République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique avec une vitesse 220 Km/h entre Boughezoul - Djelfa sur un tronçon du PK136+00 au PK141+00 avec conception de la gare intermodale d'Ain Oussera

Présenté par :

IGHEMINE Nassim
KOUAH Mohamed Amine Walid

Encadré par :

Mr BENOUMECHIARA Salah
Mr HAMADI Kamel

Promotion 2018 /2019

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Table des matières

Chapitre I. Les défauts de la voie 3

1.Les différents types de défauts géométriques de la voie et leurs contrôles : 3

1.1.les paramètres généraux : 3

1.2.L'influence de la dynamique ferroviaire : afnor XP ENV 13803-1p54 5

2.Les défauts d'armement : 7

2.1.La libération des LRS 7

3.Les défauts de plateforme : 8

3.1.Les problèmes liés au ballast : 9

3.2.Les problèmes liés à la plateforme : 9

3.2.1.Remontées boueuses : 9

3.2.2.Défauts de portance : 10

Chapitre II. Réseaux ferroviaires algériens. 12

1.Introduction : 12

2.Période coloniale : 12

3.Période post-indépendance : 13

4.réseau actuel : 14

5.Plan de développement : 15

Chapitre III. Présentation du projet 17

1.Description du projet : 17

2.Aperçu sur la wilaya de Djelfa : 17

3.Relief : 18

4.Hydrologie : 19

5.Climatologie : 19

6.Secteur industriel: 19

7.Secteurs Touristiques : 19

8.Objectifs du projet : 19

9.caractéristiques du projet : 20

10.Conclusion : 20

Chapitre IV. Superstructure de la voie : 21

1.Introduction : 21

2.Catégorie de la voie : 21

3.Tableau des caractéristiques de la voie : 21

4.Le rail : 21

5.Assemblage des rails : 23

5.1.Par soudure : 23
5.2.Par éclissage : 24
6. les longs rails soudés (LRS): 25
7.Les traverses : 25
8.Les attaches : 26
Chapitre V. Géométrie de la voie 29
1.Introduction : 29
2.Tracé en plan : 29
2.1.Les règles à respecter dans le tracé en plan **: 29**
2.2.Catégorie de trafic : 29
2.3.Élément du tracé en plan : 30
2.4.Le dévers : 31
2.5.Le dévers réel (pratique) : 31
2.6.L'insuffisance de dévers : 33
2.7.Excès de devers : 34
2.8.Raccordement progressif (RP) : 34
2.9.Gauchissement et variation du dévers : 36
2.10.La variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements : 37
3.Profil en long : 38
3.1.Introduction : 38
3.2.Les règles à respecter dans le tracé du profil en long : 38
3.3.Les éléments géométriques du profil en long : 39
3.3.1.Déclivité : 39
3.3.2.Raccordement vertical : 39
4.Coordination profil en long tracé en plan : 40
5.Les contraintes le long du tracé : 41
6.Profil en travers : 41
6.1.Les éléments de profil en travers : 41
6.2.Les éléments de profil type : 41
6.3.Les profils en travers affectés au projet : 42
Chapitre VI. Etude géotechnique....43
1.Introduction : 43
2. Géologie :....43
2.1.Géologie locale de la zone d'étude : 43
2.2.Risques naturels : 44

2.3.Groupe Géologique Pliocène (Pl) :.....45
3.Etude géotechnique :.....46
3.1.Reconnaissance de Surface :.....46
3.2.Puits de reconnaissance :.....46
3.3.Essais de pénétration dynamique :.....47
3.4.Sondages mécaniques.....48
3.6.Classification de sol :.....52
3.6.1.En ce qui concerne la classification selon le code UIC 719R :.....52
3.6.2.Selon la Classification Unifiée (USCS) :.....53
Chapitre VII. Etude hydraulique et assainissement.....54
1.Introduction :.....54
2.Hydrologique de la zone :.....54
2.1Présentation générale :.....54
2.2.Le climat :.....55
2.3.Précipitation :.....57
2.4.Caractéristiques morphométriques du bassin versant :.....57
2.5.Temps de concentration [tc]:.....59
2.6.Estimation de débits d'apport :.....59
2.7.Intensité de la pluie [I] :.....59
2.8.Coefficient de ruissellement [C] :.....60
3.Hydraulique de la zone :.....60
3.1.Débits de saturation :.....60
3.2.dimensionnements des dalots:.....61
3.3.Dimensionnements des buses :.....62
3.4.Vérification conditions d'auto curage :.....62
3.5.Dimensionnement des fossés :.....63
Chapitre VIII. Terrassement et structure d'Assise.....65
1.Introduction :.....65
2.Déblais :.....65
2.1 Méthodes d´excavation :.....65
2.2.Classification des matériaux en vue de leurs réutilisations :.....66
2.3.Géométries des talus de déblai :.....66
2.4.Revêtement et drainage des talus de déblai.....66
3.Remblais.....66
3.1.Les fondations de remblai :.....66
3.2.Géométrie et stabilité des talus de remblais :.....67
4.La structure d'assisse :.....67

4.1.Ballast……68
4.2.Sous couche 68
4.2.1.La couche sous-ballast : 68
4.2.2.La couche de fondation : 69
4.2.3.La couche anti contaminante : 69
4.2.4.Le rôle de sous couche : 69
5.Couche de forme : 69
6.Dimensionnement de la couche d'assise : 69
6.1.Zonage de la fondation de la plateforme ferroviaire 69
6.2.Les classes de la portance de la plateforme : 70
6.3.Calculer l'épaisseur minimale de la couche d'assise : 70
7. GITE D´EMPRUNT 72
Chapitre IX. Aménagement et conception de la gare Ain Oussera.....74
1.Introduction : 74
2.Installations d'une gare voyageurs : 74
3.Installations d'une gare marchandises : 74
4.Garage franc : 74
5.La longueur utile d'une voie de stationnement : 75
6.Heurtoir : 76
7.Conditions de conception des gares : 76
8.Localisation de la gare : 77
9.Géométrie du tracé : 77
10.Profil en long 79
11.Caractéristique géométrique de la gare 79
12.Passage souterrain (P.S) : 81
12. 1.Cage d'ascenseur : 81
12. 2.Cage d'escalier : 81
13.Profil en travers type : il est présenté dans la figure attachée 83
14.Drainage et assainissement de la gare : 83
Chapitre X. Système de signalisation.....86
1.Introduction : 86
2.Objectifs : 86
3.Les différents types de blocks : (SNCF) 86
4.Les types de signalisation 87
DEVIS Estimatif …….....91
Conclusion Générale.....93

Liste des figures

Figure I-1.Critères de géométrie de la voie. 3

Figure I-2.Détermination de NL. Avec le train Mauzin, et les Paramètres utilisés pour calculer NL.....4

Figure I-3.Représentation des forces Y et Q pour quatre roues d'un bogie.....5

Figure I-4.représentation des chaînes de force (SAUSSINE, 2006).....9

Figure I-5.Photo d'une zone de remontée boueuse. 10

Figure I-6.Photo d'une zone de défaut de portance. 11

Figure II-1.Réseau ferroviaire durant l'époque coloniale. 13

Figure III-1.future liaison boughezoul –djelfa 17

Figure III-2.limitrophes de la wilaya de Djelfa 17

Figure IV-1.Profil rail du type UIC60 E1 23

Figure IV-2.Assemblage des rails par soudure 24

Figure IV-3.Assemblage des rails par éclissage 24

Figure IV-4.traverse monobloc (M450 W60-20) 26

Figure IV-5.les attaches de type e-clip et les attaches de type NABLA 26

Figure IV-6.modèle représentant appareil de voie type.....28

Figure V-1. Le dévers théorique.....31

Figure V-2. Dévers pratique et l'insuffisance.....32

Figure V-3. Diagrammes des flèches et courbures et tracé en plan d'un RP 35

Figure V-4.Courbe successive de même sens 36

Figure V-5. Représentation variation du dévers 36

Figure VI-1.Étude géotechnique.....43

Figure VI-2.échelle des temps géologiques 44

Figure VI-3.Situation de la zone d'étude dans la carte sismique de l'Algérie (RPOA 2008).....45

Figure VI-4.Représentation dans la carte de plasticité des sols.....51

Figure VI-5.Représentation des résultats des valeurs du % de fins (<200) des échantillons 51

Figure VI-6.Représentation des résultats des valeurs de l'indice de plasticité (IP) des échantillons 52

Figure VI-7.Représentation du % des classes de la Classification UIC 719R des échantillons du complexe du Pliocène Pi.....52

Figure VI-8. Représentation du % des groupes de la Classification Unifiée (USCS) des échantillons du complexe du Pliocène Pi 53

Figure VII-1.carte de situation de la région d'étude.....55

FigureVII-2.Températures moyennes mensuelles aux différentes stations ….....55

Figure VII-3.Climatogramme de L. Emberger. 56
Figure VII-4.carte des sous bassin versants du bassin Cheliff amont Boughzou. 58
Figure VIII-1.Classification du mode d´excavation des massifs rocheux (Franklin et al, 1971). .65
Figure VIII-2.Abaque pour détermination des tassements résultant du poids propre des remblais (1998).....67
Figure IX-1.Garage franc 74
Figure IX-2. Longueur utile.....75
Figure IX-3.représentation un heurtoir 76
Figure IX-4.Gabarits – Quais Voyageurs.....81
Figure IX-5. – Gabarits – Quais marchandises.....81
Figure IX-6.coupe longitudinale de passage souterrain.....83

Liste des tableaux

Tableau IV-1.Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 22
Tableau V-1.Longueur minimale des éléments de tracé Lmin 30
Tableau V-2. Le rayon minimal en plan.....30
Tableau V-3. Limite du dévers pratique. 32
Tableau V-4.Valeurs limites de l'insuffisance du dévers 34
Tableau V-5.Valeurs limites de l'excès de devers 34
Tableau V-6. Valeur limite de la variation de dévers en fonction de la longueur. 37
Tableau V-7. Limite de variation de l'insuffisance de dévers dans les raccordements.....37
Tableau V-8. Résultats de divers paramètres calculés.....38
Tableau V-9. Résultats de divers paramètres calculés.....39
Tableau V-10. Rayon vertical minimal 40
Tableau VI-1.Coefficient d'accélération de zone A (RPOA 2008).....45
Tableau VI-2. Résumé résultats l'essai pénétration dynamique.....48
Tableau VI-3.résumé résultats l'essai sondage mécanique.....48
Tableau VI-4.résultats les essais physiques.....50
Tableau VII-1.superficie sous bassin versant. 54
Tableau VII-2.Tableau pluies maximales journalières (mm). 57
Tableau VII-3.caractéristiques des bassins versants et cours d'eau. 58
Tableau VII-4.Paramètre de Montana a et b des courbes IDF pour la région de l'étude. 60
Tableau VII-5.Résultats débit d'apport. 60
Tableau VII-6.calcule des dimensions des dalots par itération. 61
Tableau VII-7.Résultats des calculs des dimensions des buses. 62
Tableau VII-8.résultats de vérification auto curage des buses et dalot. 63
Tableau VII-9.dimensionnement fossé cas déblai et remblai.....64
Tableau VIII-1.Déterminer la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34). 70
Tableau VIII-2. Dimensionnement de la couche de sous couche pour la pleine voie et les voies de la Gare de Ain Ouserra.....71
Tableau VIII-3.résultats des essais de laboratoire réalisée : 73
Tableau IX-1.Longueur utile des lignes 75
Tableau IX-2.Appareils de Changement de Voie.....78
Tableau IX-3.les courbes en plan 79
Tableau IX-4.Résultats débit de crue 84
Tableau IX-5.Résultats débit de saturation 84

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

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 il facilite non seulement les échanges entre agents économiques, mais également améliore la circulation des personnes et des biens, des idées et des services, ainsi que le raffermissement des liens d'amitié et de fraternité entre les peuples.

Le transport est de circonscrire l'espace qui crée des contraintes physiques et humaines variées, telles que la distance, le temps, les découpages administratives et la topographie**.** Un trait particulier au transport de voyageurs est qu'il remplit une demande de mobilité les transports sont au cœur de la vie quotidienne du citoyen, de la compétitivité et de la croissance de l'économie, il est possible d'utiliser successivement plusieurs modes de transport.

Il existe plusieurs modes de transports, parmi lesquels on cite :

Le transport routier :

Le transport routier apparu en premier, il s'est intensifié dans les pays industrialisés grâce à l'amélioration des véhicules, la disponibilité des carburants, la forte mobilité des gens et l'importance des échanges commerciaux.

Transport maritime :

Le transport maritime est indispensable pour le commerce international (produit chimique, hydrocarbures…etc.), il est considéré comme le mode le plus économique.

Transport aérien :

Le dernier mode de transport apparu, il est devenu réellement un transport de tonnage avec l'apparition des avions gros porteurs et les compagnies aériennes à bas prix.

Transport par installation fixe :

Il s'agit principalement des conduites adaptées à l'acheminement des liquides ou de Gaz, surtout dans les secteurs pétroliers et chimiques.

Le transport ferroviaire :

Il sert à transporter les personnes et les marchandises pour minimiser la congestion des zones urbaines, c'est le mode de transport terrestre qui domine dans plusieurs pays.

Pour ces modes des transports. Les raisons de coût, de rapidité et de sécurité guident le choix des modes de transport qui seront mis en œuvre.

Aperçu historique sur le chemin de fer :

Le chemin de fer est né sur le carreau des mines pour transporter le charbon, depuis les puits d'extraction jusqu'à la voie d'eau, qu'elle soit fluviale ou maritime. Dès le XVIIe siècle, les mineurs utilisèrent en effet des barres de guidage en bois pour faire glisser les chariots, avant d'adopter par la suite des rails métalliques. La traction était généralement assurée par les chevaux, jusqu'à l'apparition de la première locomotive à vapeur, mise au point par l'ingénieur anglais Richard Trevithick en 1803, et testée avec succès dans le sud du pays de Galles. Cette découverte marqua le début de l'ère des chemins de fer.

La première voie ferrée au monde fut construite en 1825 en Angleterre, entre Stockton et Darlington, près de Newcastle (Yorkshire). Cette ligne transportait exclusivement du charbon, tout comme celles qui furent construites à la même époque en Écosse, ainsi que dans le Lancashire. C'est dans cette dernière région que fut implantée la première véritable ligne de chemin de fer, entre Liverpool et Manchester (51 km). Mise en service en 1803, cette ligne assurait non seulement le transport du charbon, mais celui des voyageurs.

Structure de PFE :

Ce mémoire consiste à la conception et l'étude d'APD d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique reliant le PK 136+00 au PK 141+00 avec la conception de la gare d'Ain Oussera. On a commencé par une présentation de projet tel que relief, hydrologie, climatologie, secteur industriel...etc.), et après connaitre les différentes composante de la voie ferrée on a entamé l'analyse des résultats de laboratoire et l'interprétation des essais in situ pour déterminer un tracé optimal (et définir les matériaux nécessaires pour la construction de remblais (les gites d'emprunt)) , dont on a utilisé le ***SNTF*** *Référentiel technique chapitre 6 version 2* : *la géométrie de la voie courante* V<220 Km/h Réf : IC00272 (EF 2 c 32) Edition du (12/09/2006). Pour une géométrie qui doit satisfaire aux exigences de sécurité et le confort des voyageurs.

Dans le chapitre suivant on a déterminé la géométrie des talus courant et on a utilisé slid.6.0 pour vérifier la stabilité.

Dans le chapitre d'assainissement on a déterminé les sous bassins versants et ses caractéristiques pour le dimensionnement longitudinal et transversale de la voie et pour assurer un bon drainage de la voie.

En fin, dans le chapitre de la gare on a fait un aménagement et conception de la gare, finalisant notre travail avec un devis estimatif et quantitatif.



Figure 1.Gare de train [1]

Chapitre I. Les défauts de la voie ferrée

Les Critères de maintenance de la voie ferrée :

Les défauts peuvent être classés en deux catégories. La première est liée aux défauts d'armement ou défaut de 'voie', la seconde concerne les défauts liés à la plateforme :

1. Les différents types de défauts géométriques de la voie et leurs contrôles :

1.1. les paramètres généraux :

Quelle que soit la nature de la voie (ligne classique ou à grande vitesse), la circulation des trains entraîne l'apparition de défauts de voie, ces défauts sont essentiellement de nature géométrique - résultants de problèmes de nivellement. Ils se caractérisent par un inconfort pour les voyageurs et mettent en jeu la sécurité des circulations s'ils sont trop importants, ces défauts sont identifiés à l'aide d'une rame spéciale appelée Voiture Mauzin (figure I-1) ; (c'est une voiture d'enregistrement de la géométrie de la voie et permet donc la localisation de défaut et déformation des voies ferrées tels que :

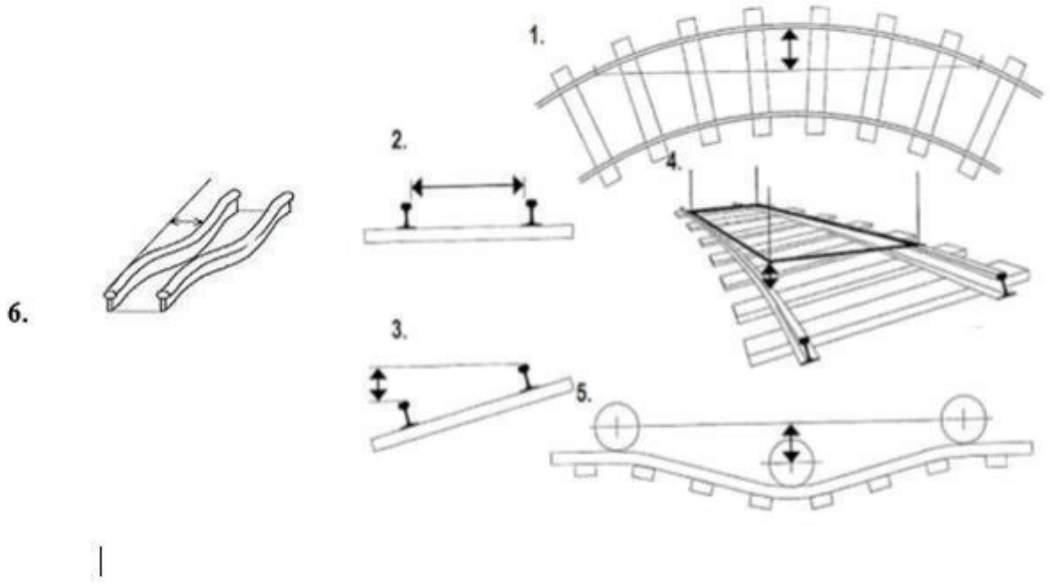


Figure I-1.Critères de géométrie de la voie [2].

(1) Les flèches par file de rails
(2) L'écartement des faces internes des champignons.
(3) La variation du dévers, c'est-à-dire la différence entre le dévers (inclinaison du rail) théorique et celui mesuré par la voiture Mauzin.
(4) Le gauche, le gauche ou torsion de la voie, qui représente le décalage vertical entre les deux files de rails. Le gauche entraîne un risque de déraillement lorsqu'il est excessif.

(5) Le nivellement longitudinal **NL** de chaque file de rails, obtenu en déterminant, le déplacement vertical d'une roue centrale de la voiture par rapport à la position moyenne des 8 roues qui parcourent la même file de rails. Le système de référence auquel on rapporte le nivellement n'est donc pas réalisé en absolu, mais en relatif.

(6) Le défaut de dressage qui représente la variation transversale du milieu des rails par rapport à sa position théorique.

Le terme de nivellement longitudinal NL est utilisé pour évaluer l'état géométrique des voies. Une valeur élevée de NL implique un mauvais état de la voie ferrée. Au-delà d'un certain seuil de NL, l'entretien est nécessaire afin de ramener le NL à un seuil. Cette correction s'obtient en réalisant des opérations de maintenance de type bourrage, soufflage (bien que se raréfiant) ou renouvellement de ballast.

Le NL est calculé, pour une zone de 200 m, à partir de la dénivellation locale mesurée sur chaque file de rails par rapport au profil en long moyen de la voie.

Le calcul se base sur la différence d'ordonnée entre les représentations Eulériennes et Lagrangiennes d'une roue, cette différence N (mm) (Figure I-2) se calcule comme suit :

$$N = Z_D - (Z_{D'} - h)$$

$$N = Z_D - \frac{1}{\alpha+\beta}(\alpha Z_M + \beta Z_N)$$

$$N = Z_D - \frac{1}{\alpha+\beta}(\alpha(Z_A + Z_B + Z_C + Z_D) + \beta(Z_E + Z_F + Z_G + Z_N))$$

La valeur de NL (mm) est l'écart type des mesures enregistrées avec une valeur moyenne μ et sur une distance de 200 m :

$$NL = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}(N_i - \mu)^2}$$



Figure I-2.Détermination de NL. Avec le train Mauzin, et les Paramètres utilisés pour calculer NL [2]

La mesure et l'analyse de ces défauts permettent de déterminer l'état de la voie selon les tolérances de sécurité admises et de planifier les opérations d'entretien.

1.2. L'influence de la dynamique ferroviaire :(Afnor XP ENV 13803-1p54)

La circulation de véhicules sur un réseau ferroviaire nécessite une homologation du comportement dynamique, qui doit prendre en compte les défauts de la géométrie de la voie tout en assurant :

- ❖ l'aptitude d'un train à franchir des défauts de voie de type « gauche ».

Comme prévu dans le chapitre de la géométrie la voie, le gauchissement est dû à la différence de nivellement transversal due aux devers pratiques.

Il est exprimé en mm et en fonction de :

- la rigidité en torsion des bogies et la caisse.
- L'importance du gauche.

On doit avoir inégalité de répartition de charge sur les roues, Les véhicules les plus rigides en torsion, comme certains types de wagons à superstructure (citernes, trémies…) ou encore les véhicules à voyageurs à deux niveaux, sont donc les plus sensibles au gauche.

- ❖ supprimer le risque de déraillement par montée de roue : la limite de déraillement par montée de roues est exprimée par le rapport Y/Q de la roue guidant extérieur

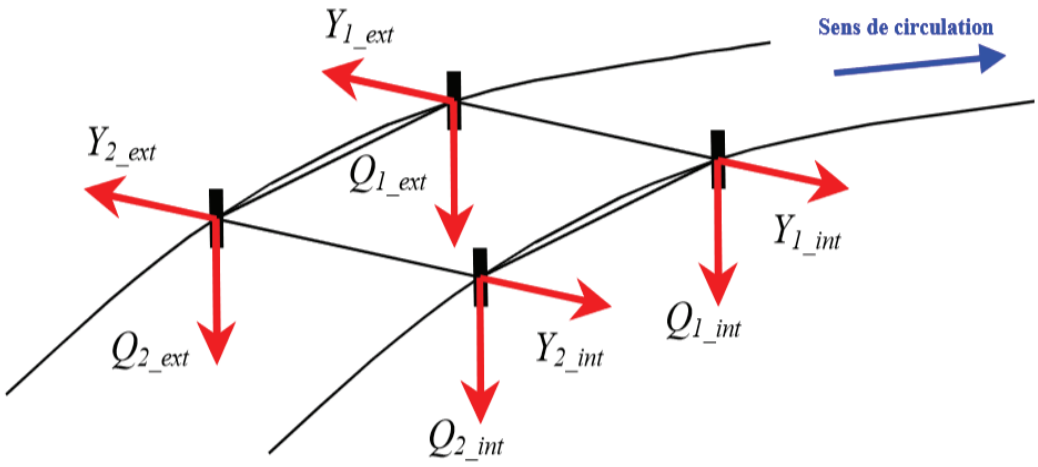


Figure I-3.Représentation des forces Y et Q pour quatre roues d'un bogie [2].

Des essais pour déterminer le comportement dynamique en ligne. Ces essais permettent de déterminer les forces d'interaction roue-rail transversale (Y) et verticale (Q) (Figure I-3)

Et on peut distinguer deux risques [18] :

Le risque de « dérapage » : de la voie sous l'effet d'un effort transversal excédant sa limite de résistance, caractérisé par la relation : **(UIC F 518 p 29)**

$$[\sum Y_{2m}]_{1} = Y_{1ext} - Y_{1int}$$

$$[\sum Y_{2m}]_{2} = Y_{2ext} - Y_{2int}$$

Cette grandeur d'appréciation représente l'effort transversal total exercé par chaque essieu sur le châssis de voie (« 2 m » signifie que la valeur prise en compte est la moyenne glissante sur 2 m), qui doit être comparée avec la résistance transversale de la voie. Ces valeurs sont définies comme suit :

$[\sum Y_{2m}]_{lin} = 10 + \frac{P}{10}$ Où P0 est la charge statique de l'essieu (kN).

$[\sum Y_{2m}]_{lim} = 0.85(10 + \frac{P}{10})$ dans le cas wagons.

La limite de résistance transversale a été prise le moment où la voie perd son élasticité et qu'elle ne peut revenir à sa position originelle. Et cette résistance et obtenue à partir de :

- butée transversale des traverses dans la banquette de ballast (terme constant de l'équation)
- le frottement entre la surface inférieure de la traverse et le ballast (terme proportionnel à la charge).

✓ **Le risque de déraillement du véhicule :** par montée de la roue guidante (roue extérieure du premier essieu). Ce risque est lié au rapport des forces transversales et verticales exercées par la roue d'attaque :

$$\left(\frac{Y}{Q}\right) = (Y_{1ext}) / (Q_{1ext})$$

A ce jour la valeur limite retenue est de 0,8.

On peut évaluer ces risques à partir de :

- **le cas critique :**
  Véhicule abordant à faible vitesse la sortie d'une courbe serrée, en présence d'un défaut de nivellement transversal.
- **Le cas normal :**
  Pour des valeurs élevées de l'insuffisance de devers la charge verticale augmente Q c'est en principe réduire le déraillement.

Ces notions de dynamique ferroviaire sont indispensables à prendre en compte pour :

- ✓ vérifier l'influence en termes de sécurité des circulations.
- ✓ savoir comment la dynamique engendrée par un train peut augmenter la dégradation de l'armement et la structure d'assise

2. Les défauts d'armement :

Ces défauts sont principalement dus à un vieillissement des constituants de la voie. Ainsi, un défaut sur les attaches (mal vissées) se répercutera sur la tenue latérale de la voie, un défaut de calage de la traverse va entraîner une danse, qui se caractérise par un déplacement vertical (millimétrique) de la traverse au passage des circulations. Celle-ci se matérialisera par un défaut de nivellement longitudinal et une usure prématurée du ballast.

On doit prendre l'exemple de la pose de la voie et le phénomène de dilatation des rails :

2.1. La libération des LRS :

Pour limiter les contraintes, on devrait idéalement poser les barres longues à une température moyenne entre les extrêmes attendus appelés « température de référence ». Cette température de référence est, par exemple, en général de 25 °C.

Pour ce faire, la pose de rails est suivie d'une opération appelée « libération des contraintes » visant à homogénéiser les contraintes à l'intérieur du rail et à le fixer ensuite conformément à la température de référence souhaitée.

L'homogénéisation des contraintes est obtenue de la façon suivante :

- on détache le rail des traverses,
- on insère des rouleaux sous le rail afin qu'il puisse librement se déplacer dans le sens longitudinal,
- on le met en vibration en le frappant à l'aide de masses caoutchoutées prévues à cet effet.

Ensuite, en fonction de la température réelle du rail :

- Si elle est proche de la température de référence idéale, on refixe les rails tels quel et on les soude. (Libération à température naturelle)
- Si elle est inférieure (cas le plus fréquent, car on évite ce type de travaux par temps chaud), les rails sont mis en traction à l'aide de vérins hydrauliques afin de compenser la différence avec la température de référence puis on refixe les rails et on les soude. (Libération à l'aide de vérins hydrauliques)
- Si enfin elle est trop élevée, on effectue une libération à température naturelle, mais on devra revenir, lorsque les conditions de températures réelles le permettront, effectuer une nouvelle libération afin d'être conforme à la température de référence idéale. Si cette nouvelle libération n'est pas effectuée à temps, on risque, lors des premiers grands froids suivants, des ruptures du rail dues à de trop fortes contraintes de traction.

2.2. Notion de température :

La température dont il est question dans cet article n'est pas la température ambiante, mais celle du métal constituant le rail proprement dit. Celle-ci peut être très différente de la température ambiante.

Elle peut par exemple être très élevée lorsque le soleil chauffe la voie alors que l'air ambiant lui-même reste doux. De même, par temps froid, la température propre du métal est généralement inférieure à la température ambiante.

On mesure cette température soit :

- en plaquant un thermomètre sur le patin du rail à l'ombre.
- En utilisant un thermomètre introduit dans un trou percé dans un coupon de rail de mêmes caractéristiques que le rail constituant le LRS et soumis aux mêmes conditions extérieures.

Calcul des contraintes dans les LRS :

S : Section du rail (mm2)
F : Force thermique dans le rail (N)
ΔT : Différence de température avec la température d'incorporation (soudure)(°C)
α : coefficient de dilatation thermique de l'acier (mm/°C/m)

$$\sigma = E.I = E.\frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{S}$$

$$\Delta L = \alpha.\Delta T.L$$

$$\boxed{\sigma = E.\alpha.\Delta T \qquad et \qquad F = E.S.\alpha.\Delta T}$$

Exemple d'application :

$$S = 7745mm^2$$
$$\alpha = 0,012mm/^oC/m$$
$$E = 210000N/mm^2$$

$$F = E.S.\alpha.\Delta t = 19,5kN/^oC$$
$$\sigma = 2,5Mpa/^oC$$

$$\Delta T = 55^oC$$

$$\boxed{F = 1070kN \qquad et \qquad \sigma = 137Mpa}$$

3. Les défauts de plateforme :

Ces problèmes peuvent être classés en deux catégories : les défauts liés au ballast et les défauts de plateforme :

3.1. Les problèmes liés au ballast :

Les travaux de modélisation menés par Saussine (2006) ont mis en évidence que

- ✓ l'essentiel des efforts est transmis à la sous-couche par l'intermédiaire d'un réseau de contact fortement hétérogène et ne faisant intervenir qu'un faible nombre de grain.
- ✓ De plus la qualité de sous couche joue un rôle très important dans l'évolution de tassement.
- ✓ La forme de grain polygonal permet de former une structure rigide localisée « SRL », ces SRL sont représentés sous forme de chaine formée par des grains ayant un contact.

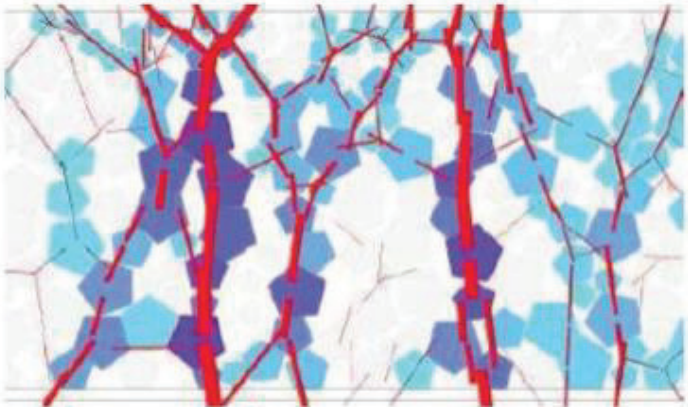


Figure I-4.représentation des chaînes de force (SAUSSINE, 2006) [3].

Les différentes opérations d'entretien (bourrage) et le vieillissement 'naturel' du ballast conduisent :

- une augmentation des particules fines.

Donc de la faiblesse des liaisons entre les grains, et augmentant de fait les efforts appliqués à la plateforme.

On doit s'intéresser au problème de plateforme :

3.2. Les problèmes liés à la plateforme :

3.2.1. Remontées boueuses :

Dans la généralité des cas ce problème est constaté dans les zones où se trouve l'eau, tel que le mouvement vertical des traverses provoque un pompage à la surface et permet la remontée des fines du sol support dans le ballast. Et on distingue deux cas :

- Les fines avec humidité : c'est la boue, elle va affaiblir le contact entre le grain donc affaibli la structure et le frottement entre le grain de ballast, ce qui va engendrer une déformation de la voie [15].



Figure I-5.Photo d'une zone de remontée boueuse [2].

- la boue en séchant provoque des points durs sur la voie et donc diminue l'élasticité de la structure et on doit avoir un problème d'un vieillissement prématuré du rail.

3.2.2. Défauts de portance :

Ils concernent les zones où les caractéristiques mécaniques du sol support sont faibles et ne permettent pas d'assurer une bonne tenue de la voie (**Figure I.6**). Au passage des circulations, les vibrations transmises par le convoi se propagent anormalement dans la structure d'assise et provoquent la déstabilisation du ballast et donc des traverses. La tenue de la voie n'est alors plus assurée.

Plusieurs causes ont été actuellement identifiées :

- un sol support sensible aux vibrations : par exemple lorsque la voie est assise sur un horizon tourbeux. La possibilité de liquéfaction de ce matériau sollicité par le trafic ferroviaire (chargement dynamique cyclique).



Figure I-6.Photo d'une zone de défaut de portance [2].

4. Conclusion :

Les opérations de maintenance de la voie sont très importantes dans la nécessite de définir les seuils d'intervention pour la maintenance, de limiter la vitesse pour assurer la sécurité et le confort de voyageur .Dans un deuxième temps on a présenté les critères de maintenance des voies et les principales origines des problèmes qu'on rencontre en termes de tenue de la géométrie de la voie et on peut conclure :

- le nombre de problèmes affectés à la structure d'assise est légèrement supérieur à celui de la superstructure.
- La qualité sol support a un effet sur la dégradation des voies. En effet on constate une forte corrélation entre la vitesse de dégradation du NL et la proportion en particules fines du sol support.
- Il faut étudier le comportement du rail dans différentes températures pour diminuer les contraintes dans les rails.

Chapitre II. Réseaux ferroviaires algériens.

1. Introduction :

En Algérie, la bonne conjoncture économique de cette dernière décennie a incité à l'usage et à la demande croissante des transports comme partout ailleurs dans le monde. L'amélioration de ces infrastructures provoque un effet d'entraînement sur l'économie dans une optique s'inscrivant dans l'utilisation appropriée des instruments stratégiques de planification et dans un contexte d'aménagement du territoire et de l'environnement.

Parmi les objectifs stratégiques poursuivis, dans le cadre du processus de réformes et transitions économiques en Algérie, figure en bonne place le renforcement et la modernisation des chemins de fer, dont le secteur a bénéficié d'un ambitieux programme. Avec un budget de plus de 1 000 milliards de dinars.

2. Période coloniale :

La réalisation du réseau de chemin de fer algérien s'est faite par étapes successives. Durant la période coloniale, trois programmes ont été initiés par l'administration : le programme de 1857, de 1879 et celui de 1907.

- Programme de 1857 :

Le 8 avril 1857, la force d'occupation française autorise la construction de 1357 km de lignes. Le 12 décembre 1859, le chantier de la ligne Alger-Blida a été ouvert.

Au cours de la période 1857-1878, les lignes ou tronçons de lignes suivantes, totalisant une longueur de 1365 km, ont été réalisés : Annaba-Ain Mokra, Annaba-Bouchegouf-Guelma, Khroub-Oued Zenati, Constantine-Skikda, Constantine-Sétif, Alger-Thénia, Alger-Oran, Arzew-La Macta-Mohammadia, Mohammadia-Mécheria, Oued Tlélat-Sidi Bel Abbès.

- Programme de 1879 :

Un programme de 1747 km de lignes nouvelles a été ajouté au réseau existant. Dans la période 1879-1906, 2035 km de lignes ont été réalisés ou entamés : Souk Ahras-Tébessa, Le Kouif et embranchement vers la frontière, Ain-Mokra-Ramdane Djamel, Ouled Rahmoune-Khenchela, El Guerrah-Biskra, Sétif-Thénia avec embranchements vers Tizi Ouzou, Béjaia et Sour El Ghozlane, Blida-Berrouaghia, Mostaganem-Relizane-Tiaret, Oran-Arzew, Sénia-Témouchent, Sidi Bel Abbès-Tlemcen-Frontière, Tabia-Crampel, Méchéria-Béchar, Tizi-Mascara.

- Programme de 1907 :

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km est établi et vient s'ajouter au réseau existant.

Au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons de lignes suivantes, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés : Ain Beida-Tébessa, El Milia-Jijel, Biskra-Touggourt avec embranchements vers Tolga et El Oued (cette ligne classée secondaire d'une longueur de 387 km a été réalisée en plus du programme de 1256 km), Constantine-Oued Athmania, Berrouaghia-Djelfa, Tiaret-Mahdia-Cl.Bouguerra, Mascara-Mecheria avec embranchements vers Relizane, Sidi Bel Abbès-Tizi, Tlemcen-Beni-Saf, Mostaganem-La Macta.

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer voire **la Figure I.1**

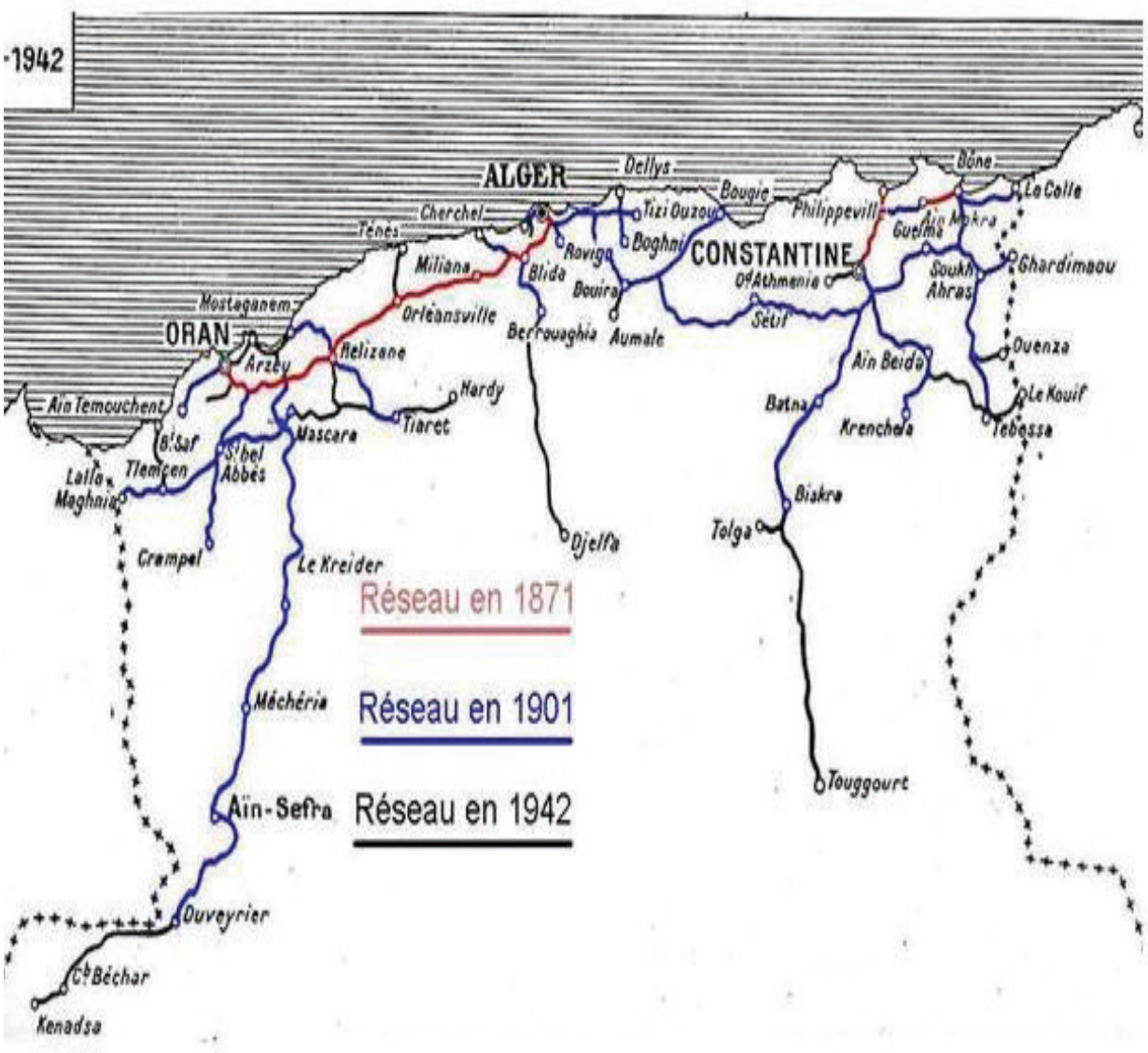


Figure II-1.Réseau ferroviaire durant l'époque coloniale [4].

3. Période post-indépendance :

Au cours de cette période, un large programme d'investissement a été lancé. Il se caractérise surtout par la modernisation et l'accroissement de la capacité des lignes du réseau, les grands aménagements ferroviaires régionaux et l'extension géographique du réseau. Ce programme a permis les réalisations suivantes :

- Lignes nouvelles : - Jijel / Ramdane-Djamel (140 km). - Dessertes des cimenteries de Beni-Saf (23 km), Saida (23 km) et Ain-Touta (15 km).

- Renouvellement complet (voie et ballast) d'une grande partie du réseau soit un total de 1400 km de voie.
- Mise à double voie de tronçons de la rocade nord (200 km).
- Aménagement, modernisation et reconstruction des gares réparties sur le réseau.
- Aménagement ferroviaire des régions d'Annaba et d'Alger (partiellement).

Le 31 mars 1976, à la fin de la concession de l'état français, l'état algérien a divisé 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 chargée du développement du réseau ferré algérien.

Dès 1999, une attention particulière a été accordée au secteur ferroviaire :

Table II-1.Longueur du réseau ferroviaire (km) [5].

Année	1996	19999	2002	2004	2005	2006	2008	2013
Chemin de fer (km)	4820	4820	3973	3973	3973	3973	3973	4573

4. Réseau actuel :

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de 4498Km dont :

- Longueur des lignes en exploitation : 3750Km.

- Longueur des lignes en double voie : 553Km.

- Longueur des lignes en voie unique : 3217Km.

- Longueur des lignes électrifiées : 323Km.

- Nombre de gares en exploitation : 175.

- Nombre de haltes en exploitation : 215.

- Nombre d'Ouvrages d'Art dont l'ouverture est supérieure à 10 m : 553.

- Nombre d'Ouvrages d'Art dont l'ouverture est inférieure à 10 m : 5279.

- Nombre de tunnels : 139.

- Longueur des tunnels : 40Km.

- Nombre de passages à niveau gardé : 267.

- Nombre de passages à niveau non gardé : 959.

D'après la classification mondiale des chemins de fer effectuée par CIA en 2008 :

L'Algérie est classée à la 45e place sur 134 pays au monde et occupe la 6e place au niveau africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays maghrébins [11].

5. Plan de développement :

Ce programme comporte des opérations de renouvellement des voies existantes, de renouvellement et de renforcement des ouvrages d'art anciens, la création de lignes nouvelles à grande vitesse, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits de lignes, la modernisation des équipements de signalisation et de télécommunication, la construction d'ateliers de maintenance du matériel roulant, et l'électrification des lignes …etc., voir la **figure (II-2)**.

- La densification et le renforcement de la rocade nord :

Elle permettra la desserte ferroviaire de nouveaux pôles d'activité industrielle ou portuaire et une meilleure organisation des acheminements.

Cette ligne qui relie les deux frontières de l'Est à l'Ouest du pays et qui se prolongera vers le Maroc et la Tunisie sera électrifiée et à double voie : Frontière algéro - marocaine (Akkid Abbes) - Tlemcen - Sidi Bel Abbes - Oran - Relizane -Chlef - Blida - Alger - Bouira - Bordj Bouareridj - Sétif - Constantine - Annaba – frontière tunisienne (Tabarka).

- La réalisation de la Rocade des Hauts Plateaux et ses connexions :

Elle est destinée à sous-tendre le développement économique et social de ses régions : Moulay Slissen - Saida - Tiaret -Tissemsilt - Boughzoul - Msila - Ain Touta - Ain Mlila – Tébessa.

- La réalisation de la boucle du Sud :

Le projet de la Boucle du Sud comprend la création de lignes nouvelles permettant de désenclaver les Wilayas ci-après :

- Hassi Messaoud – Ouargla : 90 km.

- Ouargla - Ghardaia.

- Ghardaia – Laghouat :170 km.

- Laghouat – Djelfa : 110 km.

- Modernisation et prolongement de la pénétrante Est :

El Gourzi - Ain Mlila - Batna - Biskra - Touggourt - Hassi Messaoud.

- Réalisation de la pénétrante Ouest :

Sidi Bel Abbes - Moulay Slissen - Mecheria – Bechar.

- Réalisation de la pénétrante centre :

Boumedfaa - Boughzoul - Djelfa - Laghouat - Ghardaia - Ouargla et Hassi Messaoud.

- Modernisation des systèmes de signalisation en cours.

On donne les grands axes du plan de modernisation du rail en Algérie :

- Modernisation des lignes existantes : 855 km.
- Doublement des voies : 430 km.
- Ligne des hauts plateaux : 600 km.
- Boucle du sud : 800 km.
- Autres lignes : 1.120 km.
- Autres lignes en cours de réalisation : 828 km.
- Lignes projetées : 1.400 km.



Figure II-2.Plan de développement des chemins de fer en Algérie [4].

Chapitre III. Présentation du projet

1. Déscription du projet :

Le projet présente l'étude (APD) concernant le Lot 2 (Pk 136+000 au Pk 141+000) pour la future liaison entre Boughezoul (Pk 102+600) et Djelfa (Pk 244+500) **(voire la Figure III-1)** dans une extension d'environ 140 km. Il s'agit d'une ligne nouvelle, à voie unique, avec la possibilité de duplication dans le futur, outre les gares d'Ain Oussara (Pk 138+538) et Hassi Bahbah (Pk 186+405), est prévue aussi la construction de 3 gares de croisement, respectivement, aux Pk 123+420, Pk 156+800 et Pk 214+070.

Notre étude est définie du PK 136 au PK 141, avec conception d'une gare intermodale de Ain Oussera.

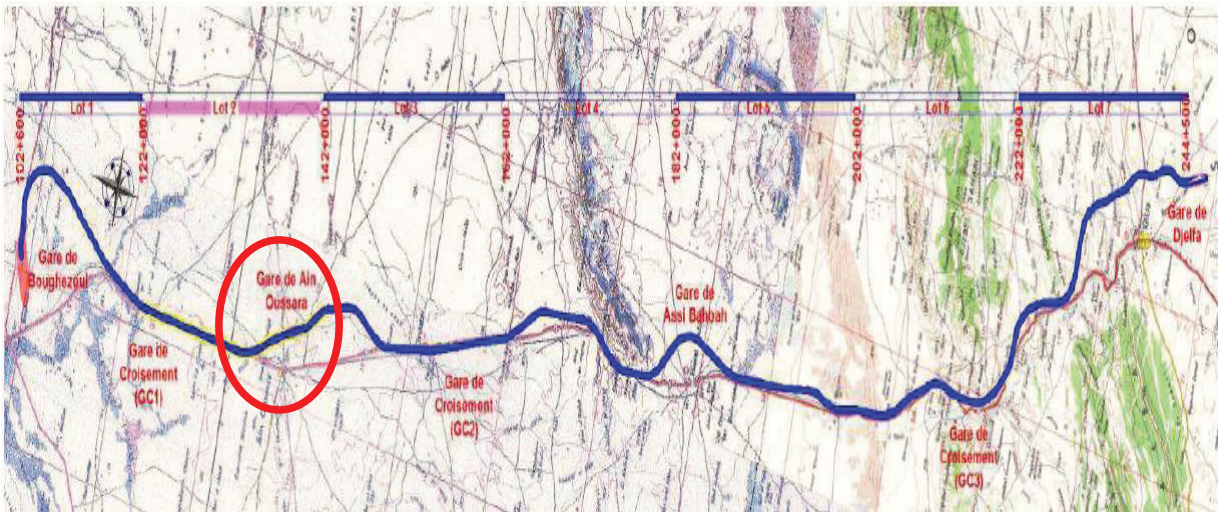


Figure III-1.future liaison boughezoul –djelfa [6].

2. Aperçu sur wilaya de Djelfa :

La **wilaya de Djelfa** est une wilaya algérienne située dans les hauts-plateaux, à 300 km au Sud d'Alger. La wilaya se compose de **12** daïras et **36** communes. Elle est connue pour la qualité de son mouton. Elle a plus de **1 491 370** habitants sur une superficie de **32 256.35** km^2.



Figure III-2.limitrophes de la wilaya de Djelfa [1].

3. Relief :

Assurant la transition entre le Nord et le Sud de l'Algérie, la Wilaya de Djelfa se caractérise par 4 zones inhomogènes qui succèdent au piémont de l'Atlas tellien. Le point culminant de la wilaya est situé à l'Est de Benyagoub dans la daïra de Charef avec une altitude de **1 613** m et le plus bas **150** m à l'extrême Sud de la wilaya voir la **figureIII-3.**

- **Zone plane du Nord :** La plaine de Ain Oussera, zone de 500 000 ha, dont l'altitude va de 650 à 850 m.
- **Zone des dépressions des chotts :** Zone intermédiaire entre la zone plane du Nord et la Zone de la dépression des Ouled Naïl par un simple nivellement topographique. Elle se situe à des altitudes allant de 750 mètres à 850 mètres.
- **Zone de la dépression des Ouled Naïl :** Cette zone est formée de petites plaines dont l'altitude varie entre 900 m et 1600 m, et partie haute constitue par des chaines montagneuses de Ouled Naïl dont l'altitude comprise entre 1200 m et 1600 m.
- **Zone du plateau pré désertique :** elle se situe dans la partie Sud de la Wilaya. Elle plonge dans la dépression formée par l'Oued Djedi considéré comme la limite naturelle du Sahara

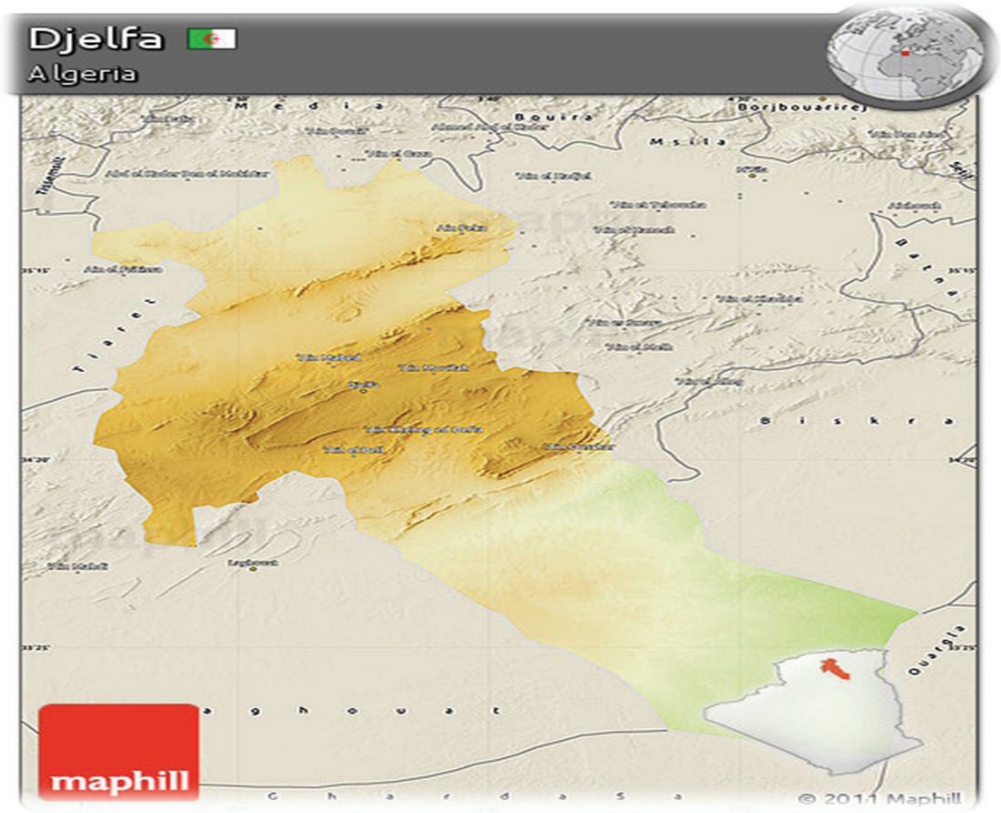


Figure III-3.représentative de la morphologie de Djelfa [1].

4. Hydrologie :

Hydrologie de type endoréique sauf dans l'extrême Nord du la wilaya avec les Oueds Ourak et Touil. Il existe trois grandes nappes, Aïn Oussera, Djelfa et Zahrez. A Djelfa le débit moyen est de 400 hm^3 par ans.

5. Climatologie :

Le climat est semi-aride dans les zones situées dans les parties du Centre et du Nord de la Wilaya et arides dans toute la zone située dans sa partie Sud avec un hiver froid et rigoureux et été chaud et sec. La wilaya reçoit en moyenne 350 mm d'eau de pluie par an mais de façon irrégulière du Nord au Sud. Les vents dans cet endroit sont caractérisés par leur intensité et leur fréquence.

6. Secteur industriel :

Le secteur industriel est faiblement représenté au niveau de la wilaya et demeure à l'état embryonnaire et ce malgré l'existence d'importantes assiettes foncières aménagées. Les principales infrastructures industrielles, deux (02) zones industrielles et (05) zones d'activité, réparties à travers 05 communes : Djelfa, Ain Oussera, Messaad, Hassi Bahbah, Birine.

Zone de production d'électricité à Ain Oussera (1er en Afrique).

7. Secteurs touristiques :

Les sites archéologiques et historiques sont situés principalement dans la région des monts des Ouled Nail, entre les Dairas de Djelfa, Ain El Bell, Feidh El Botma et Messaad. Ils se caractérisent par l'abondance des stations de gravures rupestres préhistoriques. En effet, plus de 1162 gravures rupestres ont été découvertes dans cette région.

Malgré les potentialités touristiques existantes reconnues pour leurs richesses, originalités, et diversités, le développement de ce secteur reste un défi à relever.

8. Objectifs du projet :

Cette étude a pour but de définir le meulier tracé pour la réalisation de la liaison ferroviaire entre les deux villes Boughezoul-Djelfa, ce tracé doit répondre aux objectifs économiques et aux besoins de la région en respectant les normes nationales et internationales des chemins de fer, elle vise à réduire le temps de parcourt et au confort au déplacement.

- Amélioration de la fiabilité des services.
- Relancer l'économie locale de la région.
- Désenclaver les agglomérations de la région et améliorer leur mobilité interchangeabilité.

Pour nos études seront menées :

- La reconnaissance de cite de projet (terrain).
- L'optimisation du tracé en plan, profil en long, et profil en travers en considérant les contraintes hydrauliques et géotechniques
- Conception de la gare d'Ain Oussera.
- L'étude d'impact environnemental et l'estimation du cout de projet (devis estimatif).

9. Caractéristiques du projet :

La ligne à étudier au cours du présent projet est constituée du tronçon ferroviaire reliant entre les deux villes Boughezoul-Djelfa, ce tracé doit répondre aux objectifs économiques et aux besoins de la région en respectant les normes nationales et internationales des chemins de fer, elle vise à :

- Type de ligne : voie unique avec possibilité duplication en futur
- Trafic mixte (voyageurs et marchandises).
- Vitesse maximale pour le trafic voyageur de 220 km/h.
- Vitesse maximale pour le trafic marchandises de 100 km/h.
- Écartement normal est de 1435 mm
- Les traverses : bi-bloc et mono bloc M450.
- Rampe verticale maximale de 16‰.
- La charge à l'essieu de conception en pleine voie 22.5 t (les ouvrages d'art 25 t)
- La largeur de la plate-forme en voie simple est fixée à 8 m.
- Le rail : du type UIC 60 E1.
- Traction électrifiée.
- Gare : Ain Oussera.
- Rétablissements routiers : 5.
- Normes appliquées : UIC 719R et UIC F518 et ***SNTF*** *Référentiel technique chapitre 6 version 2* : *la géométrie de la voie courante* V<220 Km/h Réf : IC00272 (EF 2 c 32) Edition du (12/09/2006).
- Le gabarit de GC et de l'UIC

10. Conclusion :

Le pays consent actuellement un grand investissement pour la relance de ce secteur, ceci va permettra l'émancipation de nombreuse région qui va sortir en mémé temps de leur isolement géographique.

Chapitre IV. Superstructure de la voie :

1. Introduction :

La voie ferrée est constituée par un assemblage d'élément de caractéristiques physiques et mécaniques différentes qui permette la transition à la plate de la forme (infrastructure), les charges statiques et dynamiques des roues, pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux, longitudinaux.la voie comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses qui sont elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast.

2. Catégorie de la voie :

Il existe plusieurs catégories de voie, chacune d'elle a une vitesse maximale et une charge à l'essieu propre à elles on cite :

- ✓ **Les voies principales** : attribuées à la circulation de la voie
- ✓ **Les voies de service** : attribuées aux manœuvres.
- ✓ **Les voies de circulation** : attribuée aux grands complexes ferroviaires.
- ✓ **Les voies d'évitement** : permettent le croisement deux terrains circulant à contre sens sur une voie unique.
- ✓ **Les voies de garage** : attribuées au stationnement des terrains.

3. Tableau les caractéristiques de la voie :

Désignation	Spécification
Écartement des rails	1435 mm
type de rail utilisé	UIC 60 E1 (60,21kg/ml, nuance 260)
Longueur des rails en voie	L18 m / 288 m
Le type et la densité des traverses (en pleine voie et voie de croisement)	Mono bloc de béton M450 (285a300 kg)
Le mode de fixation des rails aux traverses	NABLA
La charge à l'essieu en pleine voie / et OA	22.5t / 25t sur OA
La vitesse de terrain	220 km/h

4. Le rail :

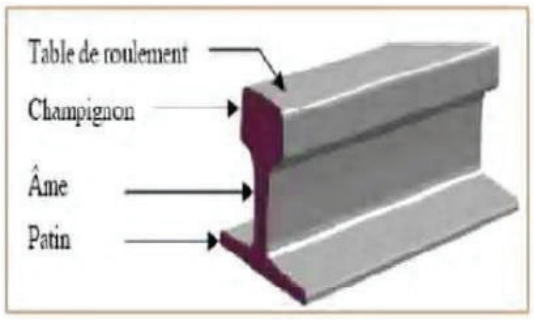
Le rail est un élément linéaire en acier, doté d'un profil particulier. La mise en parallèle de deux files de rail crée une voie ferrée. Qui sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20 en vois normale pour stabiliser le centrage des roues du train. Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- Supporter la charge des roues et les efforts dynamiques qui en résultent.
- Assurer le guidage des véhicules en courbe, en reprenant les efforts transversaux dus à la force centrifuge.
- Reprendre les efforts longitudinaux provoqués par l'accélération, le freinage et la résistance aux roulements des convois.

- Permettre le passage du courant électrique de retour et de fonctionnements des installations de sécurité.

On distingue le rail par leurs types de profils (UIC, Vignole, à gorge, à doubles champignons, etc..) et par la masse d'acier utilisé par mètre linéaire courant de rail. On utilise en général les rails composés de 3 parties :

- **Un patin :** qui s'appuie sur la traverse
- **Un champignon :** constitue le chemin de roulement
- **Une âme :** relie le champignon au patin



Dons notre projet on s'intéresse au rail à patin Vignole sera du type 60 E1 (60,21 kg/m). La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la norme : EN 13674-1 :2011 (Rails Vignole de masse ≥ 46 kg/m), voir la **figure IV-1**, dont les caractéristiques sont :

Tableau IV-1.Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 [7].

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm^4
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm^4
Résistance a la traction	R ≥ 880 N/mm^2
Allongement	R ≥ 10%
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW

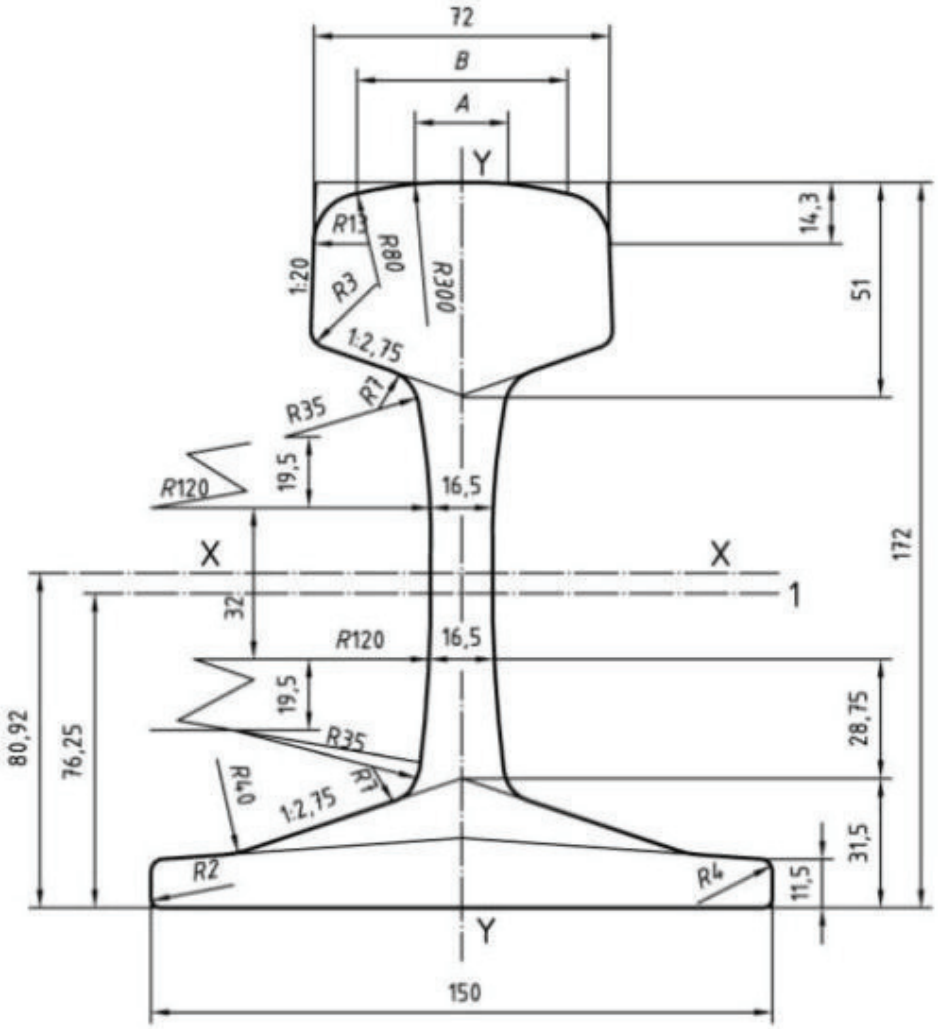


Figure IV-1.Profil rail du type UIC60 E1 [7].

5. Assemblage des rails :

On distingue deux modes d'assemblages des rails, soit par soudure ou éclissage :

5.1. Par soudure :

Ce mode consiste à raccorder entre deux pièces par des joints appropriés, les contraintes techniques qui se posent sont la résistance mécanique et la géométrie (la qualité de circulation et tenue de la voie).

- ✓ Le rail sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement sur chantier pour permettre l'obtention de barres avec 288 m.
- ✓ Les barres avec 288 m seront transportées sur le lieu d'application et seront liées entre elles par des soudures aluminothermiques.



Figure IV-2.Assemblage des rails par soudure [1].

5.2. Par éclissage :

L'éclissage permet d'assembler deux rails consécutifs. Il doit satisfaire les conditions suivantes :

- Relier les rails de façon qu'ils se comportent comme une poutre continue en alignement et en nivellement.
- Avoir une résistance à la déformation qui approche d'aussi près que possible celle des wrails assemblés.
- Empêche les mouvements verticaux ou latéraux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation.

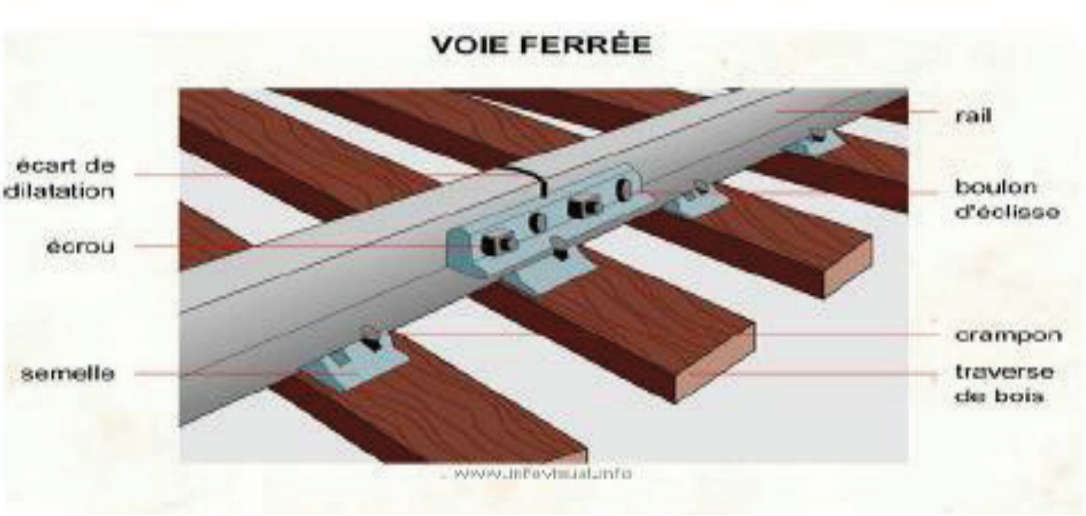


Figure IV-3.Assemblage des rails par éclissage [1].

6. Les longs rails soudés (LRS) :

6.1. Définition :

C'est un rail dans la longueur est suffisante pour au moins qu'un de ses points reste fixe quelques soit la variation de la température. Cette variation de température engendre des contraintes supplémentaires dans les rails, ces LRS sont largement utilisés dans la plupart des réseaux ferroviaires [15].

6.2. Les avantages :

- Suppression de l'éclissage boulonné.
- Réduction des dépenses d'entretien.
- Réduction des défauts de rails.
- Amélioration du confort.
- Réduction de l'usure de la superstructure

6.3. Les inconvénients :

- Défauts de soudure.
- Les efforts longitudinaux importants.
- Résistance latérale affaiblie.
- Risque glissement latéral et flambage de la voie lors de la température élevée.

7. Les traverses :

Les traverses peuvent être en bois en acier, en béton armé ou précontrainte elles doivent remplir les fonctions suivantes [17]:

- Répartir les charges verticales transmises par le rail sur le ballast.
- Maintien l'écartement des rails.
- Renforcement et renouvellement aisé du ballast.
- Reprise des efforts latitudinaux et transversaux résultant de la dynamique des véhicules.
- Diminution de l'effet de déformation locale du sol d'infrastructure.

Dans ce cas on doit s'intéresser aux. Traverses en béton, il existe deux types :

- Bi bloc : sont formés de deux blocs de béton armé appelés Blochet relié par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.
- Mono bloc : formé en un seul bloc de béton précontrainte dans leur partie centrale, armée avec des fils à haute résistance

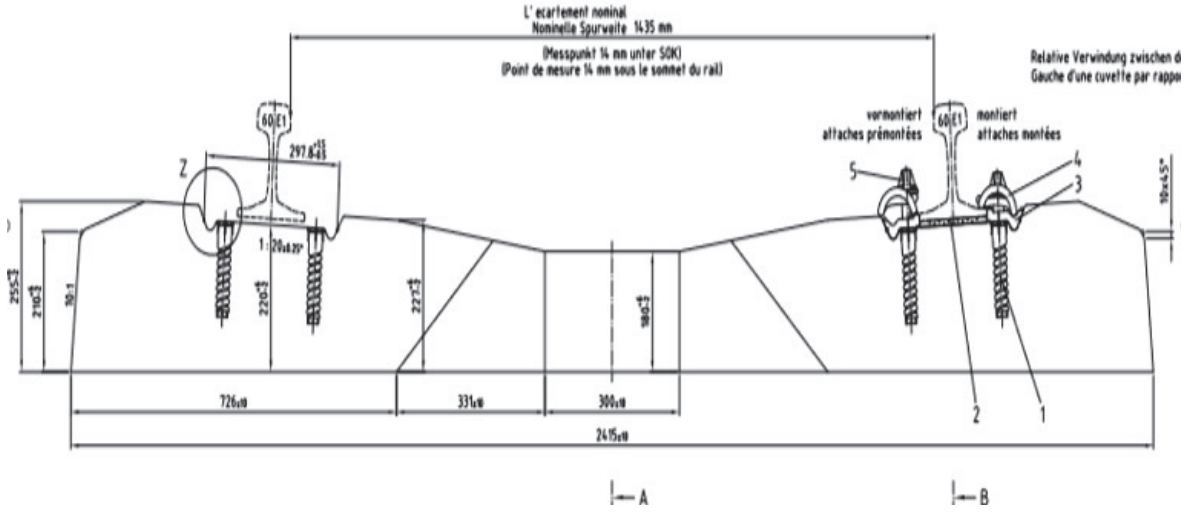


Figure IV-4.traverse monobloc (M450 W60-20) [6]

8. Les attaches :

L'attache de rail est un des composants qui assure que les deux rails soient bien fixés à la traverse et enfin au sol. L'attache de rail gère les mouvements de rail générés par les charges ou vibrations des véhicules circulant sur les rails et transmet ces charges ou vibrations aux traverses, ballast et à la plateforme.

Des attaches élastiques seront employées de manière à former un intermédiaire élastique entre rail et traverse. Le système recommandé est une attache à lame de type Nabla, ou une attache élastique de type e-clip.

8.1. Les semelles :

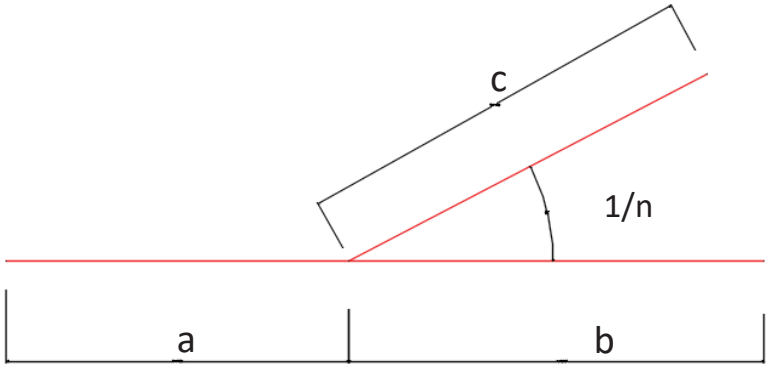
Sont des dispositifs mis entre le rail et la traverse, jouent un rôle très important dans la transmission des charges a la traverse, la stabilité de rail l'absorption des ondes vibratoires mécaniques et acoustique (amortissement). Elles sont en générale en élastomère (épaisseur 9 mm).



Figure IV-5.les attaches de type e-clip et les attaches de type NABLA [8]

9. Les appareils de la voie :

C'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension. L'exploitation des voies ferrée érige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires que l'on désigne appareille de voie. Les spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1 sont présentées dans le tableau suivant [19]:



Appareil de voie (1/n)	R (m)	a(m)	b(m)	C(m)	V (km/h)
1/12	500	20.797	22.684	22.684	65
1/9	300	16.616	17.922	19.922	50
	190	10.523	17.805	17.805	40
1/7	190	13.503	13.503	13.503	40

Pour un appareil de voie de type branchement simple, on distingue trois parties voire la **(figure IV-6):**

- **La partie aiguillage** qui comprend les aiguilles mobiles et les contre-aiguilles,
- **La partie intermédiaire** qui est assimilable à de la voie courante
- **La partie croisement** qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails

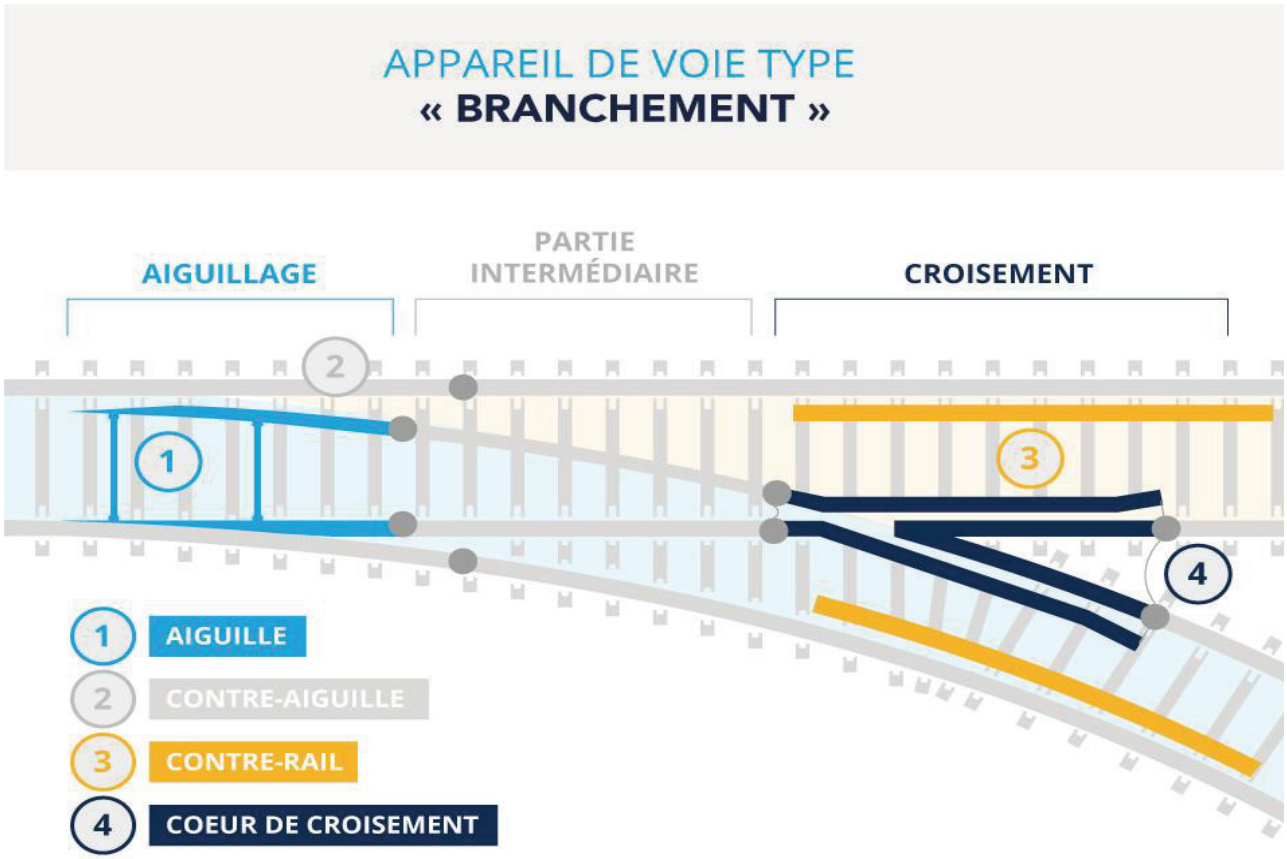


Figure IV-6.modèle représente appareil de voie type [1].

Chapitre V. Géométrie de la voie

1. Introduction :

L'étude géométrique du tracé en plan ayant pour but d'obtenir un roulement parfait et sécurisé des wagons, avec le choix du tracé le plus économique, et qui répond aux conditions et recommandations exigées par les normes internationales ferroviaires.

Le tracé en plan représente la projection de l'axe de la voie ferrée sur un plan horizontal qui peut être une carte des ponts topographiques ou des courbes niveaux (relief).

Dans le cadre du présent projet les deux vitesses caractéristiques sont :

- $\mathbf{V_{max}}$: vitesse des trains rapides (voyageurs) : 220 km/h.
- $\mathbf{V_{max}}$: vitesse des trains (marchandises) :100km/h.

2. Tracé en plan :

2.1. Les règles à respecter dans le tracé en plan :

Pour faire un tracé technico-économique, il est recommandé de respecter les règles suivantes :

- L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Éviter de passer sur des terrains agricoles, des zones forestières et les terrains très Plastiques.
- Réduire les portées des ouvrages d'art au niveau des Oueds en les traversant sur un plan perpendiculaire.
- Raccordement à la voie existante au début et fin du projet.
- Essayer d'utiliser au maximum des alignements.
- Éviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Évitez au maximum les propriétés privées.

2.2. Catégorie de trafic :

On distingue les catégories de trafic suivantes :

- **I** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs de 80 km/h à 120 km/h maximum.
- **IIa** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 120 km/h et jusqu'à 160 km/h maximum
- **IIb** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 160 km/h et jusqu'à 200 km/h maximum
- **III** lignes à trafic mixte, conçu pour une vitesse des trains de voyageurs supérieure à 200 km/h et jusqu'à 300 km/h maximum.
- **IV** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures jusqu'à 230 km/h (ou 250 km/h sur ligne aménagée) avec des véhicules présentant des caractéristiques techniques spéciales de conception (faible masse par essieu, faible coefficient de souplesse, etc.).

- **V** lignes spécialement dédiées aux trafics voyageurs avec des vitesses comprises entre 250 km/h et 300 km/h.

Dans le cadre de ce projet, la vitesse de référence est celle des trains de voyageurs (V=220 km/h) donc la catégorie du trafic est : **catégorie III.**

2.3. Élément 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 **Annexe 1**.

a) L'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, doit respecter la condition suivante :

Tableau V-1.Longueur minimale des éléments de tracé Lmin [9].

Valeur recommandée	$\frac{Vmax}{2}$
Valeur maximale	$\frac{Vmax}{3}$

b) L'arc de cercle (R=constant) :

Le raccordement entre les alignements se fait avec les arcs des cercles, ces derniers doivent assurer un passage sécurisé et confortable des trains afin d'éviter le déraillement.

✓ **Le rayon minimal en plan :**

Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, avec l'insuffisance de dévers **I**, est déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$R_{min}= \frac{11.8}{I+D} V^2_{max} \quad (m)$$

Tableau V-2. Le rayon minimal en plan [9].

Valeur minimale normale (m)	**1842**
Valeur exceptionnelle (m)	1680

2.4. Le dévers :

Un véhicule qui circule dans une courbe soumis à la force centrifuge qui tend à le déporter vers l'extérieur. Pour annuler effet de cette composante transversale il faut que la résultante (le poids et la force centrifuge) soit perpendiculaire au plan de roulement. Pour vérifier cette situation- il faut que l'inclinaison de véhicule soit identique à celui du plan de roulement, et on appelle ce surhaussement (qui dépend de la vitesse V) le dévers théorique dv.

La formule de devers théoriques :

$$dv = \frac{11.8 \ V_{max}^2}{R}$$

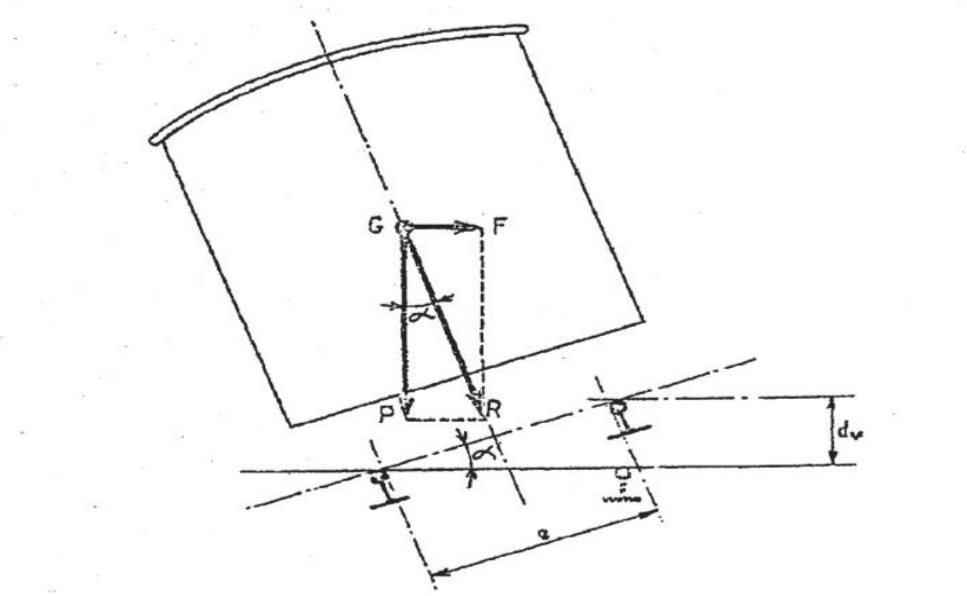
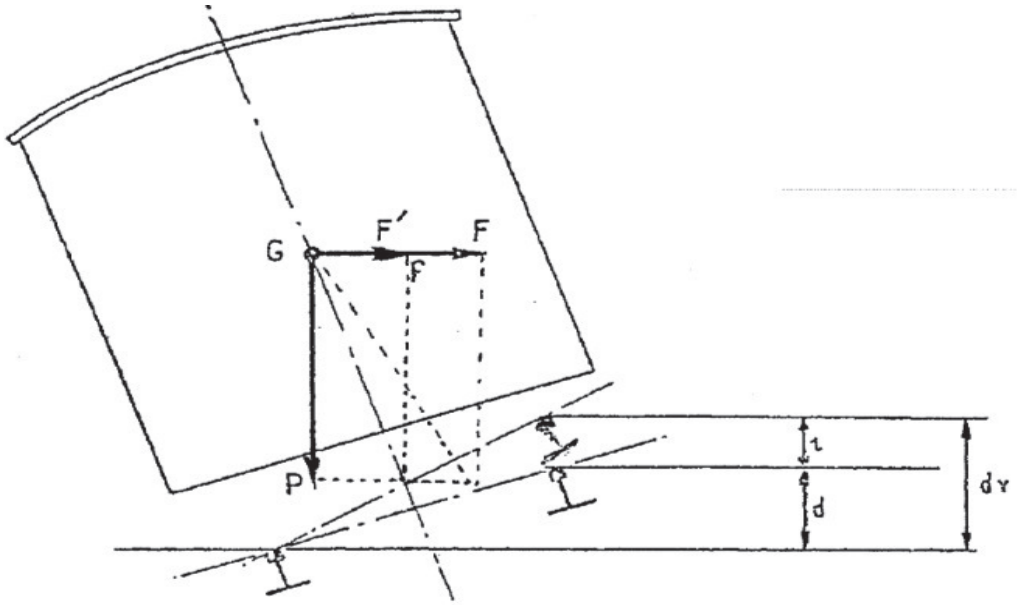


Figure V-1. Le dévers théorique [10].

2.5. Le dévers réel (pratique) :

Pour une voie si la nature des vitesses diffère, donc il y' a un devers théorique pour chaque vitesse dont la nécessité de trouver un devers pratique qui doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Assure la sécurité, en compensant suffisamment la force centrifuge.
- Éviter l'usure excessive de la voie par les trains.
- Limiter le déport des matériels roulants.
- Assure un confort satisfaisant au voyageur.



:

Figure V-2. Dévers pratique et l'insuffisance [10].

Donc le devers pratique est toujours inférieur au dévers théorique :

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

d_p : en mm

R : en m

C : coefficient de dévers, suivant les conditions de trafic, donné par la formule suivante :

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

Limitation de dévers pratique réel : (SNCF/IC00272 (EF 2 C 32) :

La limitation de devers pratique dépend :

- Coexistence des trains rapides et des trains lents, dont l'effet est l'usure des rails.
- La difficulté de démarrage des trains qui seraient en virage.

- **1ère condition** : Les valeurs limites du devers pratique, en voie principale et en voie de circulation sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-3. Limite du devers pratique [9].

Valeur recommandé [mm]	**160**
Valeur maximale [mm]	180

- **2ème condition : Dévers maximal en pleine courbe :**

Pour limiter les risques dus à l'inscription des véhicules de grande longueur dans la courbe de faible rayon, il est nécessaire de limite le devers en pleine courbe en fonction de la variation de devers dans le raccordement.

Les limites de cohérence dépendent aussi du rayon de la courbe :

$\Delta d/\Delta l \leq 2mm/m$	$d \leq (R-100)/2$
$2mm/m \leq \Delta d/\Delta l \leq 3\ mm/m$	$d \leq (R-150)/2$
$3mm/m \leq \Delta d/\Delta l \leq 4\ mm/m$	$d \leq (R-250)/3$

2.6. L'insuffisance de dévers :

La différence entre le devers théorique et le devers pratique représenté par l'insuffisance de devers :

$$\mathbf{I = d - d_p = \frac{11.8\ V^2}{R} - d_p}$$

La circulation d'un véhicule avec insuffisance de devers se traduit par l'apparition de forces transversales, résultat de « la force transversale non compensée » ayant pour effet :

- Tendre au chavirement du véhicule vers l'extérieur.
- Tendre à faire monter le boudi, sur le rail extérieur.
- Tendre à riper la voie vers extérieur delà courbe.
- Imposer un confort inacceptable aux voyageurs.

Limitation d'insuffisance de dévers :

Pour la limitation de l'insuffisance, on se base sur la limitation d'accélération non compensée de la figure précédente on peut tirer que l'accélération nom compensé égale à :

$$\frac{F-F}{P} = \frac{\text{“}\Upsilon}{g} = \frac{i}{g} \qquad \text{“}\Upsilon = \frac{i}{e} \times g$$

g: 9.81 m/s^2

e : (entraxe) = 1500 mm

$$\text{“}\Upsilon = 0.0065\ i \quad \ldots (1)$$

i : insuffisance

Pour une situation d'inconfort pour le voyageur est de $\gamma = 0.10g$ ou 1 m/s^2

Donc on peut tirer de la formule (1), que l'insuffisance maximale est égale à **I max = 150 mm**

Tableau V-4.Valeurs limites de l'insuffisance du dévers [9].

Valeur recommande [mm]	150
Valeur maximale [mm]	160

2.7. Excès de dévers :

Pour une voie mixte lorsque le train le plus lent, le dévers théorique qui assure l'équilibre de train marchandise est inférieur aux devers pratique, ces trains sont soumis à une force centripète non compensée, donc la résultante [R] des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe pour le calcul cet excès de devers :

$$\mathbf{E} = \mathbf{d_p} - \frac{\mathbf{11.8}\,\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{R}}$$

On limite l'excès de dévers pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes causées par les trains de marchandises qui ont des masses par essieu plus élevées.

Tableau V-5.Valeurs limites de l'excès de dévers [9].

Valeur recommande [mm]	110
Valeur maximale [mm]	130

2.8. Raccordement progressif (RP) :

C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre alignements et une pleine Courbe ou entre deux courbes circulaires de rayons différentes.la clothoïde ou son approximation la parabole cubique (dite de Nordling).

Cette variation de courbure et donc la flèche une à certaine distance, permet de faire varier progressivement le dévers depuis sa valeur nulle en alignement jusqu'à la valeur « d » en courbe.

- **ORP** : origine du raccordement progressif
- **FRP** : fin du raccordement progressif

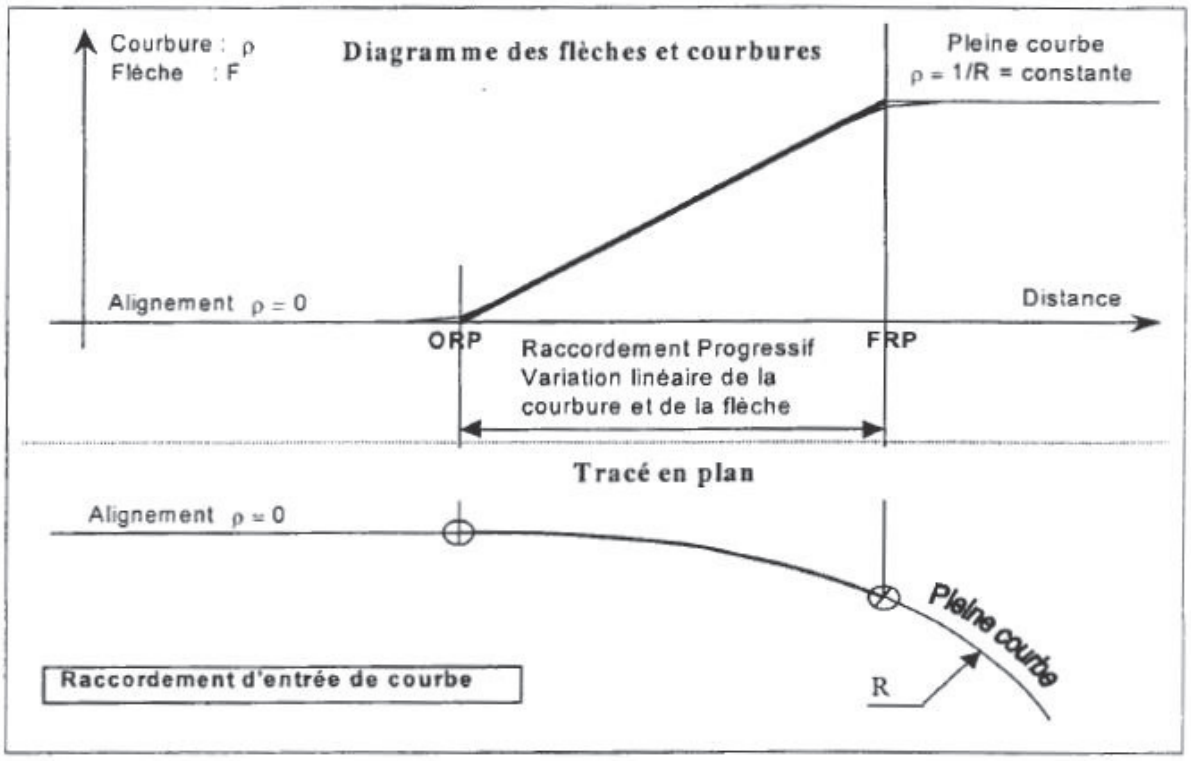


Figure V-3. Diagrammes des flèches et courbures et tracer en plan d'un RP [9].

La courbe satisfaisant aux conditions définies ci-dessus est la clothoïde, est définie par sa longueur L et paramètre A :

- **Longueur minimale de clothoïde (**limiter par ΔI/Δt et Δd/Δl et Δd/Δt)**:** à l'aide des formules suivants)**:**
  - $\mathbf{L} \geq \frac{I.V}{3.6\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)}$
  - $\mathbf{L} \geq \frac{dp}{\left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)}$
  - $\mathbf{L} \geq dp\,\frac{V}{3.6\left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)}$
- **Paramètre de clothoïde :** $\mathbf{A} = \sqrt{L \,.\, R}$

- **Distance entre raccordements :**

Pour permettre aux véhicules soumis à torsion dans un raccordement de se placer en position normale avant être à nouveau sollicité par une autre torsion il faut respecter une distance de 30 m minimum.

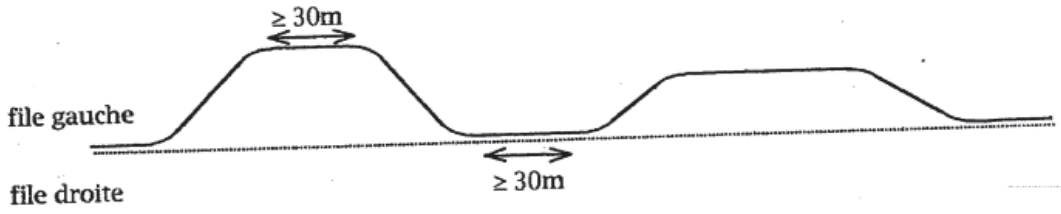


Figure V-4.Courbe successive de même sens [10].

2.9. Gauchissement et variation du dévers :

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses.

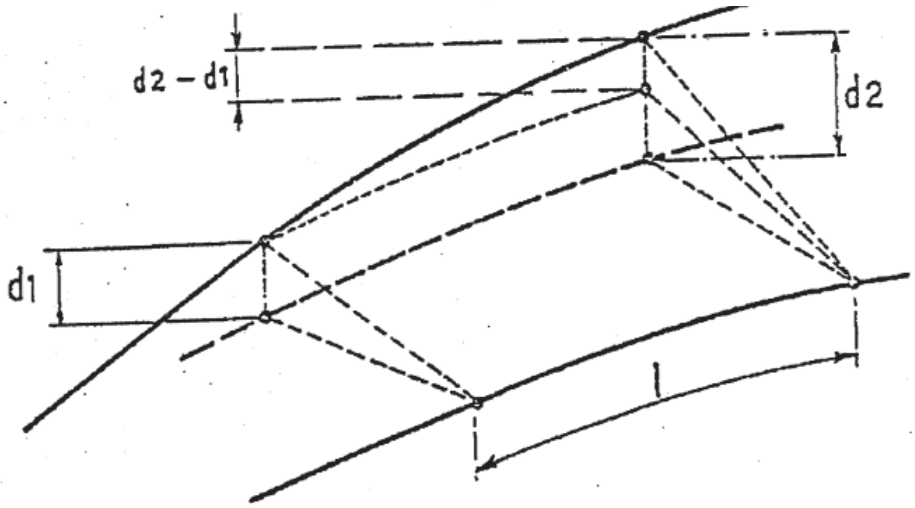


Figure V-5. Représente variation du dévers [10].

Ce gauche de construction est mesuré sur la base de 3m et s'exprime en mm/m :

$$g = \frac{d2 - d1}{l}$$

Pour limiter ce problème : on doit limiter la variation de devers en fonction de la longueur exprimée en (mm/m).

La variation de la file extérieure par apport à la file intérieure doit être d'autant plus faible que la vitesse est plus élevée.et la rotation de véhicule est limite a 0.033 rad/s c.-à-d. 50mm/s, pour un écartement normal exceptionnellement 60mm/s.

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} < 50 \qquad \text{Ou} \qquad \frac{\Delta d}{\Delta l/V} = \frac{\Delta d \times V}{\Delta l \times 3.6} < 50$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} < \frac{3.6 \times 50}{V} = \frac{180}{V}$$

Tableau V-6. Valeur limite de la variation de dévers en fonction de la longueur [9].

Valeur recommande [mm/m]	180/V
Valeur maximale [mm/m]	216/V

Sur chantier les rampes de raccord sont réalisées en respectant **les limites exceptionnelles**, soit pratiquement :

$3\ mm/m$ si V $<$ 80km/h

$4\ mm/m$ si V $<$ 60km/h

2.10. La variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements :

Pour assurer un bon confort aux passagers, on limite la variation de l'accélération centrifuge non compensée le jerk, à ‟ϒ =0.05g. Pour le mouvement plus rapide, les valeurs limitent le tableau suivant :

$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V}{L \times 3.6}$ et pour ‟ϒ $= 0.0065$ i

Tableau V-7. Limite de variation de l'insuffisance de devers dans les raccordements [9].

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

Application au projet : (pour R=4500 m) :

R_{min} $= \frac{11.8}{I+D} V^2_{max}$ AN: $R_{min} = \frac{11.8}{150+160} 220^2 = 1842.32$ m

d_{th} $= \frac{11.8}{R} V^2_{max}$ AN: $d_{th} = \frac{11.8}{4500} 220^2 = 126.9$mm

$\mathbf{d_p} = \frac{1000\ c}{R}$ AN: $d_p = \frac{1000 \times 290.4}{R} = 64.53\text{mm}$

(valeur apprendre d_p= 65mm)

Avec $\mathbb{C} = 0.006 \times V^2_{max}$ AN : $C = 0.006 \times (220)^2 = 290.4$

$\mathbf{I} = d_{th} - d_p = \frac{11.8\ V2}{R} - d_p$ AN : I = 126.9– 65= 61.9 mm

$\mathbf{E} = d_p - \frac{11.8\ V2}{R}$ AN : $E = 65 - \frac{11.8\ 100^2}{4500} = 38.8\text{mm}$

Voici un tableau récapitulatif présentant le calcul des longueurs de clothoïde pour les différents rayons du tracé (calcul avec logiciel **Annexe 3**):

Tableau V-8. Résultats de divers paramètres calculés

R	d_{th} mm	d_p mm	L m	A	I mm	E mm	$\Delta d/\Delta l$ mm/m	$\Delta d/\Delta t$ mm/s
3000	190.4	100	125	612	90.4	60.7	0.80	48.89
4500	126.9	65	80	600	61.9	38.8	0.81	49.65

3. Profil en long :

3.1. Introduction :

Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Le profil en long de la voie est constitué des pentes et rampes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires, qui présentent la ligne rouge voir **Annexe 2**.

3.2. Les règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Afin d'avoir une meilleure conception du profil en long il faut tenir compte des règles suivantes « sauf dans des cas exceptionnels qu'il faut justifier » :

- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités et longueur minimale) préconisées par les règlements (SNCF/IC00272 (EF 2 C 32)).
- Assurer l'évacuation des eaux pluviales pour les points bas.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.

- Un profil en long en léger remblai est préférable qu'un profil en long en léger déblai qui complique l'évacuation des eaux,
- Éviter une hauteur excessive en remblai.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

3.3. Les éléments géométriques du profil en long :

3.3.1 Déclivité :

C'est la tangente de l'angle compris entre le profil en long et l'horizontal, elle est appelée pente et rampe.la déclivité influence sur l'écoulement des eaux, la sécurité lors de freinage en pente et confort au démarrage de véhicule en rampe

- **Pente** : tronçon de voie descendant.
- **Rampe** : tronçon de voie ascendant.
- **Palier** : tronçon de voie horizontale.

La valeur admissible à ne pas dépasser pour la déclivité varie en fonction de sa longueur (Réf SNTF) :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3000 m et 15000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 16‰.

➢ **La longueur minimale des déclivités :**

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

Tableau V-9. Résultats de divers paramètres calculés [9].

Valeur minimale recommandée	**V/2**
Valeur minimale exceptionnelle	V/2.5

A.N : $L_{min} = \frac{V}{2} = 110$ m.

3.3.2 Raccordement vertical :

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.

Tous les rayons de raccordement circulaire doivent avoir une longueur supérieure ou égale à 30m pour éviter le changement brusque des pentes.

On doit réaliser lorsque

P_2-P_1>2‰ pour V > 60 km/h.

P_2-P1> 4‰ pour V ≤ 60 km/h.

R=2T/$\pm\Delta P$ et la flèche F= T^2/2R.

Selon le référentiel technique de la SNTF, le rayon du raccordement vertical minimal se calcule suivant les expressions présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-10. Rayon vertical minimale [9].

Valeur normale	**0.35 V^2**
Valeur exceptionnelle	0.25 V^2

AN : $R_{v\,min}$ =0.35×V^2=16940 =17000 m

- **Accélération verticale a_v :**

L'accélération verticale quasi-statique au franchissement des courbes de raccordements du profil en long (av), en prenant en compte la sécurité vis-à-vis du risque de déraillement dû au délestage de la roue et le confort de marche dans l'éventualité est donnée par l'expression suivante :

$$\mathbf{a_v = \frac{V^2}{12.96Rv} \leq (a_v)_{lim}} \qquad (m/s^2)$$

Toutefois, cette valeur limite de sécurité n'est pas à considérer sauf si on dépasse la valeur limite maximum pour av.

4. Coordination profil en long et tracé en plan :

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

- Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe).
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe à moins de 100m ou bien en déclivité.
- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.

5. Les contraintes le long du tracé :

- ✓ Lignes d'électricités de moyen tension (MT) au PK 136+700 et au PK 137+319 et au PK 137+338 et au PK 139+065 et au PK 140+279 et au PK 140+391 et au PK 140+527 et au PK 140+965
- ✓ Lignes d'électricités de haute tension (HT) au PK140+176 et au PK 140+235.
- ✓ Intersection avec RN01 au PK 140+360 (passage supérieur).
- ✓ Intersection avec CW140 au PK 137+367 (passage inférieur) d'Ain Oussera vers Had Sahari
- ✓ Intersection avec un réseau du gazoduc au PK 137+269 et au PK 139+750 et au PK 140+675.

6. Profil en travers :

Le profil en travers correspond à une section transversale perpendiculaire à l'axe.il existe deux types de profil en travers :

- Le profil en travers type.
- Le profil en travers courant.

6.1. Les éléments de profil en travers :

- **La plate-forme :** C'est la partie sur laquelle repose la voie elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.
- **L'emprise :** C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme :** Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.), sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé :** C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

6.2. Les éléments de profil type :

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

- **Éléments de l'infrastructure :**

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

- **Éléments de la superstructure :**

- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
- Le type des traverses utilisées.
- L'épaisseur de la couche de ballast
- La longueur des butées du ballast.
- La valeur du devers maximal en courbe.

- **Éléments du talus :**

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuels

- **Éléments d'assainissement :**

- Types et dimensions du fossé ou des drains.

6.3. Les profils en travers affectés au projet :

Pour notre projet on caractérise nos profils en travers comme se suit :

- Type de ligne : voie unique mixte 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 du ballast : 3/2.
- Épaisseur du ballast : 30cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 15 cm.
- Épaisseur de couche de forme : 0.5 cm
- Pente (déblai : 1.5H/1V et remblai : 2H/1V).
- Fossé trapézoïdal (b= 0.60 m ; h= 0.60 m avec une berme de 3/2).

Chapitre VI. Étude géotechnique

1. Introduction :

Dans le cadre de réalisation d'un projet ferroviaire qui nécessite une connaissance fine du sous-sol, de sa nature et de son comportement. Et cela en définissant les caractéristiques précises des terrains traversés, en mesurant les déformations et les résistances.

Les données sont déduites sur la base de plusieurs sorties de terrain, des cartes géologiques, ainsi qu'une investigation de subsurface (essais in situ et laboratoire) aux droits d'emplacement des principaux ouvrages.

2. Étude géologique :

2.1. Géologie locale de la zone d'étude :

La zone d'étude et localisée géologiquement :
- Au nord : Atlas tellien.
- Au sud : Atlas saharien.
- En passant par les hauts plateaux qui commencent dans la ville de Bougazoule et se développent jusqu'à au sud de la ville Hassi-Bahbah voir la figure suivante :

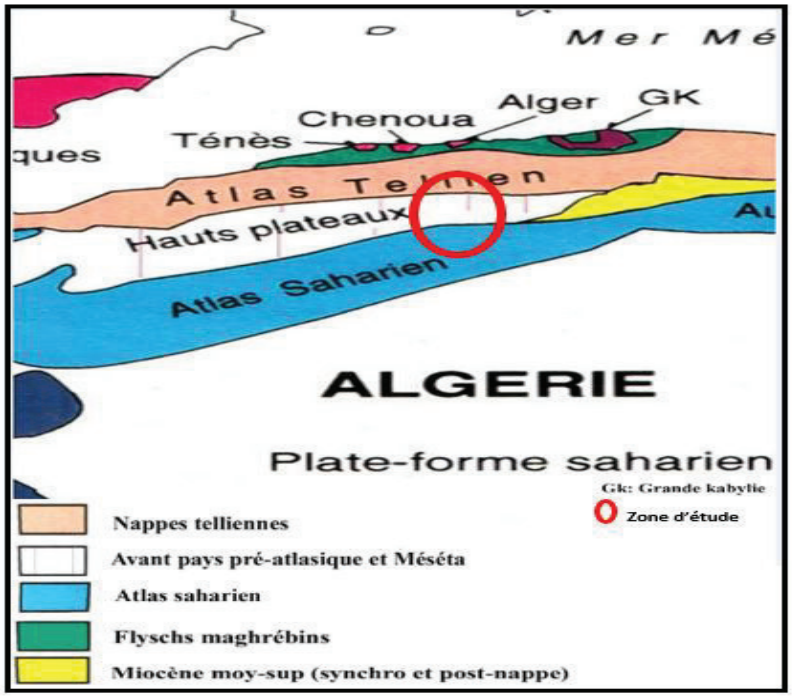


Figure VI-1.Étude géotechnique [1].

Les âges de terrain traverse vont de quaternaire formé par des dépôts alluviaux, des dépôts des terrasses, et des dunes, passant par le tertiaire formé par les complexes de sol, et de roche douce, argileuse sablonneuse, et calcaire. Il existe aussi dans cette région des sédiments de l'âge mésozoïque forme par des marnes et des calcaires, voir **Annexe 4**.

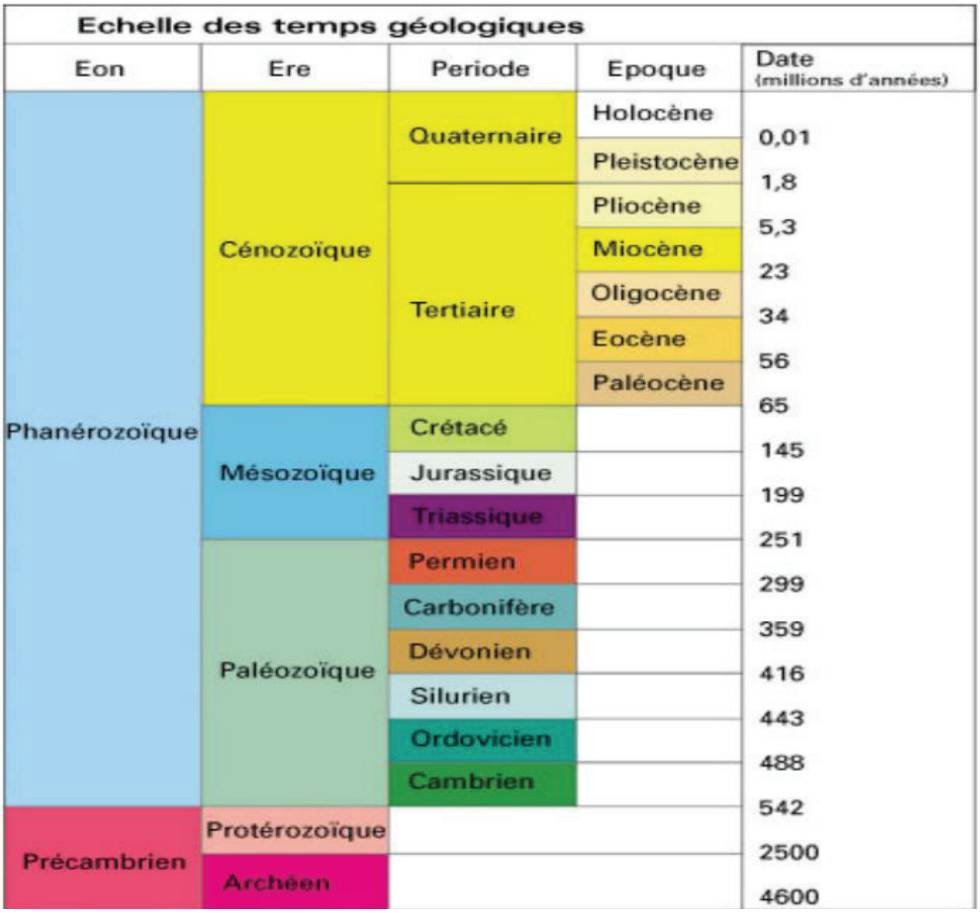


Figure VI-2.échelle des temps géologiques [1].

2.2. Risques naturels :

On distingue quatre types des risques qui pourraient affecter à la zone d'étude :

- **Inondations et flux de boues :** Dû au caractère sporadique et torrentiel des pluies, les oueds sont susceptibles d'être affectés par des inondations, débordements et formation de flux de boues procédant des reliefs qui contournent les vallées.

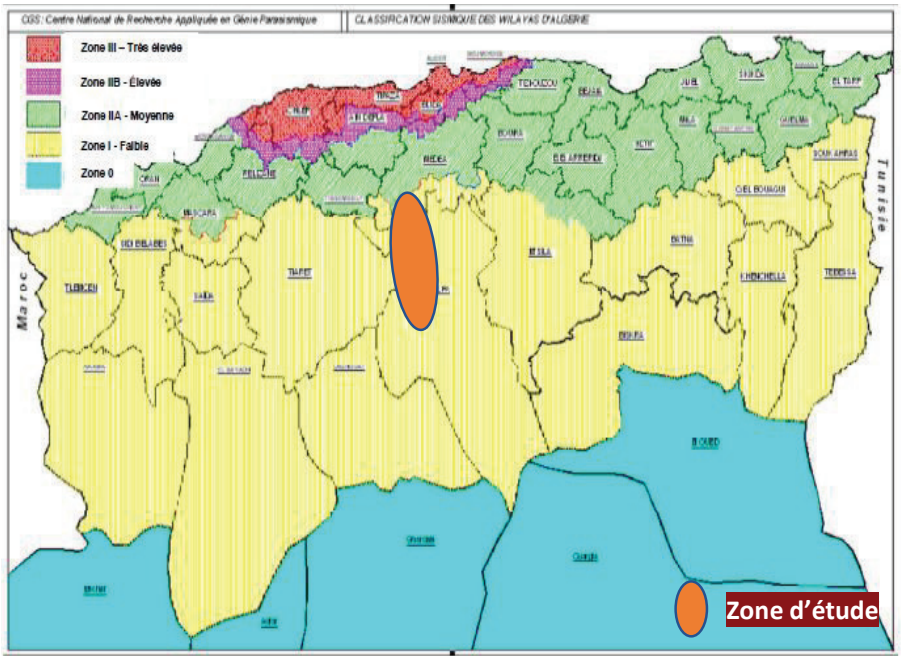
Le long de la trace du Lot 2, il a été identifié seulement l'existence d'une zone inondable, entre les PK 137+425 à 137+665, définie par le quota d'inondation maximale de 687,25 pour une période de retour de 100 années. Cette situation, près d'Ain Oussera, ira impliquer la réalisation de la protection des talus à la base du remblai de hauteur significative qui sera construit à cet endroit, correspondant à la zone initiale de la future station d'Ain Oussera.

- **Glissements de versants et chute de blocs :** En ce qui concerne la stabilité des matériaux, il faut remarquer les glissements dans les grès les plus cimentés ressortent par rapport aux moins cimentés, pouvant tomber par gravité [6].
  Chute de blocs de grès (unité géologique Ct) proche au PK 177+050.
- **Karstifications :** développées dans les roches calcaires et dolomitiques, elles peuvent entraîner la présence d'effondrements ou collapses dans le terrain, tant dans le tracé général comme dans les fondations des structures [6].

- **Séisme** : le risque des tremblements de terre est moyen dans la partie nord du tracé (zone II a) et faible plus au sud (zone I), avec des accélérations sismiques basiques comprises entre une valeur minimale de 0,10g m/s^2 et maximale de 0,25g m/s^2.

Tableau VI-1.Coefficient d'accélération de zone A (RPOA 2008).

	Zone séismique			
Groupe de pont	**I**	**IIa**	**IIb**	**III**
1	0.15	0.25	0.30	0.40
2	0.12	0.20	0.25	0.30
3	0.10	0.15	0.20	0.25



ZONE 0	Négligeable
ZONE I	Faible
ZONE IIa	Moyenne
ZONE IIb	Élevée
ZONE III	Très élevée

Figure VI-3.Situation de la zone d'étude dans la carte sismique de l'Algérie (RPOA 2008).

NB. La lithologie prédominante du PK136 au PK 141 correspondra à l'âge pliocène **PI.**

2.3. Groupe Géologique pliocène (Pl) :

Les matériaux pliocènes sont constitués par une alternance irrégulière de tuf calcaire, avec des fragments de roches calcaires, argiles limoneuses brunes, fermes, à passages sableux et à précipitations carbonatées blanchâtres voir le tableau.

3. Étude géotechnique :

L'étude géotechnique doit connaitre les caractéristiques globales des sols de la plateforme, avec classification des sols de diverses manières, afin de prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet du chemin de fer.

La reconnaissance géotechnique du sol est une opération qui consiste, grâce à des mesures issues d'essais normalisés, à déterminer leur nature et à dégager ses caractéristiques physiques, et pour cela on doit déterminer :

- ❖ Les paramètres de nature qui sont intrinsèques au sol et traduisent les propriétés physiques de ce sol.
- ❖ Les paramètres d'état qui donnent, à un instant donné, la répartition des phases d'un sol entre elles et l'arrangement des grains de la phase solide.

3.1. Reconnaissance de Surface :

Un parcours détaillé du tracé a été réalisé, ce qui a permis de prendre une information systématique des points d'intérêt géotechnique. Dans cette reconnaissance, une importance spéciale a été accordée à l'état des voies proches, aux intersections avec les routes existantes, et à la présence de signes d'instabilité.

3.2. Puits de reconnaissance :

Dans le tableau suivant se résument les puits effectués, la lithologie sous-jacente, le groupe lithologique et sa classification selon l'UIC et l'USCS :

Puits et pk	Profil	Lithologie	Group	CLASS UIC2008	CLASS USCS
111	137+110	Sable limoneux	PI	QS1	CL
112	137+364	Sable	PI		
113	138+260	Sable limoneux	PI	QS0	SM
118	141+895	Tuf	PI		

L'exécution des puits a permis :

- Déterminer l'épaisseur de la « terre végétale » à décaper.
- Déterminer de la position du niveau des eaux souterraines dans le cas où elles existent.
- L'observer visuellement des formations et des classifications lithologiques.
- Déterminer de l'épaisseur des dépôts de couverture (de remblais, d'alluvion, de terrasse, dunaire ou de croûtes de précipitation).
- prélever des échantillons remués, pour la réalisation d'essais de laboratoire.

3.3. Essais de pénétration dynamique :

Les essais de pénétration dynamique ont pour objectif :

- Calculer la résistance des terrains en continu (résistance dynamique de pointe).
- Evaluer la capacité portante des couches les plus superficielles du terrain et/ou des dépôts de couverture généralement peu cohésive ou compacte qui puissent avoir lieu, et de calculer leur épaisseur.

❖ **Avantage de cet essai :**

Les essais de pénétration ont l'avantage, par rapport à d'autres systèmes de reconnaissance :

- Permettant la détection des discontinuités ou des niveaux de petite épaisseur inaperçus avec des autres systèmes de reconnaissance.

La résistance dynamique de pointe (qd) obtenue dans ce test est calculée à partir de la formule des Hollandais [20] :

$$qd = \frac{M^2 \times H}{S \times [M + P]} \times \frac{Nd}{e}$$

M – Masse du mouton (63,5 kg).

H – Hauteur de chute (50cm ou 75cm).

S – Section de la pointe (15cm^2 ou 20 cm^2).

P- Poids total du train de tiges (masse endume+guidage mouton+masse des tiges).

e – Pénétration (chaque 20cm).

Nd – Nombre de coups.

Tableau VI-2. Résume résultats l'essai pénétration dynamique [6].

Désignation	PK	Objectifs	Profondeur	Unité géologique	Résistance Dynamique	
					Pd(m)	**qd (MPa)**
304c	137+275	Fondation structure de protection de gazoduc	4.0	Pi	0.1-0.6 0.6-3.2 3.2-4.0	6.0-21.0 14.0-3.0 7.0-30.0
PD 108	137+375	Fondation de remblai	12.0	Pi	0.1-0.4 0.4-8.0 8.0-11.8 11.8-12	10.0-15.0 13.0-4.0 5.0-8.0 8.0-45.0
PDL308	138+900	Fondation des remblais (gare Ain Oussera)/Buse	2.8	Pi	0.1-0.6 0.6-1.6 1.6-2.4 2.4-2.8	1.0 6.0-20.5 15.0-20.0 21-30.0
304d	139+760	Fondation structure de protection de gazoduc	0.8	Pi	0.1-0.8	9.0-30.0
PD 109	140+260	Fondation de remblai	1.0	Pi	0.1-1.0	8.0-70.0
304e	140+655	Fondation structure de protection de gazoduc	2.0	Pi	0.1-0.8 0.8-2.0	3.5-2.5 6.0-30.0

3.4. Sondages mécaniques :

Les sondages disponibles ont été effectués à rotation, avec une récupération continue du témoin, en réalisant des prises d'échantillons pour leur analyse postérieure en laboratoire.

Tableau VI-3.résume résultats l'essai sondage mécanique [6].

Sondage	Pk	ZI	ZF	GROUP LITHOLOGIQUE	CLASS USCS	CLASS. UIC	DISTANCE A AXE
102	137+110	4.00	5.00	PI	Roche	QS1	178
		12.00	13.00	PI	Roche	QS1	
103	137+364	4.8	5.10	PI	SC	QS0	56
		10.40	10.80	PI	CH	QS1	
106	140+310	2.40	4.20	PI	GC	QS0	59
		8.60	8.80	PI	CH	QS1	
107	142+890	4.40	4.70	PI	CL	QS1	0
		11.60	15.00	PI	SM	QS0	

Les sondages mécaniques ont pour objectif de connaître les caractéristiques géologiques et géotechniques (fournir des informations complémentaires) :

❖ **Dans les déblais de grandes hauteurs :**

- Pour se renseigner sur les caractéristiques des matériaux excavés et leur réutilisation.
- Évaluer l'excitabilité et rippabilité des terrains en conjugaison avec les données des profils sismiques.
- Fournir ainsi tous les éléments nécessaires pour le calcul définitif des inclinaisons des talus.

❖ **Dans la construction de grands remblais :**

- L'obtention de données géotechniques qui nous permettent d'analyser leur fondation et stabilité et de définir dans la fondation les dispositifs et les systèmes de drainage de type dalot.

3.5. Essai laboratoire :

Sur les échantillons provenant des puits et sondage, ont été réalisés des essais d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg, la teneur en eau)

3.5.1. Les essais d'identifications physiques :

❖ **Analyse granulométrique :** cet essai a pour but déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol, elle s'effectue par tamisage pour les grains ≥80µm, ou par sédimentation si les grains < 80µm.

❖ **Limites d'Atterberg :** donne une idée à partir de limite de liquidité (**ω**l) et limite de plasticité (**ω**l) sur l'indice de plasticité **(IP)**, les sols qui ont faible **IP** sont très sensibles à une faible de variation de la teneur en eau :

$$Ip = \omega l - \omega p$$

❖ **Teneurs en eau :** c'est un paramètre important, signifie l'état hydraulique du sol en place, ceci permet de prendre des actions correctives sur le sol lors des travaux de terrassement par la formule suivante :

$$\omega\ (\%) = 100 * \frac{mh - ms}{ms}$$

Avec :

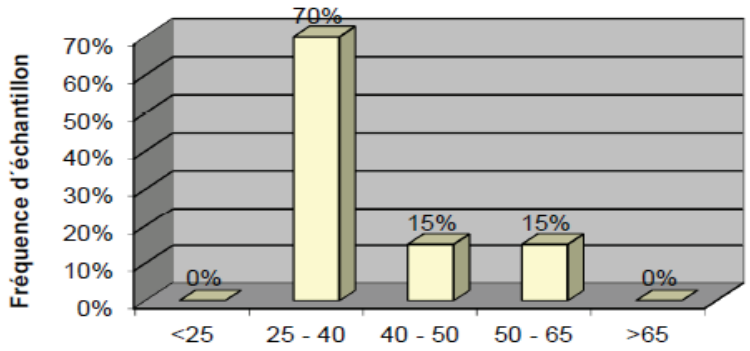
- **ω :** la teneur en eau en %.
- $\mathbf{m_h}$ **:** la masse sèche du matériau.
- $\mathbf{m_h}$ **:** la masse humide du matériau.

Tableau VI-4.résultats les essais physiques [6].

Sandage	PK	Lithologie	ZI	ZF	Granulométrie (NF P)			Plasticité		
					≤ 5mm	≤ 2mm	≤ 0.08mm	LL	LP	IP
S-102	137+050	Calcaire gréseuse	4	5						
		Calcaire gréseuse	12	13						
S-103	137+313	Argile limoneuse	2.5	3	100	99	35	25.8	16.0	9.8
		Argile limoneuse	4.8	5	100	100	100	77.3	28.5	48.8
		Argile limoneuse	10.4	10.8						
S-106	140+260	Tuf calcaire	2.4	4.2	61	52	26	35.2	23.4	11.8
		Tuf calcaire	8.6	8.8	100	100	97	56.9	22.3	34.6
S-107	142+830	Tuf calcaire	4.4	4.7	98	97	56	37.5	15.3	22.2
		Sable et tuf	11.6	15	95	93	22	NM	NM	NM

Sandage	PK	État naturel		
		W %	Densité sèche (g/m^3)	γ t/m^3
S-102	137+050	4.3	2.27	2.37
		0.1	2.48	2.50
S-103	137+313			
		1.48	1.48	1.93
		1.75	1.75	2.11
S-107	142+830	1.67	1.67	1.89
		1.86	1.84	2.12

En ce qui concerne la limite de la liquidité (LL) les valeurs sont d'une façon générale élevée, car bien que 70% des échantillons présentent des valeurs entre 25% et 40%, est significative au 15% d'échantillons avec LL supérieur a 40%, existant même 15% des échantillons avec LL supérieur à 50%, tel qu'il est possible d'observer dans sa représentation dans la carte de plasticité voire cette figure :



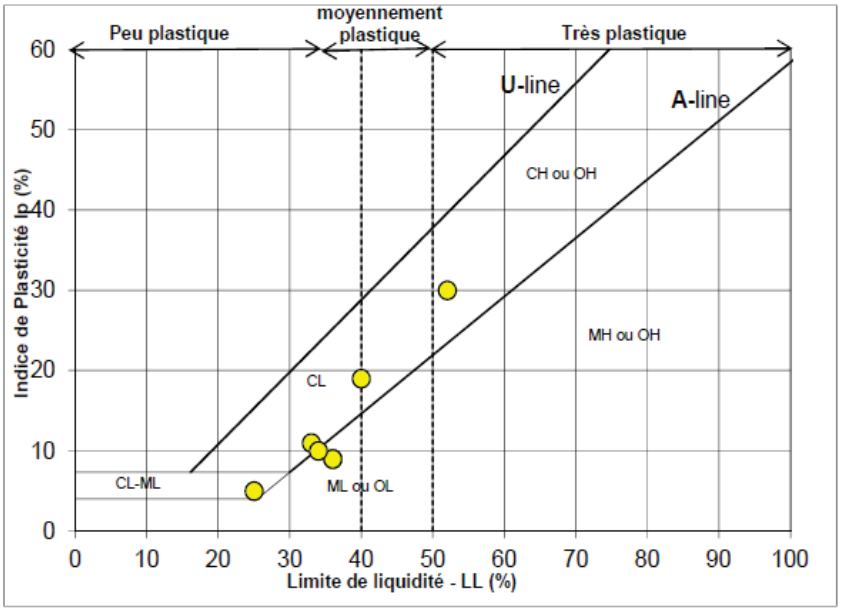


Figure VI-4.Représentation dans la carte de plasticité des sols (lot 02) [6].

Quant aux valeurs des essais de l'équivalent de sable (EA), elles varient entre 1,01 et 1,13, correspondant à des valeurs assez réduites qui reflètent clairement le pourcentage assez élevé des fines qui existent dans ces sols.

Quant aux essais de bleu de méthylène (VBS) les valeurs obtenues entre les 1,90 et 2,01 sont clairement en conjugaison avec les valeurs obtenues dans les essais des limites d'Atterberg, indiquant qu'il s'agit de sols avec plasticité moyenne, peu expansifs.

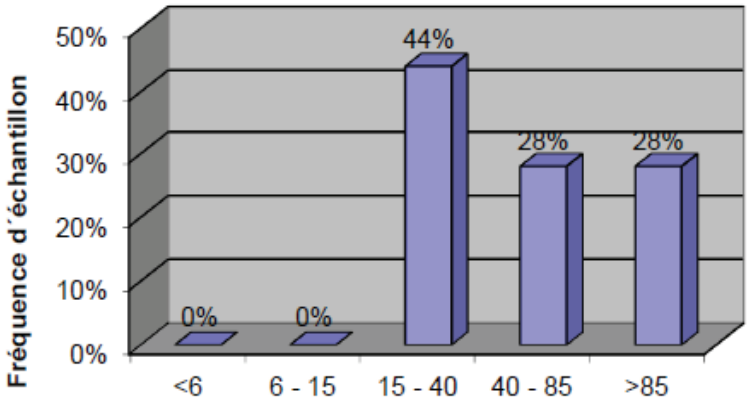


Figure VI-5.Représentation des résultats des valeurs du % de fins (<200) des échantillons (lot 02) [6].

Du point de vue de la plasticité, 58% des échantillons présentent des valeurs entre 6 et 10, environ 42% des échantillons présentent un IP supérieur à 10%, tandis que 21% possèdent même un indice de plasticité supérieur à 20, c'est-à-dire présentant une plasticité significative.

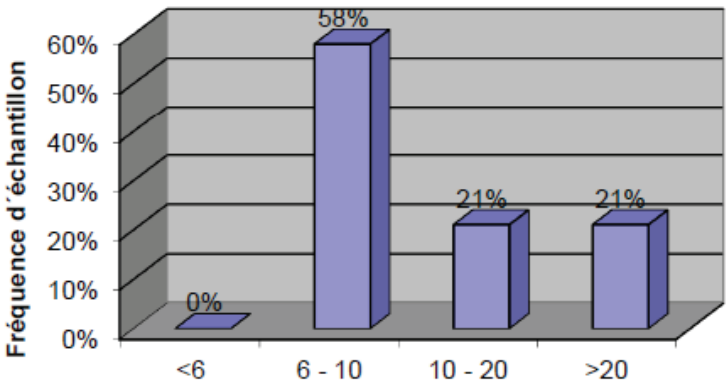


Figure VI-6.Représentation des résultats des valeurs de l'indice de plasticité (IP) des échantillons (lot 02) [6].

3.6. Classification de sol :

3.6.1. En ce qui concerne la classification selon le code UIC 719R :

Ayant en attention leur état hydrique les sols du complexe pliocène (Pi) s'encadrent dans leur plupart (62.5%) dans la classe QS1, c'est-à-dire des sols ≪médiocres≫, acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. 37.5% des échantillons tests se classifient comme des sols de la classe QS0, correspondant à des sols impropres, qui devront être rejetés et conduits à dépôt.

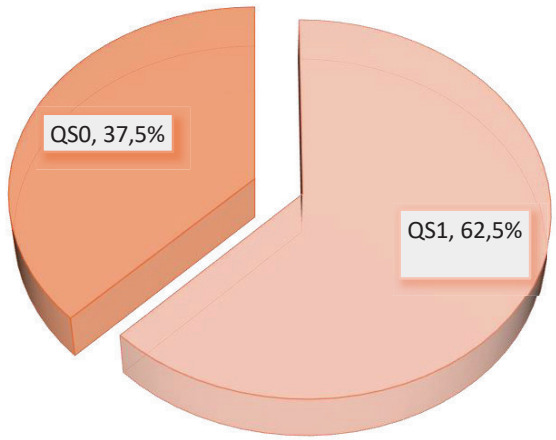


Figure VI-7.Représentation du % des classes de la Classification UIC 719R des échantillons du complexe du Pliocène Pi.

3.6.2. Selon la Classification unifiée (USCS) :

Sont les sols du groupe GC (graviers argileux), CL (argiles de baisse a moyenne plasticité, parfois sableuse ou limoneuse) et SM (sables assez limoneux) et SC (sable argileux) avec12.5% dans chaque groupe, et pour roche calcaire et CH (argile de haute plasticité) avec 25% de chaque groupe, voir **Annexe 5**.

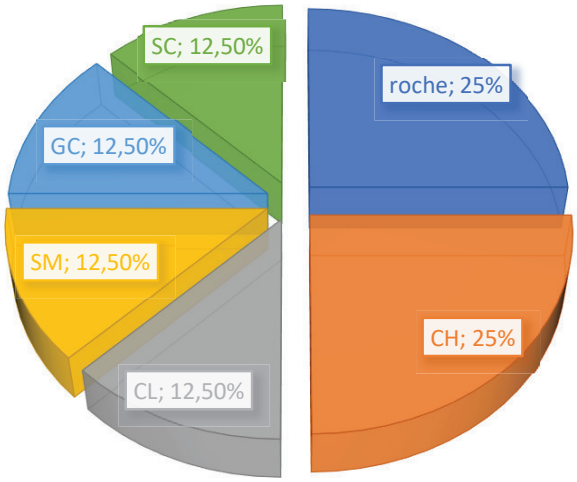


Figure VI-8. Représentation du % des groupes de la Classification Unifiée (USCS) des échantillons du complexe du Pliocène Pi

Chapitre VII. Étude hydraulique et assainissement

1. Introduction :

La voie ferrée est un ouvrage qui se développe linéairement sur le terrain, et qui apporte par ses déblais et remblais des modifications qui perturbent les écoulements d'eau naturels préexistants provenant des précipitations atmosphériques ainsi que des affleurements d'eaux souterraines. D'autre part, la protection de la plateforme nécessite un bon drainage et une évacuation correcte des eaux pluviales de manière à empêcher la submersion et éviter toute stagnation des eaux de ruissellement dans les points bas après averses.

2. Hydrologique de la zone :

2.1. Présentation générale :

La région est située au centre -Nord de l'Algérie. Le tracé de la ligne de chemin de fer Boughzoul-Djelfa PK 122+000 au PK 142+000 (Lot 2) traverse le long de son parcours de Nord au Sud, les sous bassins hydrauliques voir le **tableauVII-1** :

- Sous bassin versant de l'oued Cheliff (BV 01).
- Sous bassin versant de l'oued Zahrez (BV 17).

Tableau VII-1.superficie sous bassin versant [12].

Bassin versant	Superficie (Km^2)
Cheliff	43 750
Zahrez	9 102

Le régime hydrologique de la région de l'étude est caractérisé par une pluviométrie faible et irrégulière au cours de l'année. Les écoulements des oueds sont temporaires. Les oueds sont secs la plus grande partie de l'année, mais ils peuvent générer des crues violentes et brèves causées par des averses de pluie orageuses et intenses.

Objectifs de l'étude hydrologique des bassins versants des oueds :

L'estimation des débits de pointes de crues pour différentes périodes de retour (10, 20, 50,100 ans), nécessaires au dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Période de retour pour dimension les ouvrage hydraulique 100 ans

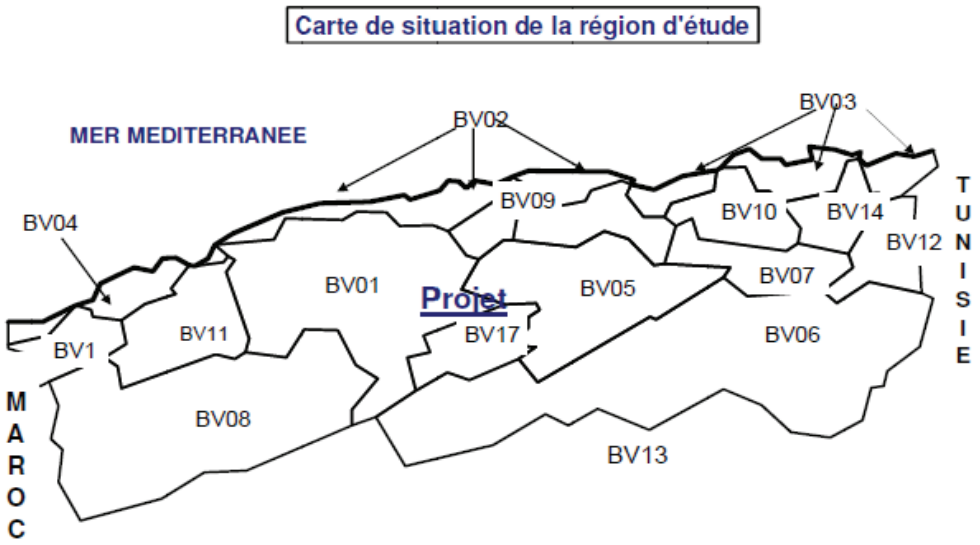


Figure VII-1.carte de situation de la région d'étude [13].

2.2. Le climat :

Les conditions climatiques du bassin s'expliquent par sa situation géographique, le caractère de circulation atmosphérique, et par le relief de son territoire. La caractérisation du climat est établie en fonction des observations fournies par le réseau de mesures pluviométriques, hydrométriques et climatologiques installé au sein du bassin.

- **Étude de la température :**

Les températures moyennes mensuelles des six stations météorologiques implantées sur le bassin Cheliff amont Boughzoul sont illustrées sur la **figure (VII-2) :**

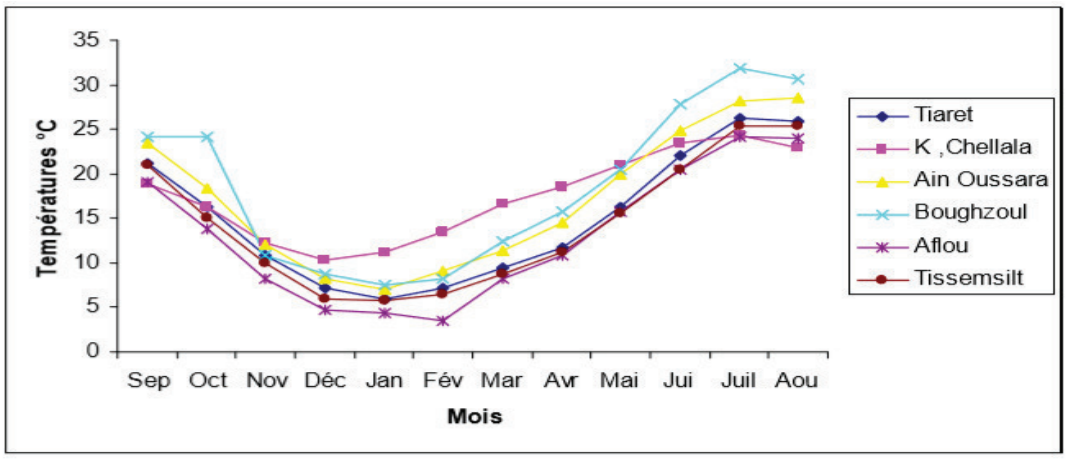


Figure VII-2.Températures moyennes mensuelles aux différentes stations [12].

- **Classification du climat de la région :**

La région d'étude est caractérisée par des conditions climatiques qui seront précisées, en utilisant plusieurs méthodes : L'indice d'aridité de de Martonne et le diagramme L. Emberger.

On doit utiliser la méthode de : le diagramme L. Emberger voire la **figure VII-3.**

Pour préciser le climat de la région nous allons utiliser le climatogramme de L.Emberger sur lequel nous avons reporté les données des stations choisies, avec en abscisse la moyenne des températures minimales de la saison froide (en °C), et en ordonnée Q2, donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Après calcul nous obtenons les résultats suivants

- P : Précipitation annuelle en mm
- M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimé en (°k)

⟹ M (° K) = 307.4

- m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimé en (°k)

⟹ m (° K) = 274.9

- P : Précipitation annuelle en mm ⟹ P = 291.6mm.
- Q2: quotient pluviométrique ⟹ Q2 = 30.81

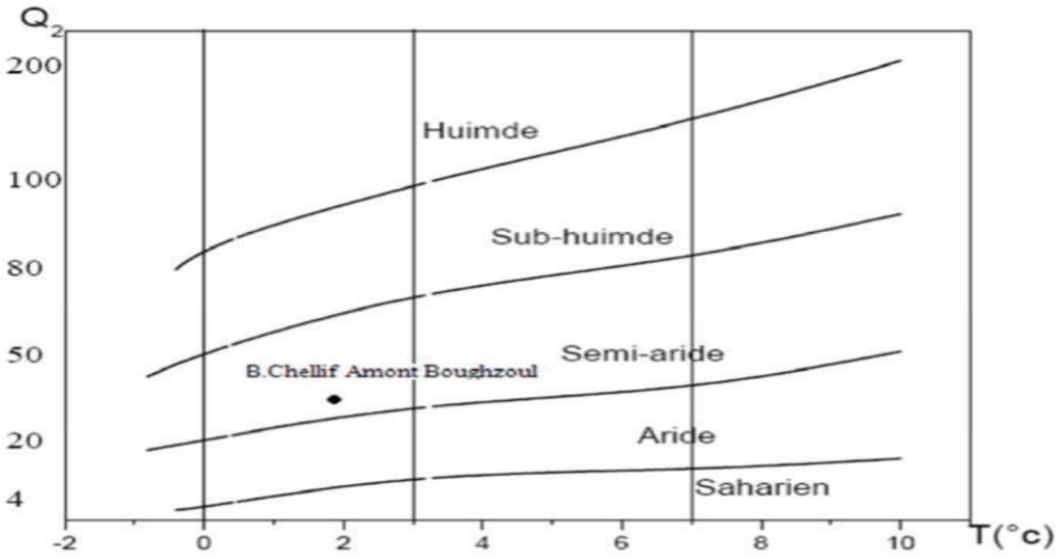


Figure VII-3.Climatogramme de L. Emberger [12].

- **Conclusion :**

Le rapport de ces données sur le climatogramme de L. Emberger, nous permet de dire que la zone d'étude se situe dans la zone climatique semi-aride à hiver frais.

2.3. Précipitation :

Les précipitations constituent l'unique source des écoulements d'eau dans les bassins versants, elles sont exprimées généralement en hauteur de précipitation (mm). Et si on rapporte cette hauteur à l'unité de temps, il s'agit d'une intensité de précipitation (mm/h). Tel que : 1 mm = 1 L / m².

L'exploitation des données climatiques enregistrées dans les stations de mesures permettra de caractériser les conditions climatiques de la zone d'étude. Des relevés climatiques sur différentes périodes d'observations sont enregistrés au niveau des stations.

- **Précipitation journalière :**

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresses aux pluies journalières maximales annuelles, qui s'ajustent à une loi de Gumbel en Algérie.

Tableau VII-2.Tableau pluies maximales journalières (mm) [13].

Période de retour-T (ans)	Fréquence	Ain Ousseera (ANRH-01 12 05)
10	0.9	48.27
20	0.95	55.45
50	0.98	64.74
100	0.99	71.70

Remarque : On s'intéresse dans nos calculs à celle associée à la période de retour centennale

$Pj_{/100}$ =71.70 m.

2.4. Caractéristiques morphométriques du bassin versant :

Caractéristiques morphométriques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Il est donc intéressant de quantifier ces paramètres par des termes simples qui permettront la schématisation du sous bassin versant voir la (figure VII-4) et **(tableau VII-3).**

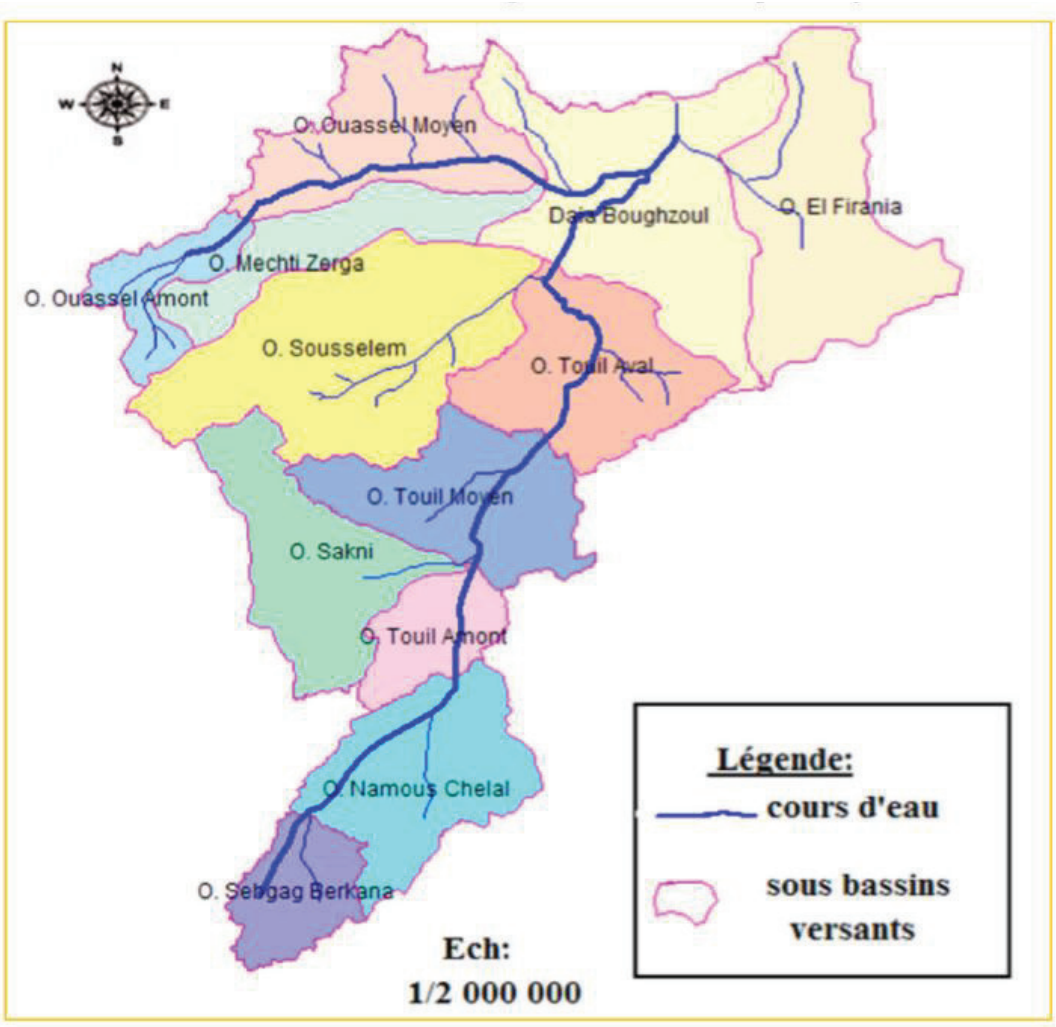


Figure VII-4.carte des sous bassin versants du bassin Cheliff amont Boughzou [12].

Tableau VII-3.caractéristiques des bassins versants et cours d'eau [13].

PK	N° du BV	Bassins versants						Cours d'eau principal	
		S [Km^2]	P [km]	Altitude [m]		H [m] moyenne	Indice de compacité	L [km]	J [m/m]
				Hmax	Hmin				
136+350	BV19C	0.13	2.17	711	680	696	0.02	0.50	0.040
137+550	BV20	11.30	17.05	745	680	713	0.77	7.68	0.008
137+808	BV20A	0.11	1.55	712	690	701	0.02	0.43	0.047
138+900	BV21	1.23	4.92	721	699	710	0.16	1.26	0.010
139+575	BV22	3.14	7.97	744	701	723	0.31	3.30	0.012
141+500	BV23	3.31	7.64	753	715	734	0.34	2.25	0.012

2.5. Temps de concentration [tc]:

C'est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol de descendre du sommet de bassin versant jusqu'à l'exutoire. Calculé par la formule de Temez :

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{0.25}}\right)^{0.76}$$

- L : longueur de l'oued principal [km].
- J : pente brute de l'oued principal [m/m].

2.6. Estimation de débits d'apport :

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 qui représente un exutoire d'une zone interne aux sous bassins.

Le débit des eaux pluviales est donné par l'expression suivante :

$$Q_a = K.C.I.A$$

Avec :

- **K=0.278 :** Coefficient qui permet de convertir les (mm/h) en (l/s).
- **Q :** Débit des eaux pluviales (m^3/s).
- **I :** Intensité maximale des précipitations (mm /h).
- **A** : Aire d'apport en (Km^2).
- **C :** Coefficient de ruissellement.

2.7. Intensité de la pluie [I] :

- Le calcul de l'intensité de la pluie pour une certaine durée et période de retour, est obtenu à partir de l'expression suivante (formule de Montana) :

$$I = at^b$$

Tableau VII-4.Paramètre de Montana a et b des courbes IDF pour la région de l'étude [13].

Période de retour -T (ans)	$I = at^b$	
	a	**b**
10	727.37	-0.810
20	835.53	-0.810
50	975.54	-0.810
100	1080.47	-0.810

2.8. Coefficient de ruissellement [C] :

Le coefficient de ruissellement signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité total des eaux courantes.sa valeur adoptée de notre projet associé à la période de retour centennal est : C = 0.3

Tableau VII-5.Résultats débit d'apport.

PK	N° du BV	t_c [h]	I [mm/h]	$Q_{a\ max}$ [m^3/s]
136+350	BV19C	0.327	96.945	1.331
137+550	BV20	3.535	14.097	16.828
137+808	BV20A	0.282	109.297	1.270
138+900	BV21	0.858	44.379	5.766
139+575	BV22	1.722	25.242	8.373
141+500	BV23	1.287	31.956	11.174

3. Hydraulique de la zone :

Le dimensionnent des ouvrages hydrauliques a eu pour objectif de ne pas rendre significativement plus grave les conditions de ruissellement par rapport aux conditions naturelles. Dimensionnement de ces ouvrages à une durée de pluie (t) en minute et période de retour de 10 ans pour les fossés et 100 ans pour les ouvrages hydraulique transversaux (dalots, buses, pont)

3.1. Débits de saturation :

Calculés par la formule de Manning-Strickler sur un écoulement en régime uniforme

$Q_s = V.\ S_m$ tel que :

$$V = K_s . R_h^{2/3} . I^{1/2}$$

- V : vitesse d'écoulement d'eau (m/s).
- S_m : section mouillée de l'ouvrage (m^2)
- K_s : coefficient de rugosité dépend de la nature des parois internes de l'ouvrage (K = 70 tous les ouvrages hydrauliques sont conçus en béton armé).
- I : pente de pose de l'ouvrage (m/m).
- R_h: rayon hydraulique (m). [S_m / P_m].

3.2. dimensionnements des dalots:

Ouvrage de sections rectangulaires ou carrées, disposés sur le tracé au PK 137+550 (BV 20), identités par la largeur (b) et hauteur (h). On calcule par itération les dimensions du dalot en utilisant la formule Manning-Strickler

On a: $$Q_s = K_s . R_h^{2/3} . S_m . I^{1/2}$$

- La surface mouillée : S_m= h.b
- Le périmètre mouillé : P_m= b+2h.
- Le rayon hydraulique : $\frac{h.b}{b+2h}$
- i = 0.005

A la saturation : $Q_{max}= Q_s = K_s . \left[\frac{h.b}{b+2h}\right]^{2/3} . h.b . I^{1/2}$

La hauteur H du dalot est calculée comme suit : $H = \left[\frac{Qa}{K\times\sqrt{I}}\right]^{3/5} \times (2\times h+B)^{2/5} \times \frac{1}{B}$

On propose un dalot carré avec une seule cellule : b=h donc : $\frac{Qa}{K\times\sqrt{I}} = 3.35$.

Et Qa = 16.83 m^3/s

Tableau VII-6.calcule des dimensions des dalots par itération.

b (m)	h (m)	S_m= b.h	P_m=b+2h	R_h (m)	$S_m.R_h$
1.5	1.5	2.25	4.5	0.5	1.42
1.75	1.75	3.06	5.25	0.58	2.13
2	2	4	6	0.67	3.06
2.5	2.5	6.25	7.5	0.83	5.52

Après les calculs itératifs, les valeurs retenues pour section (dalot) sont :

- h = 2.5 m
- b = 2.5 m

3.3. Dimensionnements des buses :

Ouvrages de section circulaire, disposés sous le tracé, identifié par le diamètre (Ø)

Dans notre projet en béton. On calcule les dimensions de la buse de Manning-Strickler

On a: $$Q_s = K_s . R_h^{2/3} . S_m . I^{1/2}$$

Avec :

- $S_m = \pi . \frac{D^2}{4}$
- $R_h = \frac{D}{4}$

A la saturation : $$Q_{max} = Q_s = K_s . R_h^{2/3} . S_m . I^{1/2}$$

$$D'où : \quad Qa = k_s . \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} . \pi . \frac{D^2}{4} . I^{1/2}$$

$$\Rightarrow \quad D = \left(\frac{Qa \times 4^{5/3}}{\pi \times K\sqrt{I}}\right)^{8/3}$$

Tableau VII-7.Résultats des calculs des dimensions des buses.

BV	Qa (m^3/s)	$D_{calculé}$	$D_{commercial}$	S_m (m^2)	P_m(m)	R_h	Q_{ps}(m^3/s)
BV19C	1.33	0.831	1	0.785	3.140	0.250	2.18
BV20A	1.27	0.816	1	0.785	3.140	0.250	2.18
BV21	5.77	1.440	1.5	1.766	4.710	0.375	6.42
BV22	8.37	1.656	1.8	2.543	5.652	0.450	10.45
BV23	11.17	1.845	2	3.140	6.280	0.500	13.85

3.4. Vérification conditions d'auto curage :

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

- V > 0.6 m/s pour : Q = 0.1 Qps.
- V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps

.

Tableau VII-8.résultats de vérification auto curage des buses et dalot.

PK	Ouvrages prévus	Q_a (m^3/s)	Q_{ps} (m^3/s)	V_{ps} (m/s)	$R_q=Qa/Q_s$	$R_h=h/Ø$ <0.8	Vérification1 $Qa=0.1Q_s$ V > 0.6 m/s	Vérification2 $Qa=0.01Q_s$ V > 0.3 m/s
136+350	Buse	1.332	2.17	2.764	0.614	0.57	1.76	0.87
137+550	Dalot	16.83	27.32	4.37	0.616	1.42	2.79	1.38
137+808	Buse	1.268	2.17	2.764	0.584	0.55	1.76	0.87
139+900	Buse	5.763	6.398	3.622	0.901	0.74	2.31	1.14
139+575	Buse	8.365	10.404	4.090	0.804	0.68	2.61	1.29
141+500	Buse	11.16	13.779	4.388	0.810	0.68	2.80	1.38

3.5. Dimensionnement des fossés :

Ils assurent la collecte et l'évacuation des ruissellements superficiels générés par la plateforme ferroviaire, les bermes et les talus vers les exutoires naturels ou les ouvrages d'assainissement transversaux, ceci est en fonction des pentes du fossé et la nature des matériaux du sol support.

La capacité hydraulique (débit de saturation) de ces fossés est calculée en utilisant la formule de « Manning Strickler » sur un écoulement à surface libre :

$$Qs = Ks.Rh^{2/3}.Sm.\ I^{1/2}$$

- La surface mouillée : $Sm = (b+z.h).h$
- Le périmètre mouillé $Pm = b+2h.\sqrt{1+z^2}$
- Le rayon hydraulique : $Rh=Sm/P$ avec :
- Z la pente des berges.

B	h	z	$S_m(m^2)$	$P_m(m)$	R_h	K_s	I(m/m)	$Q_s(m^3/s)$
0.6	0.6	1.5	0.90	2.76	0.33	65	0.02	3.951

Le choix de type du fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus : Qa= Qpf + Qb + Qt.

Tableau VII-9.dimensionnement fossé cas déblai et remblai.

		Cas remblai	Cas déblai
		Le cas plus défavorable : Longueur=3275 m H_{talus}= 8 m Berme =0.7 m Largeur de la plateforme= 6.8 m	**Le cas plus défavorable :** Longueur=1719 m H_{talus}= 16 m Berme = 0.7 m Largeur de la plateforme= 6.8 m
Plateforme	**C_r**	0.7	0.7
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.02227	0.011684
	Tc(h)	0.09476	0.068639
	I (mm/h)	177.622	230.136
	Q_{pf} (m^3/s)	**0.759**	**0.523**
Les bermes	**C_r**	0.5	0.5
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.00229	0.001203
	Tc(h)	0.03039	0.022025
	I (mm/h)	447.137	580.351
	Q_B (m^3/s)	**0.142**	**0.097**
Les talus	**C_r**	0.5	0.5
	P(m/m)	1/2	3/2
	A(Km^2)	0.04723	0.0614711
	Tc(h)	0.03903	0.038564
	I (mm/h)	365.106	365.33
	Q_T (m^3/s)	**2.395**	**3.119**
Q_a (m^3/s) (totale)		**$Q_{pf}+Q_B+Q_T$=3.296**	**$Q_{pf}+Q_B+Q_T$=3.739**

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Qa < Qs$$

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet sont : (tracé nous prenons un fossé de : h=0.6m, b=0.6m).

Chapitre VIII.Terrassement et structure d'Assise

1. Introduction :

Avant l'implantation d'un projet ferroviaire, il faut d'abord faire une succession des mouvements de terres et préparation du site pour mettre en œuvre les différentes couches d'assise qui supportent la voie.

2. Déblais :

Conformément à l'implantation du tracé, on vérifie que dans ce tronçons la plus part des excavation prévues présentent des hauteurs assez petites (inférieures ou égales à 3m), étant obtenue seulement dans deux situations, une hauteur maximale à l'axe de 6m et 10m..

2.1. Méthodes d´excavation :

Les caractéristiques d´excavation des matériaux sont étroitement liées à :

a) Pour les formations essentiellement rocheuses, elles dépendent :
- Résistance à la compression simple des matériels.
- Valeur du RQD obtenu dans les sondages mécaniques.

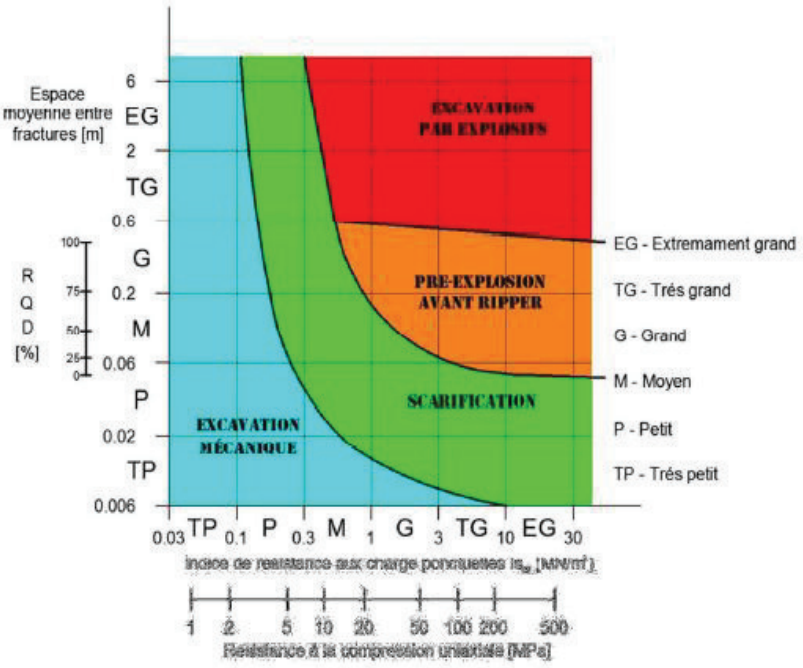


Figure VIII-1.Classification du mode d´excavation des massifs rocheux (Franklin et al, 1971) [6].

b) Pour la formation Pi, qui présente des valeurs de la résistance à la compression simple très faible, elles dépendent :
- Des vitesses de propagation des ondes sismiques obtenues dans les profils sismiques de réfraction (PS)

2.2. Classification des matériaux en vue de leurs réutilisations :

Dans l'analyse et définition, des pourcentages de réutilisation des matériaux excavés ont été considérés aussi ce qui est défini dans le guide technique du GTR -LCPC / SETRA qui définit aussi la classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme, qui outre les caractéristiques des sols eux-mêmes, on prend en considération l'état hydrique des matériaux, les conditions atmosphériques existantes pendant la construction des remblais et la hauteur des remblais ,voir **Annexe 6.**

2.3. Géométries des talus de déblai :

La définition des inclinaisons des talus d'excavation a été réalisée ayant en considération les hauteurs prévues pour eux et les caractéristiques lithologiques, structurales et géotechniques des terrains à excaver.

Dans nos tronçons on a des terrains avec comportement essentiellement de sols ou de roche très modifiée et fracturée, a été considéré l'adoption d'une géométrie générale de 1/1,5 (V/H) garantira la stabilité des talus d'excavation face à leurs hauteurs prévues.pour la détermination les caractéristique géotechnique on a basé sur méthodologie Hoek & Bray.

On utilise software Slide 6.0, basé sur la méthode de Bishop, du facteur de sécurité minimum associé à des mécanismes de rupture circulaires. Les facteurs de sécurité minimale supérieurs à 1.5 à long terme et 1.3 court terme, 1.1 pour séisme, voir **Annexe 7.**

2.4. Revêtement et drainage des talus de déblai

Le revêtement avec "terre végétale" et espèces végétales adéquates immédiatement après l'ouverture des excavations avec l'objectif d'éviter l'effet érosif du ruissellement superficiel

En ce qui concerne le drainage superficiel des talus d'excavation, il est prévu comme méthodologie générale l'installation de fossés de drainage dans la crête des talus et dans les banquettes, pour réduire le ruissellement sur les talus.

3. Remblais

Les remblais qu'il faut construire présentent des hauteurs peu significatives, avec une exception du remblai de grande hauteur qui sera construit pour la future station d'Ain Oussera, qui atteint une hauteur maximale à l'axe d'environ 15m.

3.1. Les fondations de remblai :

Les terrains devront posséder de bonnes caractéristiques, en ce qui concerne la résistance et déformabilité, pour la fondation des remblais, n'étant pas prévus des problèmes significatifs de stabilité ou de tassement pour les hauteurs de remblai prévus.

Pour le remblai de 15 m est construit sur un terrain peu déformable donc on doit déterminer le tassement de ce remblai :

- Le tassement de la fondation avec la formule de Boussinesque est estimé de 7.5 cm Charge uniforme de 290 kPa sur une bande 25m avec une largeur infinie.
- Tassement due au poids propre en considération les caractéristiques des matériaux de construction et la hauteur maximale de 15,0m ayant pour base l'abaque d'Oteo : estimé à 6 cm, donc un tassement total de 13.5cm.

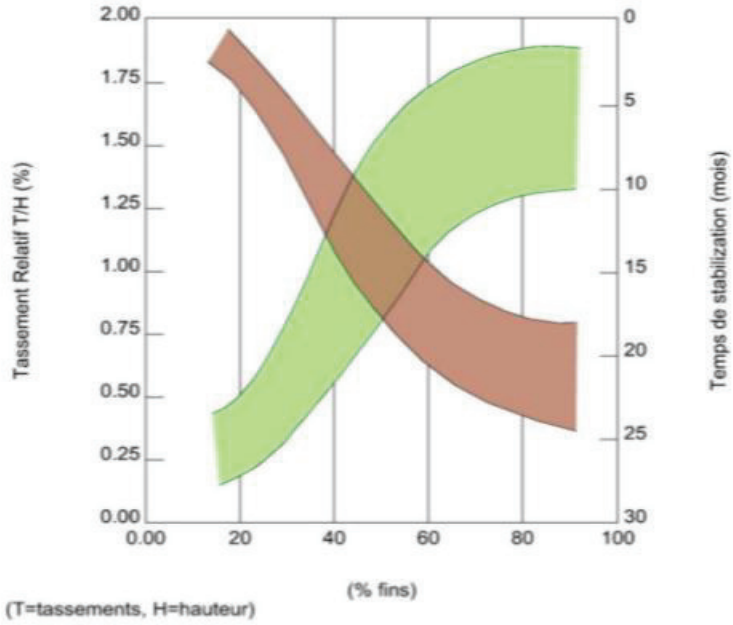


Figure VIII-2.Abaque pour détermination des tassements résultant du poids propre des remblais (1998) [6].

Pour réduire le tassement pour une valeur admissible dans des lignes de ce type, ainsi que pour augmenter la stabilité de la fondation et le remblai lui-même, pendant la construction, est prévu :

- L'assainissement des dépôts alluvionnaires de Sebkha (Qsbk) dans une épaisseur de 1,80m (après le décapage de 0,50m).
- La substitution par remblai d'enrochement dûment compacté.

Considérant cette solution et faisant les calculs de nouveau on trouve une valeur de 9,1 cm, cette valeur étant considérée admissible.

3.2. Géométrie et stabilité des talus de remblais :

En ce qui concerne les pentes des talus de remblai, ayant en considération les hauteurs prévues, la nature des matériaux à réutiliser et les conditions prévisibles de fondation des remblais, a été adopté une géométrie générale avec pente de 1/2 (V/H) [16] .

4. La structure d'assisse :

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

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel).

- Des caractéristiques globales de la plateforme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site,
- Des conditions climatiques du site,
- Du trafic (tonnage, charges, vitesses),
- De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses…).

4.1. Ballast :

Les principales fonctions du ballast, avec élément structural de la ligne ferrée, sont les suivantes [17]:

- répartition et transmission uniforme à la plate-forme des charges transmises par les traverses
- Amortissement des tensions transmises par les trains au système rail et traverse.
- Atténuation de la circulation ferroviaire, correspondante à une implication dans le confort des passagers.
- Simplification des opérations d'entretien de la voie.
- Evacuation des eaux pluviales.

Caractéristique du ballast : le ballast utilisé pour la voie ferrée doit répondre à certaines exigences :

- ❖ Exigence de géométrie :
  - ✓ Classe granulaire du ballast
  - ✓ Grains fins
  - ✓ Fines
  - ✓ Forme des grains : Coefficient d'aplatissement, Coefficient de forme
  - ✓ Pierres longues
- ❖ Exigences physiques :
  - ✓ Résistance à la fragmentation : Coefficient Los Angeles, Résistance au choc,
  - ✓ Résistance à l'usure : Coefficient micro-Deval.
- ❖ Durabilité :
  - ✓ Résistance au gel/dégel
  - ✓ Masse volumique réelle
  - ✓ Coefficient d'absorption d'eau

4.2. Sous-couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche.

La sous-couche est constituée de plusieurs couches :

4.2.1. La couche sous-ballast :

Constituée de grave propre de tranche granulométrique 0/31.5, bien graduée avec une valeur de propreté ≤ 1 et un coefficient d'aplatissement A ≤ 25, compactée à 100% de l'Optimum Proctor modifié (OPM). Elle permet d'améliorer la portance du sol et la répartition des charges transmises ainsi que la protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.

4.2.2. La couche de fondation :

Constituée de grave compacté à 95% de l'optimum Proctor, d'une épaisseur minimale de 15 cm. Elle protège la plateforme contre l'action des engins lors de la construction de la voie et n'est généralement pas nécessaire pour des substrats rocheux ou les sols de bonne qualité.

4.2.3. La couche anti contaminante :

En sable propre et complété par une feuille géotextile, pour éviter la contamination de la sous-couche par les éléments fins de la plateforme.

4.2.4. Le rôle de sous couche :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises,
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires,
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast,
- Protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.

L'épaisseur et la nature de la sous-couche d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme,
- Des conditions climatiques du site,
- Des caractéristiques hydrologique et hydrogéologique du site.

La sous-couche ayant une pente transversalement en toit (4% de chaque côté), vers des dispositifs d'assainissement longitudinaux. Dans les zones de voie à fort dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche, pouvant aller jusqu'à 8%.

5. Couche de forme :

Elle est située sur la plate-forme dont la partie supérieure est appelée la couche de forme et qui est inclinée conformément à la sous-couche (4 % pour notre projet), 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 meilleure.
- **Située en déblai,** cette couche de forme est obtenue en général par le compactage du fond de feuille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants.

6. Dimensionnement de la couche d'assise :

6.1. Zonage de la fondation de la plateforme ferroviaire

La classe de sol prépondérante dans cette zone est de **classe QS1**

Selon UIC 719R sur la base de l'identification géotechnique et conditions hydrogéologiques et hydrologiques locaux, on peut désigner 4 classes de sol :

Qualité	Définition
QS1	Sol impropre.
QS2	Mauvais sols acceptables tel quel, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage, ces sols peuvent-être transformés en qualité meilleure par un traitement approprié (traitement au liant).
QS3	Sol moyen
QS4	Bon sol

6.2. Les classes de la portance de la plateforme [16]:

La portance d'une plate-forme dépend :

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

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

P3 : bonne plate – forme.

P2 : plateforme moyenne.

P1 : plate –forme mauvaise.

Selon les normes techniques (SNTF), le maitre d'ouvrage a exigé une plateforme de **classe P3.** Pour déterminer l'épaisseur de la couche de forme, on doit utiliser le tableau suivant (UIC 719 R page 34).

Tableau VIII-1.Déterminer la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34).

Classe de qualité du sol	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance	
		Qualité	Épaisseurs min e_f (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

6.3. Calculer l'épaisseur minimale de la couche d'assise :

Ces épaisseurs minimales calculées sont valables pour un espacement de traverses de 0.6 m et de la charge maximale d'essieu de 25 t (**UIC 719R p57**) :

En utilisant la formule [16] :

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

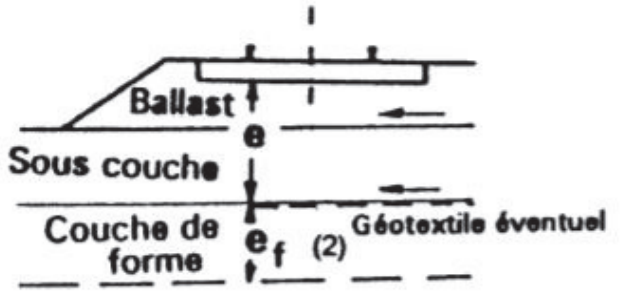


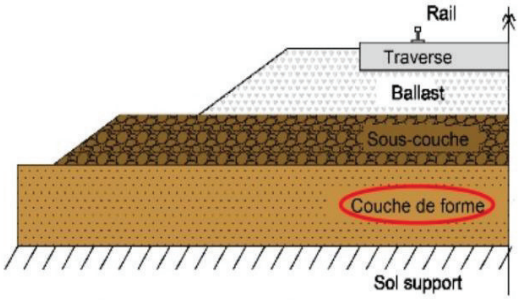
Tableau VIII-2. Dimensionnement de la couche de sous couche pour la pleine voie et les voies de la Gare de Ain Ouserra.

Paramètre	Valeur(m)	Description		Paramètre	En pleine voie	En Gare
E	**0.70**	P1				
	0.55	P2		**Ballast (m)**	0.30	0.30
	0.45	P3				
A	**0.00**	UIC1, 2, 3 et 4		**Travées - L**	2.60	2.25
	0.10	UIC5 et 6				
B	**0.00**	Travées en bois de longueur 2,6m		**E**	0.45	0.45
	+0.05	Travées en béton de longueur L (m)		**A**	0.00	0.00
				B	+0.05	0.13
C	**0.00**	Dimensionnement normal		**C**	0.00	0.00
	-0.10	Lorsque les conditions de travail sont difficiles dans les lignes existantes		**D**	0.1	0.05
				F	-0.05	-0.05
D	**0.00**	Charge maximale pour axe < 200 KN				
	0.05	Charge maximale pour axe < 225 K		**Épaisseur de e (m)**	**0.55**	**0.63**
	+0.10	Charge maximale pour axe < 250 KN				
				Épaisseur de sous couche (m)	0.25	0.33
F	**+0.05/0**	P1 / P2				
	-0.05	P3				

En pleine voie :

L'épaisseur des différentes couches est :

- Ballast: 30 cm.
- Sous-ballast: 25 cm.
- Couche de forme de type QS3 : 50 cm.
- Épaisseur totale : 105cm.



En Gare :

L'épaisseur des différentes couches est :

- Ballast: 30 cm,
- Sous-ballast: 33 cm,
- Couche de forme de type QS3 : 50 cm.
- Épaisseur totale : 113cm.

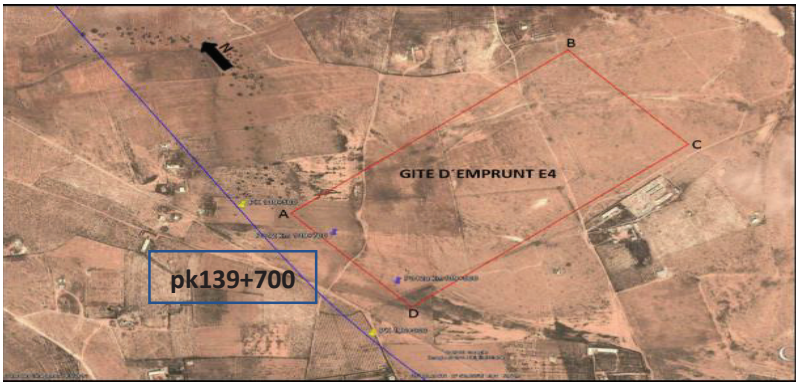
7. GITE D´EMPRUNT

L'étude de l'APD permet de trouver deux zones possibles pour le fourniture de matériaux (nommées E3 et E4). Pour la construction de remblai.

Pour notre projet on doit s'intéresser à la zone (**E4).**

Description de la zone de gite E4 (entre le pK 139+500 et 140+000)	
Puits de prospection exécutés	P312
Unité géologique :	Pi - Complexe Pliocène
Description du matériau du gite d´emprunt :	Gravier et cailloux de calcaire marneux avec un peu de Limon argileuse, blanchâtre (marne altérée / encroutement calcaire).
Surface du gite d´emprunt :	(320.000m^2)
Estimation de volume de matériaux pour une profondeur moyen de 2,5m :	(800.000m^3).

PLANTE DE LOCALISATION







:

Tableau VIII-3.résultats des essais de laboratoire réalisée [6] :

PUIT Nº (réf-. Échantillon)	Granulométrie (% qui passe sur le tamis)			Limites d´Atterberg (%)		ES	VBS	TEN (%)	Test Proctor		Indice CBR % (95% PM)
	# 10 (2mm)	# 40 (0,42mm)	# 200 (0,074mm)	LL	IP				Wopt (%)	γdmax (KN/m3	
P312	40	31	17	35	10	12.2	0.27	5,5	7,6	19,8	-

❖ Classification de sol

-Selon GTR (LCPC/ SETRA) : C1B5S.

-UIC 719R : QS2.

Conformément au code UIC 719R les sols testés son classe QS2, étant donc utilisables pour la construction des remblais pour ses parties inferieurs, corps et supérieures.

Chapitre IX. Aménagement et conception de la gare Ain Oussera

1. Introduction :

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses installations qui ont une double fonction, permettant l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandise. Ainsi que pour certaines elles assurent des fonctions de sécurité dans des trains.

2. Installations d'une gare voyageurs :

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 (BV) :** 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 :** ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

3. Installations d'une gare marchandises :

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

- Un BS (bâtiment de service) pour accomplir les formalités de l'acte commercial.
- Des cours de débord pour embarquement et débarquement des marchandises.
- Quais de débord.
- Halle de stockage.
- Parking pour stationnement des véhicules.

4. 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 de 3.57m. (C'est la distance minimale pour respecter le gabarit dynamique).

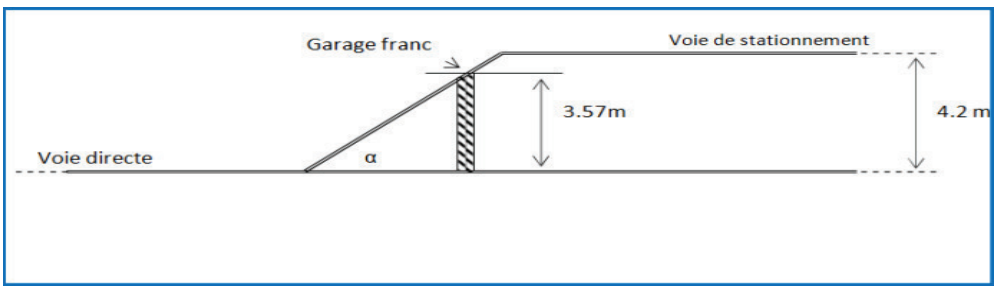


Figure IX-1.Garage franc [14]

5. 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.

La longueur minimale **LU** donnée par la norme **SNTF** est de 1200 m pour la voie principale et 800m pour la voie de service.

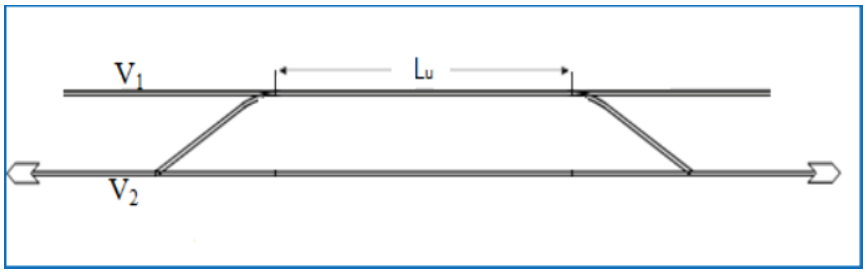


Figure IX-2. Longueur utile [14].

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

Dans le Tableau sont présentées les longueurs utiles pour les 18 lignes de la gare d'Ain Oussara

.

Tableau IX-1.Longueur utile des lignes

Ligne	Fonction	Du	Au	L_u
4G	Arrivé / départ trains voyageurs	GF-07	GF-28	1189
V2A	Maneuvre et dédoublement futur	H V2A	GF-04	124
V2	Croisement / doublement futur	GF-07	GF-28	1187
V2B	Maneuvre et dédoublement futur	GF-31	H V2B	31
V1	Ligne générale	GF-01	GF-36	1575
V1	Ligne générale	GF-03	GF-32	1395
3G	Arrivé / départ trains voyageurs	GF-05	GF-30	1412
3GA	Maneuvre	GF-35	H 3GA	179
V5A	Maneuvre	H V5A	GF-06	455
V5	Réception et départ marchandises	GF-11	GF-26	1045

V5B	Chargement et déchargement des conteneurs	GF-33	H V5B	285
V5C	Chargement et déchargement des conteneurs	GF-33	H V5C	285
V7	Réception et départ marchandises	GF-13	GF-24	955
V9	Réception et départ marchandises	GF-17	GF-22	865
V11	Réception et départ marchandises	GF-17	GF-22	865
V13	Chargement et déchargement	GF-15	H V13	810
V15	Chargement et déchargement	GF-19	H V15	175
V17	Chargement et déchargement	GF-21	H V17	250
V19	Chargement et déchargement	GF-21	H V19	250

6. Heurtoir :

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée , pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie



Figure IX-3.représente un heurtoir [1].

7. Conditions de conception des gares :

Les gares doivent répondre à un certain nombre de conditions :

- L'étude de bâtiment de voyageurs (B.V) doit être coordonnée avec l'intérieur du plan d'urbanisme.
- Il faut élaborer le plan de gare de sorte à maximaliser le traitement des besoins du transport des voyageurs et des marchandises, en tenant compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes, des plans d'urbanisme futurs.

- Le terrain doit disposer de l'espace nécessaire, mais également tenir compte d'éventuelles extensions futures de la ville.

8. Localisation de la gare :

La future gare d'Ain Oussara sera située au côté naissant d'Ain Oussara, entre le pK 137+409 et le Pk 139+554, dans une extension de 2145 mètres, le futur bâtiment de voyageurs étant situé au Pk 138+766. Du côté de la RN1, il se développe en palier (0%).

Elle a en total de 18 lignes comprendra les zones suivantes :

- **Zone A** : avec 4 lignes (lignes 4G, V2, V1 (Ligne générale) et 3G) pour service de voyageurs et passage/dépassements de trains sans arrêt.
- **Zone B** : avec 4 lignes (lignes V5, V7, V9 et V11) pour l'arrivée et départ de trains de marchandises.
- **Zone C** : avec 4 lignes (lignes V13, V15, V17 et V19) pour charger et décharger des marchandises.
- **Zone D** : avec 2 lignes (lignes V5B et V5C) pour charger et décharger des conteneurs.

Outre les lignes identifiées précédemment, cette gare comprend aussi 4 lignes de bout, plus exactement :

- **Ligne V5A**, du côté Nord / Naissant, pour des manœuvres entre la zone de charge (C) et la zone d'arrivée et départ des trains de marchandises (B);
- **Ligne V2A**, du côté Nord / Couchant, pour garder le matériel circulant. Cette ligne donnera une continuité à la future duplication ;
- **Ligne 3GA**, du côté Sud / Naissant, pour des manœuvres et garder le matériel circulant
- **Ligne V2B,** du côté Sud / Couchant pour garder le matériel circulant. Cette ligne donnera continuité à la future duplication.

9. Géométrie de tracer :

En termes généraux le tracé de la ligne principale se développe en droit, ainsi que les autres lignes qui sont parallèles à celle-ci. Pour permettre la liaison entre les différentes lignes, il a été nécessaire de placer 24 appareils de changement de voie dont leurs caractéristiques sont présentées en. (**Tableau IX-2**).

Ainsi que **12** courbes en plan sont présentés dans le (**Tableau IX-3**).

Tableau IX-2.Appareils de Changement de Voie.

N	LIGNE	Géom	Tangent	RAYON [m]	Déviation	$V_{MAX.}$ Vois Déviée	Type
AP01	**V1**	UIC	1/12	**500**	**G**	**65**	**60E1**
AP03	**V1**	UIC	1/12	**500**	**D**	**65**	**60E1**
AP04	**V2A**	UIC	1/12	**500**	**D**	**65**	**60E1**
AP05	**3G**	UIC	1/9	**300**	**G**	**50**	**60E1**
AP06	**V5A**	UIC	1/9	**300**	**D**	**50**	**60E1**
AP07	**V2A**	UIC	1/12	**500**	**G**	**65**	**60E1**
AP09	**V11**	UIC	1/9	**190**	**D**	**40**	**60E1**
AP11	**V5A**	UIC	1/9	**190**	**G**	**40**	**60E1**
AP13	**V11**	UIC	1/9	**190**	**G**	**40**	**60E1**
AP15	**V19**	UIC	1/7	**190**	**D**	**40**	**60E1**
AP17	**V11**	UIC	1/9	**190**	**D**	**40**	**60E1**
AP19	**V19**	UIC	1/7	**190**	**G**	**40**	**60E1**
AP21	**V19**	UIC	1/7	**190**	**D**	**40**	**60E1**
AP22	**V11**	UIC	1/9	**190**	**G**	**40**	**60E1**
AP24	**V11**	UIC	1/9	**190**	**G**	**40**	**60E1**
AP26	**V11**	UIC	1/9	**300**	**G**	**50**	**60E1**
AP28	**V2**	UIC	1/12	**500**	**D**	**65**	**60E1**
AP29	**V11**	UIC	1/9	**300**	**D**	**50**	**60E1**
AP30	**3G**	UIC	1/9	**300**	**G**	**50**	**60E1**
AP31	**V2**	UIC	1/12	**500**	**G**	**65**	**60E1**
AP32	**V1**	UIC	1/12	**500**	**D**	**65**	**60E1**
AP33	**V5B**	UIC	1/9	**300**	**D**	**50**	**60E1**
AP35	**3GA**	UIC	1/12	**500**	**D**	**65**	**60E1**
AP36	**V1**	UIC	1/12	**500**	**D**	**65**	**60E1**

Tableau IX-3.les courbes en plan

Courbe N°	R [m]	Longueur [m]	Devers [mm]	Vitesse Max km/h
C01	500	41,584	0	65
C02	500	41,571	0	65
C03	200	21,637	0	40
C04	200	15,389	0	40
C05	200	28,379	0	40
C06	200	22,131	0	040
C07	200	58,794	0	40
C08	200	30,415	0	40
C09	200	28,379	0	40
C10	200	22,131	0	40
C11	500	41,571	0	65
C12	300	33,199	0	50

9.1. Vitesses des lignes :

- La ligne générale (ligne V1) permet la vitesse maximale de 220 km/h (Trains de voyageurs).
- Les vitesses maximales à pratiquer dans les autres lignes sont conditionnées par les vitesses maximales à pratiquer dans les tronçons détournés des appareils de changement de voie qui lui sont associé, plus exactement :

Ligne V1	**220 km/h**
Lignes 3G, V2 et 4G	65 km/h
Ligne V5	50 km/h
Lignes V19, V13, V11, V9 et V7.	40 m/h

10. Profil en Long :

Toute la gare se développe en palier (i=0‰) et au quota de 701.81 m **(FSR).**

11. Caractéristique géométrique de la gare :

Selon les normes de la **SNTF**, les caractéristiques géométriques recommandées des gares sont comme suit :

❖ **Hauteur des quais :**

-Quai bas : h= 350mm.

-Quai mi- haute : h= 550mm.

-Quai haut : 760 < h <1000 mm

❖ **Largeur des quais :**

-Quai latéral : 6m.

-Quai intermédiaire : 8m.

❖ **L'entraxe des quais :**

- Entraxe nominale > 11.3

- Entraxe nominale > 9.3

❖ **L'entraxe entre les voies :**

Entraxe nominal : e = 5m.

-Entraxe minimale : e= 4.5m.

❖ **Distance de bords de quais par rapport l'axe de la voie** : **(Norme UIC 741)**

L (mm) = 1650 + S

$$\text{Avec:} \quad S = \frac{3750}{R} + \frac{I-1435}{2}$$

- R : étant rayon de la voie en m
- I : l'écartement de la voie mm

❖ **Pour notre projet nous prenons :**

Quais voyageurs :

- **Quai B** : a une longueur de 350 m et une largeur de 8 mètres, localisés entre 2 lignes V5 et 3G.
- **Quai A** : a une longueur de 350 m et une largeur de 6 mètres, localisé entre le bâtiment voyageur et la voie 4G voir la figure suivante

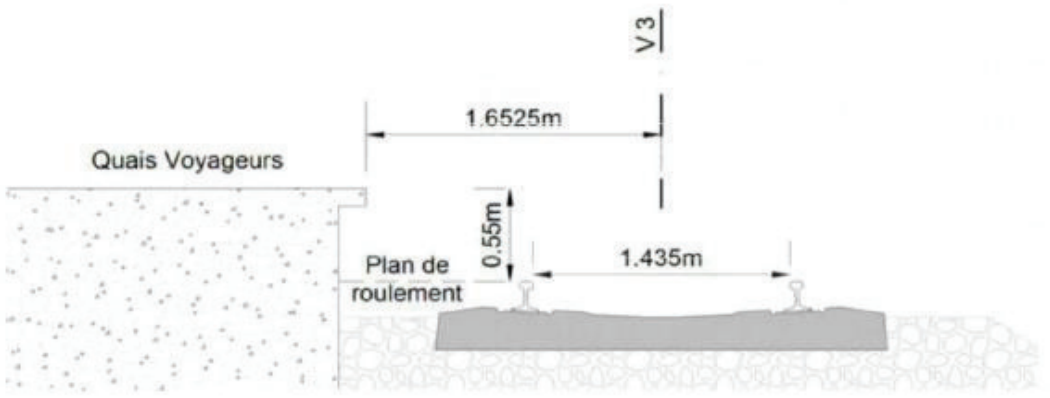


Figure IX-4.Gabarits – Quais Voyageurs [6].

Quais Marchandises :

- **Quai C** a une longueur de 135 m et une largeur de 10 mètres, localisé près de la ligne V15.
- **Quai D** a une longueur de 50 m et une largeur de 3,5 mètres, localisé près de la ligne V17 voir la figure suivante :

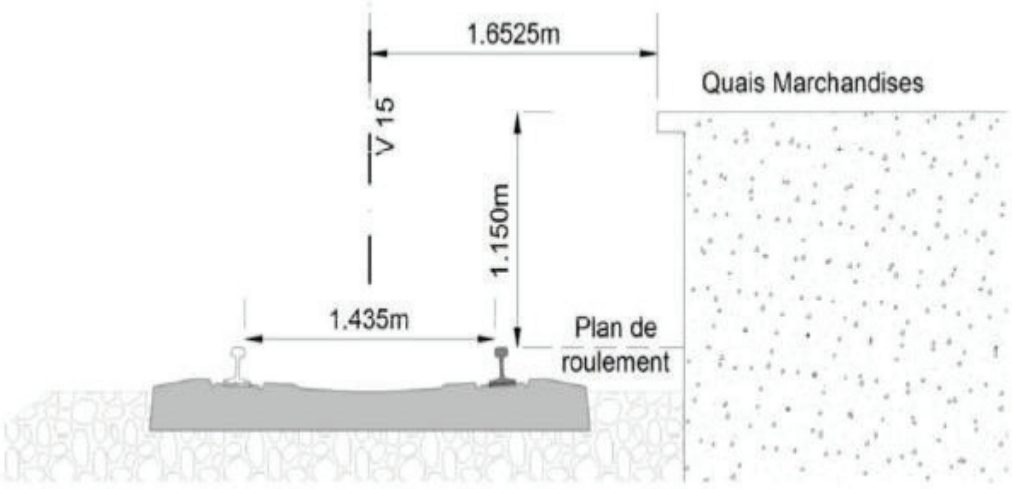


Figure IX-5. – Gabarits – Quais marchandises [6].

12. Passage souterrain (PS) :

L'exécution du passage souterrain de gare de Ain Oussera au PK 138+796 voir la figure il est constitué par :

- Deux voiles et radier et la dalle avec l'épaisseur (50cm, 60cm, 60cm).
- Hauteur totale : 4.2m.
- Largeur : 5m.

- Longueur : 20.90m.

L'exécution du la cage d'escalier et la cage d'ascenseur du passage souterrain, il se compose deux parties :

❖ **Partie 1 (partie couverte) :** prévue de l'entrée et sortie du PS, il constitue les deux cages avec : (Largeur, Longueur) = (2.7m, 12.67m).

1. Cage d'ascenseur :

- H_T = 11.41m
- B= 3.60m
- e_{voile} = 0.2m et 0.45m.
- e_{radier} = 0.60m.

2. Cage d'escalier :

- H_T = 6.46m.
- B = 3.6 m.
- e_{voile} = 0.45m.
- e_{radier} = 0.60m.
- Dalle de couverture = 0.35m
- Dalle d'escalier = 0.35m

❖ **Partie 2 (non couverte) :** de côté cage d'escalier (assure l'accès aux quais voyageurs) avec : (Largeur, Longueur) = (2.7m, 8.15m)

- H_T = 6.46m
- B = 3.6 m.
- e_{voile} = 0.45m.
- e_{radier} = 0.60m.
- Dalle d'escalier = 0.35m.

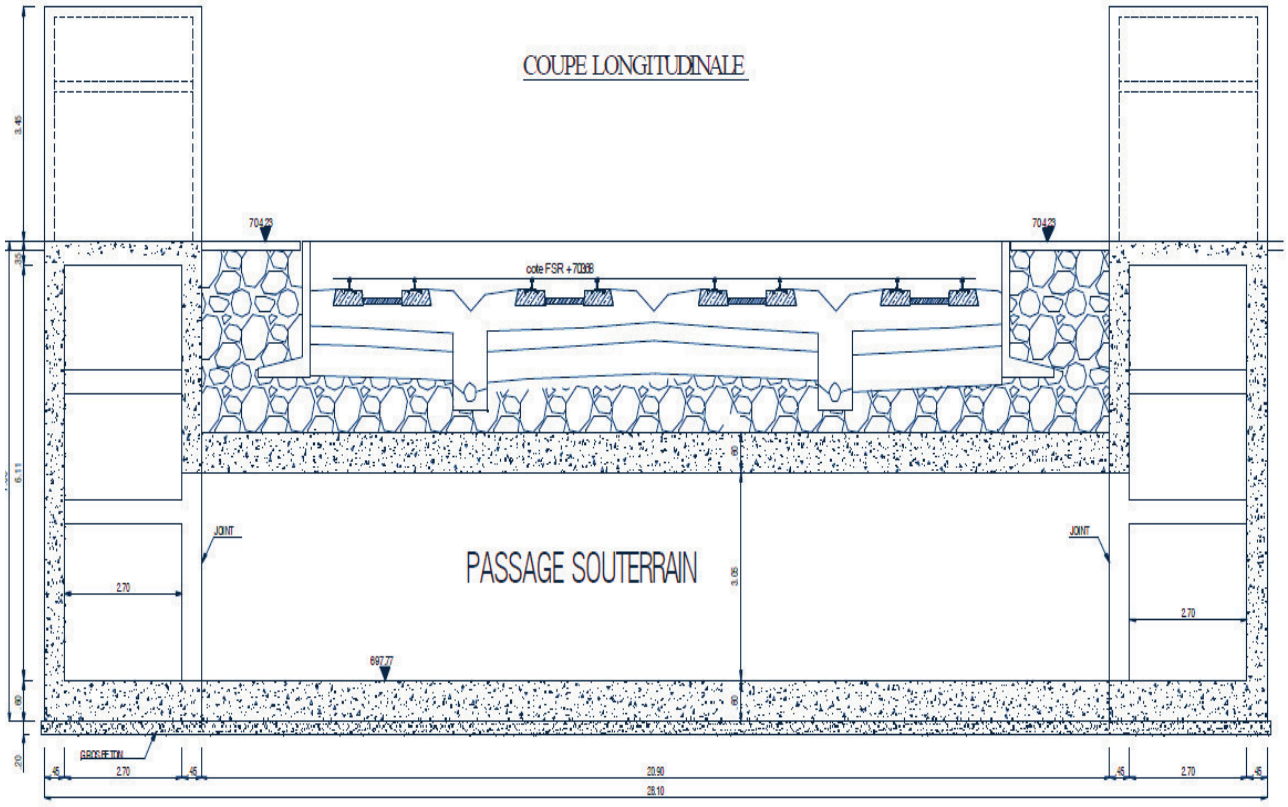


Figure IX-6.coupe longitudinale de passage souterrain [6].

13. Profil en travers type : il est présenté dans la figure attachée.

14. Drainage et assainissement de la gare :

- **Assainissement transversale de quais :**

Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de 4%.

- **Assainissement longitudinale :**

Ce drainage sera formé par fossés, canaux, drains et collecteurs qui conduiront les eaux aux passages hydrauliques ou directement aux lignes d'eau existantes. Dans la conception du système de drainage longitudinal ont été adoptés les principes généraux suivants :

- Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 20 années.
- La pente minimale admissible pour les organes de drainage superficiel de plateforme – fossés et caniveaux et drainage profonde – drains sont de 0,3%.
- La pente minimale admissible pour les collecteurs longitudinaux est de 0,3% et pour les transversaux de 0,5%.

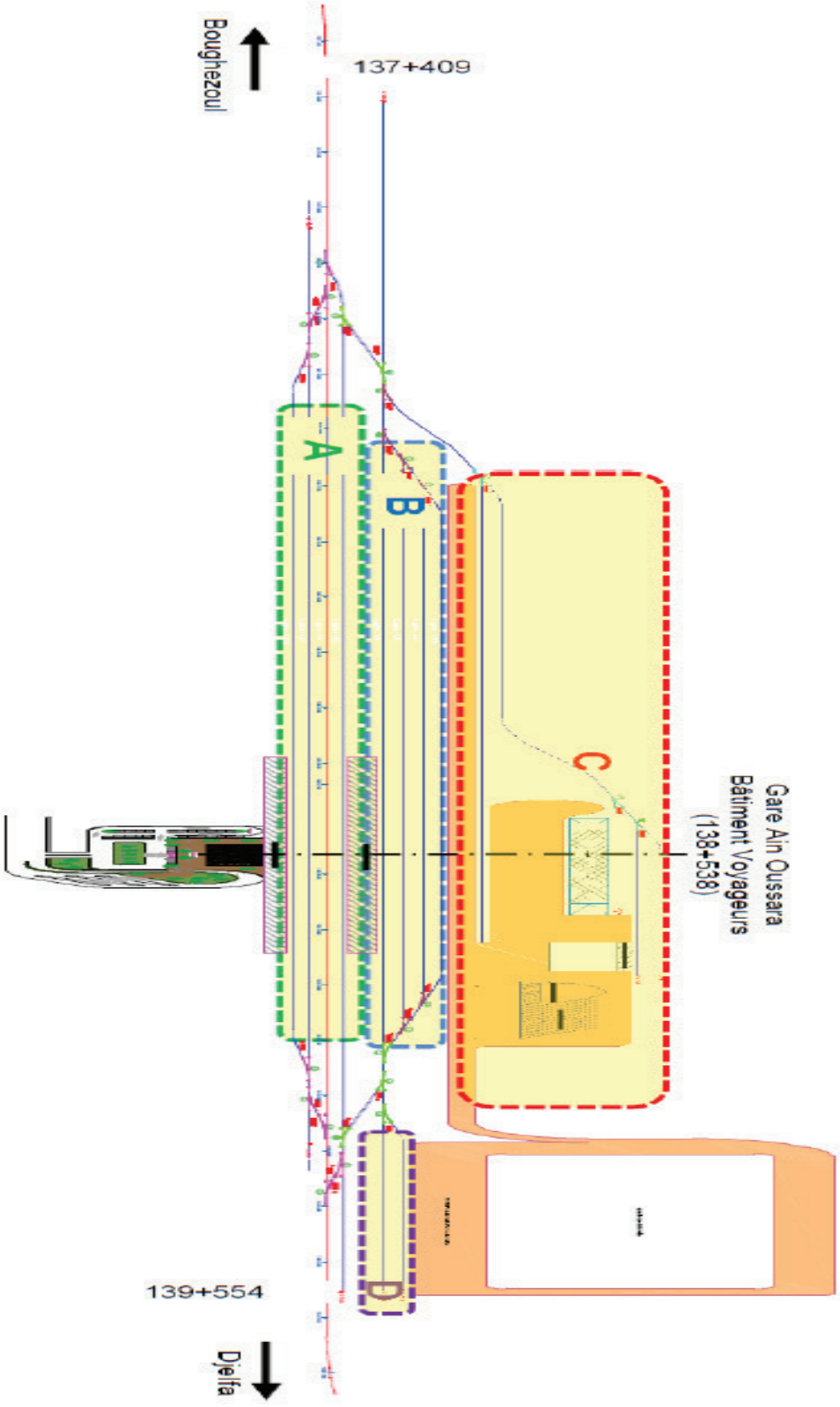
- Considérée égale à 15 minutes pour des organes de drainage superficiel et 30 minutes pour les drains.

Tableau IX-4.Résultats débit de crue.

	$L_{moyenne}$	A (m^2/m)	C_r	I (mm/h)	Qa (l/s)	L_{max}(m)	Qa (l/s)
Fossés de plateforme	15	15	0.7	93.18	0.27	3960	1069.2
Fossés au pied de talus ou de crête	50	50	0.33	93.18	0.43	869	374
Drains	15	15	0.7	53.15	0.18	300	54

Tableau IX-5.Résultats débit de saturation.

	b	h	Ø	$S_m(m^2)$	P_m(m)	R_h	K_s	I %	Lmax(m)	Q_s(l/s)
Fossés de plateforme	0.5	0.5		0.625	2.30	0.27	75	0.3	3960	1076
Fossés au pied de talus ou de crête	0.5	0.3		0.285	1.58	0.18	75	0.3	870	374
Drains			0.315	0.078	0.99	0.077	75	0.3	300	57



Gare de Ain Oussera [6]

Chapitre X. Système de signalisation

1. Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire lui donnant, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverse, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité.

2. Objectifs :

Les objectifs de signalisation sont multiples, ont pour but d'éviter :

- Les risques inhérents à la circulation ferroviaire :

- Le « nez à nez », quand deux trains se retrouvent face à face sur la même voie.
- Le « rattrapage », quand le train suiveur rattrape celui qui le précède,
- La « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction

- Les risques de déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux) ;
- Les risques inhérents aux passages à niveau, intersections avec le réseau routier.

3. Les différents types de blocks : (SNCF)

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés block, selon la catégorie de la ligne sont ci -dessous :

- **Le block manuel (B.M)**: est utilisé sur des lignes peu fréquentées, dont l'exploitation est assurée totalement manuellement. Le nombre de signaux implantés sur les voies est très réduit, les installations de commande sont simples, ce qui en fait un système économique. Cependant ce type de block ne permet pas un gros débit sur les lignes et n'est donc utilisé que sur des lignes secondaires peu fréquentées.
- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)** : est utilisé sur des lignes secondaires. C'est un système automatique, mais la longueur des cantons est relativement importante (plusieurs kilomètres). Ce système présente l'avantage d'une sécurité accrue par rapport au block manuel (le risque d'erreur humaine est diminué), tout en restant économique car le nombre de signaux implantés reste faible. De par son fonctionnement ce type de block ne permet pas des débits élevés sur une ligne. En effet le franchissement des signaux d'espacements fermés est interdit, pour éviter des marches à vue trop longues (puisque les cantons sont longs).
- **Le block automatique lumineux (B.A.L)** : il est utilisé sur les lignes principales, les cantons sont courts, il est donc plus couteux (plus de signaux) c'est le système le plus souple pour régler les circulations des trains, avec des cantons courts, l'espacement des trains est réduit et donc : le franchissement des signaux d'espacements fermés en marche à vue y est autorisé.

4. Les types de signalisation :

- ✓ **La signalisation lumineuse :** Pour réaliser la signalisation lumineuse, on utilise des panneaux portants un ou plusieurs feux, ces panneaux sont constitués d'un écran noir bordé d'un liséré blanc.

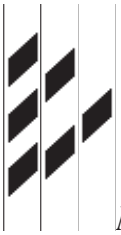
Utilisent des couleurs suffisamment différenciées pour ne pas être confondues par les mécaniciens (conducteur). Ces couleurs sont le vert, le jaune, le rouge, le blanc, le violet .

- ✓ **signalisation mécanique** : il est fait usage des signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocadre de couleur

- ✓ **Signaux combinés :** Lorsque plusieurs signaux lumineux ou mécaniques sont groupés.

D'autres signaux :

- La détonation d'un ou plusieurs pétards isolés commande au conducteur de s'arrêter en urgence
- Les signaux acoustiques sont faits au moyen du sifflet ou de la trompe et sont utilisés, en plus des signaux à main
- Lorsque la visibilité d'un signal est insuffisante pour une observation correcte, on place avant le signal des mirlitons, distants de 100 mètres



Mirlitons sur mâts

- Signaux de limitations temporaires de vitesse (chantier).

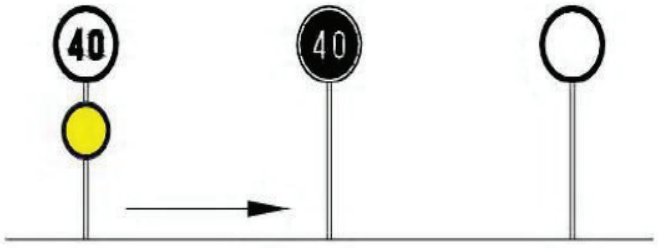
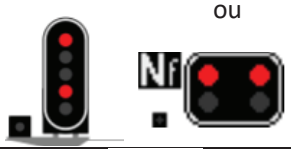
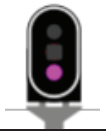
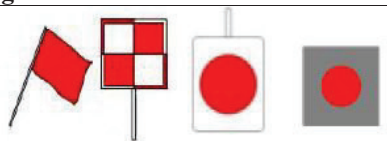
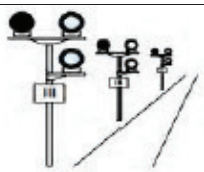
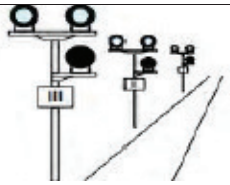
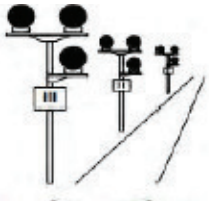


Tableau. Les principaux signaux ferroviaires et leur indication [14].

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux De nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.	 ou	
Feu violet ou Carré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : carré, sémaphore, carré violet, ou d'être		

	en mesure de respecter un rouge clignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
La bande lumineuse Jaune horizontale	Il commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter à quai sur une distance réduite		
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30 km/h Pour franchir une aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissement et rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60 km/h Pour franchir une aiguille		

Signal	Indication	Signalisation
Le signal d'arrêt à main	Il commande l'arrêt immédiat	
Signal lumineux de manœuvre type S.N.C. F	L'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne Verticale	
	Refouler par l'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne horizontale	
	Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.	

Le signal fin de caténaire	Fin de caténaire	

Plaque d'identification	Indication
Nf	Un signal carré
F	Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant
PR	Un sémaphore de B.A.P.R
BM	Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M
D	Un disque
A	Un avertissement

Devis estimatif :

Désignation	Unité	Prix unitaire (DA)	Quantité	Montant (DA)
Installation générale du chantier				
Installation générale du chantier	F	30 000 000	1	30 000 000
Terrassement				
Décapage de la terre végétale	M^3	250	76051.29	19 012 822.50
Déblais mise en remblai	M^3	794.2	167 209.99	132 798 174.09
Déblais mise en dépôt	M^3	496	41 802.49	20 734 035.04
Remblai de terrain meuble issu de lieux d'emprunt	M^3	690	112 545.03	77 656 070.70
Sous ballast	M^3	794	11 740	9 321 560
Couche de forme	M^3	3 410	104 985	357 998 850
Totale				**617 521 512.30**
Travaux de la voie				
Ballastage voie nouvelle	M^3	3 841.52	5 948.43	22 851 012.81
Fourniture des rails NEUFS 60 E1 (60,21 kg/m)	Tonne	107 306.04	343.92	36 904 693.28
Fourniture des attachés NABLA	U	434.72	19 044	8 278 807.68
Pose de la voie	M	5 318.13	2 856	15 188 579.28
Fourniture des traverses mono-bloc	U	7 000	8 335	58 345 000
Fourniture des traverses bi-bloc	U	4 167	22 219	92 586 573
Soudure aluminothermique	U	20 000	20	40 000
Soudure électrique	U	17 000	298	5 066 000
Fourniture d'un branchement simple UIC 60-190 - 1:7	U	8 885 565.50	3	26 656 696.5
Pose d'un branchement simple UIC 60-190 - 1:7	U	191 601.47	3	574 804.41
Fourniture d'un branchement simple UIC 60-190 - 1:9	U	11 550 625.23	6	69 303 751.38
Pose d'un branchement simple UIC 60-190 - 1:9	U	251 441.52	6	1 508 649.12
Fourniture d'un branchement simple UIC 60-300 - 1:9	U	12 626 324.23	6	75 757 945.38
Pose d'un branchement simple UIC 60-300 - 1:9	U	267 317.44	6	1 603 904.64
Fourniture d'un branchement simple UIC 60-500 -1:12	U	15 433 581.05	9	138 902 229.50
Pose d'un branchement simple UIC 60-500- 1:12	U	291 608.95	9	2 624 480.55
Traverses de Garage Franc	U	247 746	24	5 945 904
Pose de Garage Franc	U	1140	24	27 360

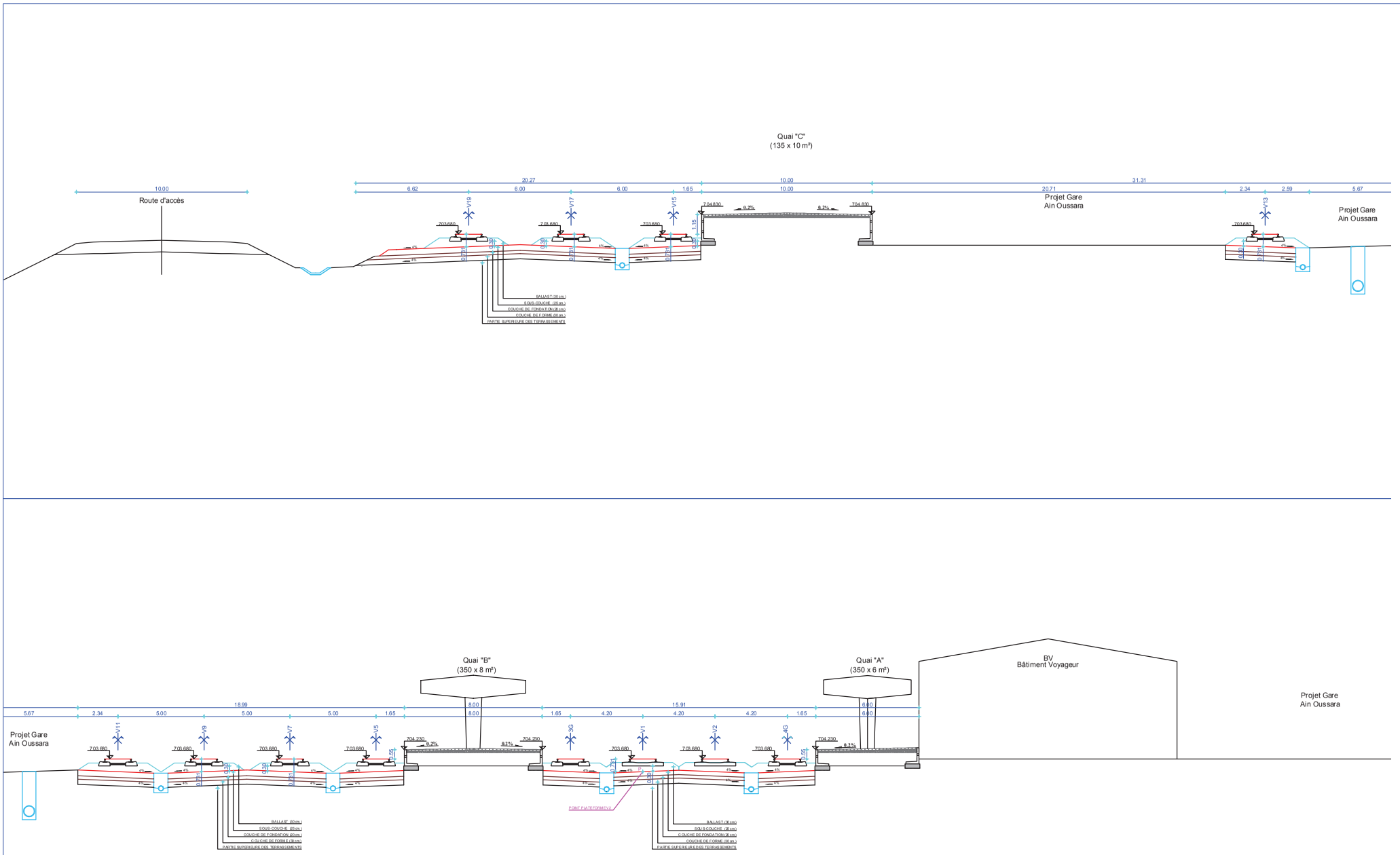
La caténaire	km	42 605 840	5	213 029 200
Totale				**783 774 399.20**
Assainissement généraux				
Fossés trapézoïdaux en béton armé (0.6×0.6)	ml	5000	4 000	20 000 000
Dalot en béton armé (2.5×2.5)	ml	3 000 000	1	3 000 000
Buse en béton armé Ø2.00	ml	23 000	1	23 000
Buse en béton armé Ø1.50	ml	21 000	1	21 000
Buse en béton armé Ø1.80	ml	22 000	1	22 000
Buse en béton armé Ø1.00	ml	19 000	2	38 000
Totale				**23 104 000**
TOTALE FINALE				**1 424 399 912**

Conclusion générale :

La couverture de la région des Hauts Plateaux par un réseau ferroviaire est une priorité pour la politique d'aménagement du territoire qui a pour objectif l'amélioration du niveau de vie de la population, et pour sortir ces régions en même temps de leur isolement géographique.

Dans ce projet, nous avons fait une étude détaillée d'une nouvelle ligne ferroviaire boughezoul-djelfa qui s'intègre dans ce réseau, en allant de la reconnaissance géologique et géotechnique du terrain, la conception du tracé en essayant d'optimiser le tracé en plan avec la conception d'une gare intermodale de Ain Oussera en respectant les normes et recommandation en vigueur **(UIC, SNTF, SNCF),** prenant en considération la sécurité et le confort des usagers en premier lieu et en second lieu l'aspect économique, tout en essayant de contourner les déférentes contraintes et problèmes rencontrés.

Enfin, ce projet de fin d'études nous a permis compléter les connaissances théoriques durant les cinq (05) années d'enseignement supérieur et les confronter avec les connaissances de pratique. De plus c'était occasion de mieux maitriser les logiciels : **Civil 3D, SLIDE, GLOBAL MAPPER.**



You created this PDF from an application that is not licensed to print to novaPDF printer (http://www.novapdf.com)