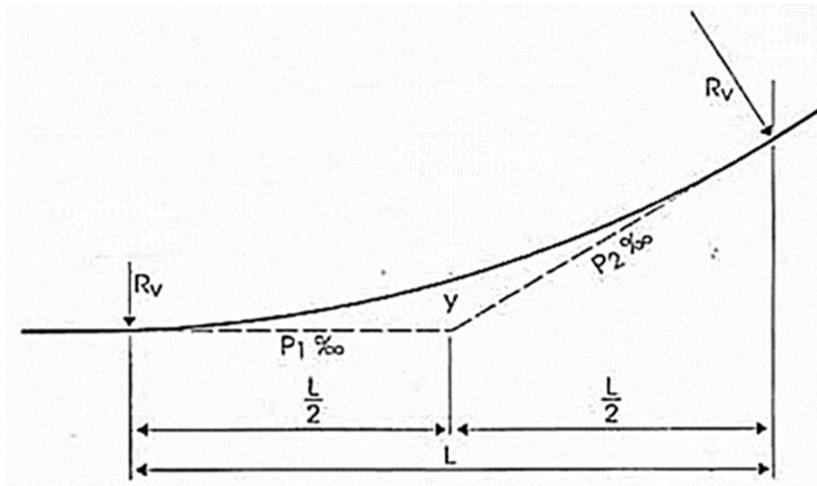


Figure V.3: Schéma du raccordement circulaire

Lorsque la différence algébrique de deux déclivités successives est importante, celles-ci sont raccordées entre elles par des cercles dans le plan vertical. Ces cercles sont appelés « raccords de déclivité » ou « raccords circulaires »

Dans la pose de voies neuves ou renouvelées on doit s'attacher à réaliser des raccords de déclivités aux points de changement de pente lorsque la différence algébrique des déclivités est $\geq 2\text{ ‰}$ (cette valeur peut être portée à 4 ‰ lorsque la vitesse est $\leq 60\text{ km/h}$)

Sur voies principales, pour ne pas compromettre le confort des voyageurs, le rayon minimal de raccordement est fixé en fonction de la vitesse limite V de la ligne :

Valeur limite normale : $R = 0,35 \times V^2$

Valeur limite exceptionnelle : $R = 0,25 \times V^2$

avec R = Rayon de la courbe de raccord (en m)

V = Vitesse du train le plus rapide (en km/h)

Le rayon ne devra pas, sauf dérogation, être inférieur à **900 m**. L'application de ces formules permet de limiter l'accélération verticale subie par les voyageurs à respectivement **0,22** et **0,31 m/s²**.

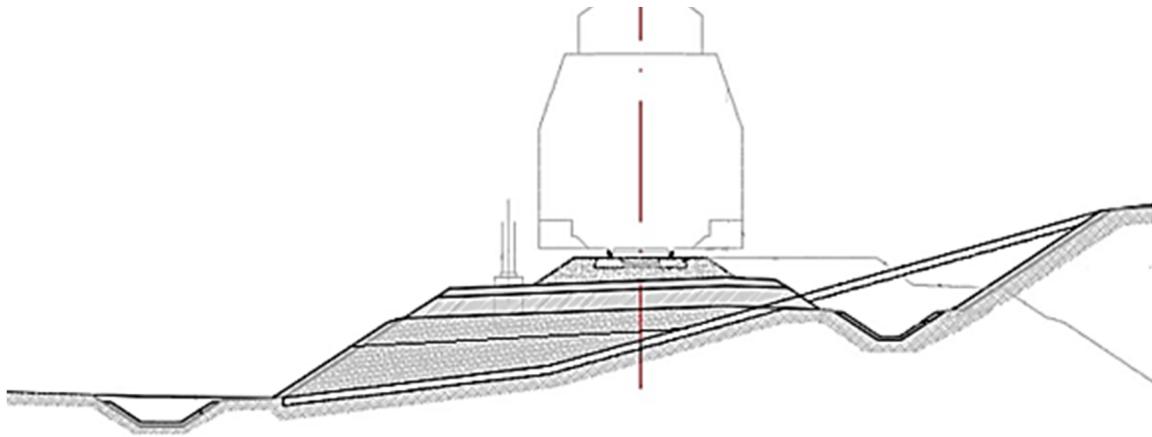
N.B : pour notre projet

$$R_{\min} = 0,35 \times V^2 = 0,35 \times 160^2 = 8960\text{ m} \longrightarrow R_{\min} = 9000\text{ m}$$



Chapitre VI:

Profil en travers



Le profil en travers correspond à une coupe verticale perpendiculaire à l'axe en plan de la ligne nouvelle. Il précise les dévers appliqués à la voie, et il permet de visualiser :

- * Les différentes couches constituant l'assise ferroviaire.
- * Les gabarits, entraxes et clôtures.
- * Les dispositifs hydrauliques et les équipements de signalisation et de télécommunications.

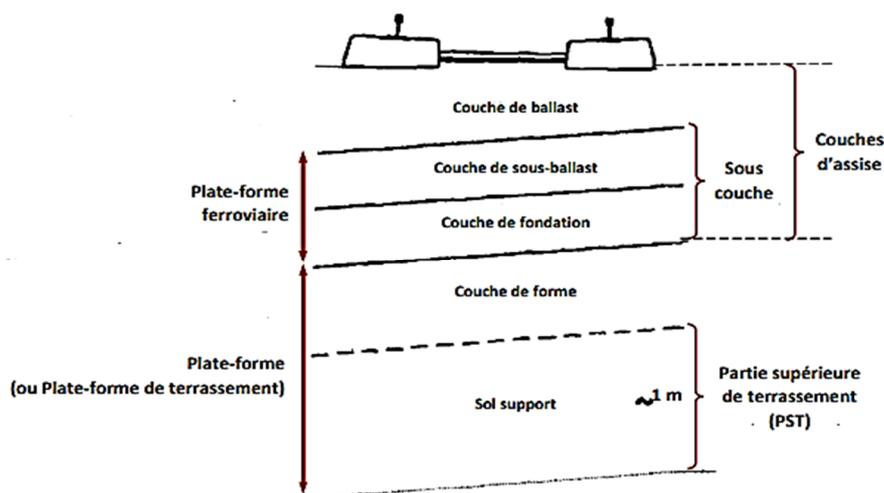


Figure VI.1. Les couches constituant le profil en travers

-Gabarits et entraxes

VI.1.Gabarits

Le monorail est situé sur la plate-forme ferroviaire de 8,00 m de large. Une zone sera réservée pour l'installation des équipements de signalisation, de télécommunication, etc. L'axe de la tige caténaire doit être à au moins 3,25 m de l'axe de la voie. Sur la voie à ciel ouvert, un canal de circulation du personnel est disposé horizontalement sur un côté de la voie. L'emprise est limitée à au moins 25 m, mesurés à partir du rail extérieur (de chaque côté).

VI.1.2.Entraxe

La distance régulière entre les voies est de 4,20 mètres : une voie unique est construite à son emplacement définitif et l'axe de la seconde future voie sera placé ultérieurement à 4,20 mètres de l'axe de la voie unique. La distance entre la station d'intersection et le centre de la voie de la structure d'ingénierie est de 5 à 6,5 m.

VI.1.3.Clôtures

Des clôtures (2,0 m de haut) de part et d'autre de la plate-forme protégeront la ligne sur tout son parcours. 5,0 m sous la distance de la clôture :

- Découpez des rainures de crête.
- Pied de remblai.

- Imprégner le bord du bassin. Ces clôtures sont des éléments indispensables pour :
 - Sécurité contre les risques accidentels (humains ou animaux)
 - Régularité du trafic.
 - Aspects visuels, notamment en rapport avec les œuvres d'art.

Calcul des cubatures

VI.1.4.Méthode de calcul

Il existe plusieurs manières de calculer un cube, parmi lesquelles on peut citer :
méthode de la surface moyenne.

Méthode de longueur applicable, etc...

Aucune de ces méthodes ne donne de résultats précis, et afin de rapprocher les résultats de la précision, une certaine marge d'erreur doit être ajoutée (dans l'appréciation de l'ingénieur), et les résultats obtenus seront utilisés pour l'estimation du coût du projet.

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait avec le logiciel (COVADIS 13).

Terrassent	Remblai	Déblai
volume (m ³)	68041.636	144699.594

Tableau VI .1.Volume des terrassements

Assise ferroviaire	Ballast	Sous-ballast	Couche de forme
volume (m ³)	9615.276	6410.184	11217.822

Tableau VI .2.Volumes des couches d'assise ferroviaires

■ ■ *Chapitre VII:*

Superstructure de la voie



VII .1. Introduction

La superstructure de la voie est un élément essentiel de l'infrastructure ferroviaire. Elle est composée de différents éléments qui assurent la stabilité et la sécurité du chemin de fer.

VII .2.Les voies

Les voies sont les barres d'acier qui constituent la surface sur laquelle les trains roulent. Elles sont disposées en deux rangées parallèles aux traverses en béton. Les voies sont fixées aux traverses à l'aide de fixations spéciales.

Les voies doivent être régulièrement entretenues pour garantir leur bon fonctionnement. Les rails peuvent s'user avec le temps et nécessiter d'être remplacés. Des inspections régulières sont effectuées pour détecter tout défaut ou anomalie dans les voies.

VII .2.1.Les rails

Les rails sont des éléments clés de la superstructure qui soutiennent les trains et les wagons dans leur mouvement le long de la voie. Ils sont fabriqués à partir d'un alliage de fer et d'acier, et sont conçus pour résister à des charges lourdes et à des conditions climatiques extrêmes. Les rails sont disposés en paires parallèles et fixés à des traverses en bois ou en béton.

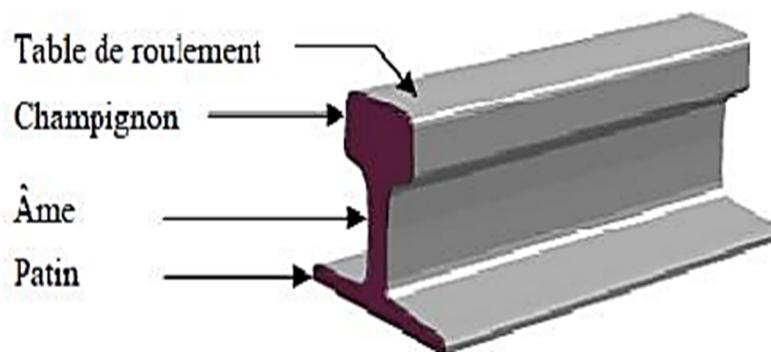
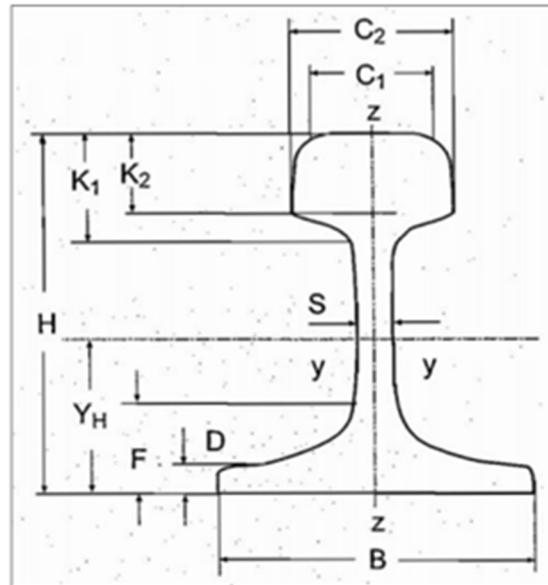


Figure VII.1.Composition des rails

VII .2.2. Caractéristiques générales du rail

Le profil :

Le type de rail utilisé pour notre projet est le rail Vignole, c'est un type de rail largement utilisé actuellement. Tel que le profil adopté est le profil UIC 60 E1, ce rail comporte un patin (partie inférieure), un âme (partie intermédiaire) et un champignon (partie supérieure).



Le Poids

La caractérisation du rail est faite par l'expression de son poids par mètre linéaire. Une caractérisation standardisée par l'UIC (Union International des Chemins de fer).

Inclinaison des rails:

La pente du rail représente l'angle entre l'axe de symétrie du profil du rail et l'axe de symétrie du rail. Perpendiculaire à la face du rouleau. Pour les lignes à grande vitesse, l'angle d'inclinaison est Le rail est de 1/20 et a une tolérance de mise en service de 0,01. En raison de cette tendance, Le guidage des essieux a été amélioré afin que les trains soient toujours ramenés sur leurs essieux. Il aide également à réduire les frottements dans les virages.

L'écartement entre les rails

La voie normale sera construite à écartement normal $e = 1435 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, mesurée entre les bords intérieurs des champignons des rails et à 14 mm sous le plan de roulement.

Résistance à la traction

La Résistance à la traction est $\geq 880 \text{ N/mm}^2$ avec un allongement $\geq 10 \%$

VII .2.3.Soudage des LRS

La pose historique était en barres normales de longueurs limitées, elle nécessitait l'assemblage des barres par éclissage boulonné qui doit permettre la dilatation des rails. Le coût de maintenance est élevé suite à l'usure du montage imparfait entre les barres. La pose moderne est en LRS, tel que l'assemblage des barres se fait par soudage :

- Soudage par forgeage électrique
- Soudage aluminothermique

Le soudage par forgeage électrique est une technique de soudage à haute température qui permet d'assembler des pièces en métal. Cette méthode utilise un courant électrique pour chauffer les métaux à souder, puis une pression élevée pour les forger ensemble. Le résultat est une soudure solide et durable qui résiste aux contraintes mécaniques.

Le soudage aluminothermique est une technique utilise une réaction chimique entre l'aluminium et l'oxyde métallique pour produire une chaleur intense qui fait fondre les métaux à souder. La soudure obtenue est très résistante et peut être utilisée dans des environnements difficiles.



Figure VII.2. Le soudage aluminothermique

VII .2.4. Avantages et inconvénients des LRS

Les principaux avantage du LRS sont

- Coûts de maintenance réduits.
- Réduction des défauts et de l'usure des rails.
- Réduction des émissions sonores et acoustiques.
- Facilite la mécanisation de la pose et de l'entretien des voies.

Les principaux inconvénients du LRS sont:

- Risque de déformation dû au flambement de la voie dû à la contrainte de compression Trop haut par temps très chaud.
- Risque plus élevé par rapport aux barres de frein de rail normales Extrêmement froid.
- Utiliser plus de lest pour mieux sécuriser les traverses.

VII .3.Les traverses

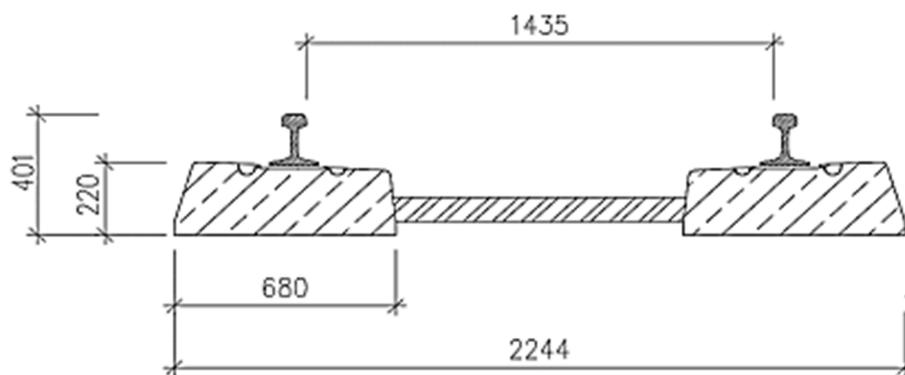
Les traverses sont des éléments en bois ou en béton(mono bloc et bi-bloc) qui soutiennent les rails. Elles sont posées perpendiculairement à la direction de la voie et espacées régulièrement.

Les traverses doivent être suffisamment solides pour supporter le poids des rails et des trains, tout en étant assez flexibles pour absorber les vibrations et les chocs. Elles doivent également être protégées contre l'humidité et les insectes pour éviter leur détérioration.



Figure VII.3.- Traverse en béton-Traverse en bois

Dans notre projet, les traverses utilisées sont des traverses bi-blocs formées de deux blocs de béton, (blochets) en béton armé reliés par une entretoise métallique.



FigureVII.4. traverse bi-blocs

– Les dimension des traverses bi-blocs utilisées

Leurs principales caractéristiques sont :

- Le poids minimum : 185 kg
- Charge supporté : < 45 000 t/jours
- Durée d'utilisation espérée : 50 ans



Figure VII.5. -Traverse bi-bloc

VII .4.Les attaches

L'attache est un dispositif utilisé pour fixer un rail à sa traverse pour empêcher tout mouvement.

Le mode de fixation utilisé varie selon les traverses, le type de rail et la méthode installation de rails (LRS ou barres régulières). Nous distinguons:

-L'attache rigide : Elle manque de souplesse, elle ne suit donc pas le mouvement vertical de l'appareil lorsque les roues passent le rail. Cela fournit un bon support transversal pour le rail, mais pas pour le dos rien sur ce support longitudinal qui lui permet de marcher, c'est-à-dire. bouger longitudinalement sous l'influence de forces de dilatation, de freinage ou d'accélération convois

-L'attache élastique : Il tolère avec souplesse le mouvement vertical du rail, surtout sur la face supérieure, il assure tout de même le rail et son bon maintien latéral peut résister aux mouvements longitudinaux et peut être utilisé pour monter le LRS.

Pour notre projet, l'attache utilisée est une attache élastique de type NABLA.

l'attache de type NABLA

L'attache Nabla est constituée d'un crapaud (ressort à lames) maintenu en place par un écrou "à vis". la tige filetée est vissée dans les encoches reliées au bloc traverse.

Le rail repose généralement sur une semelle en caoutchouc rainuré qui agit comme un amortisseur Ce type d'attache es t le plus répandu au monde, il convient aux longs rails soudés Blocs de béton.



Les constituant de l'attache de type NABLA

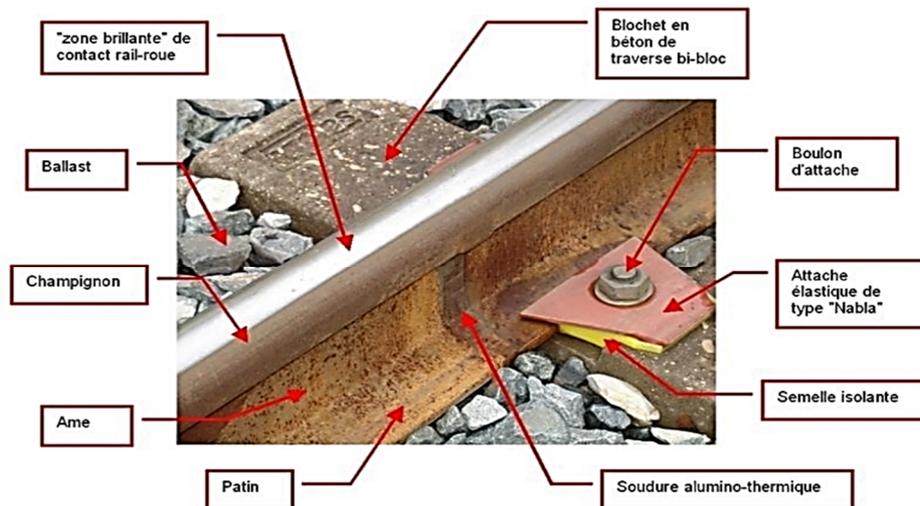


Figure VII.6. -Constituant du rail

VII .5.Les appareils de voie

Les appareils de voie sont des éléments clés dans la construction et l'entretien des voies ferrées. Ils permettent aux trains de changer de direction ou de voie en toute sécurité, tout en maintenant une vitesse constante. Ces dispositifs sophistiqués sont conçus pour résister à des conditions météorologiques extrêmes et à un trafic intense.

Il existe différents types d'appareils de voie, tels que les aiguillages, les croisements et les jonctions. Chacun de ces dispositifs est conçu pour répondre à des besoins spécifiques et peut être adapté en fonction des exigences locales. Les ingénieurs ferroviaires travaillent sans

relâche pour améliorer la conception et la performance de ces appareils, afin de garantir la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire.

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

VII .5.1-Les branchements

VII . 5.1-1. Branchement simple :

C'est le type d'appareil de voie utilisé dans le tronçon étudié (dans les gares de croisement qui contiennent une voie principale et une voie d'évitement). Il permet à une voie de ce ramifié en deux.

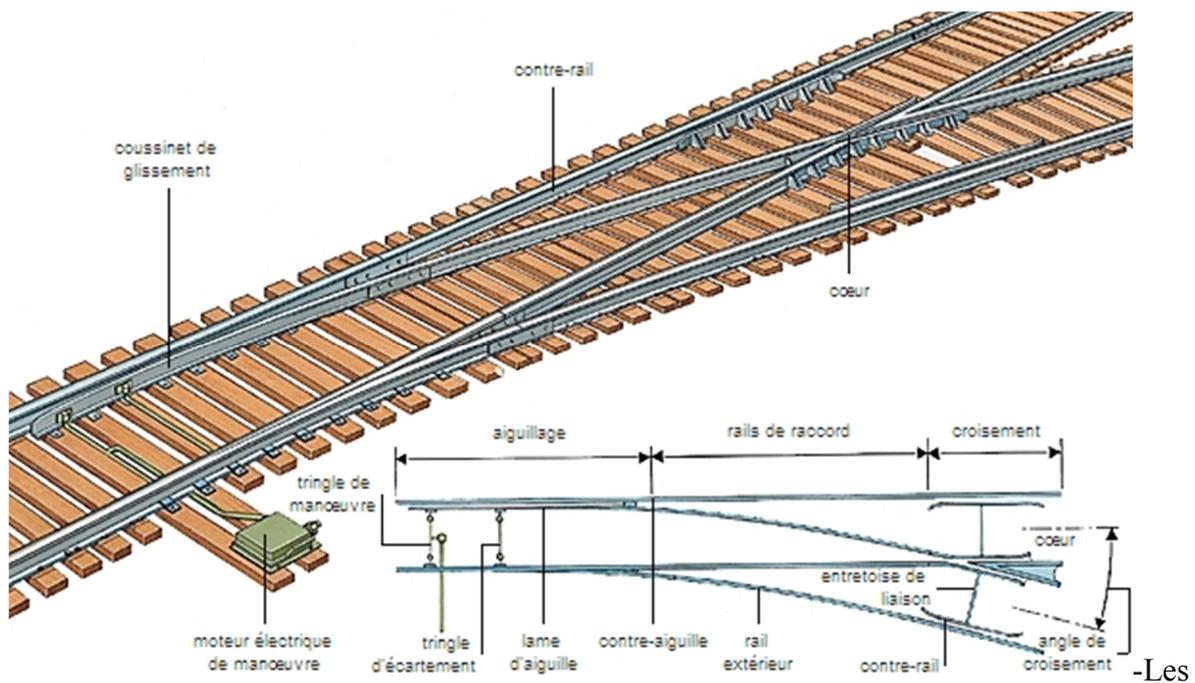


Figure VII.7. Eléments constitutifs d'un branchement simple

VII . 5.1.2.Branchement symétrique :

Sont des branchements comportant deux voies déviées divergentes de même rayon

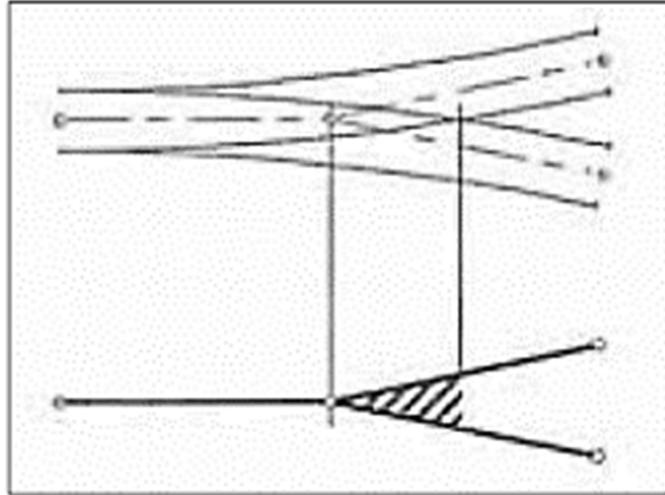
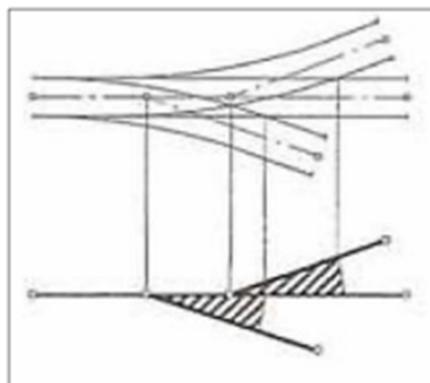
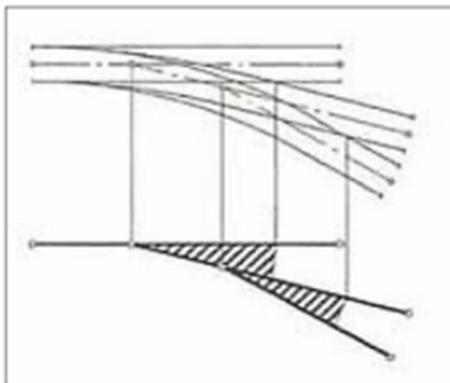


Figure VII.8. -Schéma d'un branchement symétrique

VII . 5.1.3. Branchement double : Sont constitués par deux branchements simples intercalés. Ils peuvent être unilatéraux lorsqu'ils permettent deux passages en déviation d'un des côtés de la voie directe, ou bilatéraux lorsqu'ils permettent une déviation de chaque côté de la voie directe. Ils sont utilisés uniquement lorsque la place disponible est limitée.



-Schéma d'un branchement double unilatéral

-Schéma d'un branchement double bilatéral

2-Les traversées de voie

Les traversées simples permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre.

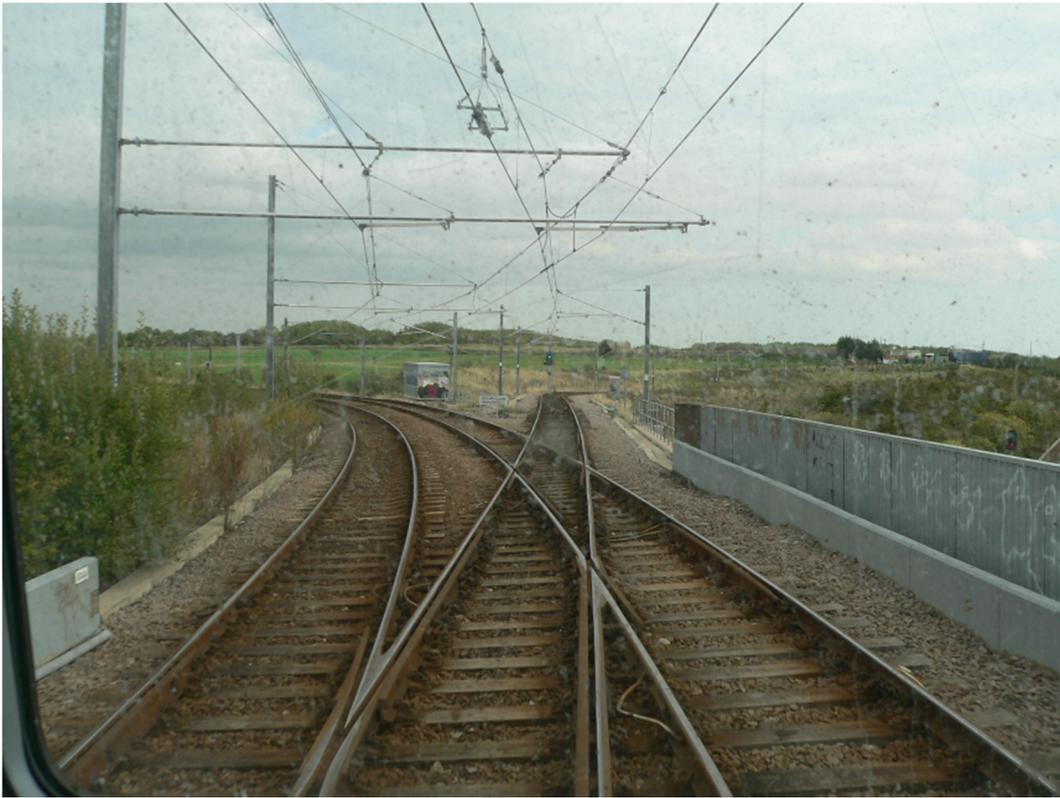


Figure VII.9. --Traversées simples

VII . 5.1.4. Les traversées-jonctions

Sont des combinaisons de branchements simples et traversées de voie sur un espace réduit. Elles permettent aux véhicules de passer d'une voie à l'autre sans interruption du roulement par un croisement.

Il y a lieu de distinguer :

La traversée-jonction simple, qui remplace deux branchements simples et une traversée de voie.

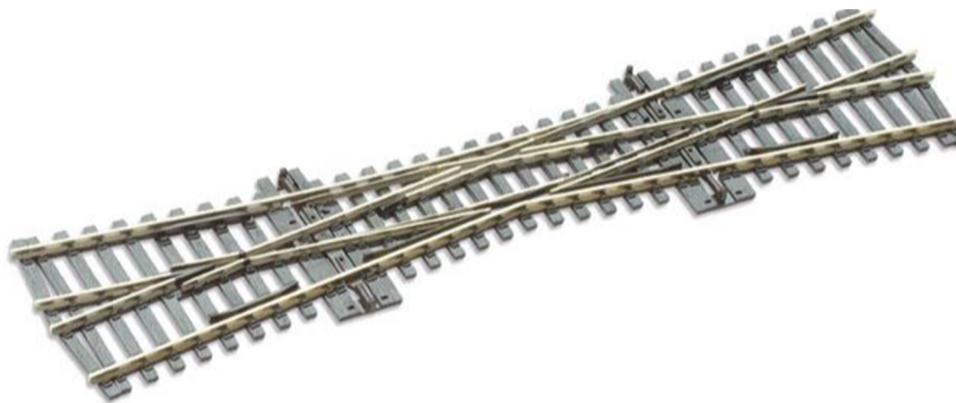


Figure VII.10. -La traversée-jonction simple

La traversée-jonction double, qui est la combinaison de quatre branchements simples et d'une traversée de voie.

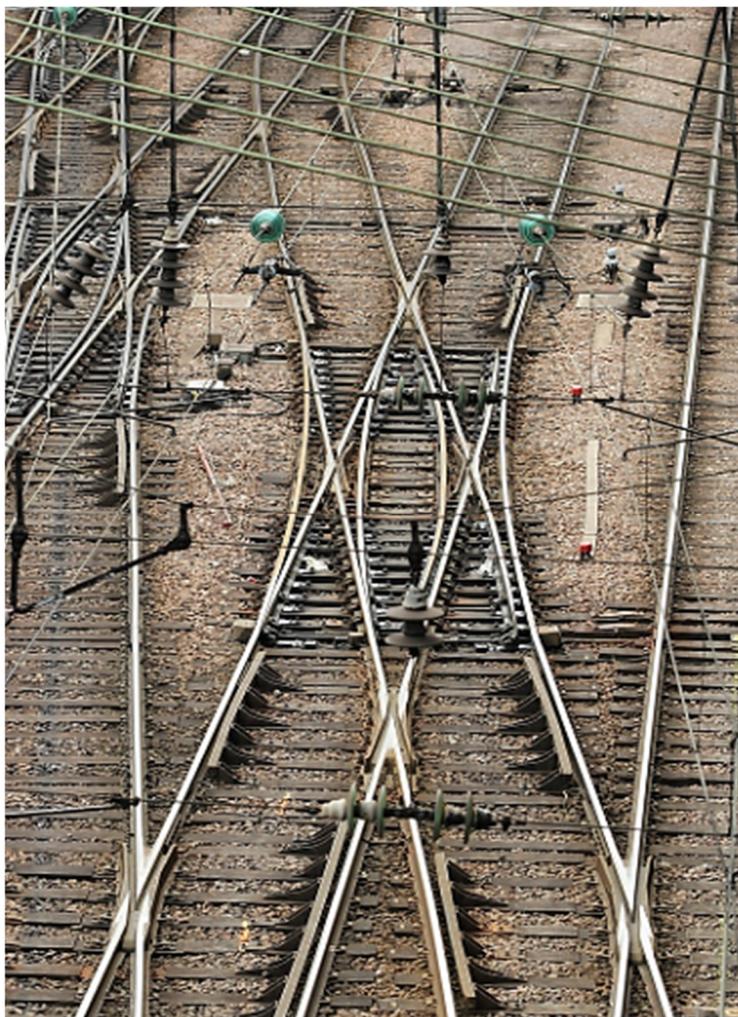


Figure VII.11. -La traversée-jonction double

Chapitre –VIII–

Signalisation ferroviaire



VIII.1. Introduction

La signalisation ferroviaire est définie comme un ensemble de systèmes visant à contrôler le trafic ferroviaire de manière plus efficace et en toute sécurité.

Depuis la naissance du chemin de fer, il est nécessaire d'assurer la sécurité et la fluidité des trains. Par conséquent, les systèmes de contrôle et de sécurité sont nécessaires et leur développement n'a cessé de croître. Au fil du temps, les signaux sont passés de signaux manuels à des systèmes contrôlés par ordinateur.

2-Evolution des systèmes de signalisation

Tous les systèmes de signalisation ferroviaire qui existent depuis l'aube des chemins de fer, y compris ceux très complexes en usage aujourd'hui, ont un concept fondamental : à moins que les trains ne soient autorisés à occuper la même section de voie en même temps, ils ne peuvent pas entrer en collision.

Par conséquent, les lignes ferroviaires sont divisées en plusieurs sections (block sections). En mode d'opération normal, un seul train est donc autorisé à circuler au sein de chaque section à la fois.

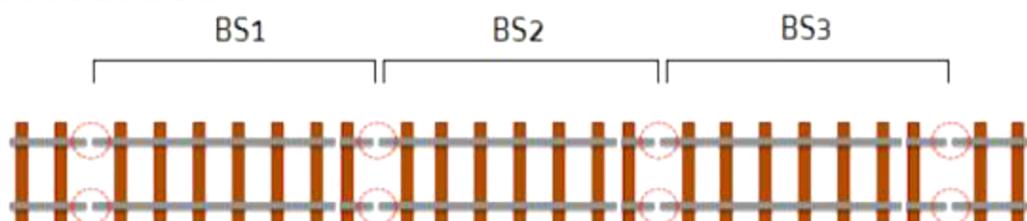


Figure VIII.01 : Voie divisée en sections

VIII.2.1. Evolution des systèmes de signalisation à blocs

En 1850, les premiers aiguilleurs de trains se tenaient à intervalles (blocs) le long de la ligne avec des chronomètres et utilisaient des signaux manuels pour informer les conducteurs de l'état de circulation, ce processus avait mobilisé considérablement les ressources du personnel

Au début du 20ème siècle (1900), les signaux mécaniques fixes ont été introduits. Et grâce à l'invention du télégraphe puis du téléphone quelques années plus tard, il est devenu possible pour les agents d'échanger des messages (d'abord un certain nombre de sonneries sur une cloche, ensuite un appel téléphonique) pour confirmer qu'un train a libéré un bloc spécifique.

Vers 1930, les premiers signaux optiques ont vu le jour. L'ensemble du système a été intitulé « système à blocs téléphoniques ». Pendant la même époque, lorsque des signaux

mécaniques fixes ont commencé à remplacer les signaux manuels, le bloc semi-automatique est né.

Aujourd'hui, la signalisation ferroviaire est basée sur des blocs complètement automatiques, donc ne nécessitant aucune intervention manuelle. Une ligne équipée de blocs automatiques (interlocking) est divisée en plusieurs sections dont la longueur est supérieure à la distance de freinage de train la plus grande.

VIII.2.2. Les systèmes ATP

Au début des années 1980, un système de signalisation ferroviaire moderne a été introduit pour améliorer la sécurité.

Le premier système de protection des trains ATP (Automatic Train Protection) fournit une indication de vitesse cible et déclenche une alarme sonore pour avertir le conducteur en cas de dépassement d'un signal ou de dépassement de la limite de vitesse. De plus, le système applique automatiquement les freins si le conducteur ne réagit pas à l'avertissement. L'un des principes clés du système ATP est le concept de modèle de freinage, un modèle mathématique applicable à tout véhicule directionnel.

L'ATP permet de prédire la vitesse sécuritaire maximale du train, à partir des données suivantes :

- ▀ Distance but.
- ▀ Vitesse actuelle.
- ▀ Les caractéristiques physiques du train.

Une fois le modèle de freinage calculé, il est facile de déterminer la vitesse maximale avec laquelle le train peut se déplacer tout en pouvant s'arrêter en toute sécurité avant le point cible.

VIII.2.3. Transition des systèmes ATP vers ETRMS

Au fil des ans, un grand nombre de systèmes ATP différents ont été développés et exploités, avec des exigences nationales, des normes techniques et des règlements d'exploitation différents. Cela crée de nombreuses incompatibilités techniques entre différents matériaux, notamment pour le trafic transfrontalier.

Suite à une décision du ministère européen des Transports en décembre 1989, l'Union européenne a lancé un projet pour résoudre les problèmes d'interopérabilité liés à la signalisation ferroviaire et au contrôle/commande des trains. À partir de 1990, l'Institut européen de recherche ferroviaire (ERRI) réfléchit à l'idée de développer un système commun aux pays européens, et le système ERTMS (European Rail Traffic Management System) devient la norme de signalisation.

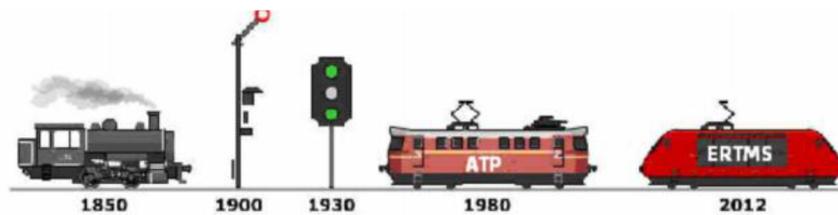


Figure VIII.02 : Evolution de la signalisation

L'ERTMS est créé pour mettre en œuvre une plate-forme interopérable commune pour les systèmes de signalisation des chemins de fer, et donc : faciliter le passage des frontières, ouvrir le marché de la signalisation ferroviaire, augmenter les vitesses commerciales, réduire les intervalles entre deux trains, diminuer les coûts de maintenance et assurer une sécurité maximale.

L'ERTMS est actuellement la technologie la plus utilisée dans la signalisation des nouvelles lignes ferroviaires en Europe et, de plus en plus, dans le monde entier.

ERTMS se compose essentiellement du système de contrôle/commande ETCS (European Train Control System) et du système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways) :

ETCS (European Train Control System)

Pour rouler en ETCS, un train doit posséder une autorisation de mouvement (Movement Authority), correspondant à une certaine distance sur laquelle la voie est réservée au train. Au fur et à mesure de la progression du train, cette autorisation de mouvement est remise à jour.

Sur base de cette autorisation de mouvement, l'ordinateur embarqué construit une courbe de vitesse maximale autorisée, et supervise la vitesse du train par rapport à cette courbe, en tenant compte de la position du train, de sa vitesse et de sa capacité de freinage.

Cette courbe matérialise la vitesse maximale permise à chaque instant de façon à respecter le profil de vitesse imposé : si le conducteur dépasse cette courbe de vitesse maximale, par exemple en ne freinant pas alors qu'il approche d'une zone à vitesse plus réduite, l'équipement embarqué appliquera un freinage d'urgence pour éviter que le train ne respecte pas le profil de vitesse imposé.

ETCS niveau 1

En ETCS niveau 1, le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol, cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons. Les balises récupèrent les indications du signal via des adaptateurs de signaux et les encodeurs LEU (Line side Electronic Unit) et les transmettent au train sous forme d'une autorisation de mouvement accompagnée des données de l'itinéraire.

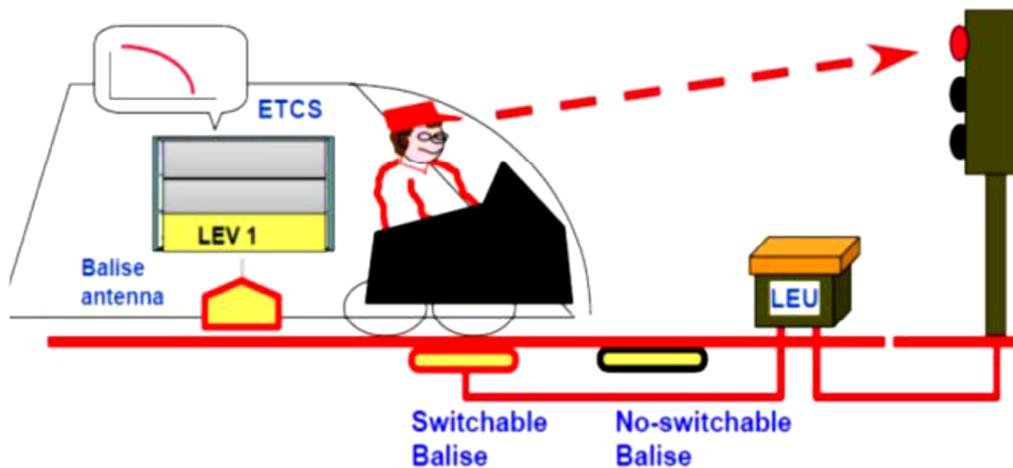


Figure VIII.03 : ETCS niveau 1

L'ordinateur de bord calcule et surveille en permanence la vitesse maximale et la courbe de freinage à partir des données de gestion de trafic (vitesse autorisée, aiguillages, distance de sécurité entre les trains ...). En raison de la transmission ponctuelle à l'aide de balises, le train doit se déplacer au-dessus de la balise pour obtenir l'autorisation de mouvement suivante.

ETCS niveau 2

ETCS niveau 2, est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les installations de signalisation extérieures deviennent donc superflues, à l'exception de quelques indicateurs. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent.

Automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central RBC (Radio Block Center), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

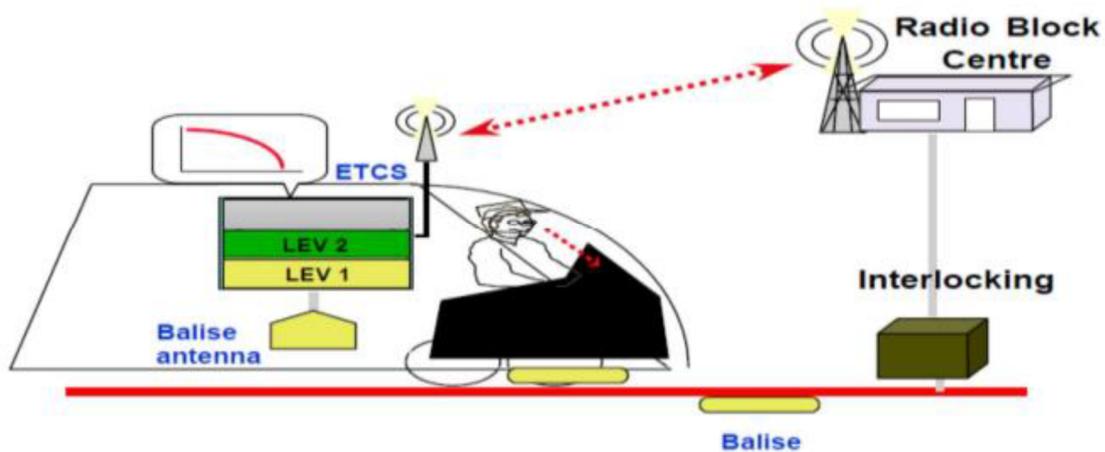


Figure VIII.04 : ETCS niveau 2

L'autorisation de circuler est transmise en permanence au véhicule via GSM-R, avec les données concernant la vitesse et le parcours. Entre deux balises de localisation, le train signale sa position par l'intermédiaire de capteurs d'essieux. Les balises de localisation servent alors de points de référence permettant la correction d'éventuelles erreurs de mesure du parcours.

ETCS niveau 3

L'ETCS Niveau 3 fournit une fonctionnalité d'espacement des trains entièrement basée sur la communication radio. La signalisation latérale ainsi que les équipements de voie ne sont plus nécessaires.

Comme avec l'ETCS niveau 2, les trains se localisent au moyen de balises de positionnement et via des capteurs et doivent être capables de déterminer l'intégrité du train, au niveau du bord, au plus haut degré de fiabilité. De ce fait, l'ETCS Niveau 3 écarte le fonctionnement classique avec des intervalles fixes et permet de calculer la distance de sécurité entre deux trains qui se suivent.

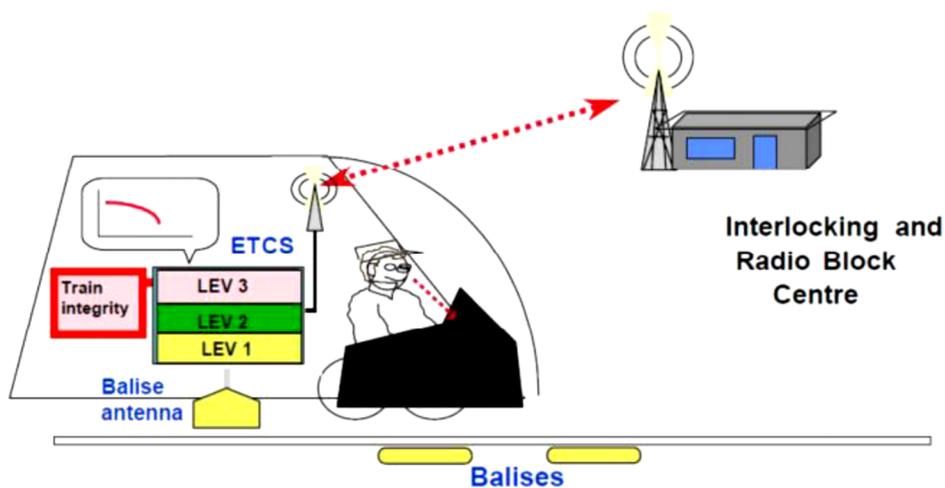


Figure VIII.05 : ETCS niveau 3

Une autorisation de mouvement est indiquée pour une position du train, à base de la distance réelle entre le train et le train le précédant. Cette solution appelée “bloc mobile” (moving block), assure une meilleure exploitation de la capacité de la ligne, car elle réduit la granularité de l'espacement. Le niveau 3 est toujours en phase de développement.

GSM-R (Global System for Mobiles – Railways)

Le GSM-R est le système de communication radio utilisé exclusivement dans le secteur ferroviaire. Grâce à celui-ci, l'infrastructure ferroviaire est équipée d'un système radio mobile qui peut répondre d'une manière efficace et intégrée à tous les besoins de communication liés aux opérations ferroviaires.

Le GSM-R permet une communication continue entre la cabine et le sol (communications de service ainsi que la gestion d'urgence) pour l'échange de données entre les équipements au sol et les systèmes embarqués.

VIII.3. Conception de la signalisation

La ligne Tiarat-Saida sera équipée d'une nouvelle signalisation. Pour ce faire, c'est système ERTMS/ETCS niveau 1 qui sera utilisé.

Cela signifie que c'est un système de signalisation classique comprendra :

- Les postes de sécurité
- Les installations extérieures : les signaux, les moteurs d'appareils de voie et le système de détection de la présence de trains habituels.

Et les composants de l'ETCS viendront s'ajouter à ce système de signalisation classique. Les autorisations de mouvement seront transmises au train par des balises implantées dans la voie et s'afficheront devant le mécanicien (conducteur de train). Pour cela, les trains devront disposer d'équipements d'ETCS embarqués.

VIII.3.1. Postes de sécurité

– Conception de postes de sécurité

La commande et la surveillance des installations de signalisation seront assurées en général par des postes de sécurité. Le système des postes de sécurité se compose ici des **centres de relayage (CR)** décentralisés et du **Poste de Commande Centralisé (PCC)** centralisé.

Dans chacune des gares, il sera installé un centre de relayage (CR), qui englobe uniquement les modules de puissance et sert pour la connexion de l'installation extérieure. Les centres de relayage seront inoccupés et commandés à distance. Aucune possibilité de commande locale n'est prévue.

Dans la mesure du possible, la logique d'enclenchement pour toutes les gares sera installée de façon centrale dans le Poste de Commande Centralisé (PCC).

- Commande des postes de sécurité

Dans la gare principale de Tiaret, un poste de commande centralisé (PCC) est prévu, à partir duquel la ligne Tiaret-Saida sera commandé. Ce poste devrait être suffisant, compte tenu de l'occupation relativement faible de cette ligne (en moyenne environ 1,5 trains par heure et par sens).

Chaque poste est équipé de six écrans pour la commande des centres de relayage. Ces écrans servent à l'affichage de vues d'ensemble des secteurs, à faire des zooms, à la saisie des instructions et aux annonces système. Deux autres écrans seront utilisés pour la téléphonie de sécurité (téléphone et radio) et le système de messagerie et contrôle à distance (SMC).

Tous les CRs et le PCC disposeront d'un système de diagnostic automatique qui transmettra les messages sur l'état de fonctionnement et les messages d'erreurs au PCC. Le personnel d'entretien pourra ainsi établir un diagnostic à distance des défaillances.

Le PCC à Tiaret sera relié au poste de commande régional (PCR) d'Oran et au poste de commande national (PCN) d'Alger via le réseau de télécommunication (existant ou nouveau) dont le point de jonction se trouve dans la gare nouvelle de Relizane.

- Type de construction des postes de sécurité

Le type de construction choisi pour le système des postes de sécurité sera le « Poste d'Aiguillage Informatisé » (PAI).

Le suivi des trains permet à tout moment l'identification d'un train en marche (par son numéro) et le suivi continu du mouvement de ce train. à l'aide de cette information fournie par le système, l'opérateur de sécurité sera en mesure d'établir l'itinéraire pour le train en question. A un stade plus avancé, cela pourra se faire de manière automatique (commande automatique des itinéraires).

La commande automatique des itinéraires est un élément de la gestion automatique du trafic. Dans l'ordinateur du système est stocké le tableau de succession de tous les trains réguliers. Identifié par le système à l'aide de son numéro, le train, en occupant une section définie de la voie, déclenche automatiquement la formation de l'itinéraire prévu pour lui.

Tous les composants du système des postes de sécurité (installations intérieures et extérieures, câbles) doivent se prêter à une électrification ultérieure de la ligne qui sera électrifiée avec 25 kV/50 Hz.

- Système de Cantonnement

Entre les gares, la ligne n'est pas découpée en cantons intermédiaires.

Comme les distances entre les gares sont assez grandes (7 km au moins) et le débit de la ligne plutôt faible, le système Block Automatique à Permissivité Restreinte (BAPR) sera appliqué.

- Codes PCC des gares

Pour identifier clairement les éléments de l'ensemble des gares commandés par un PCC, chaque gare se voit dotée d'un code PCC.

- Alimentation en énergie des centres de relayage et du PCC

Les CRs et le PCC seront alimentés en énergie électrique (basse tension 400 V / 50 Hz) à partir du réseau de l'entreprise de service public d'électricité.

VIII.3.2. Installations extérieures

Les installations extérieures de signalisation seront directement placées le long de la voie. Elles servent, à transmettre les autorisations de mouvement (signaux), à établir et protéger les parcours des trains (moteurs d'appareils de voie) et à détecter automatiquement la présence de trains.

Les installations extérieures seront reliées au centre de relayage par des câbles.

VIII.3.2.1. Signaux

Les signaux sont utilisés pour la transmission lumineuse des autorisations de mouvement aux conducteur de train (signaux principaux, signaux de manœuvre) ou pour annoncer ces autorisations de mouvement (signaux d'avertissement).

Le système de signalisation sera le système de signalisation lumineuse utilisé à la SNTF, qui est identique au système de signalisation français. Il utilise des feux de couleur rouge, violette, jaune, verte et blanche, quelquefois clignotants, disposés selon différentes configurations sur un panneau.

Des signaux complémentaires sont utilisés pour des indications de vitesse (sous forme de panneaux fixes et mobiles) et de direction (sous forme de signaux lumineux).

Les indications de signal et leur ordre hiérarchique sont les suivants :

- C ou Cv - Carré (rouge ou violet)
- S - Sémaphore
- S - Sémaphore sans arrêt
- M - Manoeuvre réduite
- M - Manoeuvre

- RR - Rappel de ralentissement 30
- RR - Rappel de ralentissement 60
- A - Avertissement
- R - Ralentissement 30
- A - Pré-avertissement
- R - Ralentissement 60
- VL - Voie libre

Les optiques des signaux devront être réalisées en ayant recours à la technologie des diodes électroluminescentes (Light Emitting Diode, LED), nécessitant peu d'entretien. Des diodes électroluminescentes de couleur à grande luminosité seront utilisées à cet effet. Les signaux principaux doivent être visibles à 500 m, les signaux d'avertissement à 300 m.

Dans les gares à équiper, outre les signaux principaux, signaux d'avertissement et signaux de manœuvre, des indicateurs de vitesses sous forme de panneaux fixes (TIV fixes) seront en plus utilisés.

Les distances des signaux d'avertissement sont fixées individuellement pour chaque gare. Elles sont calculées sur la base des pentes longitudinales de la voie, des vitesses des trains et de la puissance de freinage des trains.

VIII.3.2.2. Moteurs d'appareils de voie

Les appareils de voie dans les voies principales seront tous équipés de moteurs électriques. En raison de la structure du dispositif d'aiguillage, un mécanisme de commande par aiguille est suffisant.

Des contrôleurs de collage des lames d'appareil de voie ou de maintien de position finale permettront de vérifier la position correcte des lames d'appareil de voie. Ces contrôleurs seront intégrés dans les moteurs d'appareil de voie et en fonction du type d'appareil de voie aussi installés au milieu des lames.

Les moteurs d'appareil de voie sont de type talonnable, d'une force de maintien moins importante, mais qui n'est pas endommagé en cas de talonnage de l'appareil de voie par inadvertance.

VIII.3.2.3. Système de détection de la présence de trains

- Compteurs d'essieux

Pour la détection automatique de la présence des trains, un système de détection d'occupation d'une section de voie déclenché directement par le train, et indiquant l'état libre ou occupé de la voie, est nécessaire.

Le système de détection de la présence des trains choisi est celui de la détection par compteurs d'essieux placés à ses extrémités de chaque section de ligne.

Un compteur d'essieux permet la détection et le comptage de tous les essieux du matériel roulant circulant sur la section ainsi que leur sens de marche, en utilisant deux capteurs électroniques de roue. En comparant les nombres d'essieux entrants et sortants, il est possible de connaître l'état de la section de voie (libre ou occupé). Soit Ax1 et Ax2 deux compteurs d'essieux et TS1 et TS2 des sections de voie. Tant que le nombre d'essieux comptés par Ax2 ne correspond pas au nombre d'essieux comptés par Ax1, la section TS1 est considérée comme « occupée ».



Figure VIII.06 : Compteurs d'essieux

Par rapport au système alternatif des circuits de voie, le système de comptage d'essieux présente les avantages suivants :

- o Entièrement indépendant du type et de l'état de superstructure.
- o Aucun joint d'isolement de rail n'est nécessaire.
- o Éloignement important du poste de relayage (environ 20 km) est possible.
- o Transmission des signaux au poste de relayage protégée très efficacement contre les parasites, système très fiable nécessitant peu d'entretien et des coûts réduits sur le cycle de vie.

Détecteurs de Boîtes Chaudes et Freins Bloqués (DBC)

Le long des voies directes, on plantera tous les 5 à 7 km des détecteurs de boîtes chaudes et de freins bloqués (DBC). Ces dispositifs servent à détecter la surchauffe d'un essieu ou d'un frein bloqué sur un véhicule. Les DBC seront implantés à quelques kilomètres des gares de manière à permettre à un train victime d'une avarie de s'y arrêter et de faire dételer le wagon défectueux.

Les installations situées le long de la ligne mesurent la température des essieux et des freins des véhicules et transmettent les données correspondantes au système de messagerie et de contrôle à distance (SMC), auprès de l'opérateur de sécurité concerné, et éventuellement, à

d'autres postes. En cas de dépassement des seuils d'alerte déterminés, des alarmes et des mesures techniques de sécurité, sont déclenchées via le système SMC.

VIII.3.3. Installations ETCS

La ligne Tiaret-Saida est équipée du système ERTMS/ETCS de niveau 1, et les composants ETCS viendront en complément du système de signalisation classique, dont la fonctionnalité est entièrement maintenue. Les composants ETCS de niveau 1 disposés le long de la ligne seront la Line side Electronic Unit (LEU) et la balise (fixe ou commutable).

Tous les signaux principaux et d'avertissement seront pourvus des LEU. Avec la LEU, l'indication de chaque signal est reprise sur le signal, transformée en télégramme et transmise par câble à la balise commutable de voie correspondante.

Grâce à un procédé faisant appel à un transpondeur, les balises disposées au milieu de la voie transmettent aux trains qui passent dessus un télégramme déposé dans la balise. Il existe des balises programmées de manière fixe (balises fixes) transmettant au train des données fixes concernant la ligne (point kilométrique, déclivité, signaux à indication fixe).

Ces balises ne nécessitent aucun câblage : l'approvisionnement en énergie est assuré par l'antenne de balise du train lors de son passage.

Les balises commutables peuvent transmettre des données variables au train. Il s'agit principalement des signaux à indication variable transmis à la balise au moyen de la LEU et d'un câble de données.

Un groupe de balises comprenant entre deux et huit balises (en fonction du volume des informations à transmettre au train) sera toujours disposé au milieu de la voie en amont d'un signal carré ou d'un signal d'avertissement.

Toutes les installations ETCS seront réalisées selon les spécifications européennes de l'UNISIG qui sont énumérées dans les Spécification Technique d'Interopérabilité (décision 2006/860/CE de la Commission Européenne).

VIII.4. Conception de la télécommunication

La ligne Tiaret-Saida sera équipée d'installations de télécommunication afin de garantir les communications pour les besoins du service et de mettre à disposition des moyens de transmission. Le système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways) sera utilisé.

Le GSM-R prendra en charge les fonctions de liaison radio avec les trains, de radio de manœuvre et d'entretien, ainsi que des fonctions du système de téléphonie de sécurité.

A cet effet, Le GSM-R sera mis en place sur les postes de travail des opérateurs de sécurité, sur des terminaux mobiles d'utilisateurs et sur des terminaux fixes d'utilisateurs.



Conclusion

Conclusion générale

La mise en place d'un réseau ferroviaire dans la région des Hauts Plateaux revêt une importance économique considérable et est essentielle pour le développement régional. En Algérie, la croissance démographique dans les régions des hauts plateaux a renforcé le besoin d'infrastructures ferroviaires.

Cette étude se concentre principalement sur l'analyse et la conception d'une section mixte d'un tronçon ferroviaire d'une longueur de 5 km, dans le cadre du projet de la nouvelle ligne reliant Saida à Tiaret. Elle a été réalisée en respectant les normes en vigueur, telles que les normes européennes et le code de l'Union internationale des chemins de fer. Différentes disciplines techniques ont été consultées et mises en œuvre, en utilisant les logiciels Autocad et Covadis pour les dessins et les calculs.

Les caractéristiques techniques du tracé en plan et du profil en long ont été conçues pour garantir le confort et la sécurité des utilisateurs. Les couches de fondation ont été définies, dimensionnées et estimées quantitativement dans le cadre de cette étude.

La couverture de la région des Hauts Plateaux par un réseau ferroviaire est une priorité dans la politique d'aménagement du territoire, visant à améliorer le niveau de vie de la population en luttant contre la marginalisation, l'exclusion et en favorisant l'égalité des chances entre les différentes régions du pays.

Cette étude approfondie a permis de mieux appréhender le métier d'ingénieur en travaux publics, en mettant en pratique les connaissances théoriques acquises tout au long des cinq années d'études supérieures. Elle a également permis d'acquérir de nouvelles compétences techniques et de se perfectionner dans divers domaines liés aux travaux publics.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

Document ENSTP :

Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, par
Cours de chemins de fer université de Tiaret (Département génie civil)

Mr. Ghaffar.

– Mémoire de voie ferrée école nationale des travaux publics (2014,2016)

Fiche UIC :

– **703R** : Caractéristiques de trace des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.(2ème éditions, 01/01/1989)

– **719R** : Ouvrages en terre et couches d'assises ferroviaire (2ème éditions du 01/01/1994).

Fiche SNCF :

- Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ Km/h (Version 1 du 12/09/2006).

• Référentiel SNTF :

– Référentiel technique SNTF-Chapitre 6 (**Géométrie de la voie**) Version 2 du 22/12/2005.

Sites Internet :

– Société nationale des transports ferroviaire [<http://www.sntf.dz>].

– Ainsi que d'autres sites (**Google, Wikipédia....etc**)



Annexes

RECAPITULATIF DES EMPRISES ET DU DECAPAGE - CHEMIN DE FER

Nom du dessin : C:\Users\Dell\Documents\VPFE CHEMIN DE FER.dwg
 Date du listing : 21/06/2023 à 04:41:36
 Profil en long : 1
 Courbe projet : Proj 1
 Volume total de décapage (m³) : 8569,8814

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application	Emprise (m)			Décapage du TN				
			Gauche	Droite	Totale	Epaisseur	Largeur	Surface (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)
P1	0,000	15,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	151,34	15,134	15,134
P2	30,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	45,403
P3	60,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	75,672
P4	90,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	105,940
P5	120,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	136,209
P6	150,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	166,478
P7	180,000	30,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	347,69	34,769	201,246
P8	210,000	30,000	8,340	6,971	15,311	0,100	15,311	459,32	45,932	247,178
P9	240,000	30,000	8,192	7,275	15,467	0,100	15,467	464,01	46,401	293,579
P10	270,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	323,848
P11	300,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	354,116
P12	330,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	384,385
P13	360,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	414,654
P14	390,000	30,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	347,69	34,769	449,422
P15	420,000	30,000	7,074	5,045	12,119	0,100	12,119	363,57	36,357	485,779
P16	450,000	30,000	7,121	5,045	12,165	0,100	12,165	364,96	36,496	522,275
P17	480,000	30,000	6,775	5,045	11,819	0,100	11,819	354,58	35,458	557,734
P18	510,000	30,000	7,760	6,737	14,497	0,100	14,497	434,92	43,492	601,225
P19	540,000	30,000	8,140	7,379	15,518	0,100	15,518	465,55	46,555	647,780
P20	570,000	30,000	6,780	6,545	13,325	0,100	13,325	399,74	39,974	687,754
P21	600,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	718,023
P22	630,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	748,291
P23	660,000	30,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	347,69	34,769	783,060
P24	690,000	30,000	8,620	8,486	17,106	0,100	17,106	513,19	51,319	834,379
P25	720,000	30,000	11,797	11,976	23,772	0,100	23,772	713,17	71,317	905,697
P26	750,000	30,000	14,314	13,962	28,276	0,100	28,276	848,29	84,829	990,526
P27	780,000	30,000	16,203	14,939	31,142	0,100	31,142	934,27	93,427	1083,953
P28	810,000	30,000	15,516	14,752	30,268	0,100	30,268	908,04	90,804	1174,757
P29	840,000	30,000	13,790	13,020	26,810	0,100	26,810	804,30	80,430	1255,187
P30	870,000	30,000	12,674	11,742	24,416	0,100	24,416	732,48	73,248	1328,435
P31	900,000	30,000	12,266	11,131	23,398	0,100	23,398	701,93	70,193	1398,628
P32	930,000	30,000	14,229	11,879	26,108	0,100	26,108	783,23	78,323	1476,951
P33	960,000	30,000	15,931	13,818	29,749	0,100	29,749	892,47	89,247	1566,198
P34	990,000	30,000	15,302	13,881	29,183	0,100	29,183	875,48	87,548	1653,746
P35	1020,000	17,193	13,664	12,477	26,140	0,100	26,140	449,43	44,943	1698,689
P36	1024,386	15,000	13,352	12,159	25,511	0,100	25,511	382,67	38,267	1736,956
P37	1050,000	27,807	11,872	11,446	23,318	0,100	23,318	648,41	64,841	1801,797
P38	1080,000	30,000	12,033	10,843	22,876	0,100	22,876	686,29	68,629	1870,426
P39	1110,000	30,000	12,183	11,558	23,741	0,100	23,741	712,22	71,222	1941,648
P40	1140,000	30,000	14,313	12,869	27,182	0,100	27,182	815,45	81,545	2023,193
P41	1170,000	30,000	13,957	13,444	27,401	0,100	27,401	822,03	82,203	2105,396
P42	1200,000	30,000	13,742	13,816	27,558	0,100	27,558	826,74	82,674	2188,070
P43	1230,000	30,000	13,015	14,540	27,555	0,100	27,555	826,65	82,665	2270,735
P44	1260,000	30,000	9,979	11,870	21,849	0,100	21,849	655,47	65,547	2336,281
P45	1290,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	2366,550
P46	1320,000	29,345	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	296,08	29,608	2396,158
P47	1348,691	15,000	9,631	8,435	18,066	0,100	18,066	270,99	27,099	2423,257
P48	1350,000	15,655	9,804	8,582	18,386	0,100	18,386	287,83	28,783	2452,039
P49	1380,000	30,000	12,738	10,853	23,591	0,100	23,591	707,74	70,774	2522,814
P50	1410,000	30,000	12,882	11,634	24,516	0,100	24,516	735,49	73,549	2596,363
P51	1440,000	30,000	11,415	11,317	22,732	0,100	22,732	681,97	68,197	2664,559
P52	1470,000	30,000	10,164	10,045	20,210	0,100	20,210	606,29	60,629	2725,188
P53	1500,000	30,000	9,366	9,188	18,554	0,100	18,554	556,62	55,662	2780,849
P54	1530,000	30,000	10,028	9,167	19,195	0,100	19,195	575,85	57,585	2838,434
P55	1560,000	30,000	10,709	9,616	20,325	0,100	20,325	609,75	60,975	2899,409
P56	1590,000	30,000	12,273	11,446	23,719	0,100	23,719	711,57	71,157	2970,566
P57	1620,000	30,000	13,490	13,119	26,610	0,100	26,610	798,29	79,829	3050,395
P58	1650,000	30,000	13,846	13,293	27,138	0,100	27,138	814,15	81,415	3131,809
P59	1680,000	30,000	14,024	12,370	26,395	0,100	26,395	791,84	79,184	3210,993

P60	1710,000	30,000	14,291	11,520	25,812	0,100	25,812	774,35	77,435	3288,428
P61	1740,000	30,000	13,579	11,180	24,759	0,100	24,759	742,77	74,277	3362,705
P62	1770,000	30,000	13,058	11,324	24,383	0,100	24,383	731,48	73,148	3435,852
P63	1800,000	30,000	12,000	11,860	23,860	0,100	23,860	715,81	71,581	3507,433
P64	1830,000	30,000	11,583	12,773	24,356	0,100	24,356	730,68	73,068	3580,501
P65	1860,000	30,000	9,096	11,465	20,561	0,100	20,561	616,84	61,684	3642,185
P66	1890,000	30,000	7,180	9,215	16,395	0,100	16,395	491,85	49,185	3691,370
P67	1920,000	30,000	5,045	6,545	11,590	0,100	11,590	347,69	34,769	3726,138
P68	1950,000	15,773	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	159,14	15,914	3742,052
P69	1951,546	15,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	151,34	15,134	3757,187
P70	1980,000	29,227	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	294,89	29,489	3786,676
P71	2010,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	3816,944
P72	2040,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	3847,213
P73	2070,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	3877,482
P74	2100,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	3907,750
P75	2130,000	24,087	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	243,02	24,302	3932,053
P76	2148,173	15,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	151,34	15,134	3947,187
P77	2160,000	20,913	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	211,01	21,101	3968,288
P78	2190,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	3998,556
P79	2220,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4028,825
P80	2250,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4059,093
P81	2280,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4089,362
P82	2310,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4119,631
P83	2340,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4149,899
P84	2370,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4180,168
P85	2400,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4210,437
P86	2430,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4240,705
P87	2460,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4270,974
P88	2490,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4301,243
P89	2520,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4331,511
P90	2550,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4361,780
P91	2580,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4392,049
P92	2610,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4422,317
P93	2640,000	20,628	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	208,13	20,813	4443,130
P94	2651,256	15,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	173,84	17,384	4460,515
P95	2670,000	24,372	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	245,90	24,590	4485,105
P96	2700,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4515,373
P97	2730,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4545,642
P98	2760,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4575,911
P99	2790,000	30,000	6,713	6,545	13,258	0,100	13,258	397,74	39,774	4615,685
P100	2820,000	30,000	6,545	6,545	13,090	0,100	13,090	392,69	39,269	4654,953
P101	2850,000	30,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	347,69	34,769	4689,722
P102	2880,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4719,991
P103	2910,000	28,190	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	284,42	28,442	4748,433
P104	2936,380	15,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	151,34	15,134	4763,567
P105	2940,000	16,810	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	169,61	16,961	4780,528
P106	2970,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4810,797
P107	3000,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4841,065
P108	3030,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4871,334
P109	3060,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4901,603
P110	3090,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4931,871
P111	3120,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4962,140
P112	3150,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	4992,409
P113	3180,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5022,677
P114	3210,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5052,946
P115	3240,000	30,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	347,69	34,769	5087,715
P116	3270,000	30,000	8,111	7,074	15,185	0,100	15,185	455,55	45,555	5133,270
P117	3300,000	30,000	10,363	8,041	18,404	0,100	18,404	552,11	55,211	5188,481
P118	3330,000	30,000	11,163	8,741	19,904	0,100	19,904	597,13	59,713	5248,194
P119	3360,000	30,000	11,159	9,588	20,746	0,100	20,746	622,39	62,239	5310,433
P120	3390,000	30,000	9,894	9,134	19,029	0,100	19,029	570,86	57,086	5367,519
P121	3420,000	30,000	8,756	8,326	17,082	0,100	17,082	512,47	51,247	5418,767
P122	3450,000	30,000	8,011	7,531	15,542	0,100	15,542	466,27	46,627	5465,394
P123	3480,000	30,000	8,083	7,571	15,654	0,100	15,654	469,61	46,961	5512,354
P124	3510,000	30,000	7,180	6,763	13,943	0,100	13,943	418,30	41,830	5554,184
P125	3540,000	30,000	6,545	6,545	13,090	0,100	13,090	392,69	39,269	5593,452
P126	3570,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5623,721
P127	3600,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5653,990
P128	3630,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5684,258
P129	3660,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5714,527
P130	3690,000	30,000	9,479	7,098	16,577	0,100	16,577	497,31	49,731	5764,258

P131	3720,000	30,000	7,628	6,567	14,195	0,100	14,195	425,84	42,584	5806,842
P132	3750,000	24,700	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	249,22	24,922	5831,764
P133	3769,401	15,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	151,34	15,134	5846,898
P134	3780,000	20,300	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	204,81	20,481	5867,380
P135	3810,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5897,648
P136	3840,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5927,917
P137	3870,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	5958,186
P138	3900,000	27,450	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	276,96	27,696	5985,882
P139	3924,901	15,000	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	173,84	17,384	6003,266
P140	3930,000	17,550	6,545	5,045	11,590	0,100	11,590	203,39	20,339	6023,606
P141	3960,000	30,000	6,771	5,045	11,816	0,100	11,816	354,47	35,447	6059,053
P142	3990,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6089,321
P143	4020,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6119,590
P144	4050,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6149,859
P145	4080,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6180,127
P146	4110,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6210,396
P147	4140,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6240,665
P148	4170,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6270,933
P149	4200,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6301,202
P150	4230,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6331,471
P151	4260,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6361,739
P152	4290,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6392,008
P153	4320,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6422,277
P154	4350,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6452,545
P155	4380,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6482,814
P156	4410,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6513,083
P157	4440,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6543,351
P158	4470,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6573,620
P159	4500,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	6603,889
P160	4530,000	30,000	6,762	5,045	11,807	0,100	11,807	354,20	35,420	6639,308
P161	4560,000	30,000	8,029	6,904	14,933	0,100	14,933	448,00	44,800	6684,108
P162	4590,000	30,000	9,137	8,130	17,267	0,100	17,267	518,01	51,801	6735,910
P163	4620,000	30,000	11,282	9,747	21,029	0,100	21,029	630,86	63,086	6798,996
P164	4650,000	30,000	14,116	11,030	25,146	0,100	25,146	754,38	75,438	6874,434
P165	4680,000	30,000	16,050	12,942	28,992	0,100	28,992	869,77	86,977	6961,411
P166	4710,000	30,000	17,386	15,044	32,430	0,100	32,430	972,90	97,290	7058,701
P167	4740,000	30,000	17,526	16,693	34,219	0,100	34,219	1026,56	102,656	7161,357
P168	4770,000	30,000	16,801	16,796	33,596	0,100	33,596	1007,89	100,789	7262,147
P169	4800,000	30,000	16,037	16,415	32,452	0,100	32,452	973,56	97,356	7359,503
P170	4830,000	30,000	15,024	15,437	30,461	0,100	30,461	913,84	91,384	7450,887
P171	4860,000	30,000	13,930	14,179	28,109	0,100	28,109	843,26	84,326	7535,213
P172	4890,000	30,000	12,758	12,910	25,668	0,100	25,668	770,03	77,003	7612,216
P173	4920,000	30,000	12,070	12,154	24,224	0,100	24,224	726,73	72,673	7684,889
P174	4950,000	30,000	11,930	11,951	23,882	0,100	23,882	716,45	71,645	7756,534
P175	4980,000	30,000	11,896	11,754	23,650	0,100	23,650	709,51	70,951	7827,485
P176	5010,000	30,000	12,551	11,853	24,404	0,100	24,404	732,13	73,213	7900,698
P177	5040,000	30,000	13,618	12,392	26,009	0,100	26,009	780,28	78,028	7978,725
P178	5070,000	30,000	14,737	13,064	27,801	0,100	27,801	834,02	83,402	8062,127
P179	5100,000	30,000	15,656	13,833	29,489	0,100	29,489	884,67	88,467	8150,594
P180	5130,000	30,000	15,810	14,071	29,882	0,100	29,882	896,45	89,645	8240,239
P181	5160,000	30,000	14,027	13,738	27,765	0,100	27,765	832,94	83,294	8323,533
P182	5190,000	30,000	11,444	12,147	23,591	0,100	23,591	707,73	70,773	8394,306
P183	5220,000	30,000	8,460	10,129	18,589	0,100	18,589	557,66	55,766	8450,073
P184	5250,000	30,000	6,662	7,440	14,102	0,100	14,102	423,06	42,306	8492,378
P185	5280,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	8522,647
P186	5310,000	30,000	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	302,69	30,269	8552,916
P187	5340,000	15,908	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	160,50	16,050	8568,966
P188	5341,815	0,908	5,045	5,045	10,090	0,100	10,090	9,16	0,916	8569,881

RECAPITULATIF DES CUBATURES DEBLAI-REMBLAI PAR PROFIL - CHEMIN DE FER

Nom du dessin : C:\Users\De\I\Documents\PFE CHEMIN DE FER.dwg
 Date du listing : 21/06/2023 à 04:41:36
 Profil en long : 1
 Courbe projet : Proj 1

Méthode : Linéaire (Les entrées en terre sont recherchées jusqu'au TN)
 Volume cumulé déblais (m³) : #####
 Volume cumulé remblais (m³) : 68041,636

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application	Déblais					Remblais				
			Surf. G (m²)	Surf. D (m²)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)	Surf. G (m²)	Surf. D (m²)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)
P1	0,000	15,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	33,18	33,90	67,08	1006,142	1006,142
P2	30,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	31,65	32,43	64,08	1922,271	2928,413
P3	60,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	26,85	28,02	54,87	1646,178	4574,591
P4	90,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	19,94	21,30	41,25	1237,419	5812,010
P5	120,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	11,82	12,76	24,59	737,597	6549,607
P6	150,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	4,82	5,80	10,61	318,327	6867,934
P7	180,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	4,37	5,39	9,76	292,773	7160,707
P8	210,000	30,000	4,80	1,63	6,43	192,939	192,939	0,01	0,01	0,02	0,733	7161,440
P9	240,000	30,000	4,87	2,67	7,54	226,218	419,158	0,01	0,01	0,02	0,593	7162,033
P10	270,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	419,158	6,04	6,28	12,33	369,779	7531,811
P11	300,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	419,158	13,79	13,79	27,57	827,225	8359,036
P12	330,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	419,158	12,38	14,31	26,69	800,678	9159,714
P13	360,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	419,158	7,66	9,67	17,33	519,895	9679,609
P14	390,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	419,158	4,63	6,04	10,67	320,114	9999,723
P15	420,000	30,000	0,52	0,00	0,52	15,664	434,822	1,38	2,93	4,31	129,265	10128,988
P16	450,000	30,000	0,56	0,00	0,56	16,882	451,703	1,29	2,86	4,15	124,385	10253,373
P17	480,000	30,000	0,28	0,00	0,28	8,260	459,964	2,38	4,09	6,47	193,987	10447,359
P18	510,000	30,000	2,58	0,41	2,99	89,565	549,528	0,01	0,10	0,11	3,410	10450,770
P19	540,000	30,000	4,94	3,14	8,08	242,474	792,002	0,01	0,01	0,02	0,574	10451,343
P20	570,000	30,000	0,31	0,00	0,31	9,337	801,339	1,68	2,78	4,46	133,671	10585,014
P21	600,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	801,339	6,65	7,32	13,96	418,859	11003,873
P22	630,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	801,339	7,86	8,22	16,09	482,561	11486,435
P23	660,000	30,000	0,01	0,00	0,01	0,261	801,600	3,29	3,40	6,69	200,597	11687,032
P24	690,000	30,000	8,25	8,14	16,39	491,562	1293,163	0,01	0,01	0,02	0,511	11687,542
P25	720,000	30,000	31,50	32,87	64,37	1931,243	3224,406	0,01	0,01	0,01	0,437	11687,979
P26	750,000	30,000	51,81	49,77	101,58	3047,338	6271,744	0,01	0,01	0,01	0,446	11688,426
P27	780,000	30,000	63,50	57,06	120,56	3616,834	9888,577	0,01	0,01	0,02	0,489	11688,915
P28	810,000	30,000	57,71	53,49	111,20	3335,969	13224,546	0,01	0,01	0,02	0,493	11689,407
P29	840,000	30,000	40,54	36,95	77,50	2324,891	15549,437	0,01	0,01	0,02	0,506	11689,914
P30	870,000	30,000	34,01	30,05	64,06	1921,914	17471,351	0,01	0,01	0,02	0,478	11690,391
P31	900,000	30,000	30,87	26,68	57,56	1726,669	19198,019	0,01	0,01	0,02	0,473	11690,865
P32	930,000	30,000	45,55	35,69	81,25	2437,379	21635,399	0,01	0,01	0,02	0,460	11691,325
P33	960,000	30,000	63,02	53,78	116,81	3504,177	25139,576	0,01	0,01	0,01	0,447	11691,772
P34	990,000	30,000	58,85	52,22	111,07	3332,120	28471,696	0,01	0,01	0,01	0,445	11692,217
P35	1020,000	17,193	44,21	38,87	83,08	1428,359	29900,054	0,01	0,01	0,02	0,259	11692,476
P36	1024,386	15,000	41,38	36,00	77,38	1160,730	31060,784	0,01	0,01	0,02	0,226	11692,702
P37	1050,000	27,807	27,55	26,79	54,34	1511,082	32571,867	0,01	0,01	0,02	0,454	11693,156
P38	1080,000	30,000	28,33	24,24	52,57	1577,238	34149,105	0,01	0,01	0,02	0,481	11693,637
P39	1110,000	30,000	32,76	31,27	64,03	1920,936	36070,041	0,01	0,01	0,01	0,449	11694,086
P40	1140,000	30,000	49,59	42,88	92,47	2774,102	38844,143	0,01	0,01	0,01	0,435	11694,521
P41	1170,000	30,000	48,06	45,80	93,87	2815,994	41660,137	0,01	0,01	0,02	0,451	11694,972
P42	1200,000	30,000	50,09	50,02	100,12	3003,457	44663,594	0,01	0,01	0,01	0,423	11695,394
P43	1230,000	30,000	49,70	56,57	106,28	3188,283	47851,876	0,01	0,01	0,01	0,403	11695,797
P44	1260,000	30,000	20,65	27,12	47,76	1432,943	49284,819	0,01	0,01	0,02	0,472	11696,269
P45	1290,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	49284,819	5,78	5,45	11,23	336,944	12033,213
P46	1320,000	29,345	0,00	0,00	0,00	0,000	49284,819	4,23	5,45	9,68	284,164	12317,377
P47	1348,691	15,000	12,91	9,38	22,29	334,318	49619,137	0,01	0,01	0,02	0,247	12317,624
P48	1350,000	15,655	13,95	10,26	24,21	379,045	49998,182	0,01	0,01	0,02	0,256	12317,879
P49	1380,000	30,000	32,91	25,19	58,10	1743,011	51741,193	0,01	0,01	0,02	0,474	12318,353
P50	1410,000	30,000	35,59	30,71	66,30	1988,916	53730,110	0,01	0,01	0,02	0,470	12318,823
P51	1440,000	30,000	26,35	26,01	52,36	1570,759	55300,869	0,01	0,01	0,02	0,481	12319,304
P52	1470,000	30,000	17,96	17,56	35,52	1065,682	56366,550	0,01	0,01	0,02	0,481	12319,785
P53	1500,000	30,000	13,18	12,82	26,00	780,044	57146,594	0,01	0,01	0,02	0,478	12320,264
P54	1530,000	30,000	15,78	13,12	28,90	867,024	58013,618	0,01	0,01	0,02	0,485	12320,749
P55	1560,000	30,000	19,22	15,99	35,21	1056,411	59070,029	0,01	0,01	0,02	0,491	12321,240
P56	1590,000	30,000	31,84	28,60	60,43	1813,043	60883,072	0,01	0,01	0,02	0,471	12321,711
P57	1620,000	30,000	42,69	41,19	83,88	2516,384	63399,456	0,01	0,01	0,02	0,464	12322,175
P58	1650,000	30,000	44,61	43,29	87,89	2636,797	66036,253	0,01	0,01	0,02	0,474	12322,649
P59	1680,000	30,000	43,56	36,64	80,20	2406,047	68442,300	0,01	0,01	0,02	0,484	12323,133
P60	1710,000	30,000	43,97	32,58	76,55	2296,357	70738,658	0,01	0,01	0,02	0,469	12323,601
P61	1740,000	30,000	39,28	29,40	68,68	2060,353	72799,011	0,01	0,01	0,02	0,462	12324,063
P62	1770,000	30,000	37,10	30,12	67,23	2016,820	74815,831	0,01	0,01	0,02	0,460	12324,523
P63	1800,000	30,000	30,43	31,55	61,98	1859,392	76675,224	0,01	0,01	0,02	0,462	12324,985
P64	1830,000	30,000	30,98	35,40	66,38	1991,444	78666,667	0,01	0,01	0,02	0,455	12325,440
P65	1860,000	30,000	14,38	21,83	36,22	1086,534	79753,201	0,01	0,01	0,02	0,488	12325,929
P66	1890,000	30,000	3,14	8,57	11,72	351,572	80104,773	0,01	0,01	0,02	0,592	12326,520
P67	1920,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	5,93	4,59	10,52	315,631	12642,152
P68	1950,000	15,773	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	7,52	7,87	15,39	242,691	12884,842
P69	1951,546	15,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	7,73	8,25	15,98	239,733	13124,575
P70	1980,000	29,227	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	11,21	11,91	23,12	675,676	13800,251
P71	2010,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	9,90	10,62	20,52	615,605	14415,855
P72	2040,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	6,05	6,68	12,73	381,966	14797,821
P73	2070,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	8,41	10,30	18,71	561,251	15359,072
P74	2100,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	9,76	10,91	20,68	620,302	15979,374
P75	2130,000	24,087	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	16,84	16,90	33,74	812,742	16792,116

P76	2148,173	15,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	17,20	17,32	34,52	517,793	17309,909
P77	2160,000	20,913	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	17,19	17,39	34,59	723,379	18033,288
P78	2190,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	15,67	16,29	31,96	958,771	18992,059
P79	2220,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	16,15	16,79	32,93	987,998	19980,057
P80	2250,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	16,59	16,95	33,54	1006,134	20986,191
P81	2280,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	15,88	16,32	32,20	966,012	21952,202
P82	2310,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	15,10	15,54	30,64	919,211	22871,414
P83	2340,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	14,94	15,13	30,07	901,979	23773,393
P84	2370,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	13,62	14,12	27,74	832,188	24605,581
P85	2400,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	12,25	12,73	24,98	749,463	25355,043
P86	2430,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	10,90	11,40	22,30	669,056	26024,099
P87	2460,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	11,08	11,45	22,53	675,952	26700,051
P88	2490,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	11,77	12,20	23,97	719,028	27419,079
P89	2520,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	12,04	12,13	24,17	724,969	28144,048
P90	2550,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	12,27	12,27	24,55	736,401	28880,449
P91	2580,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	13,31	13,46	26,78	803,296	29683,744
P92	2610,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	7,49	7,58	15,07	452,101	30135,846
P93	2640,000	20,628	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	3,99	4,66	8,65	178,432	30314,278
P94	2651,256	15,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	4,33	5,02	9,36	140,330	30454,608
P95	2670,000	24,372	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	4,36	5,66	10,03	244,328	30698,936
P96	2700,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	5,51	7,01	12,52	375,670	31074,607
P97	2730,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	6,67	8,21	14,88	446,467	31521,074
P98	2760,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80104,773	4,33	4,99	9,32	279,493	31800,567
P99	2790,000	30,000	0,27	0,07	0,35	10,354	80115,126	1,62	2,19	3,81	114,182	31914,749
P100	2820,000	30,000	0,12	0,00	0,12	3,509	80118,635	2,50	3,25	5,74	172,222	32086,971
P101	2850,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,002	80118,637	3,63	4,51	8,13	243,985	32330,955
P102	2880,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	7,38	8,45	15,82	474,738	32805,693
P103	2910,000	28,190	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	9,58	10,64	20,22	570,061	33375,754
P104	2936,380	15,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	10,30	11,25	21,55	323,297	33699,051
P105	2940,000	16,810	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	10,41	11,34	21,75	365,649	34064,700
P106	2970,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	11,70	12,50	24,20	725,853	34790,554
P107	3000,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	13,41	14,63	28,03	840,919	35631,472
P108	3030,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	13,03	13,77	26,80	804,043	36435,515
P109	3060,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	11,77	12,75	24,53	735,763	37171,278
P110	3090,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	9,77	10,90	20,66	619,860	37791,138
P111	3120,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	11,91	13,19	25,10	753,037	38544,175
P112	3150,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	12,66	13,63	26,29	788,642	39332,817
P113	3180,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	11,88	13,41	25,28	758,438	40091,254
P114	3210,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	80118,637	7,70	8,99	16,68	500,476	40591,730
P115	3240,000	30,000	0,05	0,00	0,05	1,485	80120,121	3,51	4,60	8,11	243,401	40835,132
P116	3270,000	30,000	3,67	1,60	5,27	157,974	80278,095	0,01	0,01	0,02	0,694	40835,826
P117	3300,000	30,000	14,25	7,97	22,22	666,723	80944,818	0,01	0,01	0,02	0,532	40836,358
P118	3330,000	30,000	18,99	11,75	30,74	922,200	81867,018	0,01	0,01	0,02	0,506	40836,864
P119	3360,000	30,000	21,63	16,49	38,13	1143,817	83010,835	0,01	0,01	0,02	0,473	40837,338
P120	3390,000	30,000	15,15	12,74	27,89	836,662	83847,497	0,01	0,01	0,02	0,485	40837,823
P121	3420,000	30,000	8,70	7,54	16,23	487,047	84334,544	0,01	0,01	0,02	0,510	40838,333
P122	3450,000	30,000	4,51	3,37	7,88	236,307	84570,851	0,01	0,01	0,02	0,569	40838,902
P123	3480,000	30,000	5,02	3,74	8,76	262,864	84833,715	0,01	0,01	0,02	0,565	40839,467
P124	3510,000	30,000	0,71	0,36	1,07	32,248	84865,963	0,48	0,74	1,22	36,495	40875,961
P125	3540,000	30,000	0,15	0,00	0,15	4,623	84870,586	2,25	2,97	5,21	156,374	41032,336
P126	3570,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	84870,586	9,30	7,40	16,70	500,905	41533,240
P127	3600,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	84870,586	37,96	31,87	69,82	2094,718	43627,958
P128	3630,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	84870,586	23,27	26,95	50,22	1506,514	45134,472
P129	3660,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	84870,586	11,68	14,33	26,01	780,262	45914,734
P130	3690,000	30,000	11,42	4,42	15,84	475,186	85345,772	0,01	0,01	0,02	0,539	45915,273
P131	3720,000	30,000	1,99	0,24	2,22	66,690	85412,462	0,03	0,54	0,57	17,059	45932,332
P132	3750,000	24,700	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	7,34	8,49	15,83	390,966	46323,298
P133	3769,401	15,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	13,77	15,41	29,19	437,794	46761,092
P134	3780,000	20,300	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	13,52	16,36	29,88	606,511	47367,603
P135	3810,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	13,85	16,16	30,02	900,531	48268,135
P136	3840,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	11,80	14,06	25,86	775,763	49043,898
P137	3870,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	8,26	9,94	18,20	545,954	49589,852
P138	3900,000	27,450	0,00	0,00	0,00	0,000	85412,462	5,50	7,06	12,56	344,660	49934,512
P139	3924,901	15,000	0,07	0,00	0,07	0,996	85413,458	3,40	4,52	7,92	118,807	50053,319
P140	3930,000	17,550	0,13	0,00	0,13	2,218	85415,676	2,93	4,07	7,00	122,819	50176,138
P141	3960,000	30,000	0,30	0,00	0,30	8,958	85424,633	1,87	3,04	4,91	147,219	50323,357
P142	3990,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	4,31	5,50	9,81	294,344	50617,701
P143	4020,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	10,24	11,40	21,64	649,249	51266,950
P144	4050,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	13,29	14,39	27,67	830,245	52097,195
P145	4080,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	13,89	14,74	28,63	858,841	52956,035
P146	4110,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	9,81	11,06	20,87	626,008	53582,044
P147	4140,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	12,11	12,06	24,17	725,022	54307,066
P148	4170,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	14,43	14,60	29,03	870,790	55177,856
P149	4200,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	18,33	18,39	36,72	1101,487	56279,342
P150	4230,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	20,15	20,28	40,43	1212,962	57492,304
P151	4260,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	15,15	15,52	30,67	920,168	58412,472
P152	4290,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	11,59	11,27	22,86	685,806	59098,279
P153	4320,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	7,25	6,98	14,23	426,984	59525,262
P154	4350,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	6,99	7,29	14,28	428,291	59953,553
P155	4380,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	21,77	22,23	44,00	1320,095	61273,648
P156	4410,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	25,12	26,12	51,24	1537,119	62810,767
P157	4440,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	25,40	26,61	52,01	1560,376	64371,142
P158	4470,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	19,52	21,05	40,57	1217,105	65588,248
P159	4500,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	85424,633	11,62	13,92	25,54	766,269	66354,517
P160	4530,000	30,000	0,29	0,00	0,29	8,628	85433,261	2,57	4,89	7,46	223,732	66578,249
P161	4560,000	30,000	4,40	1,59	6,00	179,961	85613,222	0,01	0,02	0,03	0,813	66579,061
P162	4590,000	30,000	9,33	6,57	15,91	477						

P165	4680,000	30,000	60,06	45,23	105,28	3158,505	92561,852	0,01	0,01	0,02	0,464	66581,033
P166	4710,000	30,000	77,77	64,58	142,34	4270,249	96832,101	0,01	0,01	0,02	0,456	66581,490
P167	4740,000	30,000	84,46	80,85	165,31	4959,224	101791,325	0,01	0,01	0,01	0,443	66581,933
P168	4770,000	30,000	78,64	79,09	157,73	4731,846	106523,171	0,01	0,01	0,01	0,444	66582,377
P169	4800,000	30,000	70,33	73,40	143,73	4311,831	110835,002	0,01	0,01	0,01	0,447	66582,824
P170	4830,000	30,000	59,06	61,20	120,26	3607,932	114442,934	0,01	0,01	0,02	0,459	66583,283
P171	4860,000	30,000	48,28	49,38	97,66	2929,761	117372,695	0,01	0,01	0,02	0,463	66583,746
P172	4890,000	30,000	37,80	38,40	76,20	2286,024	119658,719	0,01	0,01	0,02	0,465	66584,211
P173	4920,000	30,000	31,89	32,19	64,07	1922,178	121580,898	0,01	0,01	0,02	0,470	66584,680
P174	4950,000	30,000	30,50	30,65	61,15	1834,366	123415,263	0,01	0,01	0,02	0,472	66585,152
P175	4980,000	30,000	29,78	29,25	59,02	1770,730	125185,994	0,01	0,01	0,02	0,472	66585,624
P176	5010,000	30,000	35,19	31,62	66,81	2004,152	127190,146	0,01	0,01	0,02	0,468	66586,093
P177	5040,000	30,000	41,92	37,06	78,99	2369,608	129559,754	0,01	0,01	0,02	0,465	66586,558
P178	5070,000	30,000	51,27	43,41	94,68	2840,348	132400,102	0,01	0,01	0,02	0,463	66587,021
P179	5100,000	30,000	60,74	51,45	112,19	3365,776	135765,878	0,01	0,01	0,02	0,455	66587,476
P180	5130,000	30,000	62,38	54,01	116,39	3491,642	139257,520	0,01	0,01	0,02	0,456	66587,932
P181	5160,000	30,000	49,09	47,85	96,94	2908,250	142165,770	0,01	0,01	0,01	0,450	66588,382
P182	5190,000	30,000	28,27	30,88	59,15	1774,385	143940,155	0,01	0,01	0,02	0,473	66588,855
P183	5220,000	30,000	9,42	14,19	23,61	708,345	144648,500	0,01	0,01	0,02	0,507	66589,362
P184	5250,000	30,000	0,29	1,41	1,70	51,095	144699,594	0,63	0,11	0,74	22,141	66611,503
P185	5280,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	144699,594	5,49	5,00	10,50	314,851	66926,354
P186	5310,000	30,000	0,00	0,00	0,00	0,000	144699,594	10,66	10,44	21,10	632,957	67559,311
P187	5340,000	15,908	0,00	0,00	0,00	0,000	144699,594	14,34	14,34	28,68	456,166	68015,478
P188	5341,815	0,908	0,00	0,00	0,00	0,000	144699,594	14,40	14,42	28,82	26,159	68041,636