République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليـــــم العالـــي و البحـــث العلمـــــي

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

Code : ……..……

Projet de Fin d'Études

Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat des Travaux Publics

Thème

Etude en APD du raccordement de la ville de Béni-Saf au réseau ferroviaire national sur 3.5 Km

Proposé par :

M^elle SERRIDJI Widad

SETI-RAIL

Présenté par :

MANCER Hamza

Promotion 2012


بسم الله الرحمن الرحيم

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon dieu, le clément et miséricordieux de nous avoir donnée la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je m'adresse ensuite à mon encadreur, M^{elle} SERRIDJI Widad, quelqu'un de très bien tant au niveau scientifique qu'au niveau humain. Je suis vraiment ravi d'avoir été encadré par vous. Pendant la durée de ma thèse je n'ai eu que de plaisir de travailler avec vous... Merci pour votre aide, vos conseils et votre gentillesse.

Je remercie MR NOUMI et MR BENAYACHE Saïd qui m'ont facilité l'acquisition du thème et l'accès aux données.

Je remercie M^{elle} AIOUAZ de l'INFRA-RAIL qui m'a bien accueilli au sein de leur entreprise.

Je remercie chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'**E**cole **N**ational **S**upérieur des **T**ravaux **P**ublics.

Enfin, j'aimerai exprimer ma gratitude envers tous ceux qui ont, de Diverses façons, de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce modeste travail.

SOMMAIRE

I- Introduction générale.

I.1 *Introduction*……P1

I.2 *Historique des chemins de fer*……P1

I.3 *Historique des chemins de fer en ALGERIE*……..P2

I.4 *Avantages des chemins de fer*…….P3

I.5 *Le rail en ALGERIE et son développement*……P3

II- Présentation générale.

II.1 *Introduction*……..P5

II.2 *Présentation de la ville de BENI SAF*……...P5

II.3 *Présentation du projet*……..P8

II.4 *Objectifs du projet*…….P9

II.5 *Données du projet*…….P9

III- Tracé en plan

III.1 *Introduction*……..P10

III.2 *Conditions et règles de tracé*…….P10

III.3 *Eléments de tracé en plan*……..P10

III.4 *Conditions de raccordement*……..P10

III.5 *le dévers*…….P11

IV- Calcul d'axe.

IV.1 *Introduction*……..P16

IV.2 *Formules et méthodes de calculs*……..P16

IV.3 *Exemple de calcul d'axe*……P16

V- Description du tracé.

V.1 *Introduction*…….P20

V.2 *Caractéristiques techniques du tracé en plan*…….P20

V.3 *Description du tracé*……...P20

V.4 *Listes des contraintes interceptées par le tracé*……..……P24

VI- Profil en long.

VI.1 *Introduction*……...P25

VI.2 *Eléments géométriques du profil en long*…..P25

VI.3 *Déclivité maximale*……P25

VI.4 *Longueur minimale des éléments du profil en long*……...P26

VI.5 *Le raccordement en profil en long*……P26

VI.6 *Coordination profil en long-tracé en plan*……P27

VI.7 *Calcul des éléments du profil en long*……...P28

VII- Géologie et géotechnique.

VII.1 *Introduction*…..P30

VII.2 *Géologie*……...P30

VII.3 *Programme de la compagne de reconnaissance*……..P31

VII.4 *Les reconnaissances in-situ et leur interprétation*……...P31

VII.5 *Les essais de laboratoire et leur interprétation*…….P36

VII.6 *Classification du sol de notre projet*……P39

VII.7 *Plate-forme proposée*……...P40

VII.8 *Pentes des talus possible pour des déblais sans mesures de soutiens*…….P40

VII.9 *Conditions d'excavation et de décapage de la terre végétale*……..P40

VII.10 *Réutilisation des matériaux*……P40

VIII- La superstructure de la voie.

VII.1 *Introduction*…..P41

VIII.2 *Catégories de la voie*……..P41

VIII.3 *Caractéristiques de notre voie*……P41

VIII.4 *Le rail*……..P42

VIII.5 *Les traverses*……...P45

VIII.6 *Les attaches*……P46

VIII.7 *Appareils de voie*……P47

IX- Dimensionnement des couches d'assises.

IX.1 *Introduction*……...P50

IX.2 *Les différentes couches d'assises*……..……P50

IX.3 *Dimensionnement des couches d'assises*……...P52

IX.4 *Méthode de calcul des épaisseurs minimales des couches d'assises*……P52

X- Hydraulique et assainissement.

X.1 *Introduction*……P55

X.2 *Caractéristiques climatiques de la zone d'étude*……P55

X.3 *Objectifs de l'assainissement et du drainage*……..P56

X.4 *Les bassins versants*……P56

X.5 *Calcul hydraulique*……..P56

X.6 *Dimensionnement des ouvrages de rétablissement hydraulique*……P60

XI- Profil en travers et Calcul des cubatures.

XI.1 *Introduction*……...P64

XI.2 *Profil type de notre projet*……P64

XI.3 *Calculs des cubatures*……P65

XII- Ouvrages d'art.

XII.1 *Introduction*……..P66

XII.2 *Les ouvrages d'arts de notre projet*……P66

XII.3 *Le phasage des travaux*……P67

XIII- Aménagement des gares.

XIII.1 *Introduction*……P70

XIII.2 *Installations d'une gare ferroviaire*……P70

XIII.3 *Etude du plan de masse d'une gare*……P71

XIII.4 *Conditions de conception des gares*……...P71

XIII.5 *Caractéristiques géométriques des gares*……...P71

XIII.6 *Garage franc*……...……P72

XIII.7 *La longueur utile d'une voie de stationnement*……...P73

XIII.8 *Les gares de notre projet*……P74

XIII.9 *Assainissement dans les gares*……P75

XIV- Impact sur l'environnement.

XIV.1 *Introduction*……P76

XIV.2 *Aspects de l'environnement a préservé lors de la conception d'un projet.*……P76

XV- Devis quantitatif et estimatif.……P81

XVI- Conclusion générale.……P82

Bibliographie
Annexes

Liste des figures

Figure N° 1.1 : *Plan de développement des chemins de fer en ALGERIE*.....P4

Figure N° 2.1: *Découpage administrative de la wilaya d'Ain Témouchente*.....P6

Figure N° 2.1: *Carte géologique de la région de Béni-Saf*.....P7

Figure N° 2.2: *Schéma synoptique sur carte topographique*.....P8

Figure N° 2.3: *Schéma synoptique sur carte satellite (Source GOOGLE earth)*.....P9.

Figure N° 3.1: *Elément de tracé en plan*.....P11

Figure N° 3.2: *Force centrifuge et dévers*.....P12

Figure N° 3.3: *Raccordement de dévers*.....P13

Figure N° 4.1: *Eléments de la clothoïde*.....P17

Figure N° 6.1: *Déclivité maximale admissible (Source référentiel SNTF)*.....P26

Figure N° 6.2: *Eléments du profil en long*.....P28

Figure N° 7.1: *carte géologique de béni-Saf (échelle 1/50000)*.....P31

Figure N° 8.1: *rail UIC-54*.....P42

Figure N° 8.2: *Ecartement et inclinaison des rails*.....P43

Figure N° 8.3: *L'éclissage*.....P44

Figure N° 8.4: *Traverse en béton bi-bloc*.....P45

Figure N° 8.5: *éléments d'une attache de type Nabla*.....P46

Figure N° 8.6: *différents appareils de voie*.....P47

Figure N° 8.7: *un branchement et ces éléments constitutifs*.....P48

Figure N° 8.8: *Appareils de voie au niveau de la gare ferroviaire*.....P49

Figure N° 8.9: *Appareil de voie du branchement au faisceau existant*.....P49

Figure N° 8.10: *Appareils de voie de la gare de marchandise*.....P49

Figure N° 9.1: *Les différentes couches d'assises*.....P50

Figure N° 12.1: *Vue en plan de la trémie ferroviaire*.....P67

Figure N° 12.2: *Phase de déviation à gauche*.....P68

Figure N° 12.3: *Phase de déviation à droite*.....P68

Figure N° 12.4: *Aménagement final du giratoire*.....P69

Figure N° 13.1: *Garage franc*.....P73

Figure N° 13.2: *La longueur utile*.....P73

Figure N° 13.3: *La nouvelle gare marchandise*.....P74

Figure N° 13.4: *La nouvelle gare de voyageurs*.....P74

Figure N° 14.1: *Digue antibruit et éléments de construction formant écran*.....P77

Liste des tableaux

Tableau N° 3.1 *: Longueur minimal à respecter (source fiche SNTF Géométrie)*.....P14

Tableau N° 3.2 : *Paramètres de tracé pour notre projet. (Source fiche UIC 703R)*.....P14

Tableau N° 3.3 : *Dévers et vérification des insuffisances*.....P15

Tableau N° 3.4 : *Compensation des dévers et des longueurs de clothoïde*.....P15

Tableau N° 6.1 : *Valeurs des rayons de raccordement minimal a respecté. (Source Référentiel SNTF)*.....P27

Tableau N° 7.1 : *Résultats des puits de reconnaissances*.....P32

Tableau N° 7.2 : *Résultats des essais de pénétration dynamique*.....P34

Tableau N° 7.3 : *Résultats du sondage carotté*.....P35

Tableau N° 7.4 : *Classification des sols suivant l'indice de plasticité (source fiche UIC 719R)*.....P37

Tableau N° 7.5 : *Résultats des essais Proctor*.....P38

Tableau N° 7.6 : *Les résultats de l'analyse chimique*.....P38

Tableau N° 7.7 : *Les résultats des essais physique et mécanique*.....P39

Tableau N° 7.8 : *La classe de portance de la plate-forme*.....P39

Tableau N° 8.1 : *Appareils de voie et leur domaine d'application*.....P42

Tableau N° 9.1 : *Les valeurs du coefficient E selon la plate-forme*.....P53

Tableau N° 10.1 : *Les données hydraulique de la zone du projet*.....P55

Tableau N° 10.2 : *Coefficient de ruissèlement*.....P57

Tableau N° 10.3 : *Variable de gauss*.....P57

Tableau N° 10.4 : *Coefficient de MANNING STRIKLER*.....P59

Tableau N° 13.1 : *Les paramètres du projet*.....P72

Tableau N° 14.1 : *Mesure de protection contre le bruit*.....P78

Tableau N° 14.2 : *Effets sélectionnée du transport ferroviaire*.....P80

Liste des photos

Photo N° 5.1 : *Début du projet (PK 0+000)*……..P21

Photo N° 5.2 : *La quatrième voie du faisceau ferroviaire de la gare marchandise*……P21

Photo N° 5.3 : *petit talweg intercepté par le tracé*……..P22

Photo N° 5.4 : *Le giratoire interceptés par le tracé*……P23

Photo N° 5.5: *Le terrain réservé pour la future gare de Béni-Saf*……..P23

Photo N° 7.1 : *illustration photographique des positions des puits réalisées sur site*……..P33

Photo N° 7.2 : *Endroit du sondage carotté SN au niveau de la futur trémie*……P35

Photo N° 7.3 : *Relevé piézométrique dans le sondage SN*……P36

I

INTRODUCTION GENERALE

I.1 Introduction.

I.2 Historique des chemins de fer.

I.3 Historique des chemins de fer en ALGERIE.

I.4 Avantages des chemins de fer.

I.5 Le rail en ALGERIE et son développement.

I- Introduction Générale

I.1 Introduction :

Le chemin de fer est un système de transport guidé servant au transport de personnes et de marchandises. Il se compose d'une infrastructure spéciale, De matériel roulant et de procédures d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain.

L'infrastructure est composée essentiellement de deux files de rails posés sur des traverses appelée voie ferrées, des appareils de voie, des passages à niveau, de la signalisation et, le cas échéant des installations de traction électrique (sous-stations, caténaires, …etc.).

Le matériel roulant circule communément en convois, appelé trains ou rames. Les convois sont tractés par des locomotives, ou sont autotractés ; on parlera alors de rame automotrice (électrique) ou d'autorail (diesel).

Le chemin de fer fait appel au roulement acier sur acier, les roues étant munies d'un boudin garantissant le maintien des véhicules sur les rails. Ce système est utilisé aussi par des déclinaisons considérées généralement comme des chemins de fer spécialisé: métros, tramways, chemins de fer à crémaillère.

Enfin, le chemin de fer présente un des moyens de transport les plus fréquentés grâce aux grands avantages qu'il offre ainsi qu'il est considéré comme l'une des bases de la politique de l'aménagement du territoire.

I.2 Historique des chemins de fer :

L'une des premières idées de chemin guidé était celle de **DIOLKOS** qui a permis aux bateaux de franchir l'isthme de CORINTHE en GRECE au VI ^{ème} siècle avant J-C à l'aide des esclaves et des bêtes qui poussait des chariots circulant sur des blocs de pierres entaillées. Cette idée a été développé ensuite par les grecques et les romains aux alentours de l'an 1 par des wagons tractés par des chevaux en utilisant aussi des voies constituée de pierres entaillées.

La réapparition des transports guidés a eu lieu en 1550 en Europe dans les mines en utilisant des barres de guidage en bois avant d'adopter par la suite des rails métalliques.

La première voie ferrée construite au monde est apparu en ANGLETERRE en 1825 reliant STOCKTON et DARLINGTON qui avait comme rôle de transporter seulement du charbon, tout comme d'autres lignes construites dans la même période en ECOSSE et LANCASHIRE. Cette dernière a connu en 1803 la mise en service de La première voie ferrée mixte entre LIVERPOOL et MANCHESTER sur 51 Km.

A partir de 1840, le chemin de fer connut un développement remarquable dans les pays qui disposaient de charbon, ou qui pouvaient facilement en importer comme l'Europe et les Etats-Unis d'Amérique. Bénéficiant de la révolution industrielle, les grands réseaux ferrés furent construits entre 1830 et 1890. En 1875, un demi-siècle après la naissance des premières voies ferrées, on comptait 129 000 Km des lignes aux Etats-Unis et 123 000 Km en Europe occidentale. Quelques années plus tard on dénombrait 363 000 Km des voies ferrées dans le monde, dont 172 000 Km en Europe et 165 000 Km aux Etats-Unis. En 1950, ces dernières étaient desservies par 350 000 Km des lignes ferroviaires sur un total de 1,3 millions de Km.

Enfin, malgré le grand développement des chemins de fer au monde mais leur répartition apparait très inégale. De nombreux Etats ne disposent que d'un petit nombre de lignes ferroviaires ainsi que d'autres ne possèdent pas de réseaux ferrés dont 14 pays africains font partie.

I.3 Historique des chemins de fer en ALGERIE :

La construction des chemins de fer en Algérie fut l'œuvre de Napoléon III vivement encouragé par son demi-frère le duc de MORNY. Celui-ci fort intéressé, à tous les sens du terme, par ce nouveau mode de transport, fut entre autres postes, Président de la Compagnie du Grand-Central et Vice-président de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans (Le Paris-Orléans).

Le décret impérial du 8 avril 1857 prévoyait la construction de 1 357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie. Six compagnies ont été Créées pour réaliser ce programme: les Compagnies Bône-Guelma (BG), l'Est Algérien (EA), la compagnie des chemins de fer algériens, Paris-Lyon-Méditerranée (PLM), l'Ouest Algérien (OA) et Franco-algérienne.

Le 18 juillet 1879 une nouvelle campagne d'investissement fut lancée à l'échelle nationale pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant. Ce projet a été confié à des investisseurs privés et des collectivités locales. Apres trente ans le réseau se renforce de 2035 Km de lignes de chemins de fer.

A la fin de la deuxième guerre mondiale, le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5 015 km. Constituant ainsi l'armature du présent réseau ferroviaire algérien.

Le 30 juin 1959, l'État français a créé la compagnie des chemins de fer Français en Algérie (CCFA) qui devint en 1963 la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens).

Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'état français, l'état algérien divisa la SNCFA en trois organismes distincts : La SNTF qui assure l'exploitation du réseau ferré algérien, l'ASNERIF chargé de la maintenance et de la construction des lignes ferroviaires, La SIF chargé du développement du réseau ferré algérien.

I.4 Avantages des chemins de fer :

La répartition du trafic entre les différents modes de transport résulte des décisions prises par les usagers des transports, lesquelles dépendent des avantages que supposent les différentes solutions possibles, ainsi que l'investissement de l'état dans les chemins de fer est bien justifiable vue les bienfaits de la voie ferrée qui peuvent se résumer comme suit:

- Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles) et peut même concurrencer l'avion vue les grandes vitesses atteintes par le TGV.
- il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures.
- Le moins couteux parmi tous les autres moyens de transport.
- sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route.
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire.
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires.
- gain de temps, confort et sécurité.
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

Ces raisons expliquent la préférence des usagers de se déplacer par chemins de fer, ce qui a poussé les gouvernements à investir dans ce mode de transport qui représente dans nos jours un facteur important dans la mesure du développement d'un pays. D'autre part, sa consommation économique et sa préservation de la nature lui confère le mérite d'être le meilleur système de transport du siècle.

I.5 Le rail en ALGERIE et son développement :

En Algérie, Le rail marque une négligence regrettable et complètement oublié jusqu' aux années 80 où il a été un peu redynamisé avec la création de 303 km de lignes nouvelles et le renouvellement de la voie et du ballast sur 800 km.

Après la crise sécuritaire algérienne, le rail a connu une période de stagnation et d'ignorance ce qui a détérioré l'état des infrastructures ferroviaires et du matériel roulant.

A partir de l'an 2000, le réseau Algérien a connu l'électrification de 340 km et la réalisation de 500 km de lignes nouvelles.

Aujourd'hui, le secteur ferroviaire connaît une véritable relance, une importante enveloppe allouée au secteur dans le cadre du programme de modernisation de l'infrastructure ferroviaire (Voir la fig1.1 ci-dessous), une nécessité absolue, compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante.

La mise en service d'un réseau moderne aura pour effet de réduire les temps de parcours des trains, et de désenclaver un certain nombre de régions du pays en les reliant au réseau ferroviaire national existant.

Enfin, il s'agit de rénover l'ensemble des voies existantes, procéder à leur dédoublement, électrifier la rocade nord et acquérir de nouveaux équipements en matériel roulant, pour la signalisation ainsi que pour les télécommunications.

- **Les grands axes du plan de modernisation du rail en ALGERIE :**

  - Modernisation des lignes existante : 855 Km.
  - Doublement de voie : 430 Km.
  - Autre ligne : 1120 Km.
  - Ligne des hauts plateaux : 600 Km.
  - Boucle du sud : 800 Km.
  - Autre ligne en cours de réalisation : 828 Km.
  - Lignes projetées : 1400 Km.

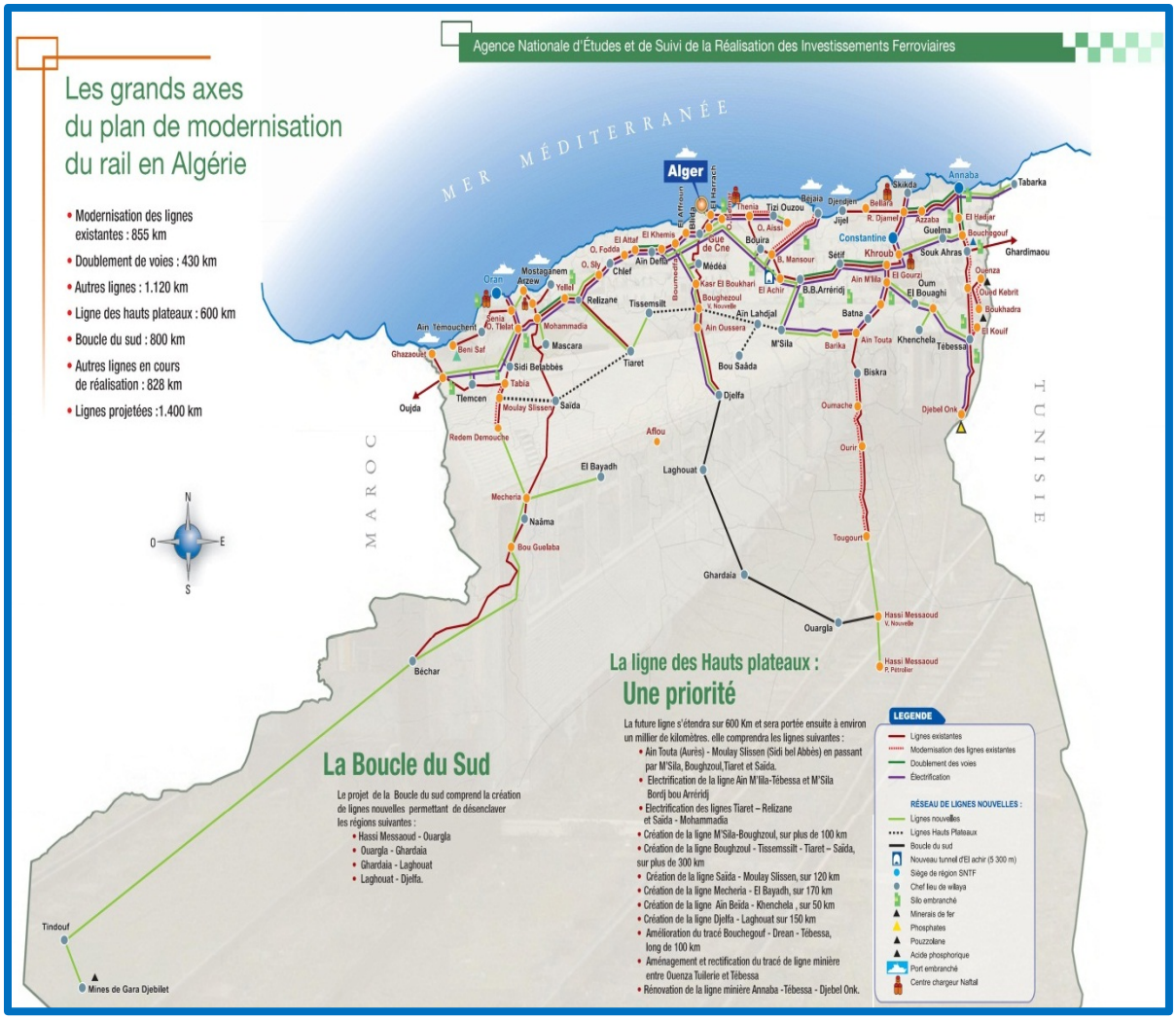


***Figure N° 1.1** : Plan de développement des chemins de fer en ALGERIE. (Source ANESRIF)*

II

PRESENTATION GENERALE

II.1 Introduction.

II.2 Présentation de la ville de BENI SAF.

II.3 Présentation du projet.

II.4 Objectifs du projet.

II.5 Données du projet.

II. Présentation Générale

II.1 Introduction :

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

L'étude du réseau ferroviaire de la zone d'AIN TEMOUCHENT avait montré l'importance de ce dernier ainsi que la nécessité de l'améliorer et de l'aménager avec des capacités supérieures à celles de l'actuel réseau. Vue l'importance et l'attirance de la ville de Beni-Saf, les autorités publiques ont lancé un projet de liaison de cette dernière au réseau ferroviaire national.

Ce projet désenclavera toute la zone de Beni-Saf et ses zones limitrophes, ainsi qu'il permettra sa liaison aux autres agglomérations dans les différentes régions du pays, ce qui présente un confort précieux pour les déplacements des citoyens, de plus il développera la région dans tous les domaines, notamment le tourisme qui marque une croissance remarquable.

II.2 Présentation de la ville de Beni-Saf :

Beni-Saf est une ville côtière situé dans la wilaya d'AIN TEMOUCHENT au nord-ouest de l'ALGERIE, distante de 35 Km du chef-lieu de wilaya et à quelques 100 Km des frontières algéro-marocaines.

Histoire :

Les côtes algériennes du nord-ouest ont abrité depuis des périodes les plus éloignées, bien des peuples comme les Acheuléens, les Ibéromaurusiens, les crétois, les Mycéniens, les Phéniciens, les Numides, les Carthaginois, les Massyles. Tous ces peuples ont marqué leur passage par Beni-Saf.

Les romains l'ont créé en lui donnant le nom de «**siga** ». En 428, les vandales ravagèrent tout. Après, ce sont les arabes qui arrivèrent et bâtirent la ville. Les berbères qui professaient l'idolâtrie, le judaïsme ou le christianisme s'y installeront donnant « **honaïn** » comme nom a ce lieu, les espagnoles les en chasseront et détruiront tout, laissant le lieu inhabité pendant trois siècle.

En 1518, les turcs s'installèrent et leur système d'administration n'allait pas au-delà de la collecte d'impôts, alors cette période n'avait rien donné de plus à cette région. Après la colonisation française de 1832, les français installèrent une garnison dans l'ile de Rachgoune

pour empêcher les anglais d'amener leurs armes et en 1883, ils lui donnèrent le nom de **Beni-Saf sur mer**.

Il y avait beaucoup de minerai de fer dans cette région, c'est pour cela qu'elle était appelée autrefois la « cité minière ». Les nouveaux arrivants venus d'EUROPE se sont installés et y ont fait souches.

situation géographique :

La région de Beni-Saf est limitée du Nord par la mer Méditerranée, du Sud par les monts de Sbaa Chioukh, de l'Est par Oued Tafna, et pour sa limite orientale, elle reste approximativement tracée par l'Oued Sidi Ahmed (confluant de l'Oued Sidi Djelloul).

Situation selon le découpage administratif :

La commune de Beni-Saf est limitée du nord par la mer Méditerranée, du sud par la commune d'EL Emir Abdelkader (Daïra d'Ain kihel), de l'Est par la commune de Sidi Safi (Daïra d'Ain Témouchente) et de l'Ouest par la daïra d'Oulhassa Gheraba.(voir figure 2.1)



***Figure N° 2.1** : Découpage administratif de la wilaya d'Ain Témouchent.*

Cadre géologique général sur la région de Béni-Saf :

La région de Béni-Saf fait partie du tell littoral occidental entre les monts des traras et les massifs Oranais ainsi qu'au Nord des monts de Sbaa Chioukh.

Tous les terrains géologiques sont représentés dans ces zones telliennes, depuis le primaire jusqu'au quaternaire. Les terrains les plus représentatifs de la zone de Béni-Saf sont surtout les terrains éruptifs et les sédiments tertiaires et quaternaires.

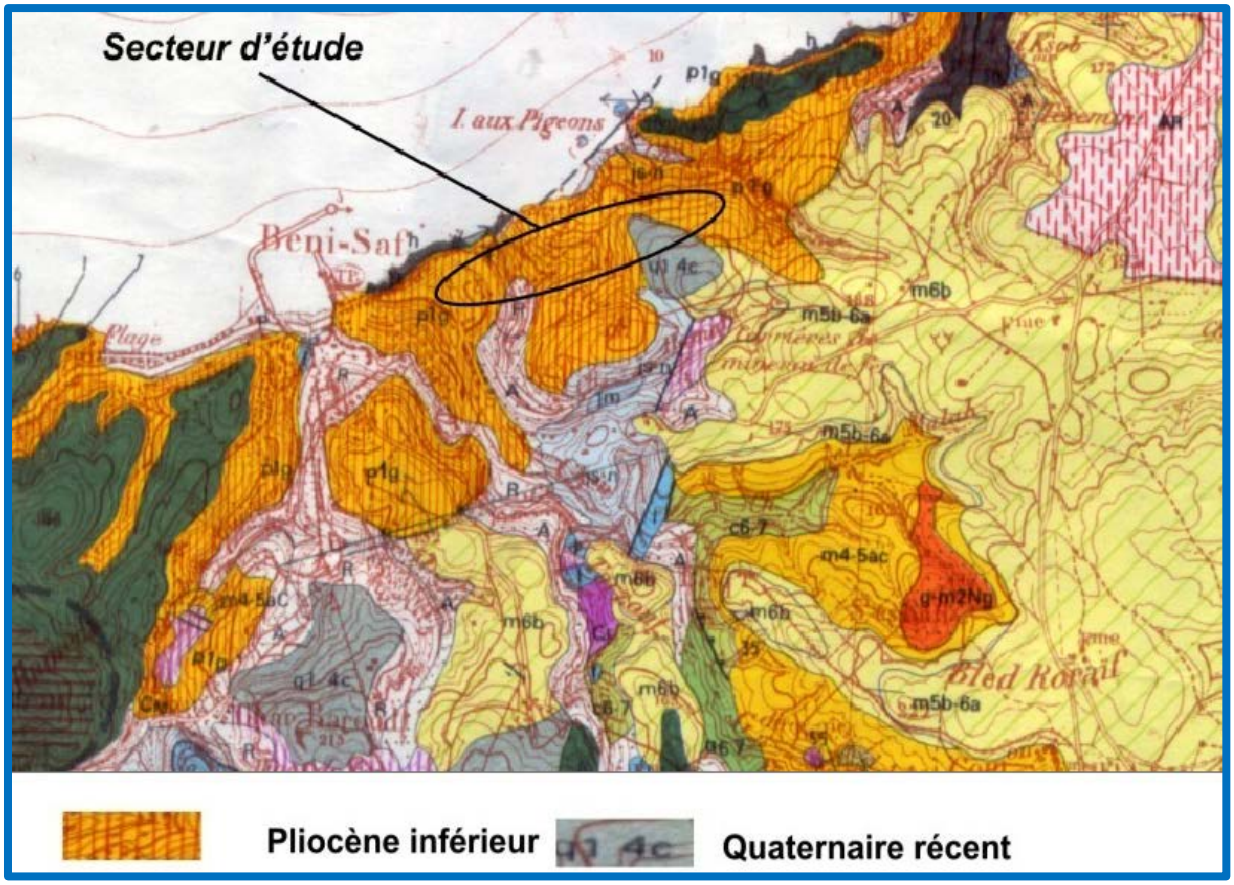


Figure N° 2.2 : *Carte géologique de la région de Béni-Saf*

Climat :

Le climat de Béni-Saf représente, selon le rapport de pluviométrie, un intermédiaire entre le régime du littoral du centre, et celui des steppes. La région a une réputation de sécheresse et d'aridité.

La semi-aridité du climat de Béni Saf est caractérisée par les 370 mm de pluies annuelles. Elle est atténuée par l'influence de la mer qui réduit à la fois l'amplitude thermique annuelle (8,4 C°) et diurne (6 C°) ainsi que le nombre de jours de sirocco dans l'année (6,2 j/an). Les influences orographiques sont négligeables parce que l'altitude et les dénivellations sont faibles. Malgré la faiblesse des précipitations, les températures sont assez douces et la zone reste la moins exposée du pays au sirocco.

Les précipitations sont réparties en deux périodes dans l'année ; l'une de juin à août et l'autre de septembre à mai. La première est considérée comme sèche parce qu'elle est caractérisée par une faible pluviométrie (9 mm en juin, 1 mm en juillet et 2 mm en août), par

contre, la seconde est humide. Les précipitations mensuelles passent de 57.94 mm pour le mois de Novembre à 1.66 mm pour Août.

Les vents d'hiver sont dominants. Ils soufflent dans la direction Nord-Ouest à Sud-Ouest avec une puissance globalement forte d'Octobre à Avril. Ils sont le principal facteur déclenchant les précipitations parce qu'ils sont chargés d'humidité.

Les vents d'été, relativement secs, ont une direction Nord-Est, une puissance faible à modérée et soufflent de Mai à Août.

La rosée est un facteur régulateur du climat en général et des températures en particulier. Son importance est d'autant plus grande qu'elle se manifeste en période hivernale.

II. 3 Présentation du projet :

Le tracé actuel reliant Ain Témouchent et la cimenterie de Béni-Saf est à voie unique non électrifié à vocation marchandise sur une distance de 22 Km. Cette voie ferrée a été réalisée principalement pour transporter du ciment.

Notre présent projet consiste à la liaison de la ville de Béni-Saf au réseau ferroviaire national avec implantation d'une gare ferroviaire, cette nouvelle ligne est destinée au transport de marchandises et des voyageurs.

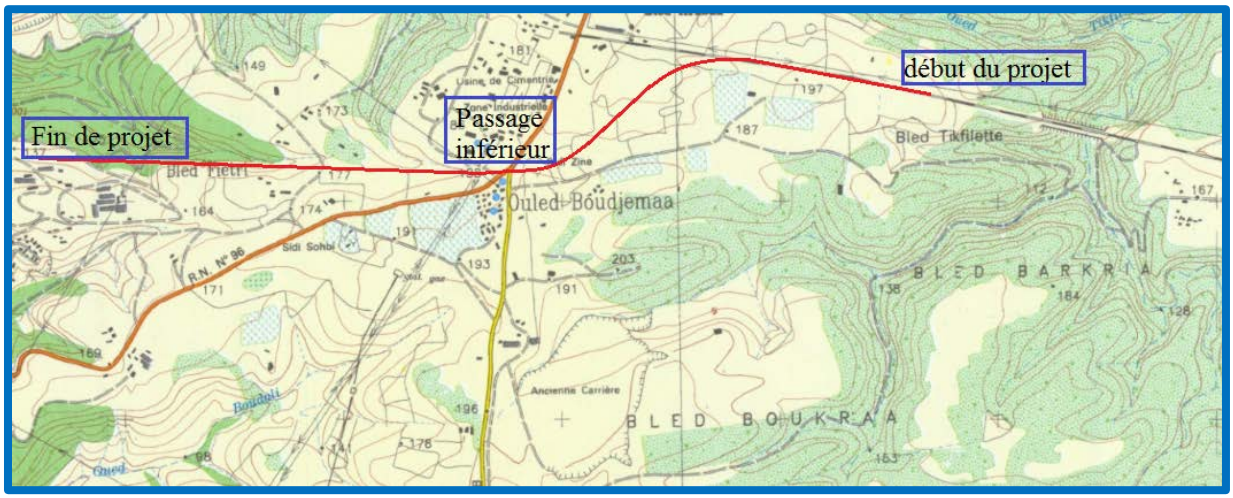


Figure N° 2.3 : *Schéma synoptique sur carte topographique*



Figure N° 2.4 : *Schéma synoptique sur carte satellite (Source GOOGLE earth).*

II.4 Objectifs du projet :

Cette étude a pour but de définir le meilleur tracé pour la réalisation d'une liaison ferroviaire permettant d'assurer la continuité de l'actuelle ligne d'exploitation Ain Témouchent-cimenterie de Béni-Saf. Ce tracé doit répondre aux objectifs économiques et aux besoins de la région, de plus il doit respecter les normes nationales et internationales des chemins de fer.

Le raccordement de la ville de Béni-Saf au tracé actuel reliant la cimenterie à la ville de Ain Témouchent, permettra le rapprochement entre le centre urbain et le lieu d'implantation de la future gare voyageurs et intégrera l'emplacement des autres modes de transport tels que la gare routière et le téléphérique et ceci garantira l'inter-modalité des transports.

II.5 Données du projet :

- Type de ligne : voie unique.
- Ecartement de la voie : 1,435m.
- Type de rail : UIC54.
- Traverses bi-bloc en béton armé.
- Attache élastique a lame de type nabla.
- Vitesses max des trains voyageurs et des trains marchandise : 90 Km.

III

TRACE EN PLAN

III.1 *Introduction.*

III.2 *Conditions et règles de tracé.*

III.3 *Eléments de tracé en plan.*

III.4 *Conditions de raccordement.*

III.5 *le dévers.*

III- Tracé en plan

III.1 Introduction :

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

Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal, il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles relié entre eux par des courbes de raccordement progressif. En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

V_R : vitesse des trains rapides (voyageurs).

V_L : vitesse des trains lents (marchandises).

III.2 Conditions et règles de tracé :

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

- Comme on est en phase APD, on ne doit pas sortir du couloir choisi ;
- Raccordement à la voie existante au début du projet ;
- Eviter au maximum les propriétés privées ;
- Eviter le franchissement des oueds et des routes afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques ;
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements ;
- Eviter les terrains très plastiques ;
- Suivre les courbes de niveau afin de minimiser les terrassements ;
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.

III.3 Eléments du tracé en plan :

Le tracé en plan est un ensemble d'alignements droits raccordés entre eux par des arcs et des courbes de raccordements. (Voir fig.3.1 au-dessous)

- **Alignement (R=∞) :** c'est un tracé droit, il est considéré comme étant le meilleur tracé pour le confort et la sécurité qu'il offre aux voyageurs.
- **Arcs de cercles (R=constante) :** Le raccordement entre les alignements se fait avec les arcs de cercles, ces derniers doivent assurer un passage sécurisé et confortable des trains afin d'éviter le déraillement.
- **Courbes de raccordement (R=variable) :** C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R=∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle.

On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure, la stabilité et le confort.

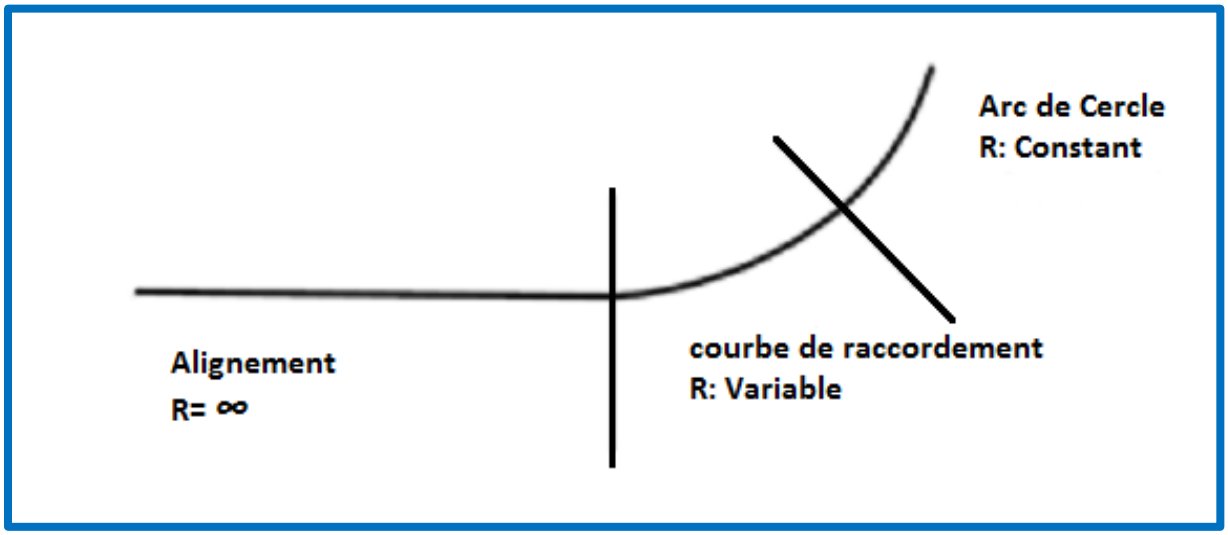


***Figure N° 3.1** : Eléments du tracé en plan.*

III.4 Conditions de raccordement :

- **Condition de gauchissement :** On doit limiter dans les zones de variation de dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie ;
- **Condition de confort optique :** C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction ;
- **Condition de confort dynamique :** elle assure la stabilité et le confort dynamique par la progression du dévers et de la courbure.

III.5 Le dévers :

Le dévers est la dénivelée entre les deux files de rails composant la voie. Une courbe est posée en dévers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur de la voie) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur de la voie).

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

- **Le dévers théorique d_{th} :** Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Mécaniquement la résultante doit être perpendiculaire à la surface de roulement.

Dans une courbe de rayon **R,** la force centrifuge **F** vaut : $F=m.\frac{V^2}{R}$

$tg\alpha = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{Rg}$

On a: $d= e.\sin\alpha$ (si α est petite $\Rightarrow \sin\alpha \approx tg\alpha$)

$d= e.\ tg\alpha = e.\frac{V^2}{R.g}$ (V en m/s)

A.N: e=1.5 m, g=9.81 m/s²

$$D_{th} = \frac{0.0118\ V^2}{R}$$ (R et D en **m**, V en **Km/h**)

Le résultat final est simplifié comme suit :

$$D_{th} = \frac{11.8\ V^2(\frac{km}{h})}{R(m)} \quad [mm]$$

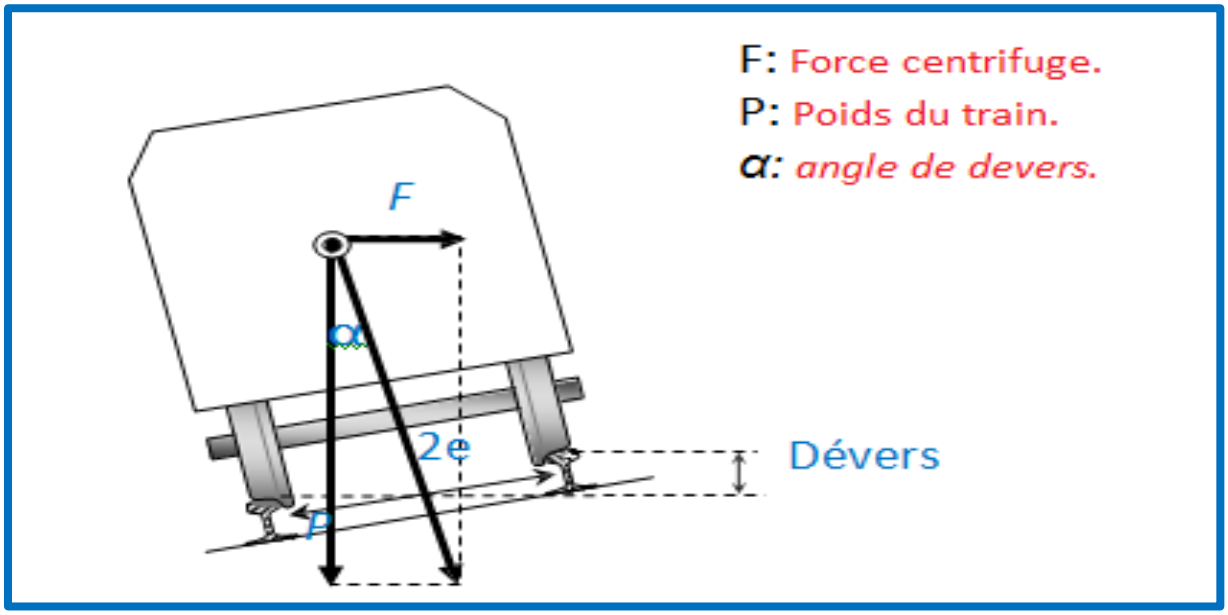


Figure N° 3.2 : *Force centrifuge et dévers.*

- **Le dévers pratique (normal)** : le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents.

C'est pour cela qu'on prévoit un dévers moyen (dévers normal) qui tient compte des grandes vitesses ainsi que des vitesses réduites. Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

La formule du dévers pratique est :

$$D_p = \frac{1000.C}{R}$$ **[mm]/** C : coefficient du dévers**.**

- **L'insuffisance de dévers :** lorsque V_r^2 (la vitesse d'un train rapide empruntant une courbe) est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule 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. On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers normal (pratique). Elle est donnée par :

$$I = \frac{11.8\ Vr^2}{R} - D_p \quad [mm]$$

- **L'excès de dévers:** lorsque la vitesse d'un train en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers normal.

$$E = Dp - \frac{11.8\ V^2 L}{R} \quad [mm]$$

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

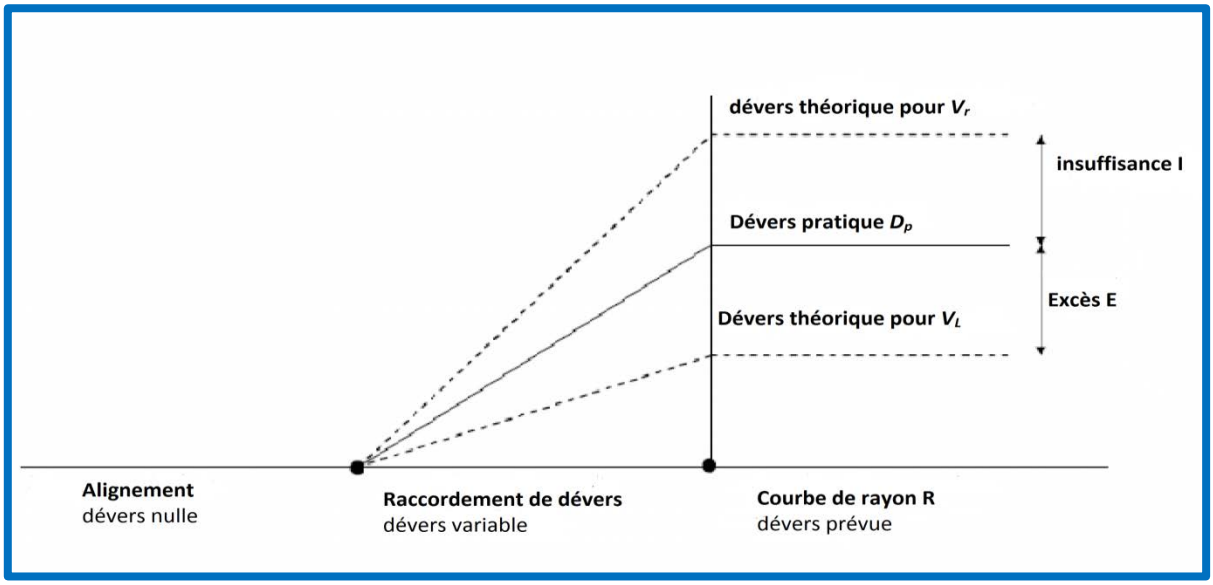


***Figure N° 3.3** : Raccordement de dévers.*

- **Coefficient de dévers :** le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers pratique et la courbure :

$$C = (R_{min} . D_{Rmin}) / 1000$$

Le dévers pour le rayon minimal se calcule par la formule suivante :

$$R_{min} = \frac{11.80\ V_{max}^2}{D_{Rmin} . I_{max}} \quad [m]$$

- D_{Rmin} **:** dévers pour le rayon minimum.
- V_{max} **:** vitesse maximum des trains voyageurs.
- R_{min} **:** rayon minimum pour la vitesse maximale.
- I_{max} **:** valeur admissible d'insuffisance de dévers.

- **Gauchissement et variation du dévers :** Lors du passage des trains dans les courbes et en présence des dévers, les points de contact des roues des wagons avec le rail ne se trouvent pas sur le même niveau et sous des charges dynamiques à grandes vitesses qui sont répartit inégalement sur les roues, le problème deviendra très dangereux. Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport **(ΔD/ΔL)** exprime cette variation en (mm/m).

- **Longueur minimum des éléments de tracé :** Afin de faciliter le roulement et adoucir le roulis des wagons de train, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments du tracé. Ces longueurs doivent respecter les valeurs exprimées ci-après en mètre (la vitesse exprimée en Km/h) :

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

Tableau N° 3.1 : *longueur minimal à respecter (source fiche SNTF Géométrie)*

N.B : pour notre projet la longueur minimale est $\mathbf{L_{min}}$ **=V/2=45 m**.

- **Application au projet :**

		Catégorie I $\mathbf{V_R}$ **=90 Km/h**	
		Normal	**maximale**
Insuffisance de dévers	*I (mm)*	80	100
Dévers	*D (mm)*	150	160
Variation du dévers avec le temps	*dd/dt*	28	46

Tableau N° 3.2 : *Paramètres de tracé pour notre projet. (Source fiche* ***UIC 703R****)*

➢ <u>calcul du rayon minimum</u> : $\mathbf{R_{min}}$

$$R_{min} = \frac{11.80\ V^2 max}{DRmin + Imax}$$

A.N : $R_{min} = \frac{11.80 \times 90^2}{160+80} = 398.25$ m

On prend : $\mathbf{R_{min} = 400m}$

➢ *<u>calcul du coefficient de dévers</u>* : ***C***

$$\mathbf{C = (R_{min}.\ D_{Rmin})\ /1000}$$

A.N : C = $(400 \times 160)/1000 = 64$

Le résultat est : **C = 64**

➢ Calcul de la longueur de la clothoïde : **L**

On a:

$$dd/dt = [D \times Vmax \,/\, (3.6 \times L)\,] \leq (dd/dt)_{rec} \Rightarrow L \geq \frac{D \times Vmax}{3.6 \times \left(\frac{dd}{dt}\right)rec}$$

A.N: $L \geq (160 \times 90)/(3.6 \times 28) = 142.86$ m.

On prend: **L = 150 m**

➢ Calcul des dévers et vérification des insuffisances:

R_{min}=400 m, C=65, V=90 Km/h					
R (m)	D_p=(1000.C/R)	D_{th}=(11.8 V^2)/R	I=[(11.8 V^2)/R]-D_p	L=(D.V_{max})/3.6$(\frac{dd}{dt})_{rec}$	$A_i=\sqrt{Ri.\,Li}$
	D_p (mm)	***D_{th} (mm)***	***I (mm)***	***L_{min} (m)***	***A_i (m)***
4800	-	-	-	-	-
1250	52	76.46	24.46	46.43	240,91
850	76,47	112,45	35,98	68,28	240,91

***Tableau N° 3.3** : dévers et vérification des insuffisances.*

Les paramètres de clothoïde et du dévers doivent être amenés à des chiffres pratiques par leur arrondissement qui vaut 10 m pour la longueur de clothoïde et 5 mm pour les dévers pratique D_p et cela pour la maintenance de la voie prochainement car les machine de maintenance travaillent avec multiples de 5 et donc l'arrondissement va permettre une maintenance correcte.

Rayon	850	1250
D_p (mm)	80	55
L_{min} (m)	70	50
A (m)	243,93	250

***Tableau N° 3.4** : compensation des dévers et des longueurs de clothoïde.*

Remarque : On n'utilise pas la clothoïde pour le rayon 4800 car son dévers est très petit.

➢ Vérification des résultats :

- tous les rayons sont supérieurs au rayon minimum qui vaut 400 m ;
- les longueurs des éléments du tracé en plan respectent la longueur minimale permise qui est de 45 m ;
- l'insuffisance du dévers est inférieure à la valeur maximale qui est de 100mm.

III

CALCUL D'AXE

IV.1 Introduction.

IV.2 Formules et méthodes de calculs.

IV.3 Exemple de calcul d'axe.

IV- Calcul d'axe

IV.1 Introduction :

Après avoir déterminé le couloir sur lequel la voie sera tracée, on entame l'opération de calcul d'axe qui consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont les coordonnées sont connues, et pour exécuter ce calcul, on doit suivre les étapes suivantes :

- Calcul des gisements ;
- Calcul de l'angle **γ** entre les alignements ;
- Calcul de la tangente **T** :
- Calcul de la corde polaire S_L ;
- Calcul de l'angle polaire **τ** ;
- Vérification de non chevauchement ;
- Calcul de l'arc de cercle ;
- Calcul des coordonnées des points particuliers ;
- Calcul du kilométrage des points particuliers.

IV.2 formules et méthodes de calculs :

- **Le gisement :** on appelle gisement d'une direction, l'angle compris entre le nord géographique et cette direction dans le sens horaire.

- **Paramètres géométriques des courbes :**

- l'équation de la clothoïde : $\mathbf{A^2=R\times L.}$
- longueur de la clothoïde : $\mathbf{L=A^2/R.}$
- $\mathbf{\tau = L/2R\times \frac{200}{\pi}}$ **[grade].**
- distance du centre de courbe : $\mathbf{X_m=L/2.}$
- le ripage : $\mathbf{\Delta R=L^2/24R.}$
- gisement entre les deux directions **γ.**

IV.3 Exemple de calcul d'axe :

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

- Rayon R=850 m.
- S_0 = (652425.0203, 3908525.7193).
- S_1 = (651671.5243, 3908642.8466).
- S_2 = (650834.3960, 3908116.0145).
- A=243,93.

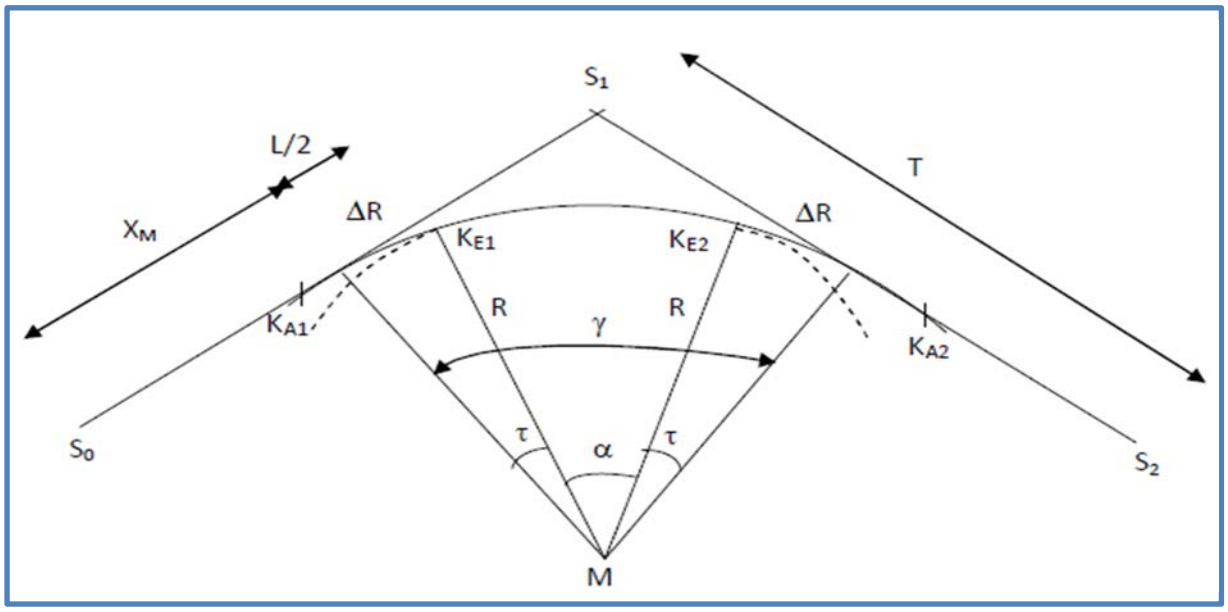


Figure N° 4.1 : *éléments de la clothoïde.*

- Calcul des gisements :

$|\Delta X| = |XS_1 - XS_0| = 753.4960.$
$|\Delta X_1| = |XS_2 - XS_1| = 837.1283.$
$|\Delta Y| = |YS_1 - YS_0| = 117.1273.$
$|\Delta Y_1| = |YS_2 - YS_1| = 526.8321.$

$S_1S_0 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 762.545$ m.
$S_2S_1 = \sqrt{\Delta X1^2 + \Delta Y1^2} = 989.109$ m.

D'où:

$G_{S1}^{S0} = 100 + \text{arctg}\frac{|\Delta Y|}{|\Delta X|} = 108.836$ [grade].
$G_{S2}^{S1} = 100 + \text{arctg}\frac{|\Delta Y1|}{|\Delta X1|} = 100.629$ [grade].

- Calcul de l'angle **γ** :

$\gamma = |G_{S1}^{S0} - G_{S2}^{S1}| = 8.207$ [grade].

- Calcul de l'angle **τ** :

$\tau = (L/2R).(200/\pi) = 2.623$ [grade].

- Vérification de non chevauchement :

$\tau = 2.623$ grade.

$\gamma/2 = 4.103$ grade

D'où :

$T < \gamma/2$ **c.à.d** pas de chevauchement

L/R=0.0823

D'après le tableau de clothoïde on tire les valeurs suivantes :

ΔR/R=0.0002853.

X_m/R=0.041326277.

X/R=0.082642554.

Y/R=0.00113915.

$T=X_m+(R+\Delta R)\ tg\ (\gamma/2)$ [m]

T=35.127+ (850+0.243) tg(4.103) = 96.118 [m]

- Calcul des coordonnées S_L :

$S_L=\sqrt{X^2+Y^2}$

$S_L=\sqrt{(70.246)^2+(0.968)^2}$ = 70.252 [m]

- Calcul de σ :

σ = arctg (Y/X) = arctg () = 0.789 [grade]

- Calcul de l'arc :

$b = K_{E1}\times K_{E2}$

$b=\frac{\pi R(\gamma-2\tau)}{200}=\frac{\pi.850.(8,207.2,623)}{200}$ = 287.277 [m]

- Calcul des coordonnées de chaque point :

$K_{A1}=$ { $X_{KA1} = X_{S1} + T \sin G_{S0}^{S1}$. ; $Y_{KA1} = Y_{S1} + T \cos G_{S0}^{S1}$. }

$K_{A1}=$ { X_{KA1}= 651671.5243 + 96.118 sin (108.836) = 651762.4949 [m] ; Y_{KA1}= 3908642.8466 +96.118 cos (108.836) = 3908611.813 [m] }

$$K_{A2}= \begin{cases} X_{KA2} = X_{S1} - T \sin G_{S1}^{S2}. \\ Y_{KA2} = Y_{S1} - T \cos G_{S1}^{S2}. \end{cases}$$

$$K_{A2}= \begin{cases} X_{KA2} = 651671.5243 - 96.118 \sin (100.629) = 651577.0555 \quad [m] \\ Y_{KA2} = 651671.5243 - 96.118 \cos (100.629) = 651689.2532 \quad [m] \end{cases}$$

$$K_{E1} = \begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} - S_L \sin (G_{S0}^{S1} + \sigma). \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} - S_L \cos (G_{S0}^{S1} + \sigma). \end{cases}$$

$$K_{E1}= \begin{cases} X_{KE1} = 651762.4949 - 70.252 \cos (108.836+0.789) = 651786.0899 \quad [m] \\ Y_{KE1} = 651689.2532 - 70.252 \sin (108.836+0.789) = 651623.0821 \quad [m] \end{cases}$$

$$K_{E2}= \begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} + \sin (G_{S1}^{S2} - \sigma). \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} + \cos (G_{S1}^{S2} - \sigma). \end{cases}$$

$$K_{E2}= \begin{cases} X_{KE2} = 651577.0555 + \sin (100.629 - 0.789) = 651578.0408 \quad [m] \\ Y_{KE2} = 651689.2532 + \cos (100.629 - 0.789) = 651689.0823 \quad [m] \end{cases}$$

- Remarque : les calculs sont faits avec le logiciel **AUTOPISTE** et les résultats sont joints dans l'annexe.

V

DESCRIPTION DU TRACE

V.1 Introduction.

V.2 Caractéristiques techniques du tracé en plan.

V.3 Description du tracé.

V.4 Listes des contraintes interceptées par le tracé.

V- Description du tracé

V.1 Introduction :

Les contraintes dictant le tracé d'une voie de circulation sont nombreuses et toutes les conditions ne peuvent en général être remplies. La préoccupation majeure du projeteur consiste donc à minimiser les effets négatifs de tout nouveau projet, tout en approchant au maximum les objectifs fixés. Ce chapitre a pour but de présenter les caractéristiques techniques de la géométrie de la voie, les obstacles à franchir ainsi que d'autres détails.

V.2 Caractéristiques techniques du tracé en plan :

- Ecartement de la voie : 1.435 m.
- Rayon minimum : 400 m.
- Longueur minimale des éléments du tracé : 45 m.

V.3 Description du tracé :

❖ **Tronçon du PK 0+000 au PK 0+720 :**

- Le point de raccordement à la ligne ferroviaire existante AIN Témouchent- Béni Saf se situe sur une tranchée ouverte en plein déblai rocheux où le point de départ du nouveau tracé Pk 0+000 correspond au PK SNTF 90+400,64 à une altitude d'environ 170,90 mètres.
- Le branchement se fera sur la voie principale à une distance de 440 ml du premier appareil de voie du faisceau de la gare marchandise de la cimenterie. La voie dévie progressivement vers la gauche pour sortir du profil existant avec une courbe circulaire de rayon de 4800 m sur un parcours de 283 m.
- La voie continue en alignement depuis le PK 0+282.99 sur un parcours de 277 m pour passer sur le faisceau ferroviaire de la gare marchandise.
- Un appareil de voie est projeté au niveau du PK 0+300 pour relier le nouveau tracé au faisceau ferroviaire de la future gare marchandise aménagée.
- A partir du PK 0+560, La nouvelle voie passera par la quatrième voie du faisceau de la gare marchandise de la cimenterie sur un parcours d'environ 180 m.



Photo N° 5.1 : *Début du projet (PK 0+000).*



Photo N° 5.2 : *La quatrième voie du faisceau ferroviaire de la gare marchandise.*

❖ **Tronçon du PK 0+720 au PK 2+040 :**

- La voie dévie progressivement de la quatrième voie du faisceau avec un rayon de 850m suivi d'une autre courbe en sens inverse d'un rayon de 1250 m.
- Au PK 1+253.44, il y a interception d'un petit talweg qui sera franchi par un ouvrage.

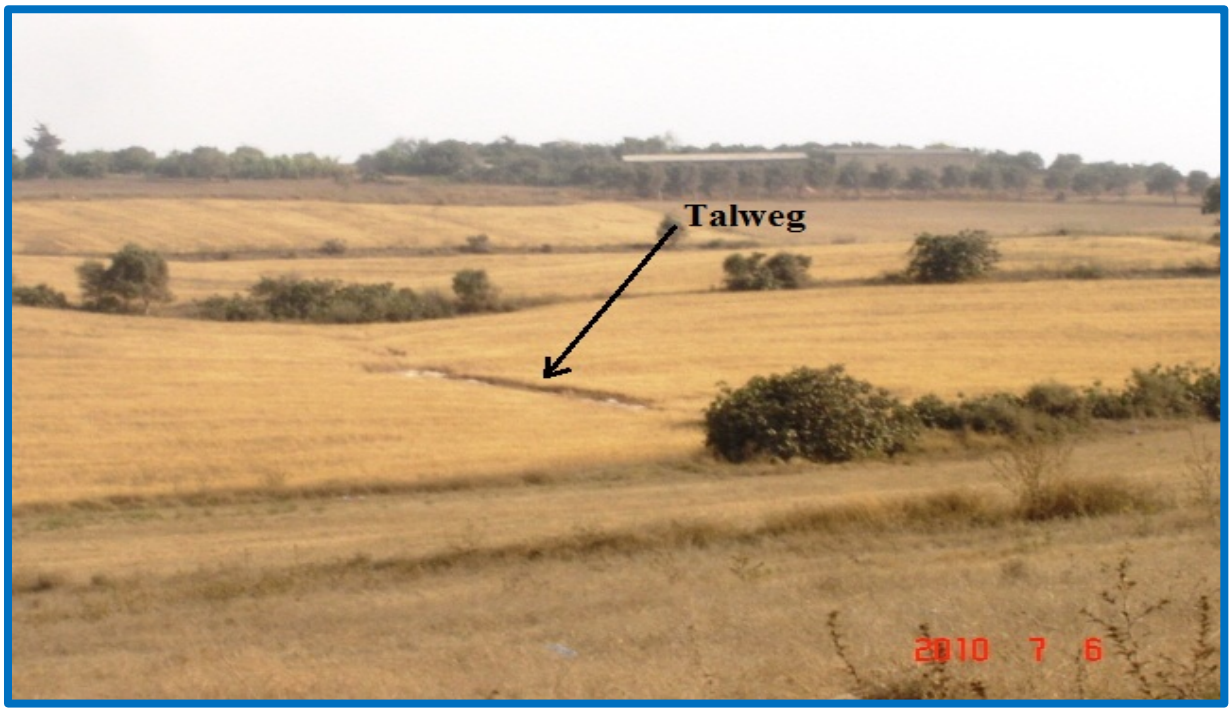


Photo N° 5.3 : *petit talweg intercepté par le tracé.*

❖ **Tronçon du PK 2+040 au PK 3+433,10 :**

- Une courbe de rayon 1250 m est projetée afin de permettre un passage conforme par le point de passage obligatoire (giratoire) et continu en alignement jusqu'à la nouvelle gare de Béni-Saf.
- Un passage inférieur de longueur 110 m entre le PK 2+040 et le PK 2+160 est projetée avec l'intersection de la RN 22 au niveau du giratoire de la sortie sud-est de Béni-Saf du côté de l'entrée de la cimenterie.
- Le tracé traverse une construction en cours de réalisation au niveau du PK 2+737,39 et qui sera démolie.
- Un appareil de voie de type UIC 54-500 1/12 de déviation à gauche est inséré au niveau de la gare voyageurs afin de créer une voie de service.



Photos N° 5.4 : *le giratoire interceptés par le tracé.*



Photos N° 5.5: *le terrain réservé pour la future gare de Béni-Saf.*

V.4 Liste des contraintes interceptées par le tracé :

PK	contrainte	Solution prévue
PK 0+920	Piste peu fréquenté	-
PK 1+031	Piste peu fréquenté	-
PK 1+253.44	talweg	Dalot (2×1)
PK 1+755,08	Rangée d'arbres	Arrachement suivant la largeur de la plate-forme
PK 1+896,73	Conduite d'eau	Déviation
PK 1+953,9	Conduite d'eau	Déviation
PK 1+994,94	Tapis roulant	Respecter le gabarit
PK 2+052,23	giratoire	Passage inférieur
PK 2+160,34	Ligne PTT	-
PK 2+125,36	Conduite d'eau	Déviation
PK 2+224,5	Ligne HT	-
PK 2+235,81	Conduite d'assainissement	Déviation
PK 2+237,77	Conduite de gaz HP	Déviation
PK 2+297,41	Ligne HT	-
PK 2+403,5	Ligne MT	-
PK 2+504,42	Conduite de gaz HP	Déviation
PK 2+517,44	Ligne MT	-
PK 2+737,39	Construction en cours de construction	Démolition
PK 2+980	Piste	-
PK 3+039,88	Ligne MT	-
PK 3+158,4	Ligne MT	-

VI

PROFIL EN LONG

VI.1 Introduction.

VI.2 Eléments géométriques du profil en long.

VI.3 Déclivité maximale.

VI.4 Longueur minimale des éléments du profil en long.

VI.5 Le raccordement en profil en long.

VI.6 Coordination profil en long-tracé en plan.

VI.7 Calcul des éléments du profil en long.

VI- Profil en long

VI.1 Introduction :

Le profil en long est la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel ;
- L'altitude du projet ;
- La déclivité du projet, distances partielles et cumulées…etc.

Le tracé de la ligne rouge doit répondre à certaines conditions :

- La déclivité maximale est de 16‰ en plein voie, et de 0‰ au sein des gares et haltes ;
- Minimiser les quantités de déblai et remblai ;
- Se raccorder au réseau existant ;
- Eviter les angles rentrants en déblai pour une bonne évacuation des eaux ;
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Respecter la longueur minimal des éléments de profil en long (L_{min}= V/2) ;
- Respecter le rayon minimal en profil en long qui vaut : $R_{v\,min}$= 0.35 V_R^2.

VI.2 Eléments géométriques du profil en long :

- **Pente :** tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente).
- **Rampe :** tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée).
- **Palier :** c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Courbes de raccordement verticales :** ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.

VI.3 Déclivités maximales :

Selon le référentiel technique de la SNTF, les déclivités varient en fonction de leurs longueurs :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et Exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.

- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

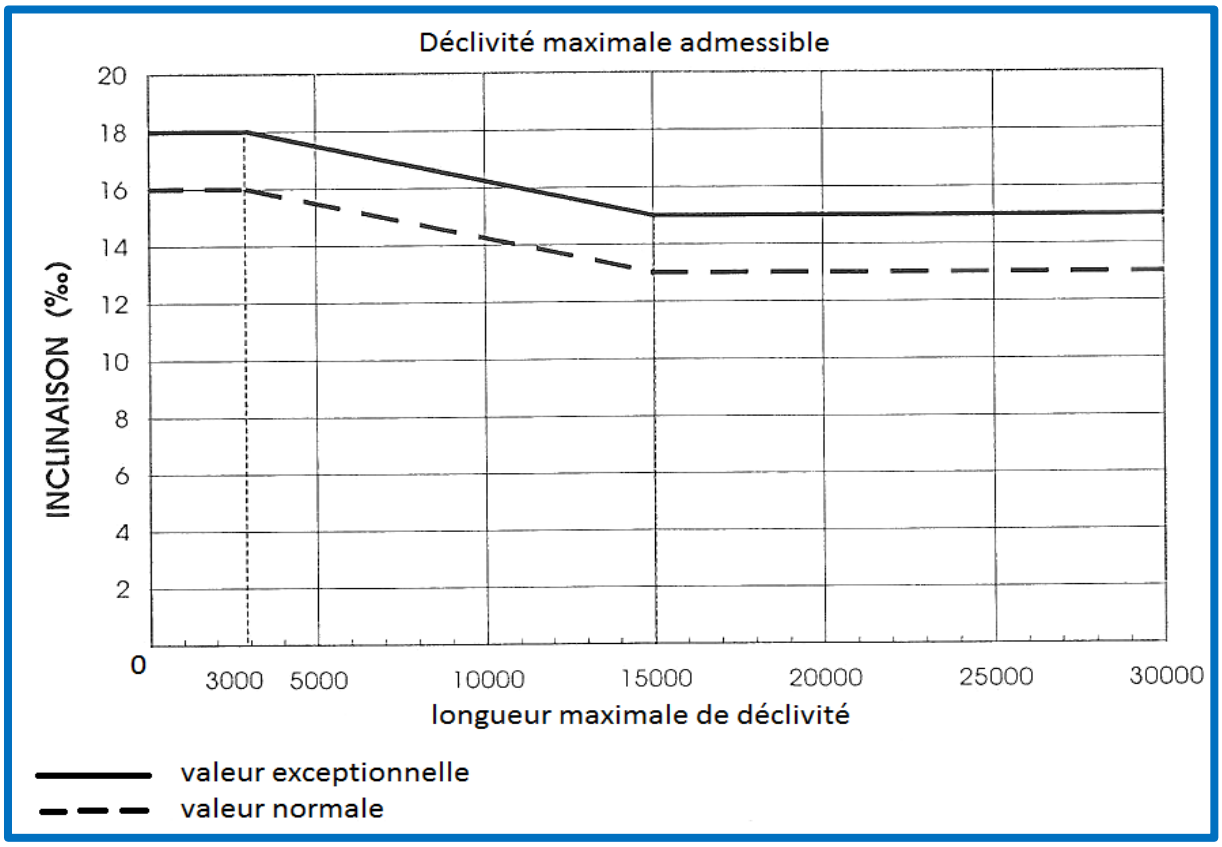


Figure N° 6.1 : *Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF).*

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

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importante aux véhicule, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails.

$L_{min}=V/2=45$ m

$$\mathbf{L_{min}= 45\ m}$$

VI.5 Le raccordement en profil en long :

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

$$a_V=\frac{V^2max}{12,96Rv} \leq a_{Vrec}$$

Selon l'UIC le rayon minimale des courbes de raccordement ne doit pas être inférieur à 2000m.

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

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

Tableau N° 6.1 : *valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter.*
(Source Référentiel SNTF)

A.N :

$R_{Vmin} = 0,35V^2 = 2835m$.

$$\mathbf{R_{Vmin} = 2835\ m.}$$

Sachant que l'équation d'un cercle est : $X^2+Y^2-2RY=0$, donc pour des grands rayons ($R \geq 2835m$), la variation de l'ordonnée Y est négligeable devant l'abscisse X, surtout lorsqu' il s'agit d'un carrée ($Y^2 \rightarrow 0$), d'où on obtiendra $Y=X^2/2R$, donc l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

VI.6 coordination profil en long-tracé en plan :

Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions suivantes :

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

Le respect de ces conditions a pour but de :

- Distinguer clairement les dispositions des points singuliers :
- Prévoir de loin l'évolution du tracé et assurer une bonne visibilité :
- Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant ;
- Offrir du confort aux voyageurs.

VI.7 calcul des éléments du profil en long :

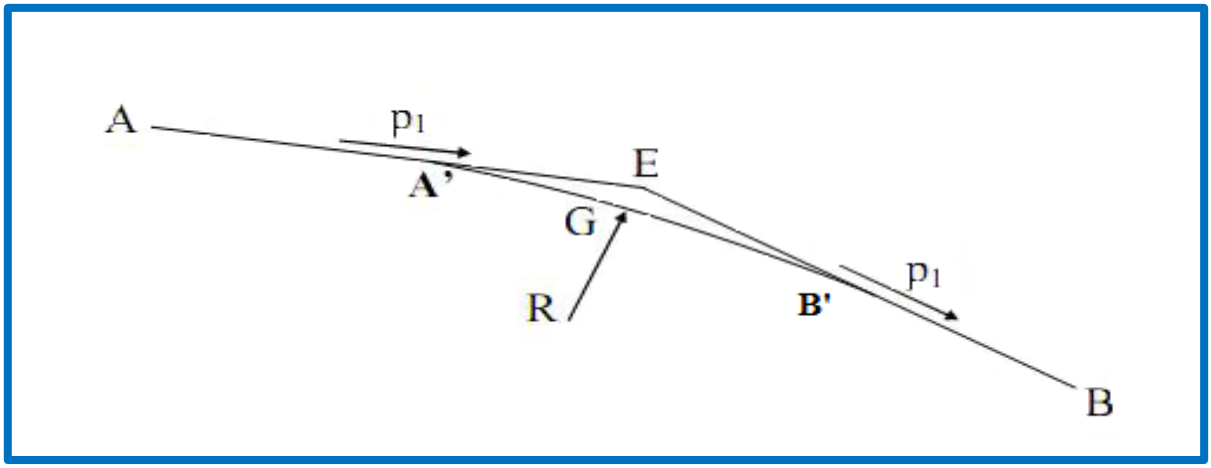


Figure N° 6.2 : *éléments du profil en long.*

A { S= 2540 m ; Z= 177.786 m } E { S= 2980.000 m ; Z= 172.506 m } B { S= 3433.100 m ; Z= 172.506 m }

R = 12000 m

- Détermination des pentes :

$P_1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1} = \frac{-5.28}{440} = -0.012 = 12°/_{oo}$.

$P_2 = \frac{\Delta Z2}{\Delta S2} = \frac{0}{453.1} = 0\ °/_{oo}$.

- Détermination de T (Tangente de part et d'autre) :

$T = \frac{R.|P2-P1|}{2} = 72$.

- Détermination de la flèche F:

$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{5184}{24000} = 0.216$ m.

- Calcul de la cote du point au milieu du raccordement parabolique :

$Z_G = Z_E - F = 172.506 - 0.216 = 172.290$ m.

- Calcul des PK et des cotes des points A' et B' :

$Z_{A'} = Z_E - P_1 .T = 172.506 - 0.012 \times 72 = 171.642$ m.

$PK_{A'} = S_E - T = 2980 - 72 = 2+908.000$ m.

$Z_{B'} = Z_E - P_2 .T = 172.506 - 0 \times 72 = 172.506$ m.

$PK_{B'} = S_E + T = 2980 + 72 = 3+052.000$ m.

DONC :

A' = $PK_{A'} = 2+908.000$ m.

$Z_{A'} = 171.642$ m.

B' = $PK_{B'} = 3+052.000$ m.

$Z_{B'} = 172.506$ m.

Remarque: Les calculs sont faits à l'aide du logiciel **AUTOPISTE** et les résultats sont joints dans l'annexe.

VII

GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE

VII.1 Introduction.

VII.2 Géologie.

VII.3 Programme de la compagne de reconnaissance.

VII.4 Les reconnaissances in-situ et leur interprétation.

VII.5 Les essais de laboratoire et leur interprétation.

VII.6 Classification du sol de notre projet.

VII.7 Plate-forme proposée.

VII.8 Pentes des talus possible pour des déblais sans mesures de soutiens.

VII.9 Conditions d’excavation et de décapage de la terre végétale.

VII.10 Réutilisation des matériaux.

VII. Géologie et géotechnique

VII.1 introduction :

La conception, la réalisation et la maintenance d'ouvrages complexes (ouvrages d'art, routes, voies ferrées, etc.) nécessitent une connaissance fine du sol, de sa nature et de son comportement. Et cela en définissant les caractéristiques précises du terrain, en mesurant les déformations et les résistances.

L'étude géotechnique se base essentiellement sur la description géomorphologique et lithologique, l'interprétation des mouvements gravitaires, l'estimation des tassements et enfin le dimensionnement des assises.

VII.2 Géologie :

Une bonne analyse géologique est un élément fondamental de la qualité d'un projet et de la tenue de la plate-forme. Il faut donc procéder à un inventaire complet des problèmes géologiques dans le couloir choisi afin que le tracé évite les difficultés de cette nature dans la mesure du possible.

La zone du projet peut être naturellement stable mais elle peut également présenter certaines caractères d'instabilité tels que les mouvements de versants (éboulis rocheux, délitage de zones schisteuses, glissement marneux, coulées boueuses,…etc.), affaissement ou effondrement (cavités naturelles, fontis, poches de dissolution, cavités artificielles, carrière marnières,…etc.).

Le géologue doit donc faire en premier lieu un recensement complet de toutes ces zones en examinant les cartes et les photos du site.

- **Géologie du tracé :**

Le tracé traverse un terrain relativement accidenté en passant par la cimenterie de Beni Saf. Les formations géologiques rencontrées dans cette partie sont principalement d'âge Pliocène et Quaternaire, elles sont représentées par une épaisse couche de grès-calcaire (mise en évidence par le sondage carotté et les puits de reconnaissance), beige à blanchâtre, souvent lumachellique et intercalée avec des passages sableux d'épaisseur variable. Ce faciès est souvent masqué par une terre végétale et par des limons argileux d'épaisseur irrégulière.

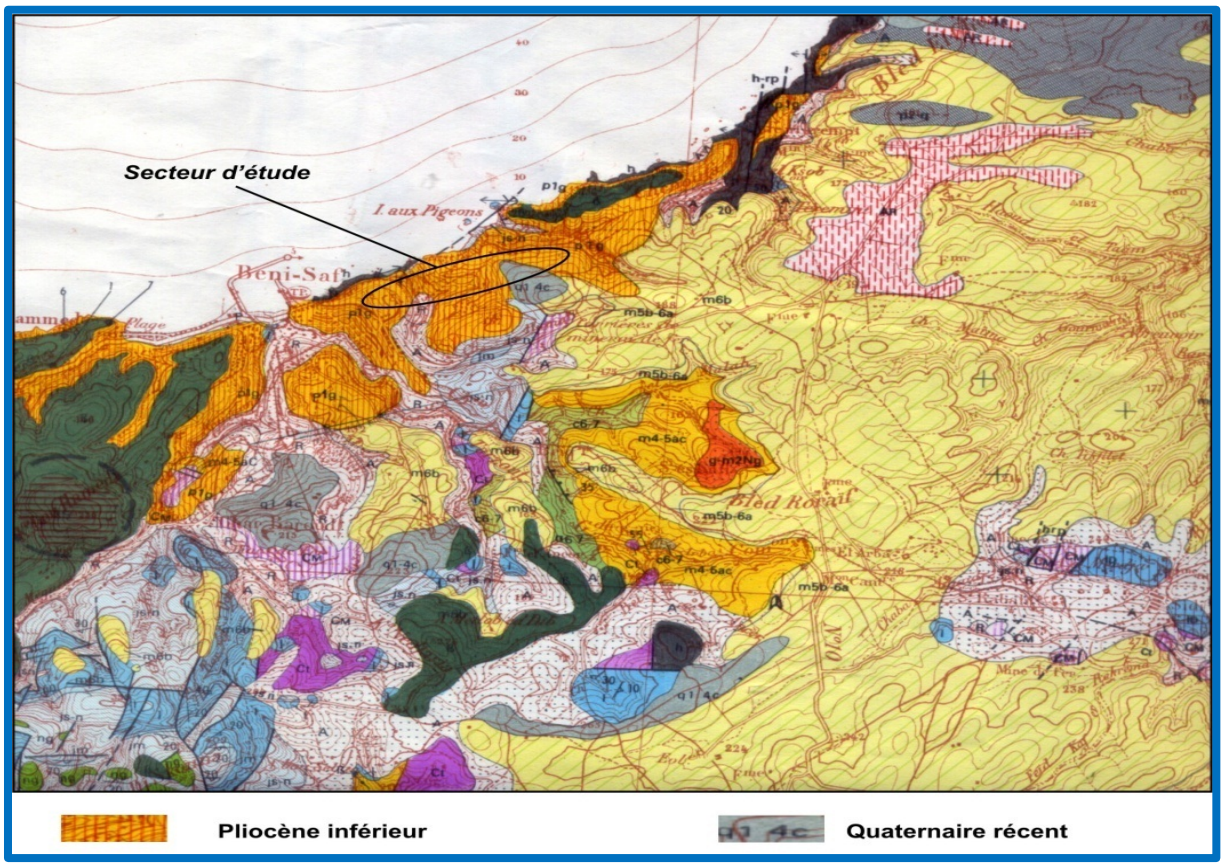


Figure N° 7.1 : *carte géologique de béni-Saf (échelle 1/50000).*

VII.3 programme de la compagne de reconnaissance :

- Reconnaissance « in situ » :
  - Un sondage carotté de 20 m de profondeur équipé d'un piézomètre, implanté au niveau du futur passage inférieur.
  - Cinq (5) puits de reconnaissance à ciel ouvert notés P1, P2, P3, P4 (le long du tracé) et P5 (au niveau du bâtiment voyageurs) réalisée à la pelle mécanique.
  - Quatre (4) essais de pénétration dynamique notés PD-A, PD-B, PD-C, PD-D poussées jusqu'au refus.

- Essais de laboratoire :
  - Essais de laboratoire réalisés uniquement sur les échantillons remaniés prélevés à partir du puits P4.

VII.4 les reconnaissances in-situ et leur interprétation :

- Les puits de reconnaissances :

Les puits sont implanté chaque 600 m afin d'identifier la nature géologique des formations en place. Les formations des grès calcaires rocheux affleurent à partir de 0,5 m de profondeur observés dans les quatre (04) puits : « P1, P2, P3, et P5 » juste après une

couche de terre végétale d'une épaisseur qui ne dépasse pas 0,50 m sauf dans le puits P4, ou on a enregistré un passage de limons argileux à partir de 0.40m de profondeur sur une épaisseur d'environ 1.00 m reposant sur du grès calcaire.
La zone de passage limons argileux sera déblayée et la ligne de projet passera en déblais dans les grès calcaires.

Les résultats des puits réalisé sont résumés dans le tableau ci-après :

Désignation du puits	PK	Profondeur (m)	Description
P1	1+000	0.00-0.40	Terre végétale marron de nature limoneuse
		0.40-0.45	Refus sur une couche de grés calcaire beige a blanchâtre
P2	1+600	0.00-0.35	Terre végétale marron de couleur limoneuse
		0.35-0.40	Refus sur une couche de grés calcaire beige a blanchâtre
P3	2+200	0.00-0.50	Terre végétale marron
		O.50-0.55	Refus sur une couche de grés calcaire beige a blanchâtre
P4	2+800	0.00-0.40	Terre végétale marron a brunâtre
		0.40-1.10	Limon argileux rougeâtre
		1.10-1.15	Refus sur une couche de grés calcaire beige a blanchâtre
P5	3+440	0.00-0.30	Terre végétale brunâtre
		0.30-0.35	Refus sur une couche de grés calcaire beige a blanchâtre

Tableau N° 7.1 : *résultats des puits de reconnaissances.*



Photo N° 7.1 : *illustration photographique des positions des puits réalisées sur site.*

- Les essais de pénétration dynamique :

Quatre (04) essais de pénétration dynamiques notés de **PD-A** à **PD-D** ont été répartis et réalisés sur l'ensemble du terrain d'assise de manière à avoir une idée sur la compacité des sols au niveau du bâtiment voyageurs. L'ensemble des essais a connu des refus brefs et superficiels allant entre 0.55m et 1.11m. Les refus obtenus sont dus à la présence d'une couche de grés calcaire beige à blanchâtre mise en évidence par l'opération de creusement des puits. Les valeurs de résistance de pointe "R_P" obtenues jusqu'aux profondeurs atteintes dépassent largement les 100bars. Selon nos estimations les résultats obtenus jusqu'aux profondeurs atteintes montrent un matériau de bonne résistance à la pénétration voire un sol de bonne compacité en surface. Néanmoins, les résultats obtenus restent insignifiants quant aux couches profondes non atteintes par les essais.

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

désignation	profondeur	description
PD-A	0.74	Refus avec Rp = 3685.71 kg/ cm^2
PD-B	0.55	Refus avec Rp = 3440 kg/ cm^2
PD-C	1.11	Refus avec Rp = 4309.09 kg/ cm^2
PD-D	0.92	Refus avec Rp = 4300 kg/ cm^2

Tableau N° 7.2 : *résultats des essais de pénétration dynamique.*

La résistance au poinçonnement du sol est calculée selon la relation suivante :

$$R_P = \frac{N.M^2.H.}{L.(P+M).A}$$

N : Nombre de coups nécessaire pour enfoncer la pointe d'une profondeur L.
M : Masse du mouton en en kg.
H : Hauteur de chute en cm.
L : Enfoncement de référence en cm.
P : Masse des tiges +mandrin en kg.
A : Section de la pointe.

Après avoir calculé la résistance au poinçonnement du sol, on calcul la contrainte admissible du sol suivant la relation de Meyerhof qui est :

$$Q_{admessible} = R_{Pmin} / \alpha.$$

$Q_{admessible}$: la contrainte admissible du sol.
R_{Pmin} : résistance minimale de la pointe du pénétromètre.
α : coefficient réducteur (α=30).

A.N : $Q_{admessible}$ = 3440/30 ≈115 bars.
(Un très bon matériau)

- Le sondage carotté SN :

Les formations géologiques révélées par le sondage sont essentiellement des grès calcaires beige à blanchâtre renfermé par une couche de terre végétale d'une épaisseur de 40 cm.

Désignation	Profondeur (m)	description
SN (au niveau de la trémie)	0.00-1.20	Remblai hétérogène avec mélange du béton bitumineux
	1.20-20.00	Grès calcaire beige à blanchâtre, lumachelle, avec quelques passages sableux, présentant parfois des figures de dissolution à la base.

Tableau N° 7.3 : *résultats du sondage carotté.*

En vue de la vérification d'une éventuelle présence d'eau dans le sol, un piézomètre a été posé au droit du sondage SN pour repérer son niveau et suivre ses fluctuations dans le temps. Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond du sondage.



Photo N° 7.2 : *endroit du sondage carotté SN au niveau de la futur trémie.*



Photo N° 7.3 : *relevé piézométrique dans le sondage SN.*

VII.5 les essais de laboratoires et leur interprétation:

Vu le refus de profondeur minimal qui est dû à la présence des formations de type grès calcaire rocheux, le prélèvement des échantillons n'a pas été effectué sauf pour le puits P4 qui a révélé une couche de limon argileux rougeâtre (formation alluvionnaire) d'une épaisseur d'environ 0,70 m de profondeur.

Les essais de laboratoire ont été effectués uniquement sur les limons argileux du puits P4**.**

- **Les essais physiques :**

- <u>Analyse granulométrique :</u>

Il s'agit du tamisage au passant de 80 µm qui permet par exemple de distinguer entre les 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.

L'analyse granulométrique montre un pourcentage de passants à 80µ de 57% et Ces résultats montrent qu'on est en présence d'un terrain à prédominance de sols fins (formation limons argileux).

- Limites d'atterberg :

Compte tenu de leur structure, les limons argileux (fraction fine) ont la propriété d'absorber l'eau ou se dessécher, ceci en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises, et passent ainsi d'un état à un autre. Les limites d'Atterberg, ont pour but de définir les teneurs en eau (exprimées en %) correspondant aux limites des différents états :

Les résultats des limites d'Atterberg réalisés sur la fraction des inférieurs à 0.4 mm, ont donné des indices de plasticité « I_P » variables d'environ **19 %** et limite de liquidité « W_L » d'environ **45.90%**.

Indice de plasticité en %	qualificatif
$I_P \leq 12$	Peu plastique
$12 \leq I_P \leq 22$	Moyennement plastique
$I_P \geq 22$	Très plastique

Tableau N° 7.4 : *classification des sols suivant l'indice de plasticité (Source fiche UIC 719R).*

Selon la fiche UIC 719R, les valeurs de l'indice de plasticité « IP » obtenu montrent que les sols sont moyennement plastiques.

- W_P sépare l'état solide de l'état plastique.
- W_L sépare l'état plastique de l'état liquide.

- Equivalent de sable :

C'est un essai qui nous permet de mesurer la propreté d'un sable c'est-à-dire déterminer la quantité d'impureté soit des éléments argileux ultra fins ou limons.

La valeur de l'équivalent de sable est de l'ordre de **1.70**%, Matériau sableux.

- Poids spécifique :

La mesure du poids spécifique a donné lieu à une valeur de « Ys » de **2,68** t/m^3.

➢ **Les essais mécaniques :**

- Essais Proctor :

Quand on compacte un sol avec une énergie constante, le poids volumique du sol sec (γ_D) augmente avec la teneur en eau (ω) jusqu' à une valeur maximale. Au-delà de cette valeur, l'accroissement de la teneur en eau réduit le poids volumique du sol sec, comme on peut le voir sur la courbe en forme de cloche, qu'on appelle courbe de compactage

La valeur maximale du poids volumique du sol sec se situe au sommet de cette courbe en un point qu'on appelle « optimum Proctor ». Cet essai a pour but de déterminer ces valeurs. Les résultats de ces essais sont joints dans le tableau ci-dessous :

Essais Proctor	γ_D a l'optimum Proctor (t/m^3)	Le teneur en eau a l'optimum Proctor
Normal	1.70	19.00 %
Modifier	1.57	24.80 %

Tableau N° 7.5 : *résultats des essais Proctor.*

- Essais CBR :

Les essais CBR permettent, selon le processus utilisé, la détermination des indices CBR immédiat et imbibé d'un sol ou d'un matériau utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des couches d'assises.

Cet essai donne une évaluation sur la portance du sol, c'est-à-dire de l'aptitude des matériaux à supporter les charges.

L'indice recherché est un nombre sans dimension exprimant le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part et dans le matériau type d'autre part.

Les résultats de l'essai CBR imbibé à 4 jours sont de l'ordre de 4.1 et pour l'essai CBR immédiat, on a mesuré un indice de 15.8.

➢ **Analyse chimique :**

L'analyse chimique du sol n'a pu être réalisée que sur les échantillons prélevé à partir de la profondeur de 10.00 (nature rocheuse du sol sur les premières profondeurs), cette analyse chimique de sol a été réalisée dans le but d'étudier leur degré d'agressivité (Degré d'attaque) et de se situer sur leur composition minéralogique et chimique.

Les résultats détaillés de cette analyse chimique complète effectuée sur l'échantillon de sol sont les suivants :

Caractéristiques	symboles	Teneurs
La silice	SIO_2	3.70%
La chaux	$CaCo_3$	52.65%
L'alumine	Al_2O_3	2.12 %
L'oxyde de fer	Fe_2O_3	0.00 %
Les sulfates	So_4	0.00 %
La perte au feu	/	41.25 %
Les carbonates	/	99.09 %
L'anhydride carbonique	Co_2	43.60 %

Tableau N° 7.6 : *résultats de l'analyse chimique.*

Les résultats obtenus montrent que l'échantillon de sol présente un taux de carbonate très important qui est de **99.09%** ce qui confirme la nature calcaire du sol et renferme peu de silice (SiO2) **3.70%** avec un faible pourcentage d'alumine qui est de **2.12%.**

Selon la norme **NFP 18-011** (Juin 1992), l'échantillon de sol analysé présente un degré d'agressivité nul vis-à-vis du béton. Donc Il n'y a aucune précaution particulière à prendre

pour la confection du béton au contact de ce sol, Le ciment ordinaire est toléré pour la fabrication du béton au contact de ce sol.

Dans le tableau ci-dessous, on présente tous les résultats des essais physique et mécanique :

Type d'essais	Nom d'essais		résultats
Essais physique	Indice de plasticité I_P		19 %
	Equivalent de sable ES		1.70 %
	Poids spécifique γ_S		2.68 t/m^3
	Analyse granulométrique (passant à 80µ)		57 %
Essais mécanique	Essai Proctor normal	γ_D optimum	1.70 t/m^3
		W optimum	19 %
	Essai Proctor modifié	γ_D optimum	1.57 t/m^3
		W optimum	24.8 %
	Essai CBR imbibé a 4 jrs	/	4.1
	Essai CBR immédiat	/	15.8

Tableau N° 7.7 : *résultats des essais physiques et mécaniques.*

VII.6 Classification du sol de notre projet :

Le sol de notre présent projet se compose d'une couche de terre végétale moyenne estimé de 40 cm suivi de grès calcaire beige à blanchâtre moyennement dur. Donc d'après l'ensemble des résultats relatés dans le présent chapitre notamment ceux relatifs à la nature géotechnique des formations en place et d'après les conditions hydrogéologiques et hydrologiques, alors ça nous conduit à prononcer que la classe de qualité de sol est de type **QS3** "bon sol".

L'épaisseur de la couche de forme à mettre en place est illustrée dans le tableau ci-après :

Classe de qualité de sol support	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS1	0.50
	P2	QS2	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.40
QS3	P3	QS3	-

Tableau N° 7.8 : *classe de portance de la plate-forme.*

D'après les résultats de l'étude géotechnique, on trouve que notre sol est de bonne qualité et selon les recommandations de la fiche UIC 719R, la couche de forme n'est pas nécessaire pour notre plate-forme dont le sol support est de nature très dure.

VII.7 Plate-forme proposée :

Vue la qualité du sol support ainsi que les prescriptions de l'UIC qui conseille d'utiliser une plate-forme de type **P3** (bonne plate-forme). Alors on a opté pour cette dernière dans notre projet.

VII.8 Pentes des talus possibles pour des déblais sans mesures de soutien :

Sachant que notre tracé ne traverse que des formations rocheuses (grès calcaire) très stables qui se présentent sous forme d'un massif très raide, donc on a opté pour les pentes ci-après :

Nature de formation	Inclinaison maximal possible des talus
Sol rocheux	5V/1H
Sol meuble	2V/3H
Sol rocheux	5V/1H

VII.9 Condition d'excavation et de décapage de la terre végétale :

Les résultats d'investigation basée sur les puits de reconnaissance et le sondage carotté ont mis en évidence que l'épaisseur de la terre végétale varie entre 30 cm et 50 cm, pour cela nous préconisons de décaper la terre végétale sur une épaisseur de 40 cm.

Pour les travaux d'excavation, ils doivent être exécutés par des engins de forte puissance (brise roche hydraulique, ripper, pelle de grande dimension).

VII.10 Réutilisation des matériaux :

Les formations rencontrées le long du projet sont des grès calcaires rocheux, donc ce sont des matériaux réutilisables selon la fiche UIC 719R, en respectant les conditions suivants :

La dimension des plus gros blocs ou pierres ne doit pas dépasser un chiffre compatibles avec une épaisseur de couche rendant possible un compactage correct. En général, une dimension de blocs maximale de 600 mm, de plus, il est recommandé que la dimension des blocs ou pierres ne dépasse pas la moitié de l'épaisseur des couches. Cette dimension maximale descend à 100 mm pour le remblaiement effectué près des ouvrages d'arts (trémie), en effet il convient alors de mettre en œuvre par couches minces et d'utiliser un petit compacteur de façon à ne pas détériorer les dites maçonneries ; il doit être un matériau insensible au tassement (classe de qualité QS3).

La couche inférieure des remblais posés sur sol humide doit être choisie de classe qualité QS3 (matériau drainant). A noter que les qualités drainantes peuvent être améliorées par utilisation de géotextiles.

VIII

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

VII.1 Introduction.

VIII.2 Catégories de la voie.

VIII.3 Caractéristiques de notre voie.

VIII.4 Le rail.

VIII.5 Les traverses.

VIII.6 Les attaches.

VIII.7 Appareils de voie.

VIII- la superstructure de la voie

VIII.1 Introduction :

La voie de chemin de fer est un ensemble d'éléments de nature différente dont les caractéristiques physique et mécanique ne sont pas les même, ces éléments sont essentiellement constitué de : ballast, les travers, les rails et leurs accessoires.

L'exploitation des voies ferrée réclame que certaines voies se coupent et que d'autres puissent communiquer entre elle. Pour cela on met en place des dispositifs connus sous le nom d'appareils de voie, ce sont les branchements et les traversées.

VIII.2 Catégories de la voie :

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

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

VIII.3 Caractéristique de notre voie :

- Le type de rail utilisé :
- LRS type UIC 54 qualités S900 en plein voie, en gare et haltes.
- pour les voies secondaires, on utilise des anciens rails UIC de réemploi.

- Type de traverses :
- traverses bi-bloc RS/SL en béton armé pour rail UIC 54 (pleine voie, gares et haltes).
- traverses en bois de chêne pour les appareils de voies.

- L'écartement des traverses :
- standard : 1,435 m.

- Le support :
- ballast.

- Tonnage des essieux à supporter :
- 25 t par essieu.

- Vitesse des trains :
- vitesse maximale voyageur et marchandise est de 90 Km.

- Les attaches élastique de type NABLA.
- Les appareils de voie (deux type : UIC 54 500 1/12, UIC 54 300 1/9).

VIII.4 Le rail :

Les rails sont de longues barres d'aciers profilées qui servent principalement à la transmission des charges et permet le roulement et le guidage des véhicules. L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions.

Les deux files de rails maintiennent leur écartement à l'aide des traverses sur lesquelles elles sont fixées et qui reçoivent les charges exercée sur le rail. La masse linéaire du rail varie d'un pays a un autre et qui est en générale estimé à 54 Kg/m. le rail sert également de conducteur électrique soit pour les courants de signalisations ou pour le retour du courant de traction.

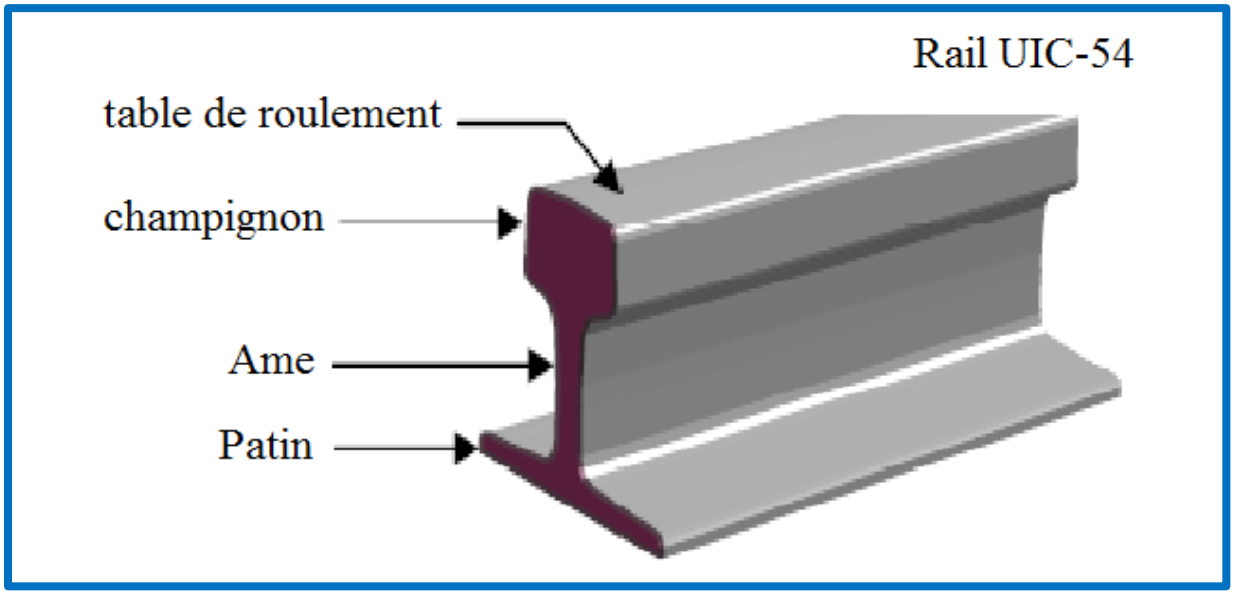


Figure N° 8.1 : *Le rail UIC-54.*

- **Fabrication du rail :**

Les rails utilisés en chemins de fer passent par beaucoup d'étapes avant leur mise en service. La première consiste à fabriquer la fonte par réduction du minerai de fer dans les hauts fourneaux puis la conversion de fonte en acier par combustion du carbone excédentaire. Apres l'acier est coulé dans des lingotières de forme allongé mais de profile nettement supérieur à celui de rail, le laminage a lieu à chaud, il doit être terminé aussi basse que possible, ensuite un traitement thermique est programmé avant que le rail soit dressés, fraisés a longueur, percé et alésés.

- **Type de rail :**

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

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

Des rails a gorge de type « Broca » sont utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routière, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

- **Ecartement des rails :**

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

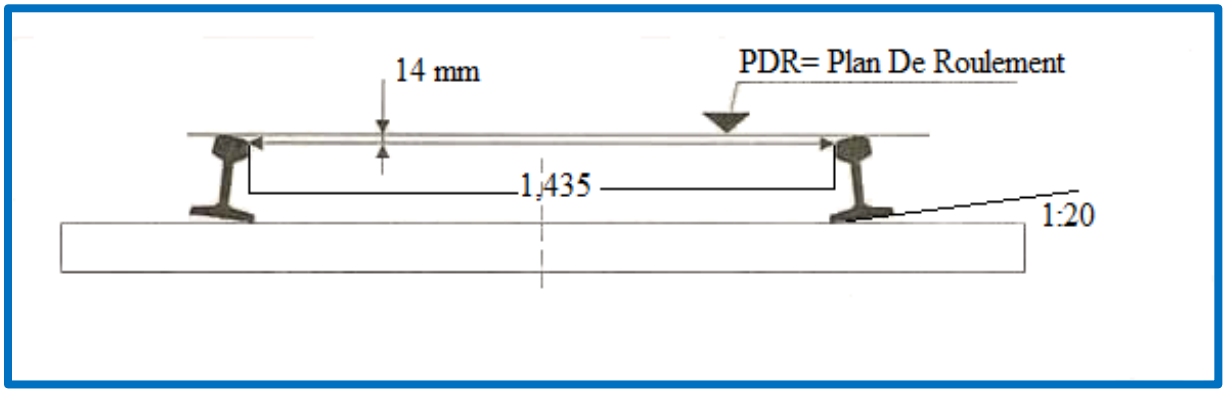


Figure N° 8.2 : *Ecartement et inclinaison des rails.*

- **Inclinaison des rails :**

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20 en voie normale sauf pour les réseaux de tramway.

- **Défaut des rails :**

On distingue trois catégories de défaut de rails :

➢ Rail avarié : rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autre défauts généralement situé en surface.

➢ Rail fissuré : rail présentant, en un point quelconque de sa longueur et quelles que soient les parties intéressées du profil, une ou plusieurs solutions de continuité, d'orientation quelconque, visibles ou non, dont le développement risque d'entrainer une rupture à échéance plus ou moins rapprochée.

➢ Rail rompu : tout rail qui s'est séparée en deux morceaux ou plus et tout rail dont un fragment de métal s'est détaché en provoquant sur la table de roulement une lacune de plus de 50 mm de longueur et 10 mm de profondeur.

- **Assemblage des rails :**

➢ L'éclissage : C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées, qui s'entrent entre le dessous du champignon et le dessus de patin. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportement comme une poutre continue.
- Avoir la même qualité d'acier que le rail.
- empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre.



Figure N° 8.3 : *L'éclissage.*

➢ Les longs rails soudés : Les longs rails soudées (LRS), appelée aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, dans cette technique les coupons de rail de 80 m sont soudés en atelier en longueur de 320 à 400 m. ces barres sont posées sur de très grandes longueur, sans limites réelle, les soudures nécessaire sont étant réalisées sur place. Cette méthode est la plus adopté pour toute les lignes a fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse et cela pour les grands avantages qu'elle offre qui se résume essentiellement comme suit :

- une réduction des couts d'entretien de la voie.
- une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.

VIII.5 Les traverses :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois, en béton ou métalliques.

➢ Travers en bois : elles sont fabriquées à partir du bois de chaine ou hêtre qui sont apprécié pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre, mais leur durée de vie est très courte, alors pour régler le problème, on procède à un traitement chimique avec de la créosote et sous pression. Dans nos jours les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment vue leur effets négatif sur l'environnement et leur cout élevée.

➢ Travers en béton armé : les travers en béton ont une durée de vie plus importante ainsi qu'il coute moins cher ce qui a élevé leur utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc. Il en existe deux types :

- Bi bloc : formées de deux blocs de béton reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.
- Monobloc : en béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

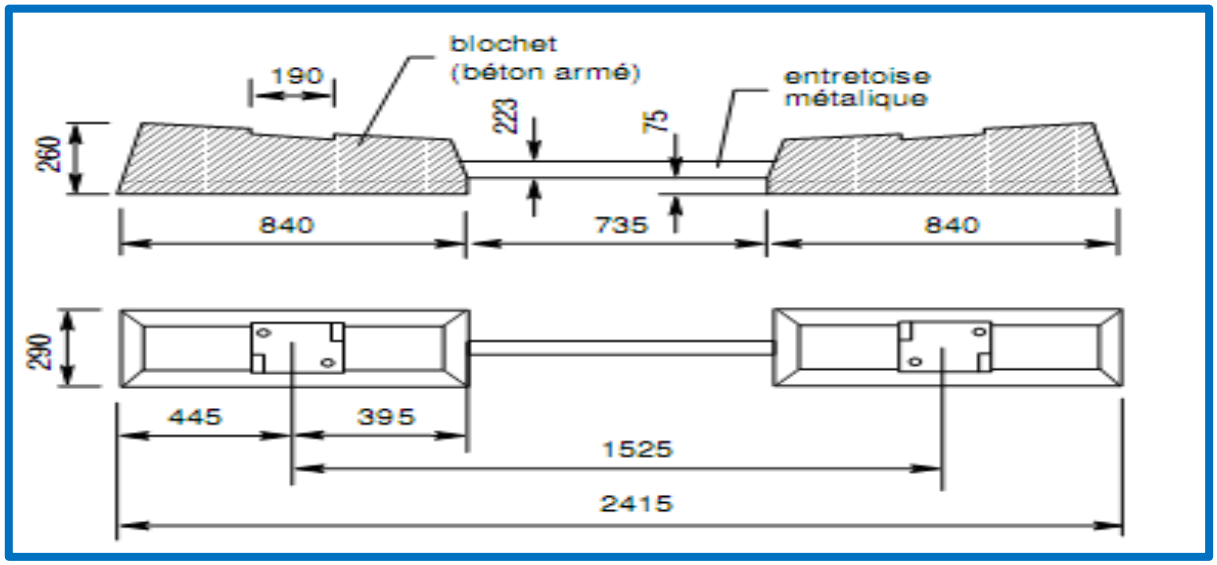


Figure N° 8.4 : *Traverse en béton bi-bloc.*

➢ Travers métalliques : les travers métallique, en acier, ne sont plus guère utilisés. Elles sont bruyantes, surtout à vitesse élevé, s'ancrent moins biens dans le ballast à cause de leur légèreté. Elles rendent également très difficile l'entretien de la géométrie de la voie par bourrage. En effet, leur forme ne permet pas aux bourreuses d'insérer du ballast sous la traverse.

VIII.6 Les attaches:

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

- **Type d'attaches :**

Les anciennes attaches étaient pour les traverses en bois, on distingue les crampons puis les tirefonds, le premier type fait mal au patin, le rail alors peut se relever de la traverse, le deuxième est tellement rigide, que le rail peut soulever la traverse en se redressant, pour les traverses métalliques, il s'agit des boulons qui fixent les crapauds sur le patin.

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

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

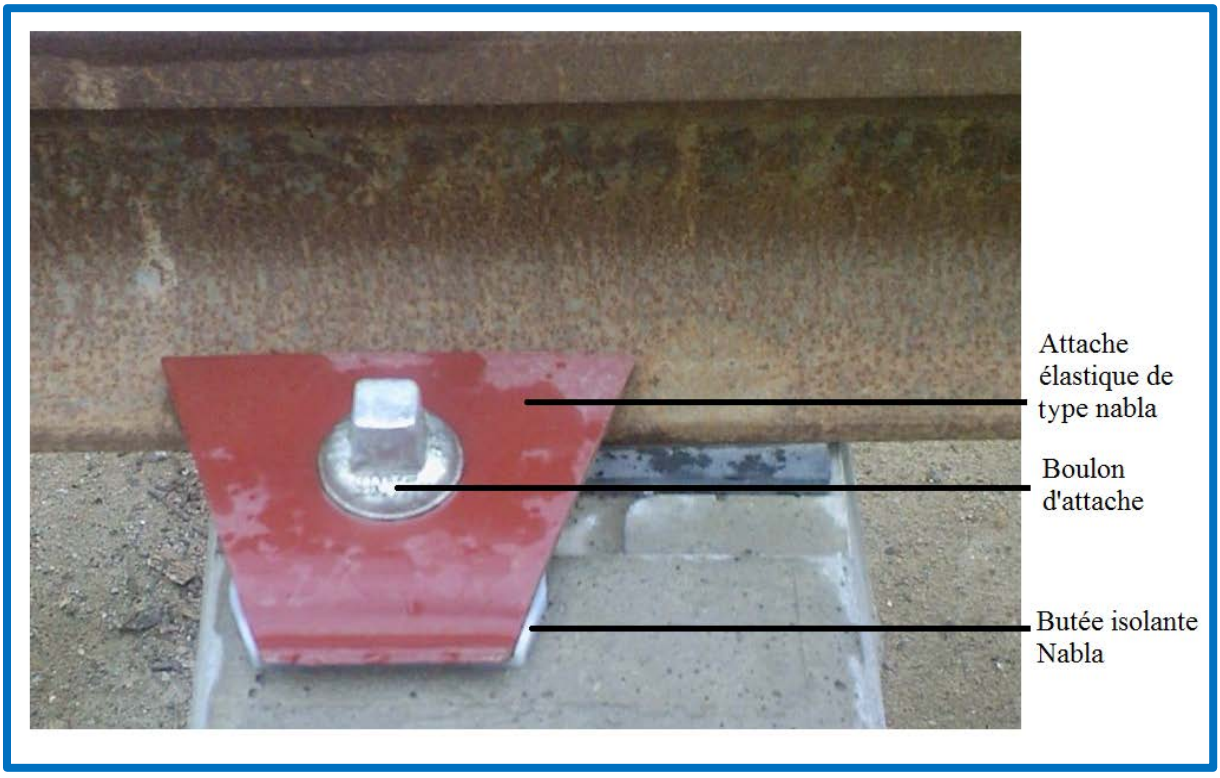


Figure N° 8.5 : *Les éléments d'une attache de type Nabla.*

VIII.7 appareils de voies :

Une des caractéristiques fondamentales du chemin de fer est son mouvement guidé qui n'a qu'un seul degré de liberté. Pour comparaison, les véhicules routiers peuvent facilement changer leur direction grâce à leur deux degré de liberté.

Pour les véhicules ferroviaires il est donc nécessaire de prévoir des appareils de voie afin de leur permettre de changer de voie. Ceux-ci peuvent être classés en deux groupes :

- **Groupe 1** (branchement, traversées et traversé jonctions) : ils permettent aux trains de passer sans discontinuité d'une voie sur une autre. Dans un branchement, les axes de voies se réunissent tandis que dans une traversée, ils se coupent.

- **Groupe 2** (plaques, ponts ou secteurs tournants et chariots transbordeurs) : ces appareils permettent de passer d'une voie sur une autre de façon discontinue.

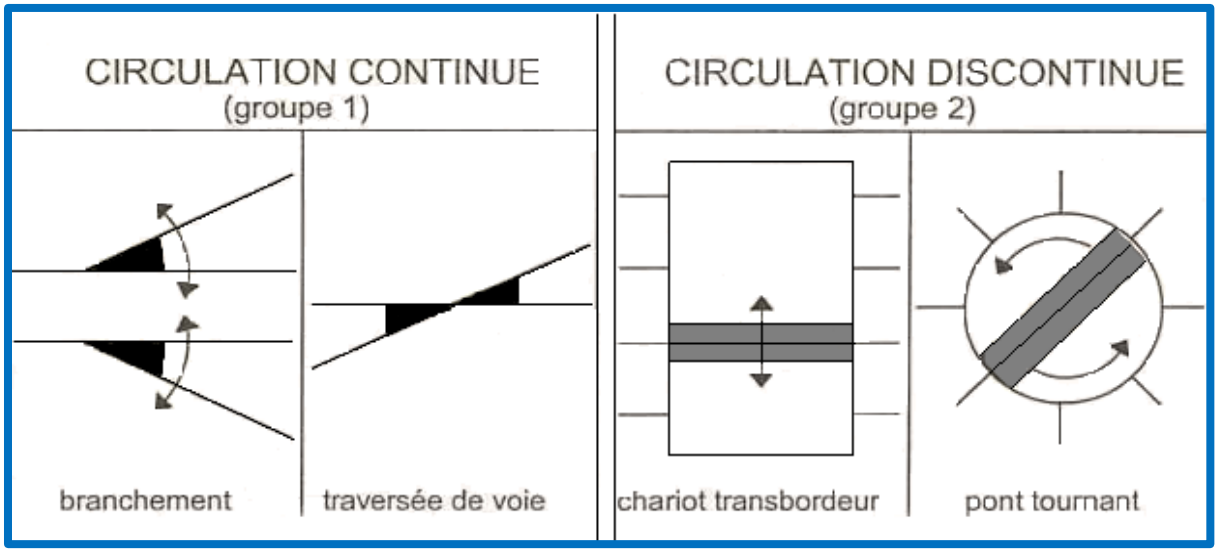


Figure N° 8.6 : *les différents appareils de voie.*

Dans notre projet, seul les branchements du groupe1 qui seront utilisée. Les véhicules ferroviaires doivent franchir les branchements sans effets dynamique et sans chocs. La figure ci-dessous présente un branchement et ces composants.

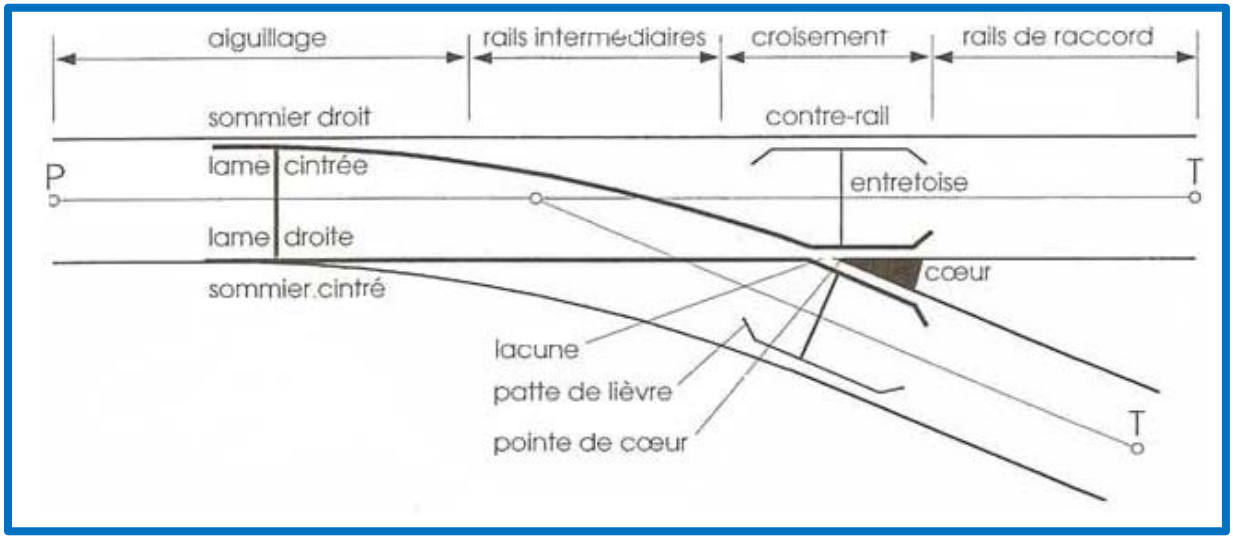


Figure N° 8.7 : *un branchement et ces éléments constitutifs.*

- **Type d'appareils de voie et leur domaine d'application :**

Deux facteurs déterminants pour le choix des appareils idéal à utiliser :

- la vitesse.
- le tracé.

Type d'appareils	Vitesse (Km/h)	Domaine d'application
UIC 54-500-1 :12	70	-utiliser entre deux voies principales.
UIC-54-300-1 :9	50	-utiliser entre une voie principale et une autre secondaire.
UIC-54-190-1 :7 UIC-54-190-1 :9	30-40	-utiliser entre deux voies secondaires et parfois même entre une voie secondaire et une autre principale.

Tableau N° 8.1 : *Appareils de voie et leur domaine d'application.*

- **Les appareils de voies utilisées dans notre projet :**

Pour notre projet on a utilisé deux types d'appareils :

-un appareil type UIC 54-500-1 /12 : cet appareils est utilisé au niveau de la nouvelle gare ferroviaire de Béni-Saf.

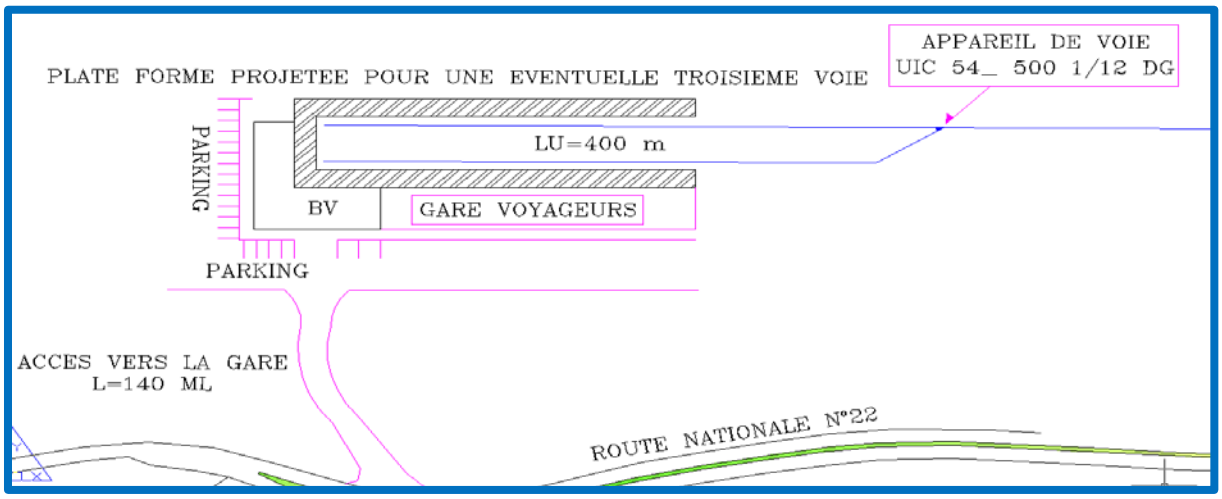


Figure N° 8.8 : *appareils de voie au niveau de la gare ferroviaire.*

-quatre appareils type UIC 54-300-1/9 : une pour le branchement du faisceau existant de la gare marchandise et la ligne du nouveau projet, et les autres pour l'aménagement du faisceau de la gare marchandise**.**

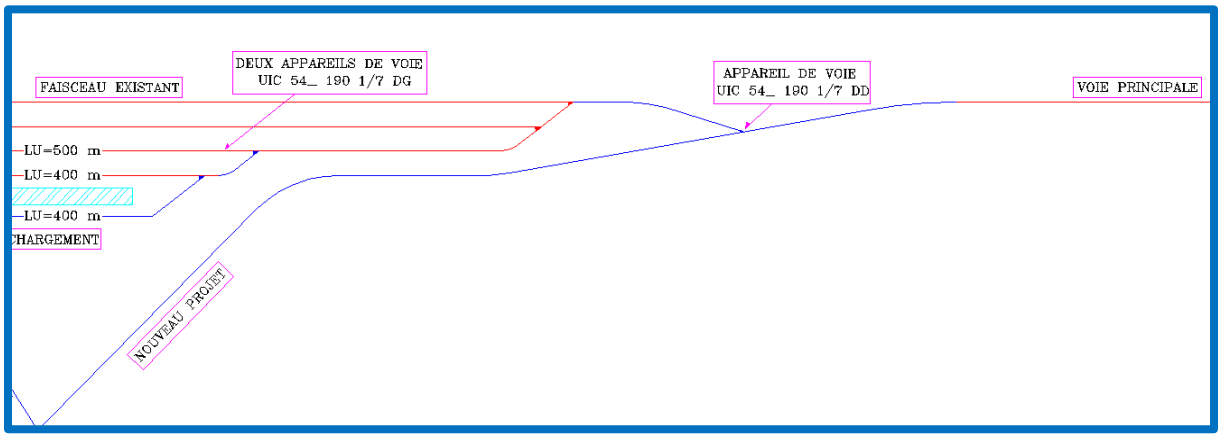


Figure N° 8.9 : *appareil de voie du branchement au faisceau existant.*

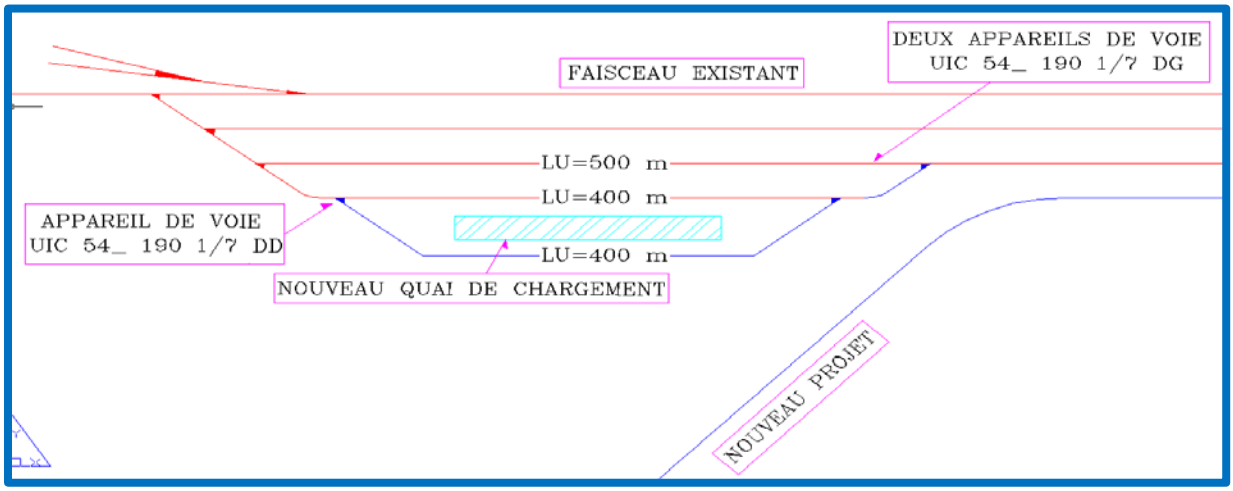


Figure N° 8.10 : *appareils de voie de la gare de marchandise.*

IX

DIMENSIONNEMENT DES COUCHES D'ASSISES

IX.1 *Introduction.*

IX.2 *Les différentes couches d'assises.*

IX.3 *Dimensionnement des couches d'assises.*

IX.4 *Méthode de calcul des épaisseurs minimales des couches d'assises.*

IX- Dimensionnement des couches d'assises

IX.1 Introduction :

Si les traverses reposaient directement sur la plate-forme, elles s'enfonceraient plus ou moins dans le terrain naturel dont la résistance est généralement insuffisante pour supporter la charge transmise par les traverses, le nivellement de la voie serait compromis. La résistance du sol est d'ailleurs très inégale. En outre, sur un sol imperméable, les traverses baigneraient souvent dans l'eau et les gelées détermineraient des soulèvements locaux des rails.

On évite ces inconvénients en interposant, entre les traverses et la plateforme, des couches d'assise d'une hauteur suffisante pour que la pression reçue par les traverses, sous l'action des charges roulantes, se répartisse aussi uniformément que possible sur une plus grande surface de la plateforme.

IX.2 Les différentes couches d'assises :

Elles comprennent la couche de ballast, la sous couche et la couche de forme.

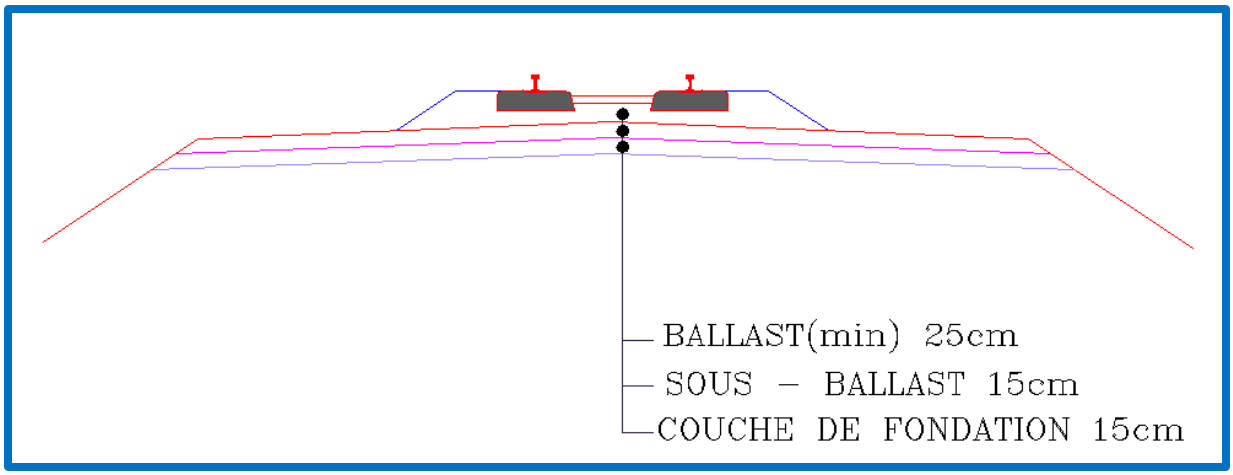


Figure N° 9.1 : *les différentes couches d'assises.*

❖ **La couche de ballast :**

On appelle « ballast » le lit de pierre interposés entre la voie proprement dite et la plate-forme, il est issu du concassage de roches dures (granite, quartzite, grés,…..etc.) et sa granulométrie varie entre 25 et 50 mm.

On utilise du gravillon fin (de 15 à 35 mm) pour son nivellement et une épaisseur minimal de 30 cm, cette couche a pour rôle de :

- répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses.
- amortir des efforts dynamiques engendrés par les circulations grâce à ces propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments de ballast).
- Assurer en raison de sa granulométrie, Le drainage et l'évacuation rapide des eaux.

- s'opposer par le frottement de ses éléments entre eux et contre les traverses à tout déplacement de la voie (Le choix de la grosseur du ballast dépend de la nature des traverses).
- permettre de rectifier rapidement le nivellement au moyen du bourrage-dressage mécanisme.

Caractéristique mécanique du ballast :

- Perméabilité : Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuse), cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. En outre, la voie gelée perd son élasticité.
- Elasticité : Celle-ci dérive de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibré. le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une masse compacte, comprimée sous le poids des trains et ne revenant pas lorsque la charge a disparu.
- Solidité : Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes (broiement) et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage (émiettement).

❖ **La sous couche** :

La sous couche est une couche d'adaptation interposée entre ballast et la plate-forme. Elle a des rôles multiples :

- Protection de la partie supérieure de la plateforme contre l'érosion qui résulte, soit, d'une part du poinçonnement opéré par les éléments du ballast, d'autre part, de l'action des eaux zénithales.
- Protection de plateforme contre les effets du gel.
- Meilleure répartition des charges transmises, permettent d'obtenir au niveau de la partie supérieure de la plateforme des sollicitations de valeurs admissibles, eu égard à l'indice de portance du sol.

La sous-couche est inclinée transversalement (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de la plateforme (remblais). La pente transversale minimale est de l'ordre de 4 %. Dans les zones de voies a fort dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche pouvant aller jusqu'à 8 %.

Constitution de la sous couche :

- Sous-ballast : c'est une couche en grave propre bien graduée 0/31.5mm comportant au moins 30% de grave concassée, compacté à 100% OPM. Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plates-formes rocheuses ou elle sert de couche d'égalisation et où elle contribue à réduire la raideur de l'assise.

- Couche de fondation : c'est une couche en grave propre bien graduée d'une épaisseur de 15 cm compactée à 100% OPM.

❖ **La couche de forme :**

La partie supérieur de la plate-forme est aménagé en couche de forme généralement pentée transversalement, son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm.

Située en remblai, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleur.

Situé en déblai, cette couche de forme est obtenue en générale par le compactage du fond de feuille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants.

IX.3 dimensionnement des couches d'assises :

Le dimensionnement des couches d'assise doit prendre en compte à la fois :

- Les problèmes de portance.
- Les problèmes de gel.

Du point de vue de la portance, l'épaisseur globale « ballast +sous ballast » dépend :

- De la classe de portance de la plate-forme.
- Du type de l'espacement des traverses.
- Des caractéristiques de trafic (tonnage supporté, charge d'essieu, vitesse).

IX.4 Méthodes de calcul des épaisseurs minimales des couches d'assises :

Dès la construction d'une ligne nouvelle, il convient de mettre en place des structures d'assises de caractéristique approprié et d'épaisseur suffisante afin d'assurer l'objectif de leur mise en place. L'épaisseur des couches d'assise « e » est donnée par la formule suivante :

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

Les paramètres de dimensionnement :

- Valeur de E et l'utilisation des géotextiles:

Classe de qualité du sol support	Couche de forme mise en œuvre		Classe de portance de la plate-forme	E (m)
	qualité	Epaisseur min (m)		
QS1	QS1	-	P1	0.70 + géotextile
	Sol traité aux liants	0.30	P2	0.55+géotextile
	QS2	0.55	P2	0.55+géotextile
	QS3	0.40	P2	0.55
	QS3	0.50	P3	0.45
QS2	QS2	-	P2	0.55
	QS3	0.40	P3	0.45
QS3	QS3	-	P3	0.45

Tableau N° 9.1 : *les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.*

- Les valeurs de a :

- **a =0 :** pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe UIC).
- **a = - 0.05m :** pour les groupes UIC 3 et 4.
- **a = - 0.10 m:** pour les groupes UIC 5 et 6 et '' 7, 8, 9 avec voyageurs ''.
- **a = - 0.15 m:** pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageurs.

- Les valeurs de b :

- **b = 0 m :** pour les traverses en bois de longueur 2.60 m.
- **b = (2.5 – L)/2 m :** pour les traverses en béton de longueur L (b, L en mètre, b<0 si L>2.5 m).

- les valeurs de c :

- **c =0 m :** pour un dimensionnement normal.
- **c = -0.1 m :** à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ''7, 8 et 9 sans voyageurs''.
- **c = - 0.05 m :** à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC ''7, 8 et 9 sans voyageurs''.

- Les valeurs de d :
  - **d = 0 :** lorsque la charge maximal d'essieu des véhicules remorqué ne dépasse pas 200 KN.
  - **d = +0.05 m :** lorsque la charge maximal d'essieu des véhicules remorqué ne dépasse pas 225 KN.
  - **d = 0.12 m :** lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqué ne dépasse pas 250 KN.

- les valeurs de f :

- **f =0 :** pour toute les lignes parcourues a V≤ 160 Km et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
- **f =+0,05 m :** pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
- **f =+0,10 m :** pour les plates-formes de classe de portance P1 parcourues à grande vitesse.

• Application au projet :

- **épaisseur de la couche de forme :** le sol de notre projet est classée en QS3 « Bon sol » et la classe de portance de la plate-forme est de type P3. Alors, d'après la fiche UIC 719R on trouve que la couche de forme n'est pas utile et donc on ne va pas l'utiliser.

- **Les paramètres de dimensionnement de notre projet :**

✓ **a = -0.1 m :** la classe de la ligne est UIC 5.
✓ **b = (2.5 – 2.24)/2 = 0.13 :** traverses en béton de longueur L = 2.24.
✓ **c = 0 :** nouvelle ligne.
✓ **d = 0,05 m :** la charge de l'essieu remorqué est de 225 KN.
✓ **f = 0 :** la vitesse est inférieure à 160 Km/h.
✓ **g :** Pas de géotextile car notre sol est de type QS3.

Donc :

e = E + a + b + c + d + f + g
= 0.45 - 0.1 + 0.13 + 0 + 0,05 + 0 + 0
= 0.53 m.

On prend :

e = 0.55 m

Pour la couche de ballast on prend 25 cm car (80 Km/h≤ V ≤ 120 km/h).

❖ la structure de la voie sera conçue comme suit :

➔ couche de ballast : 0.25 m.
➔ couche sous ballast : 0.15 m.
➔ couche de fondation : 0.15 m.

X

HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

X.1 Introduction.

X.2 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.

X.3 Objectifs de l'assainissement et du drainage.

X.4 Les bassins versants.

X.5 Calcul hydraulique.

X- Hydraulique et Assainissement

X.1 Introduction :

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

L'extension de la ligne ferroviaire reliant la ville de Béni Saf à son port traverse le bassin versant des côtiers oranais codé 04 par l'ANRH.

Ces bassins versant contiennent un certain nombre de cours d'eau naturels dont les débits peuvent causer des dégâts en certains endroits de cette ligne ferroviaire et qu'il faut par conséquent bien les évaluer pour s'en prémunir.

L'objectif principal de la présente étude est d'établir un système opérationnel d'évacuation des eaux pour assurer la stabilité de l'infrastructure.

X.2 caractéristiques climatiques de la zone d'étude :

Le tracé de la nouvelle voie se situe au nord-ouest Algérien dans la commune de Béni-Saf à Ain Témouchent.

L'étude climatologique de la région du tracé a pour but de définir les principaux caractères climatiques afin d'établir l'incidence qu'ils pourraient avoir sur les travaux à réaliser. La pluviométrie, c'est la condition naturelle exerçant la grande influence sur la zone du projet et sur la réalisation des travaux.

En effet, celle-ci permet de distinguer nettement le climat de l'ouest. Béni-Saf est une région beaucoup plus sèche qu'Alger, L'écart est sensible en automne et en hiver. Les vents venus des directions intermédiaires entre l'ouest et le nord (nord-ouest et sud-ouest), lorsqu'ils abordent le continent africain, on déjà déposé leur humidité sur le relief de l'Espagne et du Maroc, et n'ont pas eu le temps de se recharger d'une quantité importante d'eau.

Le climat de l'Ouest représente sous le rapport de pluviométrie, un intermédiaire entre le régime du littoral du Centre, et celui des Steppes. La région a une réputation de sécheresse et d'aridité. La saison des pluies va de Novembre à Avril. Pour la température, elle est relativement douce, la moyenne annuelle est de 17.85°C et la moyenne mensuelles varient entre 10.9°C en janvier et 25.9°C en aout. (Données eu de la station d'Oran 1975-2004)

Les données hydrauliques sont résumées dans le tableau ci-après :

P_m (mm)	P_J (mm)	b	C_V
423	85.6	0.44	0.36

Tableau N° 10.1 : *données hydraulique de la zone du projet.*

P_m : la pluie annuelle moyenne.
P_J : la pluie journalière moyenne.
b : exposant climatique.
C_V : coefficient de variation climatique.

X.3 objectifs de l'assainissement et du drainage :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux pluviales pour éviter la submersion de la voie ferrée.
- Réduction des couts d'entretiens.
- Protection de la voie contre l'inondation.
- Protection de la superstructure contre l'érosion.
- Le rabattement des nappes phréatique.

X.4 les bassins versants :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou à évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres morphologiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante. Chaque bassins versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux, cette limite est déterminée sur une carte topographique, en commençant par l'exutoire, on trace à main levée des segments aboutissant automatiquement à l'exutoire.

On remarque que sur les 3 kilomètres d'extension du tronçon étudié et sur la base de la carte d'état-major dont nous disposons, on a pu identifier un seul bassin versant au PK 1+253.

- Les caractéristiques de notre bassin versant :

B V	Exutoire au PK	L (km)	H max	H min	H moy
BV1	1+253	1100	191.674	167.788	178.409

X.5 Calcul hydraulique :

Le calcul hydraulique a pour but de dimensionner les différents ouvrages de rétablissement des écoulements telles que les dalots, buses, viaduc,…etc.

❖ **Estimation des débits d'apport (Q_A) :** pour le calcul des débits, la méthode estime les débits à partir d'un découpage des bassins en sous bassins tel que chaque sous bassin évacuera un pourcentage estimé de débits, et que ce débit ainsi sera réparti uniformément dans chaque regard, représentera un exutoire d'une zone interne au sous bassin. Le débit des eaux pluviales est donné par l'expression suivante :

$$Q = K.C.I.A$$

Avec :

- **K=0.2778 :** Coefficient qui permet de convertir les (mm/h) en (l/s).
- **Q :** Débit des eaux pluviales m^3/s.
- **I :** Intensité maximale des précipitations $m^3/s.ha$.
- **A** : Aire d'apport en hectares.
- **C :** Coefficient de ruissellement.

Le coefficient de ruissellement exprime la fraction d'eau par rapport à la totalité de précipitation pluviale parvenant à l'égout ou à l'exutoire (zone non urbanisé). Il traduit l'imperméabilisation naturelle ou artificielle, ces valeurs sont exprimées dans le tableau ci-après :

Type de chaussée	Coefficient « C »	Valeurs prises
Chaussée revêtu en enrobé	0.8-0.95	0.9
Accotement	0.15-0.4	0.4
Talus, sol perméable	0.1-0.3	0.3
Terrain naturel	0.0-0.2	0.2

Tableau N° 10.2 : *Coefficient de ruissèlement.*

❖ **Intensité de la pluie :** La détermination de l'intensité de la pluie, comprend différentes étapes de calcul qui sont :

- **Hauteur de la pluie journalière maximale annuelle :**

$$P_J\ (\%) = \frac{PJ\ MOY}{\sqrt{CV^2+1}} \times e^{u\sqrt{\ln(CV^2+1)}}$$

Avec :

- $P_{J\ moy}$: Pluie journalière moyenne (mm).
- C_V : Coefficient de variation.
- U : Variable de gauss.
- Ln : Logarithme népérien.

Fréquence au dépassement (%)	50	20	10	5	2	1
Période de retour (années)	2	5	10	20	50	100
Variable de gauss (U)	0	0.841	1.282	1.645	2.057	2.327

Tableau N° 10.3 : *Variable de gauss.*

- Les buses seront dimensionnées pour une période de retour 10 ans.
- Les dalots seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans.
- Les ponts seront dimensionnés pour une période de retour de 100 ans.

- **Temps de concentration :** La durée t_c de l'averse qui produit le débit maximum Q étant prise égale au temps de concentration.

Dépendant des caractéristiques du bassin drainé, le temps de concentration est estimé respectivement d'après Ventura, Passing, Giandothi, comme suit :

- ✓ Lorsque A < 5 km ² : $t_c = 0.127.\sqrt{\frac{A}{P}}$
- ✓ Lorsque 5 km² ≤ A < 25 km² : $t_c = 0.108.\frac{\sqrt[3]{A.L}}{\sqrt{P}}$
- ✓ Lorsque 25 km² ≤ A < 200 km² : $t_c = \frac{4.\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{H}}$

Avec :

- t_c : temps de concentration (heure).
- A : surface du bassin versant (km²).
- L : longueur du bassin versant (km).
- P : pente moyenne du bassin versant.
- H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

- **La fréquence d'averse :** La fréquence d'averse est donnée par la formule suivante :

$$P_t\,(\%) = P_j\,(\%) \times (t_c/24)^b$$

Avec :

- P_j : hauteur de la pluie journalière maximale (mm).
- b : exposant climatique.
- P_t : pluie journalière maximale annuelle.
- t_c : temps de concentration (heure).

- **L'intensité de l'averse :** l'intensité de l'averse se calcul par la formule suivante :

$$I = \frac{P_j(\%)}{24}$$

- **L'intensité horaire moyenne de la pluie :** elle est donnée par la formule suivante :

$$I_{moy} = P(t)/t_c$$

Avec :

- **I :** intensité de la pluie (mm/h).
- **t_c :** temps de concentration (h)
- **p(t) :** hauteur de la pluie de durée t_c (mm).

❖ **Calcul du débit de saturation (Q_S) :** Le calcul du débit est déterminé par la formule de « MANING STRIKLER » :

$$Q_S = Kst.\ I^{1/2}.\ R_H^{2/3}.\ Su$$

Avec :

- **Kst** : Coefficient de Manning Strikler.

- **I** : Pente longitudinale de l'ouvrage.
- **R_H** : Rayon hydraulique.
- **S_t** : Section totale de l'ouvrage.
- **S_u** : Section utile de l'ouvrage ($b \times H_u$).
- **H_u** : Hauteur utile.

Les valeurs du coefficient Kst sont organisées dans le tableau suivant :

Kst	Valeur
Terre	30
Buses métalliques	40
Maçonneries	50
Bétons (dalots)	70
Bétons (buses préfabriquées)	80

Tableau N° 10.4 : *coefficient de MANNING STRIKLER.*

▪ Application au projet :

➢ Hauteur de la pluie journalière maximale annuelle :

- Pendant 10 ans :

u= 1.282, C_v = 0.36, $P_{J\,moy}$ =85.6 mm.

P_J (2%) = $\left(\frac{85.6}{\sqrt{0.36^2+1}}\right) \times e^{1.282\sqrt{\ln(0.36^2+1)}}$ = 126 mm.

- Pendant 50 ans :

u= 2.057, C_V = 0.36, $P_{J\,moy}$ = 85.6 mm

P_J (2%) = $\left(\frac{85.6}{\sqrt{0.36^2+1}}\right) \times e^{2.057\sqrt{\ln(0.36^2+1)}}$ = 165.15 mm.

- Pendant 100 ans :

u= 2.327, C_V = 0.36, $P_{J\,moy}$ = 85.6 mm.

P_J (1%) = $\left(\frac{85.6}{\sqrt{0.36^2+1}}\right) \times e^{2.327\sqrt{\ln(0.36^2+1)}}$ = 181.47 mm.

➢ L'intensité de l'averse :

- Pour P_J (10)= 126 mm.

$$I\,(10\%) = \frac{126}{24} = 5.25 \text{ mm/h.}$$

- Pour P_J (2)=165.15 mm.

$$I\,(2\%) = \frac{165.15}{24} = 6.88 \text{ mm/h.}$$

- Pour P_J (1)= 181.47 mm.

$$I\,(2\%) = \frac{181.47}{24} = 7.56 \text{ mm/h.}$$

- Calcul du débit d'apport du bassin versant :

C=0.2, P=6.7%, I (1%) =7.56 mm/h, b=0.44, A=7.01 ha, L=221 m,

$t_c = 0.108.\frac{\sqrt[3]{A.L}}{\sqrt{P}} = 10.40$ h.

$I_t = I.(\frac{tc}{24})^{b-1} = 7.56(\frac{10.40}{24})^{0.44-1} = 12.07$ mm.

$Q_A = K.C.I_t.A = 0.278 \times 0.2 \times 12.07 \times 7.01 = 4.704 \times 10^{-3}$ m^3/s.

Un viaduc sera projeté au niveau de l'écoulement au PK 1+253 et cela vue son ouverture qui dépasse 100 m.

X.6 Dimensionnement des ouvrages de rétablissement hydraulique :

a- Dimensionnement des fossés : Les fossés sont placés à l'extérieur de la plate-forme, dans les sections en déblais, ils recueillent et écoulent les eaux de ruissellement.

N.B : Les fossés en terre doivent porter l'eau à une vitesse limitée appelée vitesse limite d'entrainement, qui est de 1.15 m/s afin d'éviter l'érosion.
Si les fossés doivent porter l'eau à une vitesse plus grande que la vitesse limite d'écoulement, ils doivent être revêtus.

➢ Calcul de la surface du bassin versant :

- Surface de la plate-forme : A_P = 0.757575 ha.
- Surface de la berme : A_b = 0.03904 ha.
- Surface du talus : A_t = 0.9770 ha.

➢ Calcul des temps de concentration :

Puisque A< 5km² alors le calcul se fait par la formule suivante :

$$t_c = 0.127 \times \sqrt{A/P}$$

- t_{cp} = 0.5527
- t_{cb} = 0.1255
- t_{ct} = 0.0903

➢ Calcul des débits d'apport :

- Pour la plate-forme :

C=0.2, P=4%, I (10%) =5.25 mm/h, b=0.44, A=0.757575 ha.

$I_t = I.(\frac{tc}{24})^{b-1} = 5.25(\frac{0.5527}{24})^{0.44-1} = 43.38$ mm.

$Q_p = K.C.I_t.A = 0.278 \times 0.2 \times 43.38 \times 0.757575 = 1.827 \times 10^{-3}\ m^3/s.$

- Pour la berme :

C=0.3, P= 193.33%, I (10%) =5.25 mm/h, b=0.44, A= 0.03904.

$I_t = I.\left(\frac{tc}{24}\right)^{b-1} = 5.25\left(\frac{0.1255}{24}\right)^{0.44-1} = 99.50$ mm.

$Q_b = K.C.I_t.A = 0.278 \times 0.3 \times 99.50 \times 0.03904 = 0.32 \times 10^{-3}\ m^3/s.$

- Pour le talus :

C=0.2, P= 4%, I (10%) =5.25 mm/h, b=0.44, A= 0.9770.

$I_t = I.\left(\frac{tc}{24}\right)^{b-1} = 5.25\left(\frac{0.0903}{24}\right)^{0.44-1} = 119.64$ mm.

$Q_t = K.C.I_t.A = 0.278 \times 0.2 \times 119.64 \times 0.9770 = 6.50 \times 10^{-3}\ m^3/s.$

D'où: $Q_a=Q_P+Q_b+Q_t = 8.64 \times 10^{-3}\ m^3/s.$

$$Q_a = 8.64 \times 10^{3}\ m^3/s.$$

- Calcul de la surface mouillée :

$$S_m = h.(b+h)$$

- Calcul du périmètre mouillé :

$$P_m = b+2B$$

D'après PYTAGORE:

- $\tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n}$ d'où e=n.h
- $B = \sqrt{h^2+e^2} = \sqrt{h^2+n^2.h^2} = h.\sqrt{1+n^2}$

Donc :

$P_m = b+2.h.\sqrt{1+n^2}$

$R = \frac{Sm}{Pm} = \frac{(n.h+b).b}{b+2.h.\sqrt{1+n^2}}$

A la saturation :

- $Q_{max}=Q_S = K.I^{1/2}.S_m.R^{2/3}.$
- $Q_a=Q_s = (K_{st}.I^{1/2}).h.(b+h).\left[\frac{h.(b+n.h)}{b+2h\sqrt{1+n^2}}\right]^{2/3}.$

On prend : b= 40 cm, donc :

$0.00864 = 30.(0.04)^{1/2}.h.(0.4+1.5h)\ [\frac{h.(0.4+1.5h)}{0.4+2h\sqrt{1+1.5^2}}]^{2/3}\ m^3/s.$

On calcul la hauteur par itération, on trouve : h=0.2678 soit h=30 cm
Donc :

- **b= 40 cm**.
- **h =30 cm**.

b- Dimensionnement des dalots : les dalots sont constitués par deux murettes verticales au pied droit sur lesquelles repose une dalle ou une série de dalles accolées, les pieds droits sont posés sur une fondation ou radier. Dans notre projet, les dalots sont en béton.

On fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long et on calcul la travée nécessaire et on fixe aussi la hauteur de remplissage a ρ=0.8 h.

- $S_m = 0.8h \times L$.
- $P_m = 1.6h+L$.
- $R_h = S_m / P_m = \frac{0.8h \times L}{1.6h+L}$.
- $Q_a = Q_S = K_{st} \times R^{2/3} \times I^{2/3} \times S$.

Avec:

K_{st} =70 dalot en béton.
I = 2.5%

c- Dimensionnement des conduites au niveau de la gare de béni-Saf :

On limite les sous bassins versants tel que chaque tronçon évacuera un certain pourcentage estimé et que ce débit sera réparti uniformément dans des regards qui représente un exutoire. Le débit des eaux pluviales est donné par l'expression suivante :

Q = k.C.I.A

➢ Calcul de la surface du bassin versant :

- Surface de la plate-forme : A_p = 0.234 ha.
- Surface du quai : A_q =0.24 ha.

➢ Calcul des débits d'apport (Q_a) :

- Pour la plate-forme :

C=0.2, P=4%, I (10%) = 5.25 mm/h, b=0.44, A=0.234 ha.

$t_c = 0.127 \times \sqrt{A/P} = 0.127 \times \sqrt{0.234/4} = 0.037$ h.

$I_t = I.(\frac{tc}{24})^{b-1} = 5.25\ (\frac{0.037}{24})^{0.44-1} = 197.19$mm.

$Q_t = K.C.I_t.A = 0.278 \times 0.2 \times 197.19 \times 0.234 = 2.56 \times 10^{-3}\ m^3/s.$

- Pour le quai:

C=0.4, P=2%, I (10%) = 5.25 mm/h, b=0.44, A=0.24 ha.

$t_c = 0.127 \times \sqrt{A/P} = 0.127 \times \sqrt{0.24/2} = 0.044$ h.

$I_t = I.\left(\frac{tc}{24}\right)^{b-1} = 5.25\left(\frac{0.044}{24}\right)^{0.44-1} = 178.95$ mm.

$Q_t = K.C.I_t.A = 0.278 \times 0.4 \times 178.95 \times 0.24 = 4.77 \times 10^{-3}\ m^3/s.$

D'où:

$$Q_a = Q_p + Q_q = (2.56 + 4.77) \times 10^3 = 7.33 \times 10^3 m^3/s.$$

➢ Calcul et choix des diamètres : Le diamètre des conduites est déterminé à partir de la relation de MANNING qui est en fonction du débit et de la pente.

$$\mathbf{D = 1.54\left(\frac{n.Q}{\sqrt{I_c}}\right)^{3/8}}$$

Avec :

- n =0.015 : coefficient de MANNING.
- I_C =3% : pente de la conduite.

Une fois les diamètres sont calculés, on choisit les diamètres normalisés de telle sorte que φ ≥ D et selon leur disponibilité sur le marché.

A.N :

$D = 1.54\left(\frac{0.015 \times 7.33 \times 10^{-3}}{\sqrt{0.01}}\right)^{3/8} = 0.119$ m

Donc, on prend :

Ø = 200 mm

XI

PROFIL ENTRAVERS ET CALCUL DES CUBATURES

XI.1 Introduction.

XI.2 Profil type de notre projet.

XI.3 Calculs des cubatures.

XI- Profil en travers et calcul de cubatures

XI.1 Introduction :

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie.
L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.
On distingue deux types de profil :

Profil en travers type :

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à des distances régulières, qui servent à calculer le projet.

Profil en travers courant :

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, les éléments de la superstructure, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux.....etc.).
Les profils en travers type doivent nous indiquer tous les éléments suivants :

- Elément de la superstructure :
- Le rail et son type.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- L'entraxe de la voie.
- Les traverses et leur type.
- Poteaux caténaires et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées).
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La pente latérale de la couche de ballast.

- Eléments de l'infrastructure :
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.
- Les épaisseurs et les nominations de chaque couche.

- Eléments de talus :
- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuels, tels que les murs de soutènement.

- Eléments d'assainissement :
- Type et dimension des fossés.

XI.2 Profil type de notre projet :

Pour notre projet, on a opté pour les sections types exigées par la SNTF :
- Type de ligne : voie unique mixte non électrifiée.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).

- Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- Epaisseur du ballast : 25 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 15 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 15 cm.

Dans les sections du passge inférieur (trémie ferroviaire) les caractéristiques suivantes seront modifiées :

- Pente latérale de la plate-forme : 2%.
- Epaisseur du ballast : 45 cm.

En ce qui concerne les gares, il faut tenir en compte les distances entre l'axe et les obstacles ci-après :

- Supports, mats et piédroit : 3.20 m.
- Bords de quai de hauteur d'une hauteur de 0.55 m : 1.65 m.
- Objets fixes sur le quai : 3 m.
- Entraxe des voies en gares de voyageurs : 4.50 m.
- Largeurs de quai : 8 m.

Nota : les profils en travers type et courants sont représentés dans l'annexe.

XI.3 Calcul des cubatures :

Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

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

Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux, on peut citer :

- Méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).
- Méthode de l'aire moyenne (méthode par défaut).
- Méthode de la longueur applicable.
- Méthode approchée.

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

Les résultats du calcul automatique sont résumés dans le tableau ci-après :

Volume déblai (m^3)	Volume remblai (m^3)
264449	2880

XII

OUVRAGES D'ARTS

XII.1 Introduction.

XII.2 Les ouvrages d'arts de notre projet.

XII.3 Le phasage des travaux.

XII- Ouvrages d'arts

XII.1 Introduction :

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

- Ponts rail.
- Ponts routiers.
- Tunnels ferroviaires.
- Passage inférieure.
- Les ouvrages hydrauliques.

XII.2 Les ouvrages d'art de notre projet :

Dans le cas de notre projet, on rencontre deux ouvrages, le premier est un passage inférieur au PK 2+052.23, l'obstacle rencontré est un giratoire d'un rayon de 12.50 m situer sur la RN 96 devant l'entrée de la cimenterie de béni-Saf. Le deuxième est un viaduc au PK 1+200 d'une longueur d'environ 220 m. Le dimensionnement de l'ouvrage a pris en considération la possibilité du dédoublement et l'électrification de cette ligne au futur.

La trémie ferroviaire est sur une profondeur de 12 m du niveau de la route, de ce fait la hauteur du remblai au-dessus de la trémie est de 2.50 m.

Les caractéristiques du passage inférieur au niveau du giratoire de la RN96 sont :

- Longueur total : 110 m.
- Largeur : 10 m.
- Gabarit : 8 m.

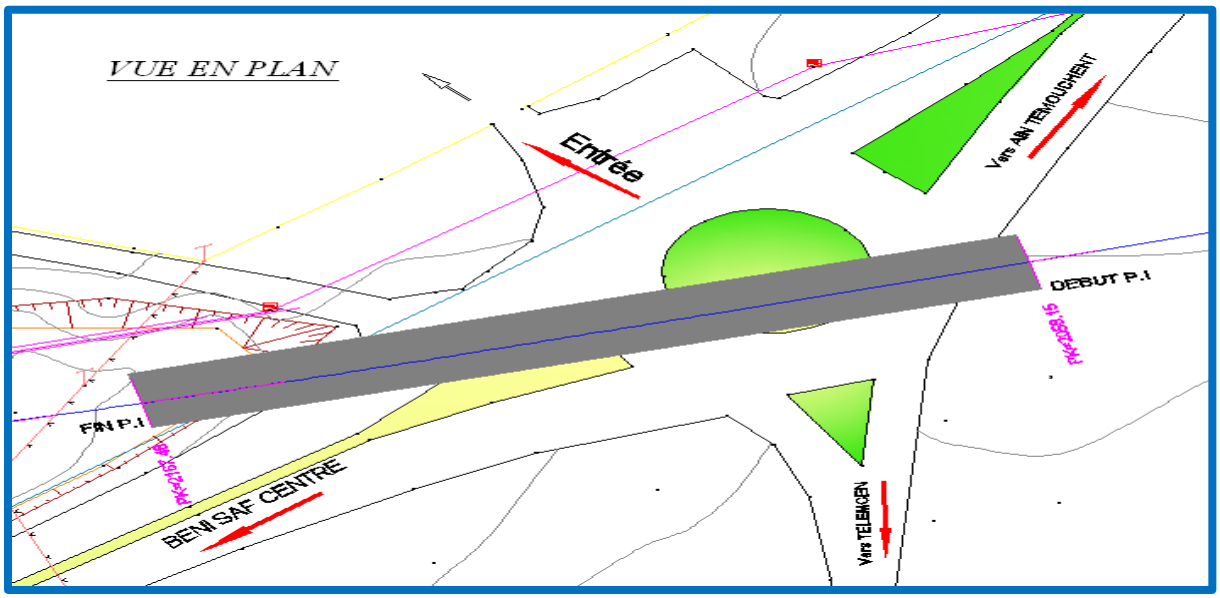


Figure N° 12.1 : *Vue en plan de la trémie ferroviaire.*

XII.3 le phasage des travaux :

Le terrain du projet étant relativement plat, il ne semble présenter aucun risque de glissement ou d'instabilité. Du point de vue stabilité, les talus de fouilles peuvent atteindre 15 m de profondeur et tenant compte de la couche de grés calcaire à excaver, la pente du talus peut avoir un angle 60° à 80°, toute en respectant la distance minimale de sécurité pour la circulation des engins au sommet du talus. D'autre part, la réalisation de cette trémie peut se faire soit en élément préfabriqué ou peut être coulé sur place.

Durant la période de réalisation, la déviation de la circulation au niveau du giratoire se fera comme suit :

- **Déviation de la circulation au côté gauche du giratoire :**

Le trafic vas être dévié au côté gauche du giratoire afin d'assurer le fonctionnement et la continuité de la RN96. La partie droite du giratoire sera ouverte devant la circulation.

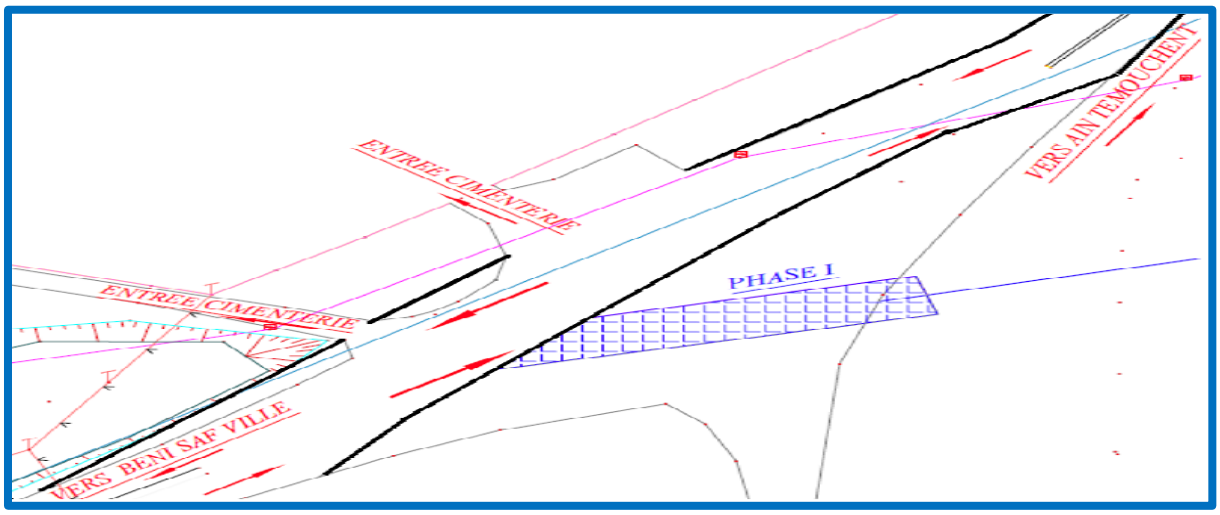


Figure N° 12.2 : *phase de déviation à gauche.*

- **Déviation de la circulation au côté droite du giratoire :**

Après avoir terminé la partie droite de la trémie, on ouvre la circulation de ce côté et on la ferme du côté gauche pour commencer les travaux.

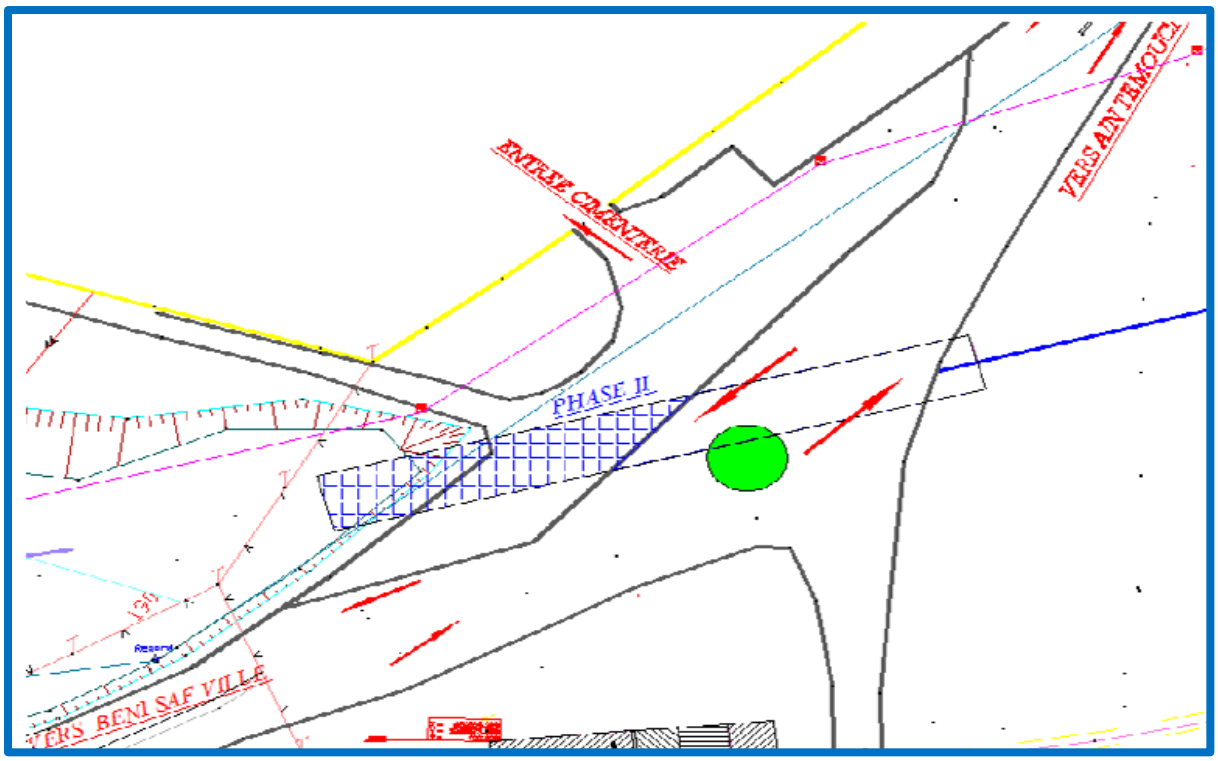


Figure N° 12.3 : *phase de déviation à droite.*



Figure N° 12.4 : *aménagement final du giratoire.*

XII

AMENAGEMENT DES GARES

XIII.1 Introduction.

XIII.2 Installations d’une gare ferroviaire.

XIII.3 Etude du plan de masse d’une gare.

XIII.4 Conditions de conception des gares.

XIII.5 Caractéristiques géométriques des gares.

XIII.6 Garage franc.

XIII.7 La longueur utile d’une voie de stationnement.

XIII.8 Les gares de notre projet.

XIII.9 Assainissement dans les gares.

XIII-Aménagement des gares

XIII.1 Introduction :

Une gare est un lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses installations qui ont double fonction :

- ✓ Permettre l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ainsi que le chargement et le déchargement des marchandises.
- ✓ Assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

On distingue trois types de gares :

- **Gares voyageurs :**

Les gares de voyageurs sont de taille très variable, les gares peu importantes, qui constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel permanent, sont appelées « haltes » ou « points d'arrêt ».

Les gares principales situées dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les autres modes de transport urbains. Dans ce type de gare, on distingue les gares terminus et les gares de passage.

- **Gares marchandise :**

Les gares de marchandise assurent la totalité du traitement du trafic de marchandise. Elles sont dotées de halles à marchandise et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opère le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients.

- **Gares de triage :**

Les gares de triage assurent la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolées.

XIII.2 Installations d'une gare ferroviaire :

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare.

- **Le bâtiment de voyageurs :** c'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.

- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** c'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.

- **Quais :** c'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.

- **Abris de quais :** c'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.

- **Les passages sous terrain et les passerelles :** ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

XIII.3 Etude du plan de masse d'une gare :

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse qui sont :

➢ **Catégories de la voie :** elle permet de déterminer le rôle et les constituants de la gare.

➢ **Le trafic :** c'est un élément très important pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de l'aménager d'une manière convenable.

➢ **L'emplacement de la gare :** généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

XIII.4 Conditions de conception des gares :

Les gares doivent répondre à un certain nombre de condition :

- l'étude du bâtiment de voyageurs (B.V) doit respecter le plan d'urbanisme.
- il faut veiller à la séparation des flux de voyageurs entrant et sortants.
- une grande gare centrale est préférable à la solution de plusieurs gares.
- aménager aux abords des gares des parcs de stationnement de voitures.
- analyser avec précision tous les mouvements et manœuvre qui comporte aussi l'exploitation de la gare aux heures de pointe.

XIII.5 Caractéristiques géométriques des gares :

- **Déclivité dans les gares :** en gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet, la déclivité est de 0 $^{0}/_{00}$ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

- **La longueur de quai** (normes SNTF) :
  - Grande ligne 450 m.
  - Service régional 350 m.
  - Banlieue 225 m.

- **La largeur des quais :** la largeur des quais est donnée par la formule suivante :

$$B_{min} = (1.5 \times N_{min} + S)/L$$

N_{min} : nombre de voyageurs sur le quai qui est égale à 80% des voyageurs au départ du train.
S : surface prise par les bâtiments voyageurs sur les quais.
L : longueur d'un quai est égale à la longueur du plus grand train.
1.5 : surface prise par un voyageur.

- **Hauteur des quais :** la hauteur du bord du quai devra être de 350, 550 ou de 760 mm au-dessus de la surface de roulement, et cela selon le type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

- **La distance à l'axe de la voie :** pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale a l'axe de la voie est fixée à :

$$L\ (mm)=1650+S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S\ (mm)= (3750/R) + ((I-1435)/2)$$

- **R :** le rayon de la voie (m).
- **I :** l'écartement de la voie (mm).

- **L'entre axe des quais :**

- e normal > 11.3 m.
- e minimal > 9.3 m.

Le tableau ci-après résume tous les paramètres cités ci-dessus adoptés pour notre projet.

Longueur des quais (m)	Largeur des quais (m)	Hauteur des quais (m)	Distance à l'axe de la voie (m)	Entre-axe (m)
300	8	0.55	1.65	15.8

***Tableau N° 13.1** : paramètres du projet.*

XIII.6 Garage franc :

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément GF :

$$GF= 3.57 \times N + 1$$

N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

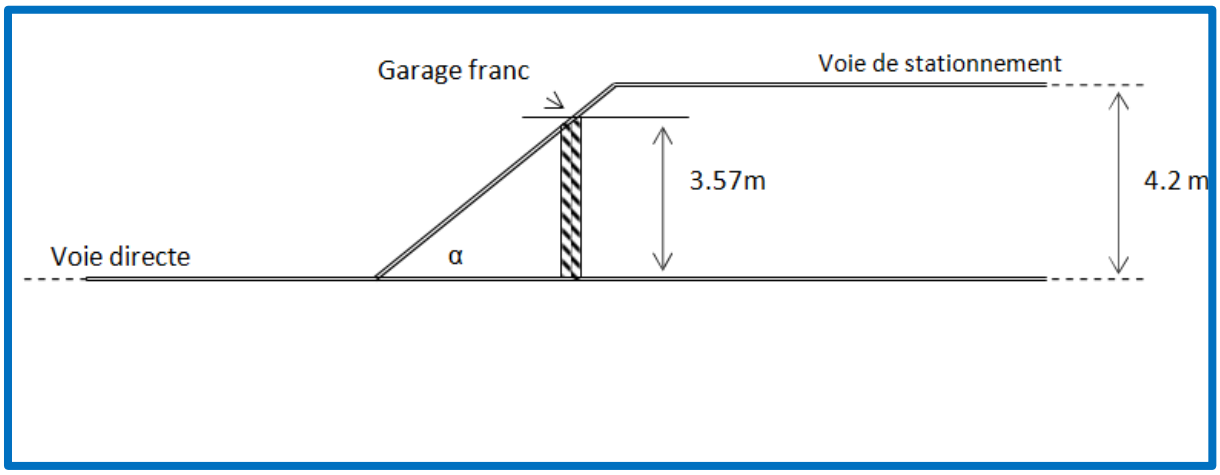


Figure N° 13.1 *: garage franc.*

XIII.7 la longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs, elle est donnée par la formule suivante :

$$L_U = L_G + L_S + L_T + L_A + L_C$$

- L_U **:** longueur utile.
- L_G **:** longueur de glissement.
- L_S **:** longueur de sécurité.
- L_T **:** longueur maximale de train.
- L_A **:** marge de tolérance d'arrêt.
- L_C **:** tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

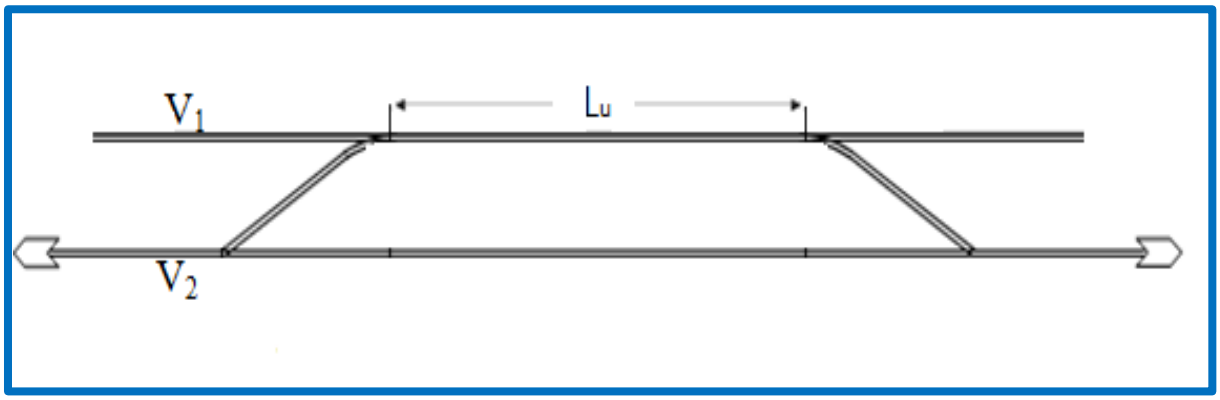


Figure N° 13.2 : *longueur utile.*

XIII.8 Les gare de notre projet :

Pour notre projet nous avons deux types de gares :

- **gare marchandise de la cimenterie :** afin de garantir le trafic normal de la marchandise, un nouveau quai de chargement sera aménagé sur une surface totale de 110×10 m² en remplaçant l'existant étant non conforme. Le nouvel aménagement prévoit la création d'une cinquième voie permettant de maintenir la capacité du trafic de la cimenterie.

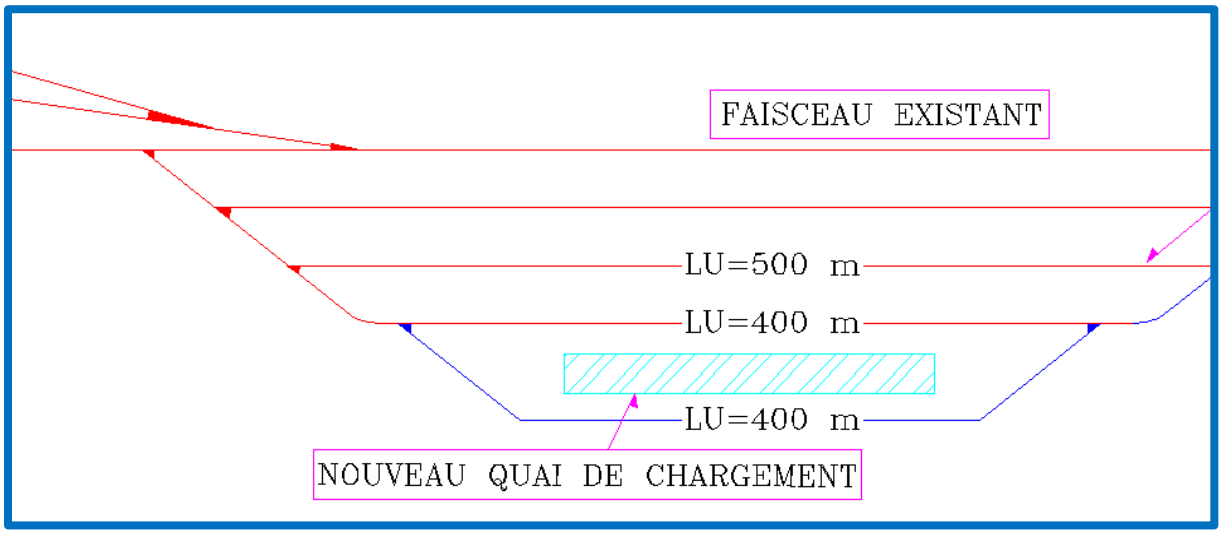


Figure N° 13.3 : *nouvelle gare marchandise.*

- **Nouvelle gare voyageurs de Béni-Saf :** l'endroit choisi pour la nouvelle gare ferroviaire s'étale sur un étendu terrain nu (environs 3200 m² de surface). La gare sera accessible via un raccordement à la route principale existante qui mène au centre-ville.

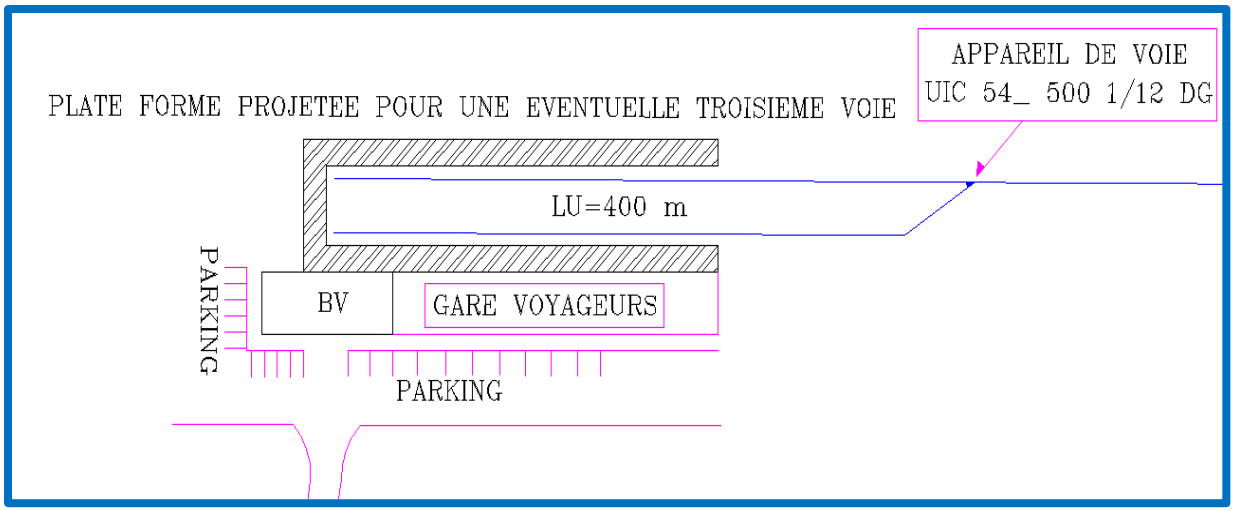


Figure N°13.4 : *nouvelle gare de voyageurs.*

❖ Caractéristique de la gare :

- Appareil de voie type UIC 54-500/12 : déviation à gauche.
- Longueur utile est de 400 m.
- Quais en forme de U de dimension 2×(300×8) + (23.8×8).

XIII.9 Assainissement dans les gares :

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

➢ **Assainissement longitudinal :** les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4°/$_{00}$ permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

XIV

IMPACT SUR L'ENVIRENNEMENT

XIV.1 Introduction.

XIV.2 Aspects de l'environnement a préservé lors de la conception d'un projet.

XIV- Impact sur l'environnement

XIV.1 Introduction :

Les effets négatifs des activités de transport sur l'environnement sont essentiellement liés à la construction et à l'exploitation du matériel roulant et des infrastructures, tels que les accidents, la congestion, la pollution atmosphérique, le bruit, la consommation d'énergie et des terrains ainsi que d'autres ressources naturelles.

XIV.2 Aspects de l'environnement a préservé lors de la conception d'un projet :

La construction d'un projet ferroviaire perturbe directement l'environnement, donc on doit lutter contre toutes dégradations et nuisances causées par la construction, l'exploitation et l'entretien d'un projet d'infrastructure. Les impacts peuvent concerner les éléments cités ci-dessous :

❖ **Le bruit :**

La principale nuisance causée par le transport ferroviaire est le bruit. La gêne occasionnée est en effet de plus en plus perçue, notamment dans les zones d'habitation à forte densité, ainsi que pendant la nuit.

La problématique posée par le bruit des chemins de fer n'est toutefois pas ressentie de la même manière dans chaque région. En effets, la densité des réseaux de voies ferrée, la géographie ou la densité des habitations sont trois données essentielles qui diffèrent d'une région à une autre. Dans notre projet, le nombre de population exposée au bruit du transport ferroviaire est très petit et existe seulement dans la zone de douar OULED boudjemaa près de la cimenterie.

La lutte contre le bruit : pour réduire les bruits, il faut :

- Réduire les émissions à la source en améliorant la conception de la voie et du contact rail-roue, en utilisant des véhicules munis de freins à disque, en limitant l'exploitation à certaines heures.
- Agir au niveau du tracé (en plan et/ou du profil en long) en contournant les zones à protéger ou en prévoyant des tranchées, galeries et tunnels mais ces dernières solutions engendrent des couts très élevée.
- Empêcher la propagation de bruit par des constructions telles que parois ou digue antibruit, talus a parois cellulaire, plantations, construction des façades des bâtiments avec des matériaux formant un écran antibruit.

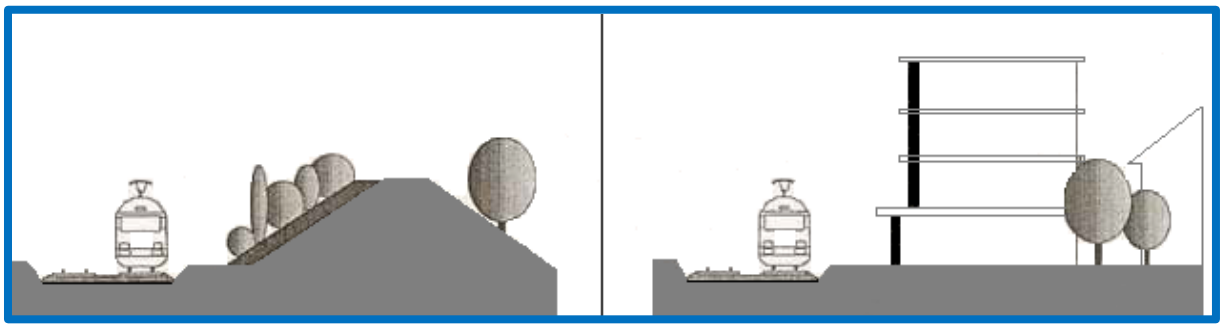


Figure N° 14.1 : *digue antibruit et éléments de construction formant écran.*

La prévision des émissions de bruit est en général une tache du maitre d'ouvrage. Ces valeurs doivent être comparées aux valeurs limites d'exposition qui dépend de la sensibilité de la zone concernée. En cas de dépassement de ces valeurs limites d'émissions, des mesures de protection doivent être établie, le tableau ci-dessous résume quelque mesure pour régler le problème du bruit.

Le seul passage de notre projet à côté d'une agglomération existe dans la zone de douar BOUDJEMAA sous le giratoire de la cimenterie. Et vue la projection d'une trémie ferroviaire dans cette zone, alors, elle jouera aussi le rôle d'un antibruit. Donc l'inutilité d'utilisé des dispositifs antibruit supplémentaires pour notre voie ferroviaire.

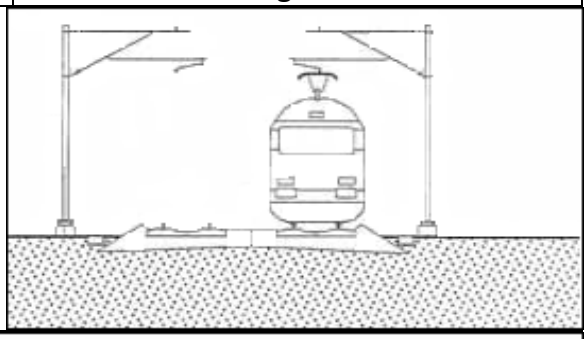
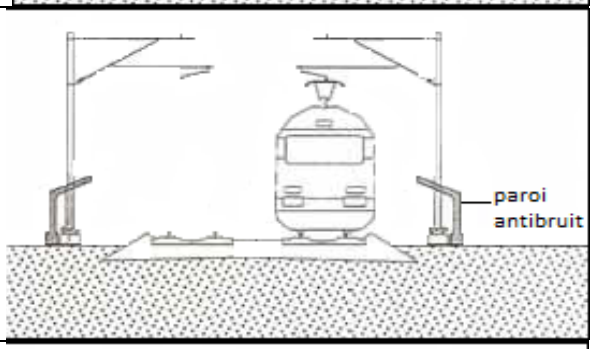
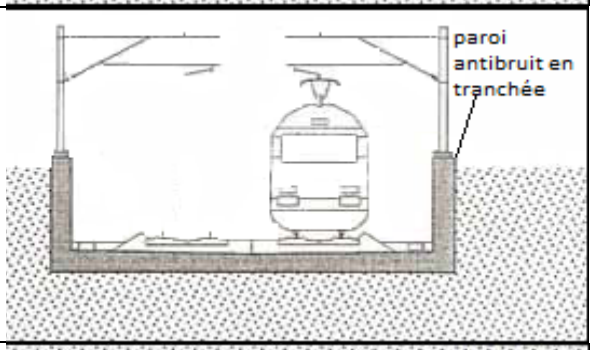
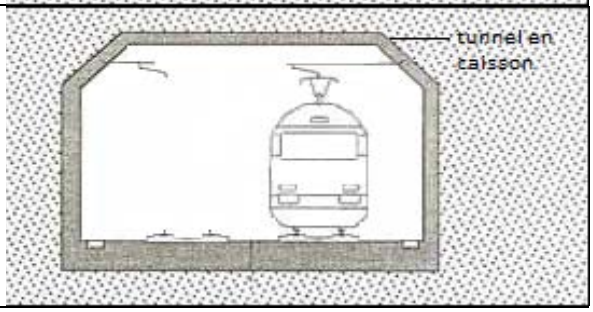
hypothèse		couts	figure
1	Aucune méthode antibruit n'est nécessaire (les zones limitrophes ne sont pas sensibles au bruit)	100%	
2	Utilisation de parois antibruit de 2.5 m	120% à 130%	
3	Utilisation de parois antibruit de 2.5 m de hauteur mais le tracé sera en tranché	150% à 200%	
4	Tunnel en caisson	300% à 800%	

Tableau N° 14.1 : *mesure de protection contre le bruit.*

❖ **Les vibrations :**

La circulation des trains sur une voie ferrée provoque également l'émission des vibrations transmises par le sol à des distances relativement très importantes. L'origine de ces vibrations se situe essentiellement dans la succession des charges roulantes, des phénomènes de glissement rail/roue et des imperfections géométriques du rail et de la roue. On peut classer ces vibrations en trois classes de fréquence :

- **De 0 à 15 Hz :** essentiellement due aux masses suspendues et semi-suspendues des véhicules (caisse et masse du châssis de bogie posées sur des ressort primaire), elles sont transmise par le sol avec un amortissement très variable suivant la nature du sol et de la valeur de la fréquence.

- **De 15 à 150 Hz :** ces vibrations résultent des oscillations des masses non suspendues (essieux), elles sont affaiblies par le sol de façon notable mais peuvent être gênantes si elles génèrent des vibrations de structures perceptibles (mur, plafonds, dalles), le seuil de danger n'étant jamais atteint même pour des bâtiments très proche de la voie.
- **Supérieur à 150 Hz :** sont essentiellement dues aux phénomènes de glissement rail/roue, elles sont très vite amorties par le sol mais, par contre, produisent (par l'intermédiaire du rail et de la roue comme surface radiante) ce qu'on appelle le bruit de roulement car elles tombent assez rapidement dans le domaine audible, l'usure ondulatoire est à cet égard particulièrement redoutable puisqu'elle augmente les vibrations du rail et de la roue dans le domaine audible, d'autant plus qu'avec la vitesse, la fréquence d'excitation rejoint les fréquences propres du rail (1000 Hz-2500 Hz).

❖ **Effets négative de la créosote des traverses en bois :**

La créosote de goudron de houille est principalement utilisée pour la protection du bois comme agent hydrofuge. Elle est utilisée en majeure partie pour l'imprégnation du bois sous pression, notamment pour les traverses de chemin de fer. Lors de cette imprégnation, de la créosote en excès peut être libérée par les matériaux traités. Il est fréquent que de la créosote soit entraînée vers l'extérieur pendant les phases de nettoyage ou sous l'effet des pluies. De la créosote peut également être libérée dans l'environnement par les émissions sortant des ateliers où ce produit est utilisé ou fabriqué.

D'une façon générale, la créosote se retrouve dans tous les compartiments de l'environnement (air, eau, sédiments, sol…). Les principaux milieux de dépôt sont toutefois les sédiments, le sol et les eaux souterraines. Les relevés effectués à proximité d'installations où de la créosote est produite ou utilisée montrent la présence de HAP (cancérogènes), que ce soit dans l'air ambiant, dans les eaux souterraines ou dans celles des cours d'eau ou canaux, dans les sols, avec, dans certaines situations, des concentrations élevées.

Par conséquent, l'usage de ce produit dans les traverses en bois utilisées dans les projets de voie ferrée provoque des cancers chez les humains. Pour cela, la plupart des pays européen commence à éliminer les traverses en bois traité à la créosote à cause de leurs dégâts. Pour notre projet, on est obligé à les utiliser vue l'absence des législations qui protège l'environnement et qui interdit leur utilisation. D'ailleurs, et dans notre pays, c'est recommandée d'utiliser des traverses en bois créosoté récupérer dans les appareils de voies vue leurs économie.

En plus de tout ça, un projet de voie ferrée peut provoquer les nuisances cité dans le tableau ci-après :

effets	Causes de nuisances
Ressource sol	- Utilisation des terrains pour les voies et les gares. - Abandon des installations désaffectées.
Déchets solides	- Vies ferrée, équipement et matériel roulant abandonnés.
Accidents	- Déraillement ou collisions de train de marchandises transportant des substances dangereuses.
Autre effets	- Effet de coupure et dégradation de quartiers, de terres agricoles et d'habitats de la flore et de la faune sauvages.

Tableau N° 14.2 : *effets sélectionnée du transport ferroviaire.*

XV

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

XV- Devis quantitatif et Estimatif

DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (DA)	PRIX TOTAL (DA)
FORFAIT				
ETUDES D'EXCUTION	F	1,00	2000000,00	2000000,00
INSTALATION DU CHANTIER	F	1,00	30000000,00	30000000,00
TOTAL FORFAIT				**32000000,00**
TERRASSEMENT				
DECAPAGE	M3	2457,02	342,00	840300,84
REMBLAIS	M3	2880,00	594,72	1712793,60
DEBLAIS	M3	264449,00	3503,34	926454759,66
TOTAL TERRASSEMENTS				**929007854,10**
COUCHES D'ASSISES				
COUCHE DE FONDATION	M3	4119,73	1885,57	7768039,30
COUCHE DE SOUS BALLAST	M3	4119,73	2403,17	9900411,54
COUCHE DE BALLAST	M3	3003,97	3050,65	9164061,08
TOTAL COUCHES D'ASSISES				**26832511,92**
Ouvrages d'arts				
VIADUC	ML	120,00	600000,00	72000000,00
TOTAL QUAIS				**72000000,00**
SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE				
VOIE + ACCESSOIRE	ML	3433,11	28200,00	96813702,00
TRAVERSES BI-BLOC + ATTACHES	U	5912,00	3000,00	17736000,00
APPAREILS DE VOIE UIC54-500- 1/12	U	1,00	8450000,00	8450000,00
APPAREILS DE VOIE UIC54-300 - 1/9	U	4,00	7000000,00	28000000,00
TOTAL SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE				**150999702,00**
OUVRAGES DE DRAINAGE				
FOSSES	ML	4600,00	10000,00	46000000,00
TOTAL OUVRAGES DE DRAINAGE				**46000000,00**
Gare voyageur				
AMENAGEMENT BV	M2	400,00	10000,00	4000000,00
quais+accesoire	M2	4990,40	4000,00	19961600,00
TOTAL BATIMENTS VOYAGEURS				**23961600,00**
DIVERS				
PARKING	M2	300,00	8500,00	2550000,00
CLOTURE	ML	1500,00	39870,70	59806050,00
TOTAL DIVERS				**62356050,00**
TOTAL HORS TAXES (H.T)				**1225157718,02**
T . V . A (17 %)				**208276812,06**
TOTAL T . T . C				**1433434530,08**

XVI

Conclusion GENERALE

XVI- Conclusion Générale

Les autorités algériennes ont fourni de grands efforts pour le développement du réseau ferroviaire national qui représente une grande importance sur la politique de l'aménagement du territoire, et cela en s'intéressant à l'aménagement et la réalisation d'infrastructure de qualité afin d'offrir de meilleurs services aux citoyens et de diversifier les modes de transport dans notre pays.

Notre projet s'inscrit dans le programme de raccordement des grandes agglomérations qui désenclavera toute la région de Béni-Saf et ces limitrophes et qui vas lui permettre d'être lié au réseau ferroviaire national, ce qui constitue un confort précieux aux déplacements des citoyens et des échanges économiques.

Enfin, l'étude APD de ce projet nous a permis de choisir un très bon tracé qui respecte toutes normes nationales et internationales et qui prend en considération la protection de l'environnement, le confort et la sécurité des usagers.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- **Livres et cours :**

- La voie ferrée-technique de construction et d'entretien, par **Jean ALIAS**.
- Le manuel de la voie, par **Dr. Bernhard LICHTBERGER**.
- La voie ferrée - Géométrie et tracé générale, par **Robert E.RIVIER.**
- Cours de chemins de fer (Paris tech 2011-2012), par **Philippe POULIGNY**.
- Cours d'exploitation des chemins de fer-**ULYSSE LAMALLE**.
- Cours de chemins de fer de l'Ecole el Hassania des travaux publics (MAROC).

- **Document ENSTP :**

- Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Supérieur des Travaux Publics, par **Dr. AIT MOKHAR.**
- Projet de fin d'étude – Voie ferré.
- Cours d'Hydraulique 4^{éme} Année.

- **Fiche UIC :**

- 703R : Caractéristiques de trace des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.
- 741F : Quais des voyageurs- règle pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie (4ème éditions, Décembre 2005).
- 719R : Ouvrages en terre et couches d'assises ferroviaire (2^{éme} éditions du 01/01/1994).

- **Fiche SNCF :**

- Conception du tracé de la voie courante V≤ 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].
- Wékimapia [www.wékimapia.org].
- ANESRIF [www.anesrif.dz].
- Dictionnaire visuel [www.infovisuel.info].
- INFRARAIL [www.infrarail.dz].
- Ministère des transports algérienne [www.ministere-transports.gov.dz].
- Ainsi que d'autre sites (Google, Wikipédia….etc.).

ANNEXES

1-Tracé en plan

Axe En Plan						
Caractéristiques d'éléments				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Arc 1	Rayon Centre X Centre Y	4800.000 m 651687.738 m 3903782.681 m	282.989	0.000	652703.209	3908474.037
Droite 1	Gisement	309.8171 g	409.498	282.989	652425.020	3908525.719
Clothoïde 1	Paramètre	243.930	70.002	692.488	652020.381	3908588.617
Arc 2	Rayon Centre X Centre Y	850.000 m 651855.204 m 3907753.841 m	538.525	762.490	651951.074	3908598.417
Clothoïde 2	Paramètre	-243.930	70.002	1301.015	651432.464	3908491.263
Droite 2	Gisement	264.2405 g	258.658	1371.018	651372.717	3908454.797
Clothoïde 3	Paramètre	-250.000	50.000	1629.676	651153.802	3908317.027
Arc 3	Rayon Centre X Centre Y	-1250.000 m 650466.808 m 3909361.715 m	636.918	1679.676	651111.309	3908290.679
Clothoïde 4	Paramètre	250.000	50.000	2316.593	650507.020	3908112.362
Droite 3	Gisement	299.2249 g	1066.517	2366.593	650457.029	3908111.420
				3433.110	649390.592	3908098.436
Longueur totale de l'axe 3433.110 mètre(s)						

2- Profil en long

Profil En Long Projet				
Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 0.00 %	227.996	0.000	170.984
Parabole 1	Pente 0.00 % Rayon 4000.000 m Sommet Absc. 227.996 m Sommet Alt. 170.984 m Pente 1.60 %	64.000	227.996	170.984
Pente 2	Pente 1.60 %	163.996	291.996	171.496
Parabole 2	Pente 1.60 % Rayon -8000.000 m Sommet Absc. 583.992 m Sommet Alt. 175.144 m Pente -0.00 %	128.000	455.992	174.120
Pente 3	Pente 0.00 %	515.990	583.992	175.144
Parabole 3	Pente 0.00 % Rayon 12000.000 m Sommet Absc. 1099.982 m Sommet Alt. 175.144 m Pente 1.00 %	120.000	1099.982	175.144
Pente 4	Pente 1.00 %	219.995	1219.982	175.744
Parabole 4	Pente 1.00 % Rayon -12000.000 m Sommet Absc. 1559.977 m	120.000	1439.977	177.944

	Sommet Alt.	178.544 m			
	Pente	-0.00 %			
Pente 5	Pente	0.00 %	907.984	1559.977	178.544
Parabole 5	Pente	-0.00 %	144.000	2467.961	178.544
	Rayon	-12000.000 m			
	Sommet Absc.	2467.961 m			
	Sommet Alt.	178.544 m			
	Pente	-1.20 %			
Pente 6	Pente	-1.20 %	295.993	2611.961	177.680
Parabole 6	Pente	-1.20 %	144.000	2907.954	174.128
	Rayon	12000.000 m			
	Sommet Absc.	3051.954 m			
	Sommet Alt.	173.264 m			
	Pente	0.00 %			
Pente 7	Pente	0.00 %	381.156	3051.954	173.264
				3433.110	173.264
Longueur totale de l'axe 3433.110 mètre(s)					

3- Cubature

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	10.00	114.99	0.00	1149.899	0.000	1150	0
P.2	20.000	20.00	79.40	0.48	1587.918	9.668	2738	10
P.3	40.000	20.00	93.48	0.09	1869.528	1.851	4607	12
P.4	60.000	20.00	99.15	0.00	1983.022	0.000	6590	12
P.5	80.000	20.00	164.57	0.00	3291.352	0.000	9882	12
P.6	100.000	20.00	64.94	0.00	1298.714	0.000	11180	12
P.7	120.000	20.00	175.39	0.00	3507.891	0.000	14688	12
P.8	140.000	20.00	96.48	0.14	1929.678	2.778	16618	14
P.9	160.000	20.00	193.25	0.00	3864.955	0.000	20483	14
P.10	180.000	20.00	99.28	0.00	1985.663	0.000	22469	14
P.11	200.000	20.00	81.75	0.00	1634.913	0.000	24104	14
P.12	220.000	20.00	147.40	0.00	2948.068	0.000	27052	14
P.13	240.000	20.00	213.25	0.00	4264.927	0.000	31317	14
P.14	260.000	20.00	159.66	0.00	3193.115	0.000	34510	14
P.15	280.000	20.00	175.63	0.00	3512.666	0.000	38022	14
P.16	300.000	20.00	199.21	0.00	3984.231	0.000	42007	14
P.17	320.000	20.00	184.68	0.00	3693.545	0.000	45700	14
P.18	340.000	20.00	203.11	0.00	4062.110	0.000	49762	14
P.19	360.000	20.00	231.16	0.00	4623.289	0.000	54385	14
P.20	380.000	20.00	239.07	0.00	4781.440	0.000	59167	14
P.21	400.000	20.00	214.42	0.00	4288.308	0.000	63455	14
P.22	420.000	20.00	201.94	0.00	4038.758	0.000	67494	14
P.23	440.000	20.00	155.13	0.00	3102.589	0.000	70597	14
P.24	460.000	20.00	134.43	0.00	2688.651	0.000	73285	14
P.25	480.000	20.00	138.34	0.00	2766.836	0.000	76052	14
P.26	500.000	20.00	69.80	0.00	1395.916	0.000	77448	14
P.27	520.000	20.00	23.80	2.86	476.012	57.115	77924	71
P.28	540.000	20.00	8.40	1.58	168.042	31.675	78092	103
P.29	560.000	20.00	15.58	0.61	311.649	12.291	78404	115

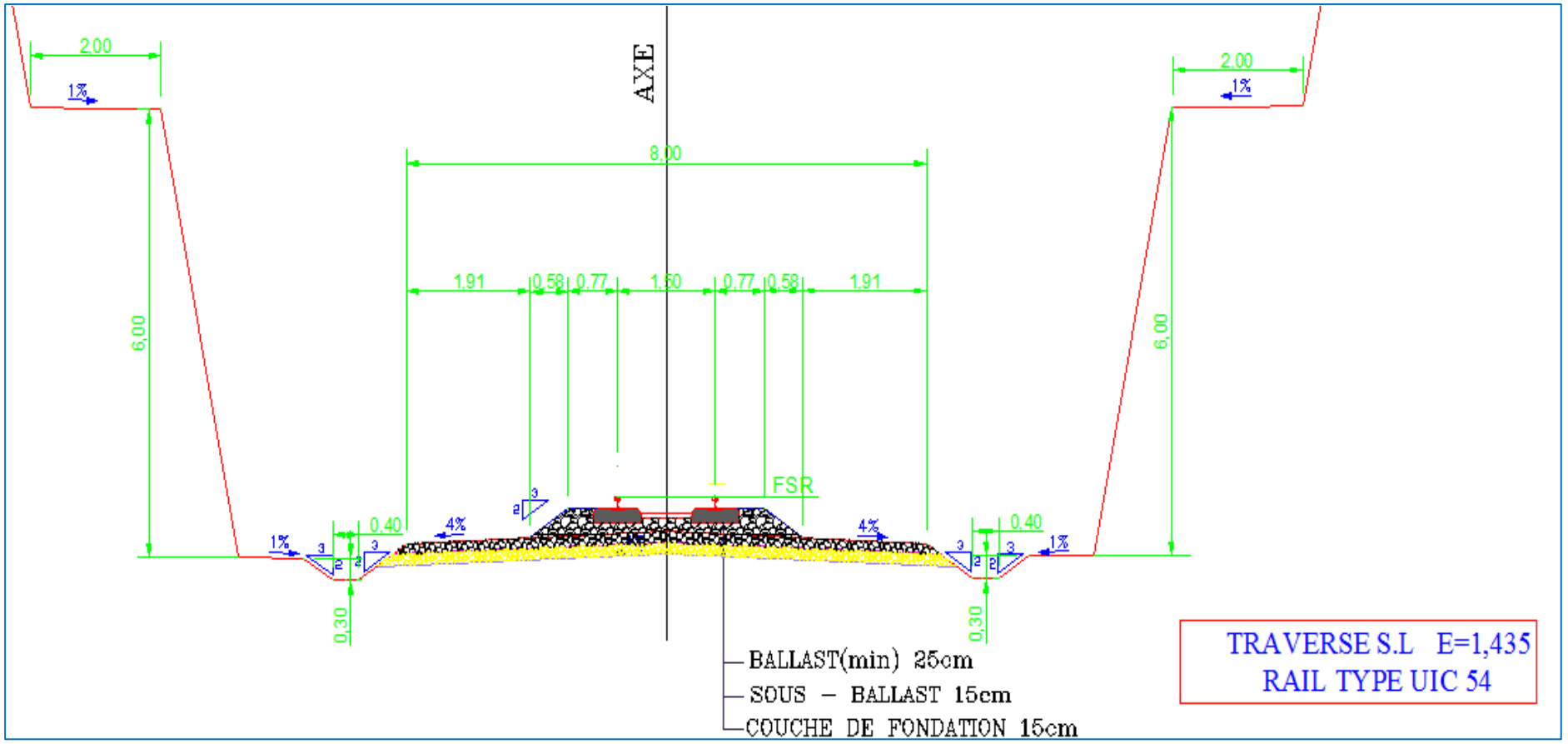
P.30	580.000	20.00	45.58	0.05	911.510	1.087	79315	116
P.31	600.000	20.00	2.96	1.87	59.120	37.425	79374	154
P.32	620.000	20.00	51.63	0.00	1032.586	0.000	80407	154
P.33	640.000	20.00	21.82	0.60	436.323	11.947	80843	166
P.34	660.000	20.00	5.27	2.37	105.350	47.437	80949	213
P.35	680.000	20.00	91.00	0.00	1819.942	0.000	82769	213
P.36	700.000	20.00	84.20	0.00	1683.943	0.000	84452	213
P.37	720.000	20.00	5.29	0.64	105.713	12.736	84558	226
P.38	740.000	20.00	46.50	0.00	930.078	0.000	85488	226
P.39	760.000	20.00	24.60	0.22	491.993	4.441	85980	230
P.40	780.000	20.00	53.59	0.00	1071.867	0.000	87052	230
P.41	800.000	20.00	31.06	1.63	621.273	32.630	87673	263
P.42	820.000	20.00	33.21	1.85	664.111	36.948	88337	300
P.43	840.000	20.00	78.61	0.14	1572.225	2.812	89910	303
P.44	860.000	20.00	119.56	0.00	2391.173	0.000	92301	303
P.45	880.000	20.00	163.53	0.00	3270.634	0.000	95572	303
P.46	900.000	20.00	182.11	0.00	3642.217	0.000	99214	303
P.47	920.000	20.00	209.82	0.00	4196.328	0.000	103410	303
P.48	940.000	20.00	205.06	0.00	4101.154	0.000	107511	303
P.49	960.000	20.00	166.14	0.00	3322.856	0.000	110834	303
P.50	980.000	20.00	141.07	0.00	2821.486	0.000	113656	303
P.51	1000.000	20.00	117.70	0.00	2354.007	0.000	116010	303
P.52	1020.000	20.00	68.66	0.00	1373.266	0.000	117383	303
P.53	1040.000	20.00	40.55	0.00	810.944	0.000	118194	303
P.54	1060.000	20.00	38.47	0.00	769.481	0.000	118963	303
P.55	1080.000	20.00	38.70	0.00	773.921	0.000	119737	303
P.56	1100.000	20.00	50.81	0.00	1016.233	0.000	120753	303
P.57	1120.000	20.00	73.96	0.00	1479.242	0.000	122233	303
P.58	1140.000	20.00	92.06	0.00	1841.103	0.000	124074	303
P.59	1160.000	20.00	76.21	0.00	1524.215	0.000	125598	303

P.60	1180.000	20.00	38.23	0.00	764.540	0.000	126363	303
P.61	1200.000	20.00	26.12	0.00	522.333	0.000	126885	303
P.62	1220.000	20.00	0.00	15.38	0.000	307.636	126885	610
P.63	1240.000	20.00	0.00	112.23	0.000	2244.677	126885	2855
P.64	1260.000	20.00	0.00	147.41	0.000	2948.118	126885	5803
P.65	1280.000	20.00	0.00	121.43	0.000	2428.534	126885	8232
P.66	1300.000	20.00	0.00	110.24	0.000	2204.726	126885	10437
P.67	1320.000	20.00	0.00	107.77	0.000	2155.496	126885	12592
P.68	1340.000	20.00	0.00	94.64	0.000	1892.853	126885	14485
P.69	1360.000	20.00	0.00	57.71	0.000	1154.180	126885	15639
P.70	1380.000	20.00	0.00	36.64	0.000	732.770	126885	16372
P.71	1400.000	20.00	0.00	23.55	0.000	471.094	126885	16843
P.72	1420.000	20.00	0.00	10.69	0.000	213.883	126885	17057
P.73	1440.000	20.00	3.48	0.14	69.593	2.734	126954	17060
P.74	1460.000	20.00	21.30	0.00	425.978	0.000	127380	17060
P.75	1480.000	20.00	34.27	0.00	685.494	0.000	128066	17060
P.76	1500.000	20.00	35.10	0.00	702.040	0.000	128768	17060
P.77	1520.000	20.00	20.78	0.00	415.576	0.000	129184	17060
P.78	1540.000	20.00	0.00	6.97	0.000	139.494	129184	17199
P.79	1560.000	20.00	0.00	12.79	0.000	255.778	129184	17455
P.80	1580.000	20.00	3.65	0.00	73.025	0.000	129257	17455
P.81	1600.000	20.00	28.35	0.00	567.042	0.000	129824	17455
P.82	1620.000	20.00	41.38	0.00	827.549	0.000	130651	17455
P.83	1640.000	20.00	63.87	0.00	1277.376	0.000	131929	17455
P.84	1660.000	20.00	78.86	0.00	1577.297	0.000	133506	17455
P.85	1680.000	20.00	92.21	0.00	1844.139	0.000	135350	17455
P.86	1700.000	20.00	108.69	0.00	2173.740	0.000	137524	17455
P.87	1720.000	20.00	132.95	0.00	2658.916	0.000	140183	17455
P.88	1740.000	20.00	151.93	0.00	3038.550	0.000	143221	17455
P.89	1760.000	20.00	157.92	0.00	3158.449	0.000	146380	17455
P.90	1780.000	20.00	171.70	0.00	3434.024	0.000	149814	17455

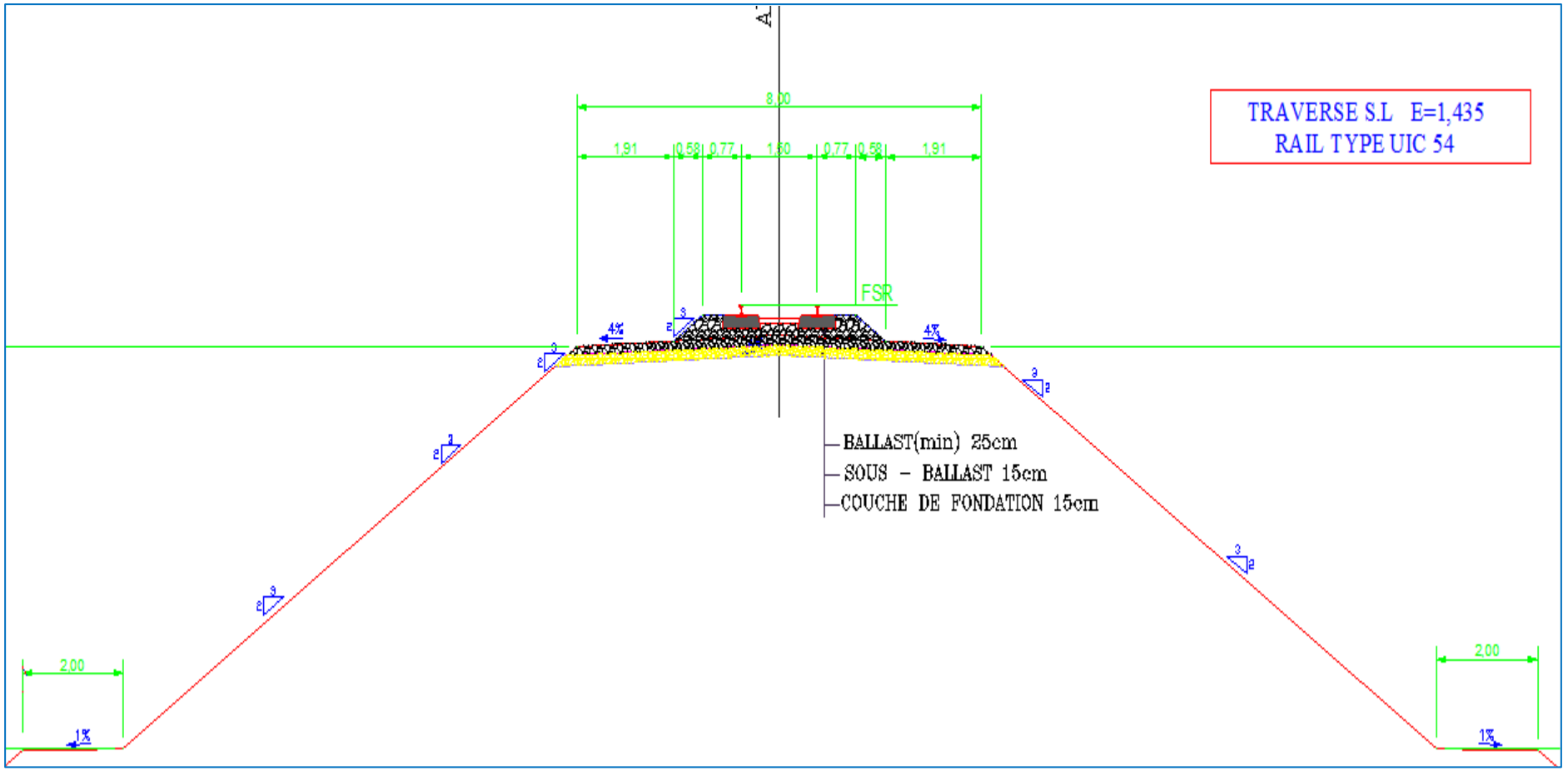
P.91	1800.000	20.00	184.31	0.00	3686.156	0.000	153500	17455
P.92	1820.000	20.00	195.20	0.00	3904.036	0.000	157404	17455
P.93	1840.000	20.00	205.92	0.00	4118.304	0.000	161522	17455
P.94	1860.000	20.00	216.69	0.00	4333.755	0.000	165856	17455
P.95	1880.000	20.00	222.74	0.00	4454.766	0.000	170311	17455
P.96	1900.000	20.00	217.30	0.00	4345.922	0.000	174657	17455
P.97	1920.000	20.00	208.80	0.00	4175.997	0.000	178833	17455
P.98	1940.000	20.00	196.72	0.00	3934.348	0.000	182767	17455
P.99	1960.000	20.00	183.72	0.00	3674.311	0.000	186441	17455
P.100	1980.000	20.00	189.43	0.00	3788.637	0.000	190230	17455
P.101	2000.000	20.00	193.92	0.00	3878.334	0.000	194108	17455
P.102	2020.000	20.00	173.93	0.00	3478.635	0.000	197587	17455
P.103	2040.000	20.00	176.80	0.00	3536.093	0.000	201123	17455
P.104	2060.000	20.00	182.59	0.00	3651.755	0.000	204775	17455
P.105	2080.000	20.00	183.13	0.00	3662.678	0.000	208437	17455
P.106	2100.000	20.00	173.91	0.00	3478.119	0.000	211915	17455
P.107	2120.000	20.00	165.32	0.00	3306.442	0.000	215222	17455
P.108	2140.000	20.00	147.49	0.00	2949.740	0.000	218172	17455
P.109	2160.000	20.00	128.89	0.00	2577.702	0.000	220749	17455
P.110	2180.000	20.00	129.11	0.00	2582.212	0.000	223332	17455
P.111	2200.000	20.00	106.90	0.00	2138.039	0.000	225470	17455
P.112	2220.000	20.00	92.83	0.00	1856.626	0.000	227326	17455
P.113	2240.000	20.00	79.81	0.00	1596.111	0.000	228922	17455
P.114	2260.000	20.00	69.49	0.00	1389.730	0.000	230312	17455
P.115	2280.000	20.00	54.61	0.00	1092.261	0.000	231404	17455
P.116	2300.000	20.00	43.73	0.00	874.663	0.000	232279	17455
P.117	2320.000	20.00	36.39	0.00	727.814	0.000	233007	17455
P.118	2340.000	20.00	43.24	0.00	864.780	0.000	233872	17455
P.119	2360.000	20.00	47.17	0.00	943.366	0.000	234815	17455
P.120	2380.000	20.00	47.26	0.00	945.254	0.000	235760	17455
P.121	2400.000	20.00	52.60	0.00	1052.095	0.000	236812	17455
P.122	2420.000	20.00	58.48	0.00	1169.521	0.000	237982	17455

P.123	2440.000	20.00	62.19	0.00	1243.774	0.000	239226	17455
P.124	2460.000	20.00	64.80	0.00	1296.046	0.000	240522	17455
P.125	2480.000	20.00	60.26	0.00	1205.109	0.000	241727	17455
P.126	2500.000	20.00	45.27	0.00	905.452	0.000	242632	17455
P.127	2520.000	20.00	28.75	0.00	574.935	0.000	243207	17455
P.128	2540.000	20.00	7.87	0.00	157.356	0.000	243365	17455
P.129	2560.000	20.00	0.75	3.23	14.934	64.512	243379	17519
P.130	2580.000	20.00	1.54	1.53	30.831	30.638	243410	17550
P.131	2600.000	20.00	4.45	0.23	88.905	4.528	243499	17554
P.132	2620.000	20.00	7.33	0.00	146.664	0.000	243646	17554
P.133	2640.000	20.00	7.18	0.00	143.519	0.000	243789	17554
P.134	2660.000	20.00	11.14	0.00	222.837	0.000	244012	17554
P.135	2680.000	20.00	13.93	0.00	278.501	0.000	244291	17554
P.136	2700.000	20.00	18.25	0.00	364.907	0.000	244656	17554
P.137	2720.000	20.00	25.18	0.00	503.596	0.000	245159	17554
P.138	2740.000	20.00	30.10	0.00	602.046	0.000	245761	17554
P.139	2760.000	20.00	33.28	0.00	665.680	0.000	246427	17554
P.140	2780.000	20.00	36.57	0.00	731.451	0.000	247158	17554
P.141	2800.000	20.00	41.82	0.00	836.488	0.000	247995	17554
P.142	2820.000	20.00	45.46	0.00	909.284	0.000	248904	17554
P.143	2840.000	20.00	48.01	0.00	960.190	0.000	249864	17554
P.144	2860.000	20.00	52.80	0.00	1056.024	0.000	250920	17554
P.145	2880.000	20.00	55.76	0.00	1115.132	0.000	252036	17554
P.146	2900.000	20.00	59.57	0.00	1191.358	0.000	253227	17554
P.147	2920.000	20.00	60.37	0.00	1207.308	0.000	254434	17554
P.148	2940.000	20.00	56.51	0.00	1130.131	0.000	255564	17554
P.149	2960.000	20.00	52.03	0.00	1040.589	0.000	256605	17554
P.150	2980.000	20.00	46.14	0.00	922.739	0.000	257528	17554
P.151	3000.000	20.00	40.15	0.00	802.902	0.000	258331	17554
P.152	3020.000	20.00	31.30	0.00	626.044	0.000	258957	17554
P.153	3040.000	20.00	18.89	0.00	377.805	0.000	259334	17554

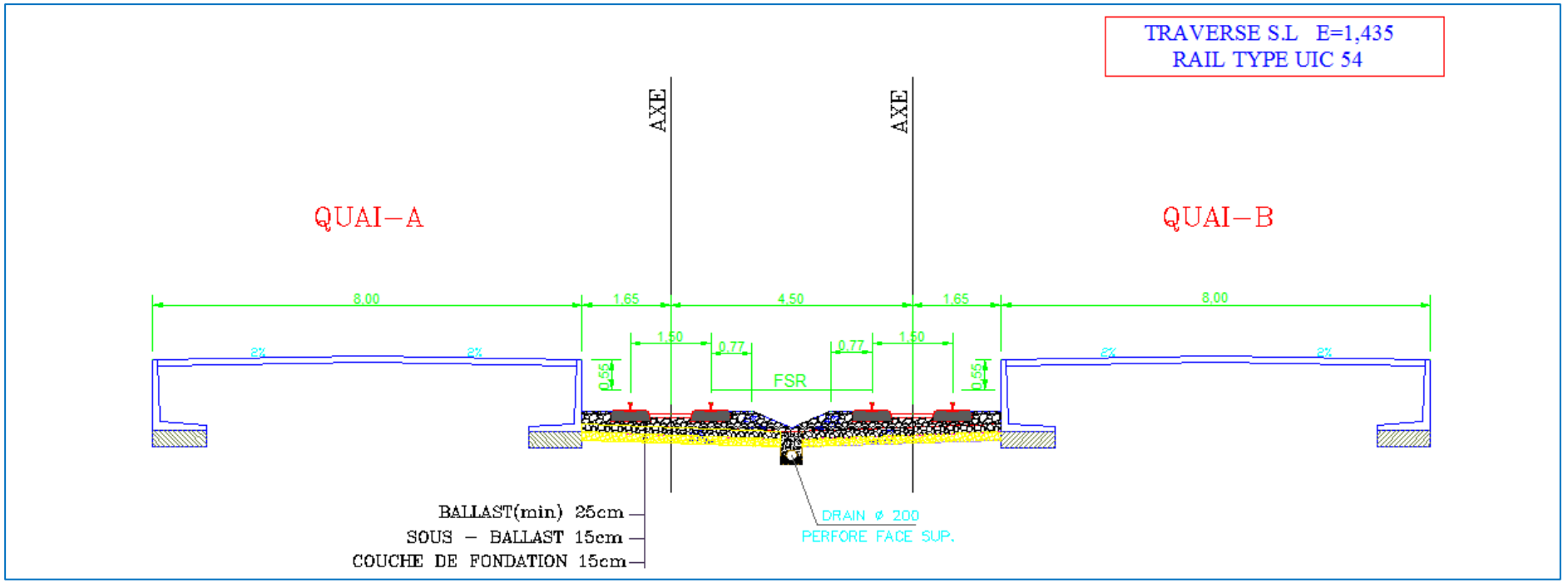
P.154	3060.000	20.00	8.30	0.00	166.009	0.000	259500	17554
P.155	3080.000	20.00	2.41	0.51	48.269	10.243	259549	17565
P.156	3100.000	20.00	2.85	0.65	56.951	12.920	259606	17578
P.157	3120.000	20.00	2.43	1.27	48.505	25.435	259654	17603
P.158	3140.000	20.00	3.47	1.10	69.434	21.968	259724	17625
P.159	3160.000	20.00	8.29	0.03	165.812	0.605	259889	17626
P.160	3180.000	20.00	10.59	0.22	211.871	4.401	260101	17630
P.161	3200.000	20.00	12.68	0.10	253.544	2.097	260355	17632
P.162	3220.000	20.00	13.12	0.04	262.483	0.710	260617	17633
P.163	3240.000	20.00	11.67	0.42	233.442	8.483	260851	17641
P.164	3260.000	20.00	12.72	0.03	254.467	0.682	261105	17642
P.165	3280.000	20.00	11.40	0.41	227.952	8.260	261333	17650
P.166	3300.000	20.00	11.89	0.28	237.837	5.649	261571	17656
P.167	3320.000	20.00	11.81	0.08	236.109	1.665	261807	17658
P.168	3340.000	20.00	19.96	0.06	399.110	1.270	262206	17659
P.169	3360.000	20.00	29.98	0.00	599.637	0.000	262806	17659
P.170	3380.000	20.00	39.58	0.00	791.587	0.000	263597	17659
P.171	3400.000	20.00	33.35	0.00	666.961	0.000	264264	17659
P.172	3420.000	16.55	11.09	0.00	183.534	0.000	264448	17659
P.173	3433.110	6.55	0.17	1.93	1.101	12.651	264449	17672



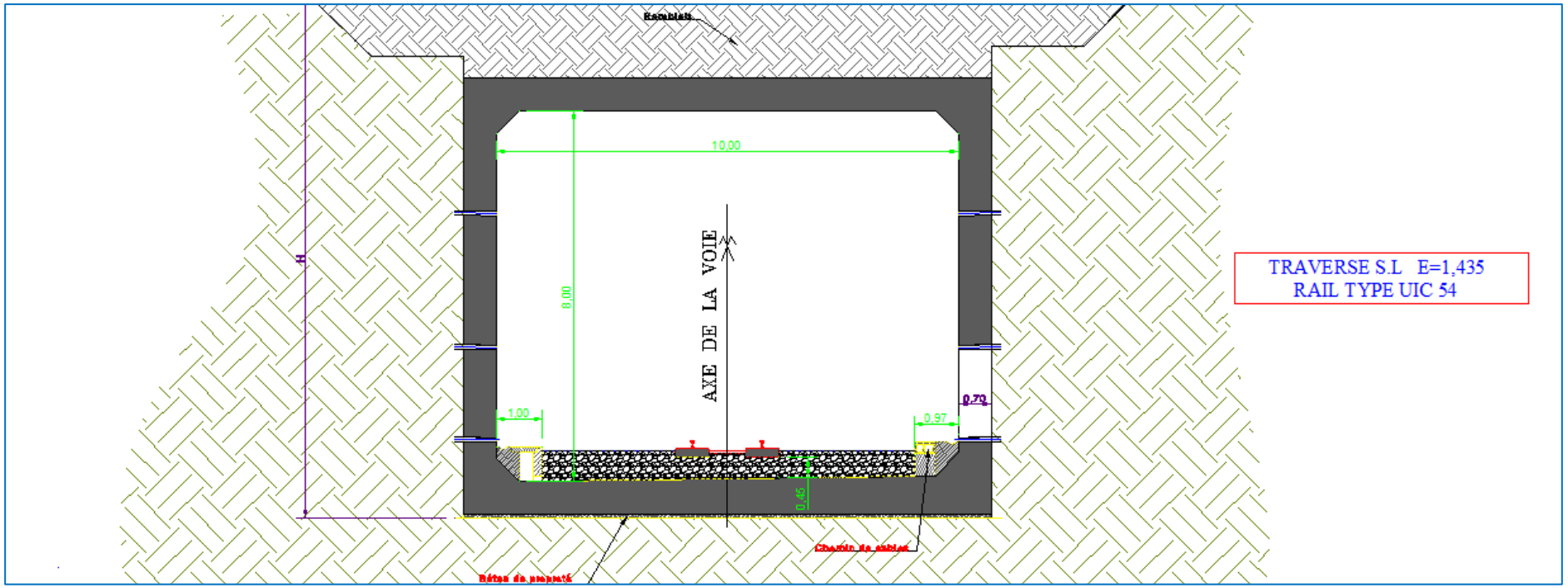
Profil en travers type en pleine déblai



Profil en travers type en remblai



Profil en travers type en gare



Profil en travers type en passage inférieur