



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche  
Scientifique

*Université de Mouloud Mammeri Tizi-  
Ouzou Faculté de Génie de la Construction  
Département de Génie Civil*

***Thème étude du tracé de la voie ferrée Thénia Tizi Ouzou  
tronçon Thénia Naciria du PK 0+000 au PK 26+200.***

*Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master  
en Travaux Publics Option : Voies et Ouvrages d'Arts*

•  
*Proposé par : ANESRIF*



**Réalisé par :**

- ❖ SAIM Lynda
- ❖ SID ALI Tahar

***promoteur : M' RAHMOUNI W  
Co- promoteur : M'BOULIFFA Dj***

**Promotion 2022**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Résumé

L'objectif suivi dans ce mémoire est de faire une étude sur un tronçon de la ligne ferroviaire Thénia (Boumerdès) Tizi Ouzou. Le tronçon étudié s'étale sur 26 Km entre Thénia et Naciria, PK 0+000 au PK 26+200, plus la conception et l'aménagement de la gare Bordj Ménaïel.

Une étude préliminaire a été élaborée dans le but de dégager la variante du tracé la plus avantageuse, qui elle, été étudié d'une façon détaillée.

Nous avons pris en considération les normes (UIC et SNCF) et les recommandations de l'ANESRIF, pour établir le travail en utilisant les logiciels COVADIS 16 et AUOCAD 18.

Mots clés : voie ferrée, ballast, couche d'assise, appareille de voie, bassins versants.

## abstract

The objective followed in this dissertation is to carry out a study on a section of the Thénia (Boumerdes) Tizi Ouzou railway line. The section studied extends over 26 km between Thénia and Naciria, PK 0+000 to PK 26+200, plus the design and development of the Bordj Ménaïel station.

A preliminary study has been drawn up with the aim of identifying the most advantageous variant of the route, which has been studied in detail.

We took into consideration the standards (UIC and SNCF) and the recommendations of the ANESRIF, to establish the work using the COVADIS 16 and AUOCAD 18 software.

Keywords : Railway, ballast, track fondation, rail device.

### ملخص

الهدف المتبع في هذه الرسالة هو إجراء دراسة على جزء من خط سكة حديد ثنية (بومرداس) تيزي وزو. يمتد القسم المدروس على مسافة 26 كم بين Thénia و Naciria، PK 0 + 000 إلى PK 26 + 200 ، بالإضافة إلى تصميم وتطوير محطة برج منايل .

تم إعداد دراسة أولية بهدف تحديد المتغير الأكثر فائدة للمسار ، والذي تمت دراسته بالتفصيل. أخذنا في الاعتبار المعايير (UIC و SNCF) وتوصيات ANESRIF لإنشاء العمل باستخدام برنامجي COVADIS 16 و AUOCAD 18.

## DEDICACE

*Je dédie ce travail à la mémoire de ma mère et à mon très chère  
papa le soleil de ma vie je le dédie aussi aux prunes de mes yeux  
mes sœurs Melha et Karima et à mes frères Anis, Aïssa,  
Omar ; à la mémoire de mon oncle Bousifa Arezki.*

*SAM Lynda*

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail À mes très chers parents, Source  
inépuisable d'amour et d'affection ; aucune dédicace ne saurait  
exprimer ma reconnaissance pour votre grande patience, vos sacrifices  
et votre soutien. À ma fiancée S.H., À mes chères amies (Karim  
Bara et Salem Hammadi) À toute ma famille.*

*À tous mes ami(e)s*

*Sid Ali Tahar*

## *Remerciement*

*On tient tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*En second lieu on tient à remercier mon Co-encadreur Mr : BOULIFA Djaffar et mon encadreur RAHMOUNG Wassim pour leurs appréciations compétentes, leurs précieux conseils et leurs aides durant toute la période du travail.*

*On remercie vivement nos familles pour leur aide matérielle et morale durant toute la période de préparation.*

*On tient également à exprimer ma gratitude envers tous les Enseignants et le personnel administratif de l'université Mouloud MAMERJ qui ont contribué à ma formation et à l'élaboration de ce présent travail.*

*Un grand merci aux ingénieurs de la SITE RAIL et à l'ingénieur Lyes ZAMOUCHE.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin, on tient également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

# Table de matière

Introduction générale .....	1
Chapitre I : chemin de fer	
A. Introduction.....	3
B. Historique .....	4
a. Avant l'indépendance.....	5
b. Période d'postindépendance.....	10
c. Programme d'investissement de 1980_2016 .....	11
C. Le trafic ferroviaire Algérien .....	13
D. Réseaux ferroviaire Algérien.....	13
a. Architecture générale du réseau actuel.....	13
b. Le programme futur de développement des infrastructures et de modernisation de réseaux ferroviaire.....	14
c. Les investissements .....	15
▪ Le programme ferroviaire pour 2025.....	15
▪ La situation actuelle .....	17
▪ Projet réceptionnés.....	18
d. Sociétés exploitantes.....	23
1. Pendant la colonisation française.....	23
2. Après l'indépendance de l'Algérie .....	23
E. Conclusion .....	24
Chapitre II : présentation de projet	
A. Introduction .....	25
B. Présentation de la zone d'étude .....	25
a. Présentation de la zone d'étude .....	25
b. Situation géographique et reliefs.....	26
c. La sismicité.....	28
C. Description du projet.....	28
D. Présentation du projet étudiant.....	28
▪ Les différents PK du projet.....	29
E. Le but du projet .....	30
F. Etat actuelle de la ligne existante .....	30
G. Etude préliminaire .....	31
a. La variante n°1.....	32
b. La variante n° 2.....	32
c. La variante n°3.....	33
H. Intérêts socio-économique .....	34
I. Conclusion .....	34
Chapitre III : le tracé en plan	
A. Introduction.....	35
B. Les éléments constitutifs d'un tracé en plan .....	35
a. Les alignements droits.....	35
b. Les courbes circulaires.....	36

c. Courbes de raccordements.....	36
C. Conditions de raccordement .....	36
a. Condition de gauchissement .....	36
b. Condition du confort optique .....	37
c. Condition du confort dynamique .....	37
D. Critère de limitation des paramètres du tracé .....	37
a. Valeur limite normale .....	37
b. Valeur limite exceptionnel .....	37
E. Rayon minimal normal des courbes circulaires .....	38
a. Dévers .....	38
b. Dévers théorique.....	39
c. Dévers prescrit (pratique).....	40
d. Coefficient de devers .....	41
e. Dévers maximum admissible.....	42
f. Insuffisance de devers .....	43
g. Variation de l'insuffisance de dévers.....	44
h. Excès de dévers .....	45
i. Raccordement de devers .....	46
1. Variation de devers par rapport aux longueurs.....	46
2. Variation de devers par rapport aux temps.....	47
3. Variation de l'insuffisance de devers dans le raccordement .....	48
F. Courbe de raccordement .....	49
a. Raccordement progressif.....	49
1. La clothoïde .....	51
2. Raccordement progressive d'inflexion .....	51
b. Doucine.....	52
G. paramètre du tracé à respecter .....	52
H. application au projet .....	53
I. vérification .....	55
J. conclusion.....	55

#### Chapitre IV : calcul de l'axe

A. Introduction.....	56
B. Procédés de calcul de l'axe .....	56
C. Exemple de calcul de l'axe .....	57
D. Conclusion .....	59

#### Chapitre V : profil en long

A. Introduction.....	60
B. Règles a respectés .....	60
C. Déclivités declivités.....	61
D. Raccordement verticale .....	61
E. Déclivités maximale .....	61
F. Longueur minimale de la déclivité .....	62
G. Raccordement circulaire en profil en long.....	62
H. Condition profil en long tracé en plan.....	64

I. Détermination pratique .....	64
J. Conclusion.....	67
Chapitre VI : étude géologique et géotechnique	
A. Introduction.....	68
B. Etude géologique	
a. Introduction.....	68
b. Etude géologique détaillée de la zone d'étude .....	69
1. La section A tronçon Thenia Si Mostapha.....	69
2. La section B tronçon Si Mostapha Bordj Ménaïel.....	69
3. La section C tronçon Bordj Ménaïel Naciria.....	70
c. La sismicité.....	70
C. Etude géotechnique	
a. Introduction.....	70
b. Puits de reconnaissances à ciel ouvert .....	70
❖ Exemple de puits de reconnaissance dans le tronçon C.....	71
c. Les sondages carottés .....	71
❖ Exemple de sondages carottés de section C.....	71
d. Essais au laboratoire .....	72
1. Analyse granulométrique (NF P 94-056/NF P 94-057).....	73
2. Limites d'Atterberg (NF EN 051).....	73
3. Essai PROCTOR (NF P 94-093).....	73
4. Essai CBR (NF P 94 - 078).....	74
5. Teneur en matière organique .....	74
6. Essai de la densité sèche et la densité humide (NF P 64-053).....	74
7. La teneur en eau (NF P 94-050).....	74
8. Essai bleu de méthylène (NF P 18-592).....	74
9. Essai de compressibilité à l'œdomètre.....	75
10. Essai de cisaillement à la boîte de Casagrande (NF P 94-071-2).....	75
e. Essai in situ .....	75
1. Essai a la plaque .....	76
2. Essai pénétromètre dynamique (NF P 94-115).....	76
3. Essai pressiomètre (NF P 94-110-1).....	76
f. Résultats des essais de laboratoire.....	78
D. Définition des portances du sol.....	78
a. Le tronçon A.....	78
b. Le tronçon B.....	79
c. Le tronçon C.....	79
E. Traitement des sols.....	80
F. Les éléments des couches d'assises de la plateforme P1 et P2.....	83
G. Terrassement.....	83
a. Introduction .....	83
b. Déblai .....	83
c. Remblai .....	85
d. Remblais d'accès aux structures .....	86
e. Condition d'utilisation des remblais .....	86
H. Conclusion .....	87

## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire

A. Introduction.....	88
B. La structure d'assise .....	88
C. Construction général .....	88
a. La couche d'assise .....	89
1. Couche de ballast .....	89
2. La couche de sous-ballast .....	92
3. La couche de fondation.....	92
4. La couche anti contaminante.....	92
5. Le géotextile.....	93
6. La plateforme.....	93
D. Classe de portance de la plateforme.....	94
E. Epaisseur des couches d'assise.....	96
F. Exemple d'application dur notre projet.....	98
G. Conclusion.....	98

## Chapitre VIII : la superstructure ferroviaire

A. Introduction .....	99
B. La technologie ferroviaire .....	99
a. Description du système.....	99
b. Principes fonctionnels fondamentaux.....	103
C. Les éléments de la superstructure .....	105
a. Rail .....	105
1. Les types de rails .....	106
2. Ecartement des rails.....	110
3. Inclination des rails .....	110
4. Défaut et usure des rails .....	110
5. Assemblage des rails .....	112
b. Les travers .....	113
1. Le rôle des travers .....	113
2. Type de travers .....	113
c. Les attaches .....	115
d. Les caténaires.....	117
e. Les appareils de voies .....	118
f. Les traversées de voie.....	120
D. Conclusion .....	121

## Chapitre IX : hydraulique et assainissement

A. Introduction .....	122
B. Description du site du projet .....	122
C. Caractéristique des bassins versants.....	122
a. Données pluviométrique.....	123
1. Pluies annuelles .....	123

2. Pluies mensuelle.....	124
3. Précipitation journalière .....	124
b. Intensité de pluies .....	125
c. Les inondations .....	126
D. La méthode rationnelle .....	126
a. Coefficient de ruissellement .....	127
b. Le temps de concentration .....	127
E. Les données hydrauliques de notre projet .....	128
❖ Les bassins versants .....	128
F. Assainissement .....	134
a. Les ouvrages transversaux.....	134
1. Dimensionnement des ouvrages transversaux .....	135
2. Critère de dimensionnement .....	135
b. Les ouvrages longitudinaux .....	139
1. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux .....	139
2. Critère de dimensionnement .....	139
G. Les ouvrages hydrauliques réalisés dans notre projet.....	140
H. Conclusion.....	143

#### Chapitre X : profil en travers

A. Introduction .....	144
B. Eléments du profil en travers .....	144
C. Les cubatures .....	146
a. Introduction .....	146
b. Définition .....	147
c. Méthode de calcul de cubature .....	147
d. Methode de moyen des aires .....	148
e. Exemple de calcul .....	149

#### Chapitre XI : les gares et les ouvrages d'art

A. Introduction .....	150
B. Les différents types de gares.....	150
a. Gare des voyageurs .....	150
b. Gare de marchandises.....	150
c. Gare terminus .....	151
d. Gare de passage.....	151
e. Gare de triages .....	151
f. Gare de croisement .....	152
C. Aménagement de la gare .....	152
a. La longueur utile d'une voie de stationnement .....	152
b. Les heurtoirs.....	153
c. Le quai .....	153
d. Dimensionnement du quai.....	153
D. Application sur notre projet .....	155
❖ Caractéristique de la gare de Bordj Ménaiel .....	155
E. Ouvrage d'art .....	157

a.	Norme de références.....	157
b.	Etude de stabilité au glissement .....	158
	1. La stabilité au glissement.....	158
	2. Tassement .....	158
	3. Pentes de talus .....	158
c.	Influence sur le choix des ouvrages.....	159
d.	Le croisement route-rail .....	159
	❖ Passage supérieur .....	159
	❖ Passage à niveau .....	159
	❖ Passage inférieure.....	160
e.	Compactage .....	160
f.	Profil en travers des ouvrages d’art .....	160
g.	Les ouvrages d’art du tracé .....	161
F.	Conclusion .....	162

## Chapitre XII : la signalisation ferroviaire

A.	Introduction .....	163
B.	Rôle de la signalisation .....	163
C.	Système de signalisation .....	164
D.	Evolution du système de signalisation .....	164
	a. ETCS (European Train Control System).....	164
	1. ETCS niveau 1.....	165
	2. ETCS niveau 2.....	165
	3. ETCS niveau 3.....	166
	b. Système de communication radio GSM-R .....	166
E.	Les fonctions des signaux .....	167
F.	Implantation des signaux .....	167
G.	Types de signalisation .....	168
	a. Signalisation lumineuse .....	168
	b. Signalisation mécanique .....	168
	c. Signalisation latérale .....	169
	d. Signalisation cabine .....	170
H.	Conclusion .....	170

Devis estimatif

Conclusion générale

Les annexes

Bibliographie

## Liste des figures :

Figure 1: Réseaux ferroviaire algériennes pour le programme Coloniale 1 .....	7
Figure 2 : station d'Hussein-Dey sur la ligne d'Alger à Blida1882.....	7
Figure 3: Réseaux ferroviaire algériennes pour le programme Coloniale 2. ....	8
Figure 4: Réseaux ferroviaire algériennes pour le programme Coloniale 3. ....	10
Figure 5: Résumé du réseau ferroviaire algérien pour les trois programmes Coloniale.....	10
Figure 6: Résumé du réseau ferroviaire algérien pour la période postindépendance.....	12
Figure 7: carte de la wilaya de Boumerdès (site web). ....	27
Figure 8 : carte géologique de la région .....	27
Figure 9: carte des reliefs topographiques de la wilaya de Boumerdès. ....	28
Figure 10: carte du tracé de notre projet.....	29
Figure 11:le tronçon de la section A. ....	29
Figure 12: le tronçon de la section B.....	30
Figure 13: le tronçon de la section C.....	30
Figure 14: la carte des variantes (jour).....	32
Figure 15: la carte des variantes (nuit). ....	32
Figure 16: Eléments géométriques de tracé en plan.....	37
Figure 17:Dévers d'une voie.....	40
Figure 18:Devers théorique.....	40
Figure 19: Schéma de raccordement du devers.....	46
Figure 20: Le gauchissement des rails. (8).....	47
Figure 21: diagramme des flèches et courbures pour un RP. (8) .....	51
Figure 22: Courbe de raccordement –clothoïde. ....	52
Figure 23: Raccordement Progressif d'inflexion.....	53
Figure 24: les éléments géométriques du profil en long. ....	61
Figure 25: Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur. (2).....	62
Figure 26: Schéma du raccordement circulaire.....	63
Figure 27: Les éléments de calcul du profil en long. ....	65
Figure 28:exemple de résultats de puis de reconnaissances (source rapport géotechnique)....	71
Figure 29: photos du sondage carotté (source rapport géotechnique).....	72
Figure 30: essai granulométrique (essai laboratoire) .....	73
Figure 31: essai limite d'Atterberg (rapport des essais de laboratoire) .....	73
Figure 32: essai Proctor (rapport des essais de laboratoire).....	73
Figure 33: essai CBR (rapport des essais de laboratoire).....	74
Figure 34: essai de compressibilité à l'œdomètre ( travaux pratique de mécanique de sol) ....	75
Figure 35: essai de cisaillement direct (travaux pratique de mécanique de sol) .....	75
Figure 36:schéma de principe de l'essai pressiométrique Ménard. (Essais Géotechniques 1 GT843 2019/2020 Pr. Zadjoui A. / Aissaoui S). ....	77
Figure 37:les résultats des essais de laboratoire. Source rapport géotechnique.....	77
Figure 38: schéma des deux plateforme P1 et P2 successivement (rapport géologique et géotechnique P 04). ....	82
Figure 39: Epaisseur de couche de forme et de la sous couche (UIC 719).....	96
Figure 40: Roulement essKieux de roues conventionnel sur rails. (12).....	100
Figure 41: exemple d'essieu ferroviaire.....	100
Figure 42: Boudins d'essieu ferroviaire [12].....	101
Figure 43: Section transversale par maillage d'essieu ferroviaire en contact avec le rail.....	101

Figure 44: profil transversale de roue ferroviaire. (13).....	102
Figure 45: Inclinaison du rail. (13).....	103
Figure 46: écartement des rails.....	103
Figure 47: Inscription de l'essieu sur voie en alignement.....	104
Figure 48: Mouvement de lacet sur voie en alignement. ....	105
Figure 49: Mouvement d'un essieu de roues dans une courbure de voie. ....	105
Figure 50: rail type double champignon. ....	107
Figure 51: rail type Vignole. ....	108
Figure 52: Rail type Broca a gorge. ....	109
Figure 53: Le Profil du rail 60 E1 (UIC 60).....	110
Figure 54: Écartement des rails dans le monde.....	110
Figure 55: Cas d'un rail fissuré. ....	111
Figure 56: Cas d'un rail avarié. ....	111
Figure 57: cas d'un rail rompu. ....	112
Figure 58: Assemblage par éclissage. ....	112
Figure 59: Soudage.....	113
Figure 60: travers en bois. ....	114
Figure 61: traverses en mono bloc en béton précontraint. ....	114
Figure 62: traverse bi –bloc en béton armé. ....	114
Figure 63: la traverse M450NP en béton précontraint .....	115
Figure 64: traverse VAX U31(B440).....	115
Figure 65: attache type NABLA .....	116
Figure 66: attaches de type E-clip .....	117
Figure 67: composant de caténaire.....	118
Figure 68: Appareil de vois -système de branchement simple.....	118
Figure 69: Branchement symétrique de deux vois. ....	119
Figure 70: Branchement double. ....	119
Figure 71: Mécanisme d'appareils de voie. ....	120
Figure 72: Les traverses jonctions.....	120
Figure 73: Les traversées-jonctions.....	121
Figure 74: carte des bassins versants au nord de l'Algérie. ....	122
Figure 75: courbe intensité, durée, fréquence « station de Draa Ben Kheda » (source rapport géotechnique). ....	126
Figure 76: la hauteur de remplissage de.....	134
Figure 77: la hauteur de remplissage de dalot.....	135
Figure 78: fossé au pied de talus de déblai.....	136
Figure 79: crête et pied de talus. ....	136
Figure 80: fossé de pied de talus .....	137
Figure 81: profil en travers courant.....	146
Figure 82: profil en travers type. ....	146
Figure 83: surface déblai remblai.....	148
Figure 84:surface déblai remblai.....	148
Figure 85: maquette d'une gare .....	151
Figure 86:Gare marchandise. ....	151
Figure 87:Gare triage. ....	152
Figure 88: La hauteur du quai et à distance entre le bout du quai et l'axe de la voie (source UIC 741 OR). ....	154

Figure 89:schéma de la gare de bordj Menaiel.....	155
Figure 90:Profil m travers type de l'ouvrage d'art passage supérieur avec une route nationale. .....	160
Figure 91:Profil en travers d'un ouvrage d'art passage supérieur avec une piste agricole....	161
Figure 92:Profil en travers d'un ouvrage d'art passage inférieur.....	161
Figure 93: Le système européen de contrôle des trains niveau 1.....	165
Figure 94: Le système européen de contrôle des trains niveau 2.....	166
Figure 95: signalisation latérale et mécanique .....	170

## Liste des tableaux

Tableau 1: dates importantes dans l'histoire du chemin de fer. ....	5
Tableau 2: Projets En Cours (Travaux Et Etudes). ....	18
Tableau 3: Le tableau comparatif entre les trois variantes.....	33
Tableau 4: Valeurs admissibles de Dmax selon UIC. (9) .....	42
Tableau 5: Valeurs admissibles de Dmax selon SNTF. (10) .....	43
Tableau 6: Les Valeurs Limite L'insuffisance de dévers selon SNCF. (10).....	43
Tableau 7: Les Valeurs Limitent L'insuffisance de dévers selon UIC. (10).....	43
Tableau 8: valeur limite de l'excès selon SNCF. (10) .....	45
Tableau 9: Valeur limite de l'excès selon UIC. (9) .....	46
Tableau 10: Valeurs maximales admissibles de variation de dévers par rapport aux longueurs (Rp).....	47
Tableau 11: Valeurs limite de variation de dévers par rapport aux temps. (9) .....	47
Tableau 12: Valeurs limite de variation de dévers par rapport aux temps. (10) .....	48
Tableau 13: Variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps.....	48
Tableau 14: Valeurs de la longueur minimale des déclivités.....	63
Tableau 15: Valeurs de rayon minimal des raccordements circulaires.....	64
Tableau 16: la profondeur des couches et la nature lithologique.....	71
Tableau 17: classification des sols du tronçon A Thenia Si Moustapha Naciria (rapport géologique et géotechnique P.2) .....	78
Tableau 18: classification des sols tronçon si Mustapha Bordj Ménaïel Naciria (rapport géologique et géotechnique P.2) .....	79
Tableau 19: classification des sols tronçon C Bordj Ménaïel Naciria (rapport géologique et géotechnique P.2) .....	79
Tableau 20: classification des sols .....	80
Tableau 21: différents schémas de solutions (rapport géotechnique et géologique).....	82
Tableau 22: épaisseurs de chaque couche d'assise de plateforme P1 et P2 .....	82
Tableau 23: les déblais de la section B (rapport géotechnique).....	83
Tableau 24: les déblais dans la section C .....	83
Tableau 25: Remblais du tronçon B .....	85
Tableau 26: des remblais d'accès aux structures. ....	85
Tableau 27: des remblais sur la section C. ....	85
Tableau 28: La granularité du ballast. ....	90
Tableau 29: La teneur en fines du ballast.....	90
Tableau 30: Coefficient Deval sec-humide pour le ballast ferroviaire. ....	91
Tableau 31: Classes de qualités des sols (UIC 719R).....	94
Tableau 32: Détermination de classe de portance de la plateforme.....	95
Tableau 33: Sensibilité au gel de diverses classes granulaires de sols (normes UIC 719 R. p34).....	96
Tableau 34: Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur.....	97
Tableau 35: précipitation annuelle (mm) (source rapport hydrologique) .....	123
Tableau 36: des précipitations mensuelles (mm) (source rapport hydraulique). ....	124
Tableau 37: des précipitations journalière (mm) (source rapport hydraulique).....	124
Tableau 38: valeurs des intensités pour différentes périodes de retour.....	125

Tableau 39: valeurs de coefficient de ruissellement .....	127
Tableau 40: les bassins versants du tronçon A (source rapport hydraulique). .....	129
Tableau 41: les bassins versants de la section B. (source rapport hydraulique). .....	130
Tableau 42: les bassins versants du tronçon C (source rapport hydraulique). .....	131
Tableau 43: les valeurs du coefficient de Strickler. ....	133
Tableau 44: les ouvrages hydrauliques dans le tronçon A (source rapport hydraulique). ....	138
Tableau 45: les ouvrages hydrauliques de la section B (source rapport hydraulique). .....	139
Tableau 46: les ouvrages hydrauliques de la section C (source rapport hydraulique). .....	140
Tableau 47: les ouvrages d'art du tracé. ....	161

### Liste des schéma :

schéma 1: les Cinq compagnies des chemins de fer algériens dans le programme 1857. ....	6
schéma 2: les organismes de chemins de fer .....	11

### Liste des équations :

Équation 1 : Le rayon minimal. ....	38
Équation 2: expression du dévers théorique. ....	40
Équation 3: expression divers pratique. ....	41
Équation 4: expression du coefficient du devers. ....	41
Équation 5: expression d'insuffisance de dévers. ....	43
Équation 6: expression de variation de dévers. ....	44
Équation 7: expression d'excès de dévers. ....	45



Une analyse de la situation dans les pays développés montre que le secteur des transports joue un rôle très important dont il est la base du développement national et de la croissance économique, et ce secteur facilite non seulement les échanges entre agents économiques, mais améliore également la circulation des marchandises et des passagers.

L'homme a commencé à fabriquer des véhicules, depuis les véhicules traditionnels, la traction animale, les roues, le vent et les bateaux, jusqu'à l'ère des véhicules à moteur : machines à vapeur (locomotives ; automobiles ; avions...).

Le transport en Algérie est diversifié compte tenu de la taille du pays. Même en raison d'un manque d'infrastructures routières, certaines parties de l'Algérie restent isolées ; le réseau routier algérien est l'un des plus denses d'Afrique, avec une longueur estimée à 108 320 km de route (dont 76028 Km goudronnées et plus de 3756 ouvrages d'arts. L'autoroute Est Ouest de 1216 km permet de relier la ville d'Annaba l'extrême Est jusqu'à Tlemcen extrême Ouest.

Parmi les infrastructures on distingue le chemin de fer qui est devenu aujourd'hui, au-delà à l'enjeu économique, un enjeu social et écologique. Il est constitué de moyen de transport le mieux adopté pour le déplacement de gros volumes de marchandise sur de longue distance.

Le réseau ferroviaire algérien est parmi les plus modernes dans le continent Africain, depuis son apparition à la fin du XIX siècle. Il sert au transport des personnes et marchandises.

Le schéma directeur des transports du pays a inscrit plusieurs projets dans le domaine des infrastructures de transport, notamment les infrastructures ferroviaires en général et particulièrement le projet de la modernisation de la ligne existante Thenia Tizi Ouzou qui s'encadre dans le programme pour l'amélioration du transport entre la banlieue algéroise et les wilayas Boumerdès et Tizi Ouzou.

Dans ce modeste travail on a fait étude du tronçon Thénia Tizi Ouzou sur une longueur de 26Km 200 m proposée par l'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissement Ferroviaire (ANESRIF).

Le travail effectué se compose de 12 chapitres. On a présenté une idée générale sur le chemin de fer, puis on fait une présentation du projet d'étude ensuite on passe à la conception géométrique du tracé puis on présente l'étude géotechnique ; géologue. On a traité la structure d'assise avec son dimensionnement, la superstructure, l'hydraulique, l'assainissement, le profil en travers, les gares et les ouvrages d'art réalisés. Ensuite on donne une idée sur la



## Introduction générale

signalisation ferroviaire. Nous avons terminé le travail par le devis estimatif du projet et une conclusion générale ; et on signale qu'on a utilisé le mémoire « étude en A.P.D de la modernisation de la ligne ferroviaire Thenia – Tizi Ouzou du PK 15+500 au PK 25+400 avec la conception de la gare de Bordj Ménaiel » comme référence.



# Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

## A. Introduction

Le chemin de fer est un système de transport guidé servant au transport de personnes et de marchandises. Il se compose d'une infrastructure d'un matériel roulant et des procédures d'exploitations faisant le plus souvent intervenir le facteur humain.

L'infrastructure des chemins de fer est appelée voie ferrée. Elle se compose, la plupart du temps, de deux files de rails posés sur des traverses, d'appareils de voie, de passages à niveau, de la signalisation et le cas échéant des installations de traction électrique.

Le matériel roulant circule communément en convois appelé trains ou rames. Les convois sont constitués de wagons ou de voitures tractés par des locomotives. Il peut également s'agir de rames autotractées, c'est-à-dire incluant leur propre système de traction.

## B. Historique

La réapparition des transports guidés a eu lieu en Europe aux alentours de 1550, pour des voies minières. Celles-ci utilisaient des rails de bois. La première voie ferrée a été établie au Royaume-Uni au début du XVII<sup>e</sup> siècle, principalement pour le transport du Charbon d'une mine à un canal, d'où il pouvait être chargé sur des barges. On trouve des traces de ce genre de chemins de fer à Broseley dans le Shropshire. Les rails étaient constitués de bois nu, les roues étaient munies de boudins, comme sur les véhicules ferroviaires actuels. En 1768, la compagnie Coalbrookdale eut l'idée de remplacer ses rails en bois par des rails en fonte moulée, pour limiter l'usure de la voie et transporter de plus lourdes charges. Les rails d'acier sont apparus au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. L'ingénieur William Jessop conçut des rails prévus pour être utilisés avec des roues sans boudin : ils constituaient une sorte de cornière. Ces rails devaient être utilisés pour un projet dans le secteur de Loughborough, Leicestershire en 1789.

En 1790 il était de ceux qui fondèrent une aciérie à Butterley, Derbyshire pour produire des rails, Le premier chemin de fer ouvert au public a été le Surrey Iron Railway, ouvert en 1802 par Jessop. Les convois étaient tractés par des chevaux. La première locomotive à vapeur a fonctionné sur des rails a été construite par Richard Trevithick et essayée en 1804 à Merthyr Tydfil au Pays de Galles. Cette tentative ne fut pas couronnée de succès, l'engin étant si lourd qu'il brisait la voie.



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

En 1811, John Blenkinsop conçut la première locomotive réellement utilisable. Cette locomotive, cependant, pourrait être utilisée pour la traction sur les routes seulement. George Stephenson, qui a réalisé en 1814 la première locomotive à vapeur utilisée pour la traction dans les chemins de fer, a le mérite de perfectionner le design. Il fit breveter. Un système de transport du charbon mû par une locomotive à vapeur.

La ligne fut construite, raccordant Middleton Colliery à Leeds. La locomotive a été construite par Matthew Murray, (Murray and Wood).

**Le Middleton Railway** fut donc le premier Chemin de fer à utiliser la vapeur avec succès dans un objectif commercial. C'est également le premier à faire l'objet d'actes juridiques. Le premier chemin de fer public au monde a été ouvert à la circulation **le 27 septembre 1825** entre Stockton et Darlington au Royaume-Uni. Simultanément, d'autres pays d'Europe ont également mis au point de tels systèmes ferroviaires ; la plupart des trains introduits pour le transport de passagers pendant cette période. Le premier chemin de fer en Allemagne a été ouvert de Nuremberg à Furth en **1835**.

Les États-Unis ouvrent leur première ligne de chemin de fer entre Mohawk et Hudson en **1833**.

Le premier réseau voit le jour en Europe continentale dans la région de Saint-Étienne, et en Amérique du Nord, la période de plus grand développement du chemin de fer va de **1848 à 1914** le chemin de fer a cette période connut un développement remarquable les pays qui disposaient de charbon, ou qui pouvaient facilement en importer, comme l'Europe et les États-Unis. Bénéficiant de la révolution industrielle, les grands réseaux ferrés furent construits Entre 1830 et 1890.

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

La crise pétrolière de 1973 marque le début du renouveau du chemin de fer, Principalement pour les transports de voyageurs à l'intérieur des grandes métropoles et grâce à de nouvelles lignes inter cités, parcourues par des trains à grande vitesse.

Au cours des 30 dernières années, l'amélioration de la qualité de la vie dans les grandes villes, le bouleversement dramatique congestion routière et aéroportuaire, l'intensification de la



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

pollution atmosphérique et sonore, ainsi que la crise énergétique persistante, ont tous créé un problème écologique massif. Ainsi, le chemin de fer a fait son grand retour puisqu'il s'agit d'un mode de transport respectueux de l'environnement et devenir plus à jour, et peut se déplacer à très grande vitesse. L'utilisation du transport ferroviaire est de plus en plus jugé impératif, tant pour les déplacements en milieu urbain que suburbain. (1) (2) (3)

*Tableau 1: dates importantes dans l'histoire du chemin de fer.*

- 800 découvertes de la machine à vapeur (Watt)
- 1822 Exploitation de la première usine de construction de moteurs à vapeur (Stephenson, Newcastle, Angleterre)
- 1825 Premier trajet commercial en train à vapeur (ligne Stockton – Darlington, Angleterre)
- 1830 Exploitation du premier chemin de fer à vapeur à passagers (Liverpool –Manchester)
- 1830 Premiers rails à fond plat (Stevens, USA)
- 1858 Premières roues en acier (Bessemer)
- 1879 Dévoilement de la première locomotive électrique (Siemens-Halske, Allemagne)
- 1938 Première apparition de la traction diesel
- 1964 Exploitation du premier train à grande vitesse ( $V_{max} = 210 \text{ km / h}$ , Japon, ligne Tokyo – Osaka)
- 1981 Exploitation du premier train à grande vitesse en Europe ( $V_{max} = 260 \text{ km / h}$ , France, TGV PSE)
- 1989 Exploitation d'un train à grande vitesse à  $300 \text{ km / h}$  (France, TGV-A)
- 1990 Premier train conventionnel à atteindre une vitesse supérieure à  $500 \text{ km / h}$ , ( $515,3 \text{ km / h}$ , France)
- 2007 Dernier record de vitesse pour un train conventionnel ( $574,8 \text{ km / h}$ , France)
- 2009 Exploitation de trains ultra-rapides  $V_{max} = 350 \text{ km / h}$  (China).
- 2019 Un accident de train ayant provoqué un important incendie à la gare centrale du Caire-Egypt.(3)

### a. Avant l'Indépendance

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**.
- L'histoire des chemins de fer d'Algérie commença le **8 avril 1857**, avec un décret du Gouvernement français qui autorisa la construction de **1 357 km** de chemins de fer dans la colonie d'Algérie.



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

### ➤ Programme de 1857-1878

Le premier raccordement avec le réseau tunisien Souk-Ahras-Ghardima ou a lieu en 1884. La concrétisation des projets de chemin de fer en Algérie, intervient le 8 avril 1857, par un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1 357 km de voies ferrées dans sa colonie d'Algérie.

Le premier chantier débute le 12 décembre 1859, il porte sur la construction de la ligne d'Alger à Blida. À la société privée dénommée Compagnie des chemins de fer algériens.

Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-Denis-du-Sig ainsi qu'une liaison entre le port de Philippeville (aujourd'hui Skikda) et Constantine, mais les problèmes financiers poussent la compagnie à en interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger à Blida, qui sera ouverte le 8 septembre 1862. (4) (5)

### ➤ Cinq d'autres compagnies ont été créées pour construire les lignes restantes :



*Schéma1: les Cinq compagnies des chemins de fer algériens dans le programme1857. (6)*

L'objectif des 1357 km a été atteint et même dépassé avec des tronçons construits représentant 1 365km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie (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 BelAbbès).



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

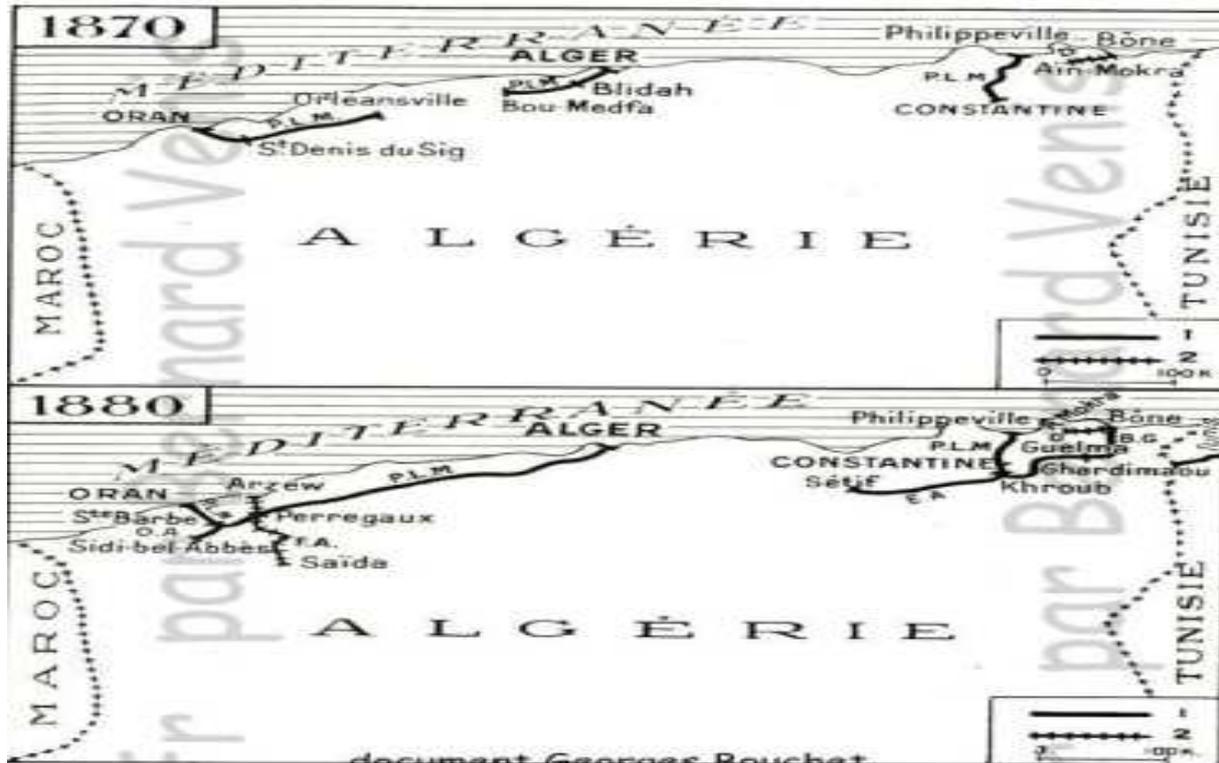


Figure 1: Réseaux ferroviaire algérien pour le programme Coloniale 1



Figure 2: Station d'Hussein-Dey sur la ligne d'Alger à Blida 1882.

### ➤ Programme de 1879-1906

2 035 km de lignes nouvelles ont été réalisés. C'est au cours de cette période qu'une deuxième connexion avec le réseau tunisien a été mise en service en 1906 (Haidra en Tunisie, le Kouif en Algérie). Le prolongement de la ligne Sidi Bel Abbés-Tlemcen Vers



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

la frontière marocaine concrétise la connexion ferroviaire Algéro-Marocaine (Akid Abbès-Oujda).

Le 18 juillet 1879 une nouvelle campagne d'investissement fut lancée à l'échelle nationale pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites "d'intérêt local" est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales. Dans les trente ans qui suivirent, **2 035 km** de ligne chemin de fer s'ajoutèrent au réseau, constituant ainsi l'armature du présent réseau ferroviaire algérienne.

En **1900** la Compagnie **franco-Algérienne**, endettée, perd sa concession ; le même Sort touche la compagnie **Bône-Guelma** en **1905** puis celle de l'Est Algérien en **1908**. **La ligne réalise dans cette période** : (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, Bejaïa et Sour El Ghzlane, Blida-Berrouaghia, Mostaganem Relizane-Tiaret, Oran-Arzew, Sénia-Témouchent, Sidi Bel Abbès-Tlemcen-Frontière, Tabia-Crampel, Méchéria-Béchar, Tizi-Mascara). (5) (6)



Figure 3: Réseaux ferroviaire algérien pour le programme Coloniale 2.

### ➤ Programme de 1907-1946



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

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 suivants, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés : Ain Beida-Tébessa, El Milia-Jijel, Biskra Touggourt avec embranchement 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.

Après les déficits des compagnies concessionnaires, l'Etat a racheté les concessions, l'Etat a racheté les concessions des compagnies **Franco-Algérienne, Est Algérien, Bône Guelma et Ouest Algérien** en **1900, 1908, 1905** et **1920**.

Le 27 Septembre 1912 est créée la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE) qui prend le relais de l'exploitation des réseaux des concessionnaires à l'exception du réseau PLM.

Le 30 Mai 1938, les lignes **CFAE** et **PLM** d'intérêt général sont rattachées à la **SNCF** récemment constituée, et le réseau algérien en devient une région. Le 1er Janvier 1939, est institué un Office des Chemins de fer Algériens (Office **CFA**).

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer sur routes (**CFRA**).

Le 30 Juin 1959 est établie la Convention entre l'Etat et l'Office CFA. Le 1er Janvier 1960, est créée une Société des Chemins de Fer Français en Algérie qui sera régie par la Convention de Juin 1959 jusqu'au 16 Juin 1963. (7) (5)



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

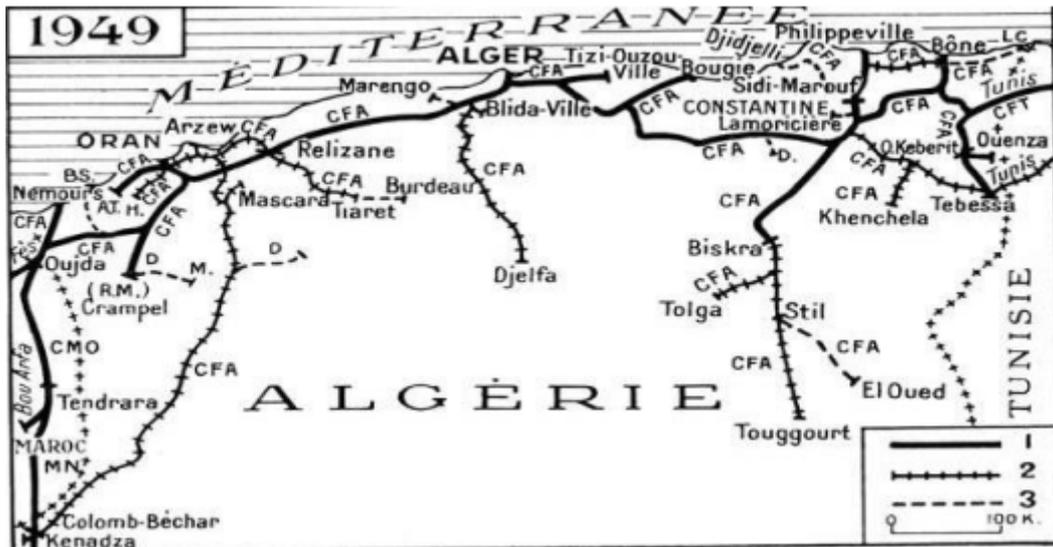


Figure 4: Réseaux ferroviaire algérien pour le programme Coloniale 3.

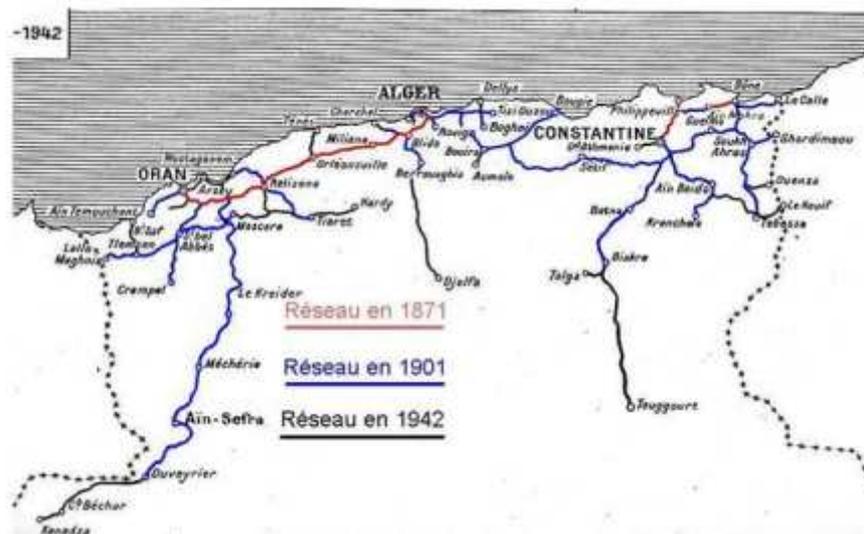


Figure 5: Résumé du réseau ferroviaire algérien pour les trois programmes Coloniale.

### b. Période postindépendance

La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens (en gardant le même sigle SNCF) le 16 mai 1963.

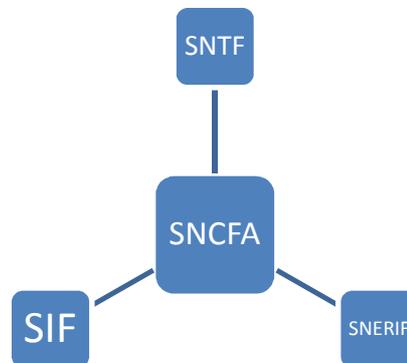
Le matériel français est conservé mais, rapidement, des commandes de locomotives et de voitures, provenant des Pays du bloc soviétique, complètent le parc.

Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'état français, l'état algérien divisa la SNCF en trois organismes distincts :



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

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



*Schéma 2: les organismes de chemins de fer.*

### c. Programme d'investissement de 1980-2016

Une convention définissant les responsabilités respectives de l'Etat et de la SNTF a été instituée par décret du 28 juin 1988. Cette convention reprend certaines dispositions de l'ancienne convention de juin 1959 concernant l'infrastructure et la compensation de service public.

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).



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

Dès 1999, une attention particulière a été accordée au secteur ferroviaire par les pouvoirs publics. De nombreux programmes d'investissements ont été inscrits et lancés depuis, notamment ceux de 1999-2005, 2005-2009 et 2009-2014.

L'ensemble de ces programmes vise le développement et la modernisation du réseau existant. Par décision du 23 Mai 2007, une nouvelle organisation est adoptée au sein de la SNTF, visant à répondre aux implications de la création de l'Agence Nationale d'Etudes et Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF). Cette réorganisation permettra à la SNTF de se recentrer sur ses métiers de base qui sont le transport de voyageurs et de marchandises.

En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.

En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouverts (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, AinTouta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées. En 2016 sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux. (4) (8)

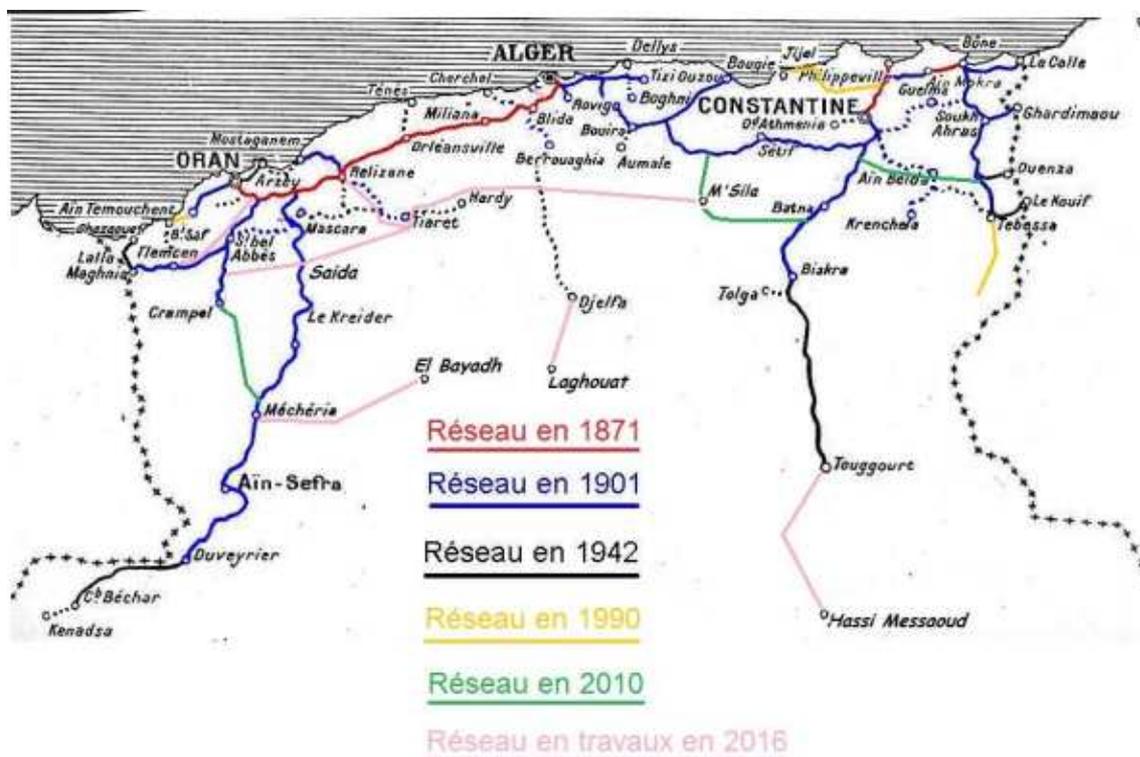


Figure 6: Résumé du réseau ferroviaire algérien pour la période postindépendance.



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

### C. Le Trafic ferroviaire Algérienne

Le chemin de fer qui assurait en 1970 près de 30% du trafic national de voyageurs et de Marchandises a vu sa part relative du marché, réduite actuellement à seulement 12.3 % du Trafic marchandises et 16.2% du trafic voyageurs.

Au lendemain de l'indépendance, le Réseau ferroviaire de l'Algérie est passé à 3900 km. Ce réseau est jugé long et très Important à cette époque. Néanmoins, il a subi, au fil des ans, des détériorations et des dégradations dues essentiellement à la négligence et au manqué d'entretien. Par la suite, il s'est avéré qu'il était dépassé et ne répondait pas aux exigences du pays vu la croissance Démographique et les autres défis le trafic ferroviaire total représenter à l'année 2017 par un trafic des voyageurs se voit dans les grandes lignes par un pourcentage de 55.66 % et 44.34 % de trafic commercial ferroviaire(marchandise). (9) (5) (10)

### D. Réseaux ferroviaire Algérienne

Le réseau ferré Algérien a connu beaucoup d'étapes depuis sa naissance jusqu'à Aujourd'hui.

#### a. Architecture générale du réseau actuel

La SNTF exploite aujourd'hui un réseau ferroviaire de 4016.25 km avec les caractéristiques suivantes :

- Longueur totale des lignes du réseau ferroviaire algérien s'élève à 4016.25 Km
- Longueur des lignes en exploitation 4016.25 km (2017)
- Longueur des lignes en double voies : 520.44 km (2015)
- Longueur des lignes en voie unique 3 701.94 km (2015)
- Longueur des lignes électrifiées : 466.38 km. (2017)
- Longueur des lignes pour voie étroite : 164.5 km (2015).

Le réseau comporte en outre 3000 ouvrages d'art, 120 tunnels et 200 gares ouvertes au trafic marchandises et voyageurs et de 200 embranchements, raccordant les unités et zones industrielles et les principaux ports.

#### ❖ Le Parc Matériel Roulant et les Centres de Maintenance

La SNTF dispose d'un parc composé de :

- 152 locomotives diesel électriques de ligne à voie normale pour le service fret avec une moyenne d'Age de trente-trois ans ;



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

- 39 locomotives diesel électriques de ligne à voie normale pour le service voyageur avec une moyenne d'âge de onze ans ;
- 14 locomotives électriques de ligne à voie normale avec une moyenne d'Age de dix-sept ans ;
- 22 locomotives de manœuvre avec une moyenne d'âge de vingt-sept ans ;
- 23 locotracteurs avec une moyenne d'âge de treize ans ;
- 25 locomotives diesel électriques à voie métrique avec une moyenne d'âge de trente-trois ans ;
- 17 automotrices diesel hydrauliques à voie normale acquises en 2008- 2009 ;
- 64 automotrices électriques à voie normale pour la banlieue d'Alger acquises en 2008-2010 ;
- 424 voitures dont 227 destinées au service transport de voyageurs grandes lignes sur voie normale avec une moyenne d'âge de trente-trois ans ;
- 11 510 wagons dont 4 016 wagons spécialisés en minéraliers, phosphates, céréaliers et citernes. L'âge moyen du parc remorqué à marchandises est de trente-quatre ans.

La SNTF dispose de plusieurs centres pour la maintenance du matériel roulant :

- Base principale de maintenance des locomotives de Rouïba ;
- Atelier de maintenance ferroviaire de Sidi Bel Abbes, de Mohammadia et de Sidi Mabrouk à Constantine ;
- Atelier de maintenance, de remisage et de nettoyage des automotrices électriques du Caroubier.

Mises en service en 2011, les installations de Caroubier prennent en charge toutes les activités de maintenance et d'entretien du parc automoteur électrique avec une capacité de traitement de cent vingt rames automotrices ;

- Centre de maintenance intégrée de Mecheria. Il a été transféré de l'ANESRIF à la SNTF le 12 août 2013. Ce centre est chargé de la maintenance du matériel moteur et remorqué.

### **b. Le programme futur de développement des infrastructures et de modernisation De réseaux ferroviaires**

Ces programmes comportent des opérations de renouvellement des voies existantes, de renouvellement et de renforcement des ouvrages d'art anciens (Ponts et Tunnels), la création



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

de lignes nouvelles, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits des lignes, la modernisation des équipements de signalisation télécommunication, la construction d'ateliers de maintenance du Matériel roulant, l'électrification des lignes.

En 1999, le linéaire en voies ferrées disponible était de 1700 km.

Aujourd'hui, il s'est hissé au niveau de 4016.25 km et ce, après l'achèvement de certains projets, dont la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbès vers Béchar. À la réception des projets de réalisations en cours à l'horizon 2020, il sera de plus de 6.300 km.

Dès l'achèvement de tout le programme ferroviaire national, avec notamment le maillage de tout le réseau, le linéaire total atteindra les 12.500 km (hors voies de service).

### c. Les investissements

#### ❖ Le Programme ferroviaire national pour 2025

Conscientes que le transport ferroviaire recèle un potentiel important pour répondre aux besoins de mobilité des filières de production, les autorités algériennes ont adopté un schéma directeur à l'horizon 2025 pour ce mode de transport qui définit sa stratégie de développement ainsi que les objectifs commerciaux qu'il doit atteindre. Cet ambitieux programme nécessite la mobilisation de 1 581 milliards de DA. Il concernera essentiellement :

- La construction de 3 353 km de lignes nouvelles ;
- L'électrification de 6 270 km et la mise à niveau du réseau ;
- Le dédoublement de 1 380 km ;
- Le renouvellement de 4 658 km et la mise à niveau du réseau ;
- L'aménagement de 13 plateformes logistiques ;
- La suppression de 416 passages à niveaux et la clôture des emprises sur 1 000 km ;
- L'aménagement de cinq gares de triage.

Ainsi et à l'horizon 2025, le réseau national Algérien compterait un linéaire total de 6 553 km de voies totalement électrifiées, dont 1 776 en double voie. La sécurité de circulation sera assurée par des systèmes modernes (ETCS41 et GSM-R42). Les standards seront améliorés au niveau de la charge à l'essieu, de la vitesse et du profil en long. [21]  
La réalisation de ce programme se fera en trois phases :



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

### ➤ Phase de rattrapage :

Elle est consacrée à la reconquête de la clientèle traditionnelle généralement captive afin de réaliser un trafic de 15 millions de tonnes et 80 millions de voyageurs. Près de 2 000 km sont concernés par cette phase pour un budget global de 360 milliards de DA. Cette phase comprend trois programmes :

- Le programme normal (PEC) visant à activer la mise en exploitation des investissements engagés depuis 1980 ;
- Le programme de soutien à la relance économique (PSRE) lancé depuis 2001 destiné à améliorer le maillage du réseau ;
- Le programme complémentaire de soutien à la croissance (PCSC) qui a pour objectif la modernisation et l'amélioration des performances commerciales du réseau...

### ➤ Phase de consolidation :

Au cours de laquelle le rail augmenterait ses parts de marché pour atteindre 35 millions de tonnes de Marchandises et 120 millions de voyageurs. Le programme de cette phase comprend :

- Les schémas d'aménagement ferroviaires des régions d'Alger, d'Oran, d'Annaba et de Constantine et dans un deuxième temps ceux des agglomérations dont la population dépasse 100 000 habitants ;
- La réalisation des plateformes logistiques et des ports secs par la construction d'embranchements particuliers des zones industrielles importantes ;
- La poursuite de la réalisation de la rocade des Hauts Plateaux par la continuation des travaux d'électrification et de renouvellement du réseau existant et le lancement des tronçons qui vont permettre un meilleur maillage du réseau national.

### ➤ Phase d'extension :

Où le chemin de fer devrait atteindre une part du marché national de transport de 20% avec 60 millions de tonnes de marchandises et 160 millions de voyageurs. Cette phase concernera surtout :

- L'achèvement de la rocade des Hauts Plateaux ;
- La réalisation de la boucle du Sud par la liaison Laghouat-Ouargla- Hassi Messaoud ;



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

- Les travaux de liaison Annaba-Tabarka (interconnexion avec le réseau tunisien). Si ce programme d'investissements dans l'infrastructure peut être qualifié d'important, voire d'ambitieux, les prévisions d'acquisition de matériel roulant et le renforcement de la capacité de maintenance paraissent dérisoires. Même avec une nette amélioration de la disponibilité et de la rotation, le parc matériel risque d'hypothéquer la réalisation du trafic attendu.

### ❖ La Situation actuelle :

La situation des projets ferroviaires à fin 2015, se présente comme suit :

- Projets réalisés et réceptionnés : seize projets sont réalisés et réceptionnés totalisant un linéaire de 1 943 km dont 407 Km de lignes nouvelles (sept projets). Le coût global de ces projets est de 227 milliards de DA ;
- Projets en cours de réalisation : trente-et-un projet sont en cours de réalisation totalisant un linéaire de 3 828 km dont 1 798 Km de lignes nouvelles (vingt projets). Le coût global de ces projets se chiffre à 1 680 milliards de DA ;
- Projet en études : quarante-sept projets sont en phase études, dont quarante-six projets concernent des nouvelles lignes réparties comme Suit :
- Cinq projets d'électrification à double voie et avec signalisation conçus pour une vitesse de 220km/h et totalisant 490 km (100 km pour Annaba et la frontière algéro-tunisienne, 120 km pour El Gourzi- Ramdane Djamel Skikda, 130 km pour Sétif-Jijel, 50 km pour El attaf-Oued Sly et 90 km pour Zéralda-Gouraya) ;
- Trente-neuf projets de nouvelles lignes électrifiées à voie unique et avec signalisation conçues pour une vitesse de 220 Km/h et totalisant 5 526 Km.

Plusieurs projets du Schéma directeur du secteur ferroviaire sont en phase de réalisation avancée, d'autres en cours de lancement. Cependant, les réalisations du trafic aussi bien fret que passagers, sont loin d'être en harmonie avec les prévisions de base. Il est opportun d'entamer un diagnostic profond pour déterminer les causes réelles d'entrave au développement de la production et d'arrêter les mesures correctives adéquates pour la relance de l'activité ferroviaire. L'acquisition de matériels roulants nécessite une période longue (4 à 5 ans). Il est donc nécessaire d'établir un programme d'achat et de réhabilitation calqué sur l'avancement des projets d'infrastructure et des prochaines configurations quantitatives et qualitatives de l'offre ferroviaire.



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

### ❖ Projets réceptionnés : (11)

Tableau 2: Projets En Cours (Travaux Et Etudes).

Projet	Longueur	Anne de Récep
Tizi-Ouzou / Oued-Aissi	14 km	2014
Raccordement de Béni-Saf	3 km	2015
Pont rail Mohammadia	2,4 km	2015
Bouchegouf / Souk Ahras	91 km	2016
Birtouta / Zéralda	23 km	2016
Arzew / Arzew (ville)	7 km	2017
Thenia / Tizi Ouzou	48 km	2017
Saida /Moulay Slissen	120 km	2017
Mècheria/ Bechar	360 km	é2011
Redjem-Demouche / Mecheria	148 km	2011
Tabia / Redjem-Demouche	225 km	2017
Totale	1063 km	

### ➤ **Axe 01 : La Rocade ferroviaire nord et ses dessertes :**

Pour désenclaver les villes des hauts plateaux et l'exploitation économique de cette région, cette rocade sera parallèle à celle du Nord et sera reliée par des dessertes et ce constitué de :

- 1822 Km de linéaire (1.250 km d'Annaba à Akid Abbas et 572 km linéaire des dessertes).
- 22 Wilaya desservies, représentant plus de 20 Millions d'habitants (Environ 50% de la population globale).
- 216 Gares et Haltes.
- 09 Grands Ports raccordés et à raccorder.
- Raccordement de zones industrielles.

### ◆ **Wilaya desservies**

Frontière Algéro - marocaine (Akkid Abbas) - Tlemcen - Sidi Bel Abbas - Oran - Relizane -Chlef - Blida - Alger - Bouira - Bordj Bouareridj - Sétif - Constantine - Annaba – frontière tunisienne (Tabarka).



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

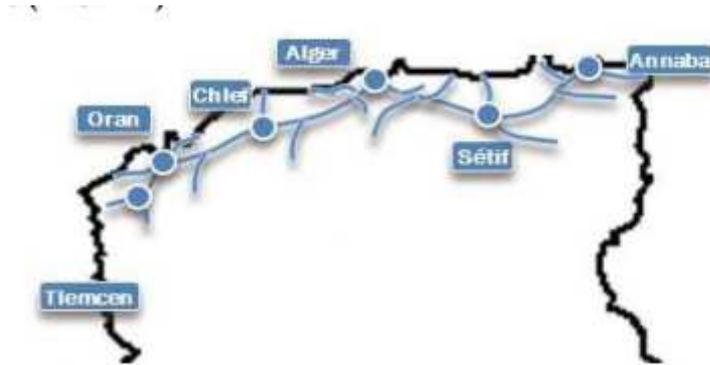


Figure 7: La Rocade ferroviaire nord et ses dessertes

➤ **Axe 02 : Réalisation nouvelle de la rocade des Hauts Plateaux :**

1.160 km de linéaire (532 km en exploitation et 628 Km à 160 km/h en cours de réalisation)  
10 Wilaya des servies, représentant environ 07 Millions d'habitants (Environ 20% de la population globale).

◆ **Wilaya desservies**

Moulay Slissen - Saida - Tiaret -Tissemsilt - Boughzoul - Msila - Ain Touta - Ain Mila – Tébessa.



Figure 8: Réalisation nouvelle de la rocade des Hauts Plateaux

➤ **Axe 03 : Réalisation de la pénétrante Ouest.**

La ligne Tabia-Béchar, longue de 580 km longe la frontière Ouest de l'Algérie. Elle est opérationnelle depuis plus de 4 ans et permet des vitesses de parcours allant jusqu'à 160 km/h. et une jonction avec Tindouf (950 km plus au Sud) est prévue dans le programme des études.



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

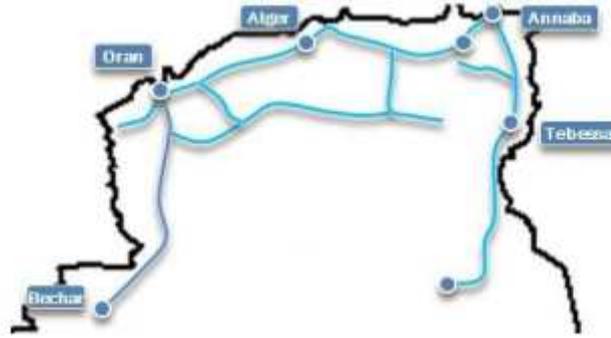


Figure 9: Réalisation de la pénétrante Ouest.

### ➤ Axe 04 : Réalisation de la pénétrante centre

- 290 km de ligne nouvelle à 220 km/h en travaux
- 86 km de ligne nouvelle en étude
- Signalisation et Télécommunications (ERTMS/GSMR)

### ◆ Wilaya desservies

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

## Pénétrante Centre



Figure 10: Réalisation de la pénétrante centre



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

- **Axe 05 : Modernisation et Prolongement de la Pénétrante Est**
  - Modernisation pour une vitesse moyenne de 160 km/h
  - Extension de la ligne vers Hassi messaoud à une vitesse de 220 km/h
  - Signalisation et Télécommunications
- ◆ **Wilaya desservies**  
El Gourzi - Ain Milila - Batna - Biskra - Touggourt - Hassi Messaoud.



Figure 11: Modernisation et Prolongement de la Pénétrante Est

- **Axe 06 : Boucle Sud Est**
  - 425 km de ligne nouvelle à 220 km/h en études
  - Signalisation et Télécommunications (ERTMS/GSMR).



Figure 12: Boucle Sud Est



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

### ➤ **Axe 07 : Boucle Sud-Ouest**

Il s'agit d'une boucle de 1500 km de voies ferrées à réaliser. Elle reliera toutes les villes-oasis du Sud Ouest en allant de Ghardaïa jusqu'à la jonction avec la ville de Béchar, au Sud-Ouest. Elle traversera les villes de Ménéa, Timimoune, Adrar, Béni Abbès, et une jonction avec In Salah et Tamanrasset (1090 km plus au Sud. Les études de cette boucle dont la vitesse de circulation prévue est de 220 km/h, sont en cours



Figure 13: Boucle Sud-Ouest

### ➤ **Axe 08 : Ligne Minière Est (588 km) :**

Appelée ainsi pour être le lien vital avec les mines du Sud Est algérien

- Etude de la nouvelle ligne ferroviaire entre Djebel El Onk et El Oued : 200 km
- Etude de Dédoublément, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST (Annaba /Djebel-Onk) : 388 km.
- Travaux de renouvellement de voie et ballast : 320 km en cours,

#### ❖ **Travaux à lancer**

- Signalisation, télécommunications et énergie 230 km, 31 Gares, ainsi que le renouvellement des voies et ADV et remaniement de la gare de Souk Ahras.
- Travaux d'électrification Annaba (gare maritime) - Poste II (El Hadjar), Dreaan Bouchegouf, Soul Ahras Oued Kébrit, Oued Kébrit – Ouenza, Ain Chenia- Boukhadra : 131 km.
- Lancement des travaux de Dédoublément, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST de 388 km (Annaba /Djebel-Onk).



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

### ligne minière



Figure 14:Ligne Minière Est (588 km)

#### d. Sociétés Exploitantes

##### 1. Pendant la colonisation française :

- **Compagnie des chemins de fer algériens** : construire et gérer les trois premières lignes de chemin de fer de l'Algérie entre 1860 et 1863.
- **PLM réseau d'Algérie** : Construire et exploiter des lignes concédées et des lignes affermées entre 1863 et 1939.
- **Compagnie de l'Ouest algérien** : construire et exploiter un réseau dans le département d'Oran entre 1881 et 1920.
- **Compagnie franco-algérienne** : construire et exploiter un réseau dans le département d'Oran entre 1873 et 1888.
- **Réseau Oranais de l'État** : construire et gérer des lignes de chemin de fer à Oran entre 1916 et 1927.
- **Compagnie de l'Est algérien** : construire et exploiter un réseau dans le département de Constantine entre 1879 et 1914.
- **Compagnie des chemins de fer Bône-Guelma** : construire et gérer des lignes de chemin de fer en Algérie entre 1875 et 1915.



## Chapitre I : généralité sur le chemin de fer

- **Compagnie des chemins de fer algériens de l'État** : exploité un réseau de lignes de chemin de fer a dans la région de Constantine, Oran et Bône entre 1908 et 1938.
- **Compagnie du chemin de fer Bône - Mokta - Saint Charles** : construire et exploiter un chemin de fer a dans le département de Bône entre 1858 et 1915.
- **Chemin de fer de Bône à La Calle** : construire et exploiter un chemin de fer dans le département de Constantine entre 1904 et 1939.
- **Chemins de fer sur routes d'Algérie** : exploiter un réseau de chemins à voie étroite dans le département d'Alger entre 1894 et 1935.
- **Office des chemins de fer algériens** : gestion des lignes ferroviaires en Algérie entre 1939 et 1959.
- **Société nationale des chemins de fer français en Algérie** : Le 30 juin 1959 le gouvernement français et l'Office des chemins de fer algériens signent une convention créant la Société Nationale des Chemins de Fer Français en Algérie.

### 2. Après l'indépendance de l'Algérie

Après l'indépendance du pays et par Décret du 16 mai 1963, la Société nationale des chemins de fer français en Algérie change de statut et de nom, et devient la Société nationale des chemins de fer algériens (SNCFA). Elle disparaît le 25 mars 1976 et remplacée notamment par la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF).

### E. Conclusion

dans ce chapitre, nous avons essayé de voir l'historique du chemin de fer et son évolution au niveau mondiale et nationale et le programme des investissements des projets ferroviaires aux niveaux nationaux. Le transport est un facteur d'indicateurs économique pour les pays, donc le développement du réseau ferroviaire d'un pays est un signe de son développement économique.



## Chapitre 2 : présentation du projet

### **A. Introduction**

Le projet de la modernisation de ligne Thénia Tizi Ouzou et son électrification jusqu'à Oued Aissi s'encadre dans le programme pour l'amélioration du transport entre la wilaya d'Alger Boumerdès et Tizi Ouzou

L'état vétuste et sinueux que présente cette ligne ont reconduit la SNTF à entreprendre les travaux en vue de sa modernisation, le nouveau tracé sera donc redéfini permettant une augmentation de vitesse des trains à 160 km/h en voie principale et réduisant ainsi sensiblement le temps de parcours.

La ligne sera aussi électrifiée jusqu'à OUED AISSI ; ce qui comportera le renouvellement du matériaux roulant aussi bien que pour les trains régionaux que pour les navettes et trains marchandises seront tractés par locomotive diesel dont la vitesse de pointe sera de 80 km/h, bien que dans un premier temps la circulation sur cette nouvelle ligne sera prévue uniquement sur voie unique ; la plateforme et les ouvrages d'art seront réalisés pour double voies en tenant compte du pronostic futur de trafic.

### **B. Présentation de la zone d'étude**

#### **a. Présentation de la wilaya de Boumerdès :**

La Wilaya de Boumerdès est une wilaya côtière du centre du pays qui s'étend sur une superficie de 1 456,16 Km<sup>2</sup> avec 100 Km de profil littoral allant du cap de Boudouaou El Bahri à l'Ouest, à la limite Est de la commune de Afir. Sa population est évaluée au dernier recensement de la population de 2008 à 801 068 habitants. La répartition de cette population sur son territoire est homogène avec une nette concentration au niveau des agglomérations chefs-lieux de communes.

Elle compte actuellement 32 Communes regroupées autour de 09 Daïras : Boumerdès – Boudouaou – Bordj-Ménaïel – Baghlia – Dellys – Isser – Khemis El Khechna – Naciria et Thénia

- Daïra de Boumerdès : Boumerdès - Corso - Tidjelabine.
- Daïra de Boudouaou : Boudouaou – Boudouaou El Bahri – Kharrouba – Bouzegza Keddara – Ouled Haddadj.
- Daïra de Bordj-Ménaïel : Bordj Ménaïel – Zemmouri – Leghata – Djinet.



## Chapitre 2 : présentation du projet

- Daïra de Baghlia : Baghlia – Sidi Daoud – Taourga.
- Daïra de Dellys : Dellys – Afir – Benchoud.
- Daïra de Khemis El Khechna : Khemis El Khechna – Ouled Moussa – Larbatache – Hamadi.
- Daïra d'Isser : Isser – Si Mustapha – Timezrit – Chabet El Aneur.
- Daïra de Naciria : Naciria – Ouled Aissa
- Daria de Thénia: Thenia – Souk El Had – Ammal – Beni Amrane.
- entree wilaya

La Wilaya de Boumerdès est une wilaya côtière du centre du pays avec 100 Km de profil littoral. Elle se situe dans la région Nord Centre, partie intégrante de l'Est de l'aire métropolitaine d'Alger. La superficie globale de la wilaya de Boumerdès est de 1 456,16 Km.

La wilaya de Boumerdès est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée entre Boudouaou El Bahri et Afir ;
- À l'Ouest par la wilaya d'Alger ;
- À l'Est par la wilaya de Tizi Ouzou (massif de la haute Kabylie) ;
- Au Sud-Ouest par la wilaya de Blida (plaine de la Mitidja) ;
- Au Sud par la wilaya de Bouira (plateau de Bouira).



Figure 1: carte de la wilaya de Boumerdès (site web).

### b. Situation géographique et reliefs

La wilaya de Boumerdès est une wilaya à vocation agricole. Elle constitue un carrefour de passage de la capitale dont elle est distante de 45 Km vers l'Est du Pays et la Kabylie par des



## Chapitre 2 : présentation du projet

voies de communication diverses (chemins de fer et autoroute). Son chef-lieu est distant de 35 Km de l'aéroport international d'Alger.

Le relief de la Wilaya de Boumerdès se caractérise par la juxtaposition d'ensembles physiques bien différenciés : Les plaines et les vallées au nord, les collines et plateaux dans la partie intermédiaire et les montagnes au Sud.

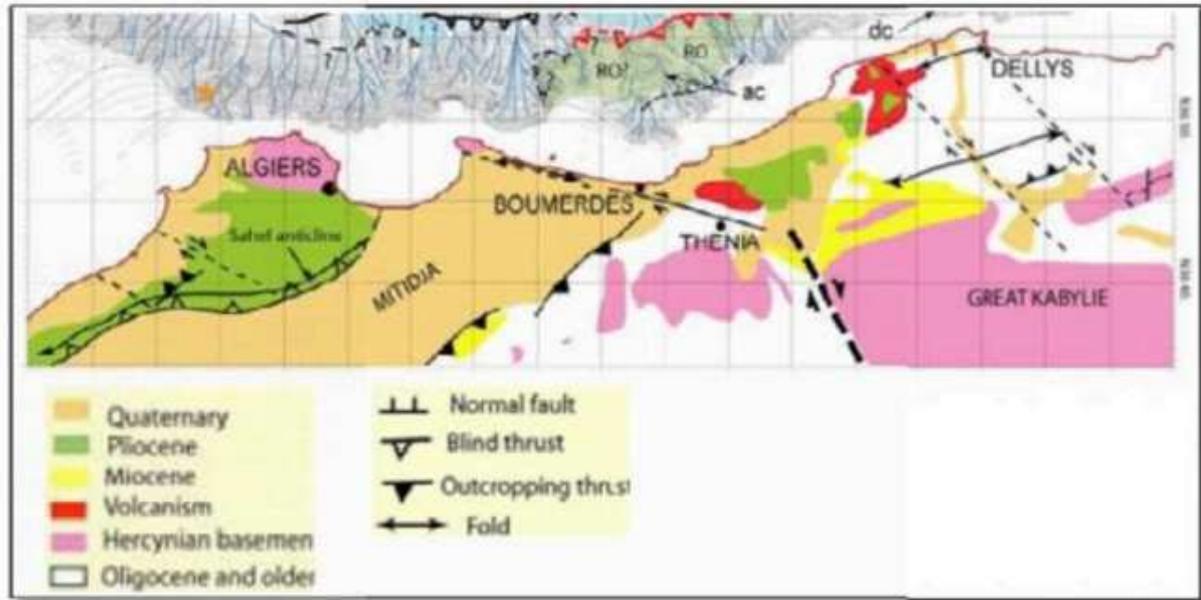


Figure 2 : carte géologique de la région

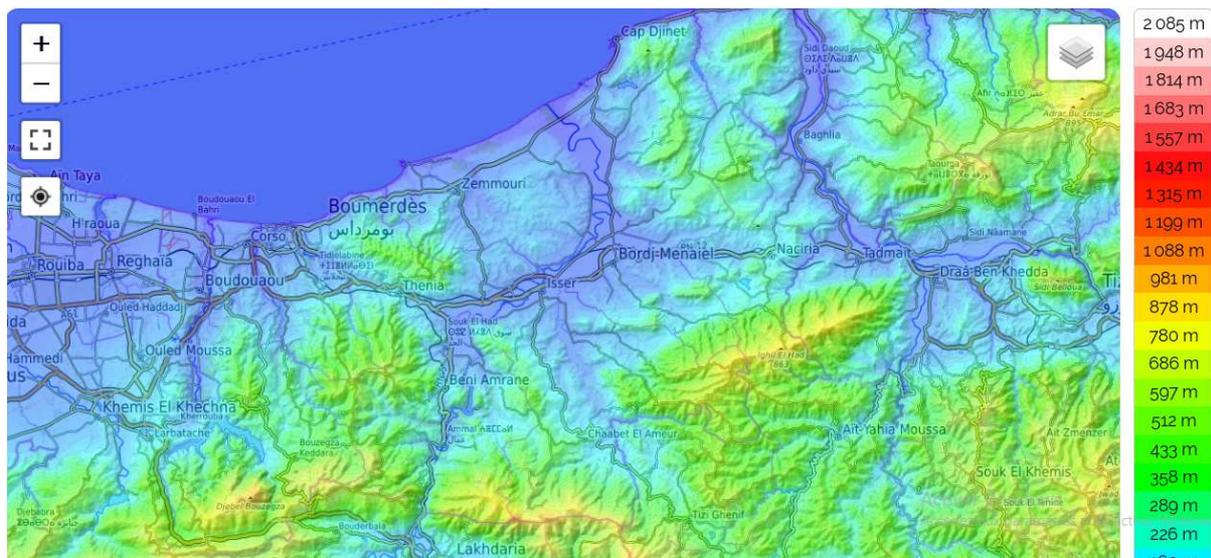


Figure 3: carte des reliefs topographiques de la wilaya de Boumerdès.



## Chapitre 2 : présentation du projet

### c. La sismicité :

La conception et la réalisation de tout projet, doivent prendre compte l'aléa sismique de la région en se référant au règlement parasismique algérien réajusté après le séisme de 21 mai 2003. En effet le tracé traverse la wilaya de Boumerdès classée dans la zone de forte sismicité (zone III).

### C. Description du projet :

Le projet de Thénia -Tizi Ouzou a les caractéristiques suivantes :

- Longueur du projet : 48.8 Km avec une plate-forme à double voie,
  - 10.5 Km tracé existant ;
  - 29 Km tracé nouveau.
- 07 gares intermédiaires :
  - 03 gares sur emplacement actuels ;
  - 04 gares sur nouveau site.
- Trois types de trains sont prévus pour cette ligne :
  - Navettes ;
  - Trains de marchandises ;
  - Les trains régionaux.

### D. Présentation générale de notre projet :

Notre projet intitulé « ETUDE DU TRONCON THENIA NACIRIA (Du pk 0+000 au pk 26+200) DE LA MODERNISATION DE LA LIGNE FERROVIAIRE DOUBLE VOIES ELECTRIFIEE THENIA / NACIRIA SUR UN LINAIRE DE 26 KM ET 200 M AVEC L'AMENAGEMENT DE LA GARE DE BORDJ MENAEIL.

Le tracé constitue la modernisation de la ligne ferroviaire THENIA à NACIRIA avec implantation de 4 gares ferroviaires, cette ligne est destinée pour transporter les voyageurs et marchandises.



## Chapitre 2 : présentation du projet



Figure 4: carte du tracé de notre projet.

- **Les différents PK du projet**
- PK 00+00 au PK 6+200 (Naciria au Si Moustapha) (section A)



Figure 5: le tronçon de la section A.

- PK 6+200 au PK 15+500 (Si Moustapha au Bordj Ménaïel) (section B)

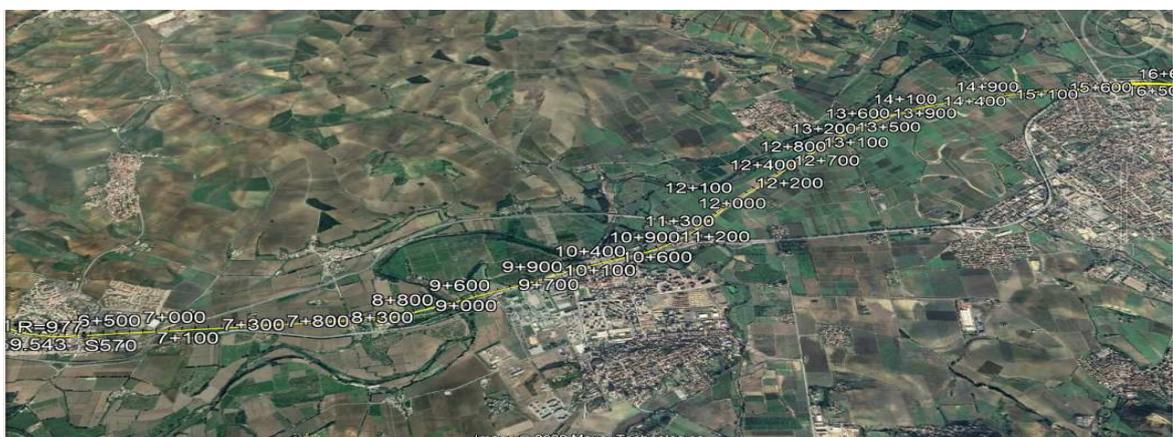


Figure 6: le tronçon de la section B.



## Chapitre 2 : présentation du projet

- PK 15+500 au PK 26+200 (Bordj Ménaiel au Naciria) (section C)



Figure 7: le tronçon de la section C.

### E. Le but du projet :

Cette infrastructure améliorera la qualité du réseau de transport et facilitera le déplacement des biens et des personnes entre les trois wilayas : Alger, Boumerdès et Tizi Ouzou ce qui contribuera à l'essor économique de cette région.

Le nouveau tracé sera donc redéfini permettant une augmentation de la vitesse des trains à 160 Km/h en voie principale et réduisant ainsi sensiblement le temps de parcours Alger Tizi Ouzou à 68 min, Thénia – Tizi-Ouzou à 31 min.

Désengorger l'activité au niveau de la gare actuelle de Tizi Ouzou exigüe et peu fonctionnelle qui ne présente plus les conditions de sécurité requise notamment les opérations de dépotage des wagons à carburant.

### F. Etat actuel de la ligne existante

La ligne est mise en service depuis avril 2017, pour parcourir la distance de 26 km 200 dans une durée de 30 minutes de temps en passant par deux gares «SI MUSTAPHA ; BORDJ MENAIEL » et le taux d'avancement du projet total est de 97,18%.



## Chapitre 2 : présentation du projet

### G. Etude préliminaire :

Avant commencement de tout projet ; l'ingénieur commence à chercher les couloirs possibles au passage de la ligne ferroviaire. Il est impérativement recommandé de faire une comparaison entre les couloirs que ce soit par rapport à l'aspect topographique, géologique, hydrologique, et bien sûr le côté socio-économique afin d'aboutir à un choix final plus raisonnable et avantageuse.

Nous avons pris en considération trois (3) variantes pour parvenir à un choix judicieux.



*Figure 8: la carte des variantes.*

#### a. La variante n° 1 :

Il se situe au-dessus de la ligne existante d'après les cartes sur Google Earth Pro on peut voir les obstacles suivants :

- Croisement avec la RN5, RN12, et chemin de wilaya,
- Relief montagneux,
- Terrain agricole,
- La ville de Si Mustapha,
- Il contourne la ville de Bordj Ménaïel.

#### b. La variante n° 2 :



## Chapitre 2 : présentation du projet

C'est la ligne déjà existante d'après Google Earth on constate que les terrains sont agricoles, dans son passage :

- Il traverse la ville de Bordj Ménaiel au milieu,
- Un village en suivant la RN 12,
- Présente un croisement avec la RN 12,
- Il passe par Oued Djemaa et oued Isser.

### c. La variante n°3 :

Il est situé du deuxième couloir de 224 m et il rencontre les mêmes obstacles tels que suivant :

- Présente un croisement avec la RN 12,
- Il passe par Oued Djemaa et oued Isser.
- Présente un croisement avec la RN 12,
- Il passe par Oued Djemaa et oued Isser,
- Des reliefs.

*Tableau 1: Le tableau comparatif entre les trois variantes*

	Nombre d'ouvrages d'art				Nombre d'ouvrage hydraulique					La longueur du tracé
	Pont rail	Pont route	viaduc	mur	Buse de différents D	DALOTS	Fossé	collecteurs	Ouvrage existant	
V 1	6	5	4	8	32	44	11	20	2	26Km 200
V 2	6	5	4	8	45	51	13	22	2	34Km 100
V 3	6	5	4	9	44	54	15	24	4	35 km

Selon l'analyse réalisée, on ne peut pas choisir la première et la deuxième variante en raison des conséquents ouvrages coûteux à réalisés et des habitations à démolir et risque



## Chapitre 2 : présentation du projet

d'opposition de la population de la région via a leurs terrains agricoles, donc ce n'est ni rentable pour le maitre de l'ouvrage ni bénéfique pour les riverains de la région.

Il semble que la première variante est plus avantageuse car elle facilite la réalisation et réduit le nombre d'ouvrage d'art ; donc un cout global moins important.

### **H. Intérêts sociaux économiques**

L'événement du transport ferroviaire au niveau de la wilaya de Boumerdès a offert aux citoyens de la région un nouveau mode de transport rependant aux attentes d'une certaine catégorie, ce qui stimula la mobilité des gens avec toutes les retombées positives sur la société.

La ligne ferroviaire facilite aussi les déplacements pour les ouvriers travaillants au niveau de la zone industrielle.

Toujours dans le cadre de l'enjeu économique, la mise en exploitation de cette ligne ferroviaire peut encourager l'émergence d'activité adjacentes, tels que les commerces et les services, ce qui pourrait avoir un effet positif sur l'absorption du chômage,

### **I. Conclusion**

Le projet de la modernisation et électrification de la ligne ferroviaire THENIA vers NACIRIA (wilaya de Boumerdès) est une liaison stratégique sur le plan socio-économique national et régional. Ce projet vient de renforcer le réseau ferroviaire national, comme il sera une source d'apaisement du réseau routier et des utilisateurs de la route par absorption d'un taux important du poids lourd dédié au transport des marchandises. Le projet servira aussi à la diminution du temps de parcours, taux d'accidents de la circulation, diminution des émissions de polluants (ligne électrifiée), réduction des niveaux de bruit généré par les lignes traditionnelles (en fioul) ...etc. Les nombreux impacts positifs justifient à eux seuls la mise en œuvre de ce projet. Et pour cela on a choisi la première variante comme choix du tracé pour l'APD en vue de satisfaction de tous les paramètres nécessaire pour réussir le projet.



### A. Introduction

Le tracé en plan d'une voie ferrée est la projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe de la voie. Ce tracé est constitué généralement d'une succession d'alignement droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressifs, chaque ligne est caractérisée par deux vitesses :

$V_{\max}$  : vitesse maximum (vitesse des voyageurs) ;

$V_{\min}$  : vitesse minimum (vitesse des marchandises).

La vitesse de circulation des véhicules est sans doute le paramètre le plus important dans la problématique des études de tracé. Les caractéristiques du tracé en plan et en élévation déterminent dans une large mesure la vitesse maximale de circulation des véhicules. En effet, la vitesse de circulation est limitée par :

- Les différentes accélérations auxquelles sont soumis les convois circulant sur une trajectoire courbe (problèmes de confort, sécurité, usure...);
- Les caractéristiques du matériel moteur dans les déclivités (puissance, capacité de freinage...).

Le passage d'un alignement à une courbe ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort des voyageurs et l'inscription des wagons dont l'inertie est importante dans les courbes. Afin d'obtenir une vitesse régulière sur un tronçon de ligne, il est nécessaire d'établir un tracé dont les caractéristiques géométriques soient homogènes. Pour cela, l'adaptation au terrain est un des critères majeurs du tracé, cela veut dire que les éléments du tracé doivent être dans tous les cas à l'échelle des grandes lignes du terrain.

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

### B. Les éléments constitutifs du tracé en plan :

#### a. Les alignements droits

C'est un tracé droit ; c'est le tracé idéal pour les voies ferrées et aussi pour le confort des voyageurs. La seule limitation pour les alignements droits dans le tracé des voies ferroviaires



## Chapitre III : le tracé en plan

c'est la longueur minimale des éléments qui doivent respecter les conditions suivantes (10)(4):

Tableau 1: les valeurs limites des alignements droits

Valeurs limites normales	$L_{\min}=V_v/2$
Valeurs limites exceptionnels	$L_{\min}=V_v/3$

Où :

- $V_v$  c'est la vitesse des trains rapides exprimée en (km/h)
- $L_{\min}$  est la longueur minimale de l'alignement droit exprimée en (m).

### b. Les courbes circulaires :

Dans les zones où la topographie ou le terrain ne nous permettent pas d'emprunter un itinéraire rectiligne, nous avons besoin de connexions circulaires avec un rayon aussi grand que possible en fonction de la vitesse à laquelle le train se déplace dans la courbe.

### c. Courbes de raccordements :

Les connexions doivent être faites avec une courbe de gradient entre les lignes droites et les cercles de connexion. Les courbes clothoïde sont les courbes de liaison les plus couramment utilisées car la courbure est proportionnelle à l'abscisse de la courbe pour les raisons suivantes(10) :

- Introduire progressivement le devers
- Satisfaire le tracé esthétiquement
- Respectez les conditions de confort et de la sécurité.



Figure 1: Eléments géométriques de tracé en plan.

### C. Conditions de raccordements



## Chapitre III : le tracé en plan

### a. Condition de gauchissement :

On doit limiter, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du Rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

### b. Condition du confort optique :

C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

### c. Condition du confort dynamique :

C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.(4)

### D. Critère de limitation des paramètres du tracé :

Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé, certains ont été limités afin de respecter les exigences de sécurité, de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie. Les valeurs limites suivantes ont été définies (15) :

#### a. Valeurs limite normales :

Ce sont les valeurs qui ne devraient pas être dépassées et qui devraient être largement respectées pour les circulations roulant aux vitesses maximales ou minimales admissibles.

#### b. Valeurs limite exceptionnelles :

C'est des valeurs plus défavorables que les valeurs normales, qui peuvent être utilisées dans des circonstances exceptionnelles. Les valeurs limites normales et exceptionnelles conditionneront la définition géométrique du tracé. La marge exceptionnelle d'un paramètre est la différence qui existe entre les valeurs limites exceptionnelles et normales. Si la valeur d'un quelconque paramètre dépasse la valeur limite normale, il faudra tenir Compte des considérations suivantes :

- Si un seul paramètre dépasse la valeur limite normale, sa valeur pourra atteindre la valeur limite exceptionnelle.
- Si plusieurs paramètres dépassent la valeur limite normale, il sera admis un dépassement maximum de 80 % de la marge exceptionnelle pour le paramètre le



## Chapitre III : le tracé en plan

plus défavorable alors que les autres paramètres ne devront dépasser cette marge que de 20 %.

- Il est recommandé qu'un paramètre ne dépasse pas plus d'une fois la valeur limite normale sur un tronçon de 20 km de long.

### E. Rayon minimal normal des courbes circulaires :

Les paramètres à prendre en considération pour la détermination des rayons minimaux de courbure sont :

- Les vitesses maximales et minimales d'exploitation ;
- Le dévers appliqué ou dévers normal ou réel ;
- Les valeurs limites d'insuffisance et d'excès de devers.

Le rayon minimal  $R_{\min}$  pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation est :

$$R_{\min} = 11.8 \frac{VV^2}{d_{\max} + I_{\min}}$$

*Équation 1 : Le rayon minimal.*

Tel que 
$$dR_{\min} = V^2 E_{\max} + V_m^2 I_{\max} / (V_v^2 - V_m^2)$$

### F. Véhicules dans les courbes :

#### a. Dévers :

Le dévers ferroviaire est une fonction de profil de la ligne et des trains qui vont y circuler. Il est calculé pour ne pas immobiliser un train à l'arrêt par blocage des boîtes d'essieu, spécialement de marchandises tout en laissant une accélération latérale acceptable pour les trains les plus rapides. Il est donc calculé pour une vitesse du train inférieure à la vitesse maximale qui peut être atteinte dans la courbe en respectant une insuffisance de dévers propre à chaque type de véhicule.(1)(16)

Le dévers doit être fixé selon les considérations suivantes :

- ❖ Pour la voie courante sans singuliers : de forts dévers en courbes de faible rayon accroissent le risque de déraillement des wagons de marchandises à basse vitesse. Dans ces conditions, les charges verticales de roue appliquées à la file extérieure de rail sont fortement réduites, en particulier lorsque les gauches de voie provoquent des réductions supplémentaires.



## Chapitre III : le tracé en plan

Des dévers supérieurs à 160 mm peuvent provoquer des déplacements du chargement et compromettre le confort lorsqu'un train de voyageurs s'arrête exceptionnellement à un tel endroit. En outre, pour de tels dévers, la sécurité au renversement des engins de travaux et des wagons de transport spéciaux à haut centre de gravité peut être compromise.

Des forts dévers augmentent les valeurs de l'excès du dévers dans des courbes où il y a de différences évidentes entre les vitesses des trains rapides et les autres trains.

Des forts dévers peuvent contribuer à des déplacements non désirables de la voie vers l'intérieur de la courbe, lors d'un bourrage à basse température.

- ❖ Pour la voie avec points singuliers : l'entretien d'appareils de voie cintrés dans des dévers élevés nécessite un supplément permanent de dépenses. En outre la qualité géométrique de tels appareils laisse à désirer. C'est pourquoi, une limitation du dévers est recommandable. (16) **Source spécifiée non valide.**

Il faut toujours remarquer qu'il est toujours souhaitable de limiter le dévers en voie principale au niveau des quais et des passages à niveau.

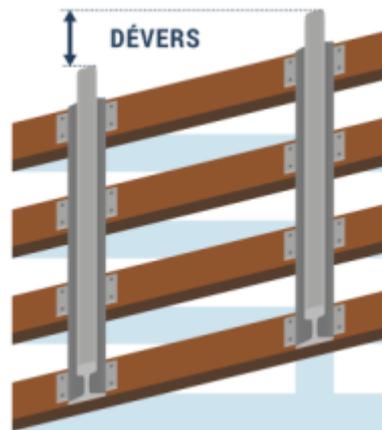


Figure 2: Dévers d'une voie.

### b. Devers théorique :

Considérons un véhicule circulant à une vitesse uniforme  $V$  dans une courbe circulaire de rayon  $R$ . Les dimensions du véhicule sont assez petites par rapport à  $R$  pour que l'on puisse considérer que tous ses points décrivent des cercles de même rayon.



## Chapitre III : le tracé en plan

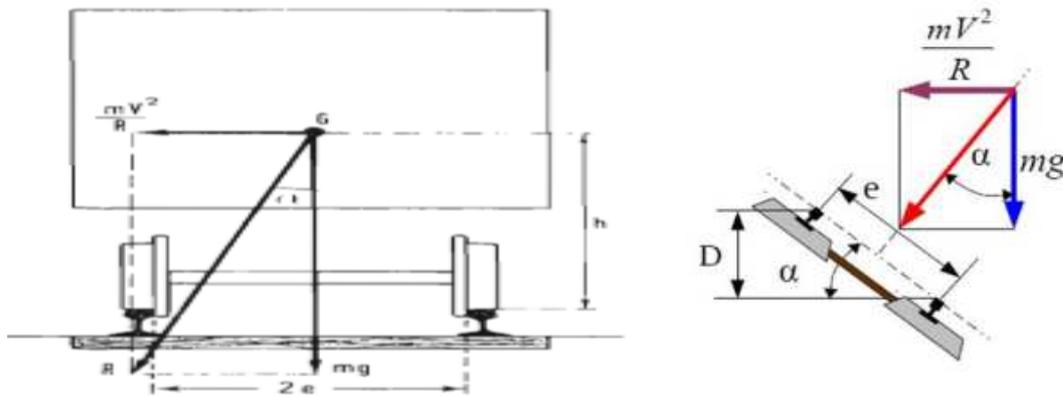


Figure 3: Devers théorique.

Un élément matériel, de masse  $m$ , lié au véhicule, est donc soumis en plus de son poids à une force centrifuge  $Mv^2/R$ .

La résultante de ces deux forces est inclinée par rapport à la verticale d'un angle  $\alpha$  tel que :

$$\text{Tang } \alpha = \frac{V^2}{g} \times R$$

Pour que le véhicule n'exerce pas d'efforts latéraux néfastes à la stabilité de la voie, il faut donner à la file extérieure des rails un surhaussement ou « devers ».

$\text{Tg } \alpha = d V^2 / g R$  avec  $d = 2e$  c'est l'écartement de la voie ferrée.

La vitesse  $V$  dont normalement exprimée en km/h, la formule s'écrit dans le cas d'une voie à écartement normal ( $2e \approx 1,50$  m) :

$$d = 0.0118 \frac{V^2}{R}$$

Équation 2: expression du dévers théorique

( $R$  et  $d$  en mètres).

### c. Dévers prescrit (pratique) :

Le dévers réel qu'on va réaliser dans la voie est compris entre le  $d_{th}$  (dévers théorique) correspond à la vitesse maximale et le  $d_{th}$  correspond à la vitesse minimale, il est appelé **dévers pratique (dp)**. Le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à le dévers théorique  **$d_{thv}$  (rapide)** correspond à la vitesse maximale et supérieur le  **$d_{thm}$  (lent)** correspond à la vitesse minimale ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les



## Chapitre III : le tracé en plan

plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents. Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de marchandises. Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique  $dp(17)$ , tel que :

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

*Équation 3: expression divers pratique.*

Avec :

C : coefficient de devers ;

R : rayon de courbure circulaire.

 **Remarque** Les normes de la SNTF estiment ce dévers de 70% du dévers théorique.(15).

$$dp = \frac{0.7 * 11.8 * V^2}{R}$$

### d. Coefficient de dévers :

Le choix d'un coefficient de proportionnalité C (appelé coefficient du dévers), constant sur une section de voie à trafic homogène donné, entre le dévers pratique (dp) et la courbure (1/R), permet de respecter simultanément les valeurs limites normales (ou, dans certains cas exceptionnelles) des paramètres suivants :

- Dévers ;
- Insuffisance de dévers ;
- Excès de dévers ;
- Variation de dévers ;
- Variation de l'insuffisance de dévers.



## Chapitre III : le tracé en plan

La valeur optimale du coefficient de dévers étant de l'ordre de :

$$C = R_{\min} \times \frac{dR_{\min}}{1000}$$

Équation 4: expression du coefficient du dévers.

Avec :

- $R_{\min}$  : Le rayon de courbe minimal ;
- $dR_{\min}$  : Dévers pour le rayon minimum.

➤ **Selon la norme SNCF**

On peut calculer le coefficient de dévers par la méthode de (SNTF) Cette méthode est valable pour les voies < 220 Km/h. La valeur optimale du coefficient de dévers étant de l'ordre de :

$$C = 0.006 * Vr^2$$

**e. Dévers maximum admissible (Dmax)**

Le dévers maximum est limité afin de ne pas perturber le confort des voyageurs et d'éviter le déplacement de marchandises lors de l'arrêt impromptu du train fret dans une courbe.

➤ Valeurs limites du dévers maximum (18):

- Selon la norme UIC :

Tableau 2: Valeurs admissibles de Dmax selon UIC. (9)

Valeur normale	120 (mm)
Valeur maximal	150 (mm)
Valeur exceptionnel	160 (mm)

➤ Selon la SNTF :

Tableau 3: Valeurs admissibles de Dmax selon SNTF. (10)

Valeur normal	160 mm
Valeur exceptionnel	180 mm

👉 N.B : pour notre projet selon l'UIC :



## Chapitre III : le tracé en plan

Tableau 4: les valeurs présent dans notre projet

Valeur normal	120 mm
Valeur exceptionnel	160 mm

### f. Insuffisance de dévers :

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers **I** (en mm) la différence entre le dévers théorique des trains rapides  $d_{th}$  le dévers pratique  $d_p$ , (19) tel que :

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

Équation 5: expression d'insuffisance de dévers.

- Les valeurs limitent l'insuffisance de dévers

- Selon la norme SNCF

L'insuffisance de dévers admissible dépend de l'armement de la voie et varie selon la Catégorie des circulations. Les valeurs présentées dans le tableau ci-dessous s'appliquent notamment à des voies Ballastées constituées d'un armement moderne (rails 50 ou 60 kg avec 1666 traverses au Kilomètre). (19)

Tableau 5: Les Valeurs Limite L'insuffisance de dévers selon SNCF. (10)

Catégorie de la circulation	Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnel
Catégorie 1	110	130
Catégorie 2	150	160
Catégorie 3	160	180

- Selon la norme UIC

Tableau 6: Les Valeurs Limitent L'insuffisance de dévers selon UIC. (10)

Valeur normal	100 mm
Valeur maximal	120 mm
Valeur exceptionnel	150 mm



## Chapitre III : le tracé en plan

L'insuffisance de dévers est aussi liée à l'accélération transversale non compensée par la formule suivante :  $a_{nc} = \frac{1}{153} m/s^2$ .

On limite l'insuffisance de dévers afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et un coût raisonnable de l'entretien de la voie.

✎ **N.B :** pour notre projet, les valeurs de l'insuffisance de dévers sont :

Tableau 7: les valeurs prises dans notre projet

Valeur normal	100 mm
Valeur exceptionnel	150 mm

### g. Variation de l'insuffisance de dévers dans les courbes de raccordement :

Dans le cas des courbes de raccordements avec variation uniforme de la courbure et la rampe de dévers à pente constante on peut établir la relation suivante :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V_{max}}{3,6 \times L} \times I \leq \left(\frac{dI}{dt}\right)_{rec} \quad [mm/s]$$

Équation 6: expression de variation de dévers.

De manière analogue on peut donner la variation d'accélération transversale non compensée

dans le plan de la voie :  $\frac{daq}{dt} = \frac{V_{max}}{3,6 \times L} \times aq \leq \left(\frac{daq}{dt}\right)_{rec} \quad [m/s^3]$

dans le cas des courbes de raccordements ne présentant pas de variation uniforme de la courbure, et ayant une rampe de dévers à pente variable les valeurs  $dI/dt$  et  $daq/dt$  ne sont pas constantes. Elles atteignent un maximum au milieu de la courbe de raccordement.

Les valeurs  $\left(\frac{dI}{dt}\right)_{rec}$  doivent être fixées sous l'aspect d'une assiette de voie non optimale en fonction du confort des voyageurs des trains rapides. Il faut alors considérer que la variation moyenne de l'accélération transversale quasi-statistique en caisse est supérieure à la variation d'accélération dans le plan de la voie :

$$\frac{dai}{dt} = (1 + s) \frac{daq}{dt} [m/s^3]$$

La valeur de  $\frac{dai}{dt}$  à considérer comme encore supportable ne doit pas sortir du domaine de 0.5 à 0.8  $m/s^3$ .



## Chapitre III : le tracé en plan

Comme pour la détermination de  $I_{rec}$ ,  $(\frac{dl}{dt})_{rec}$  doit être fixé en prenant en considération le coefficient de souplesse des voitures de voyageurs composant les trains rapides.

### h. Excès de dévers :

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers  $E$  (en mm) la différence entre le dévers pratique  $d_p$  et le dévers théorique  $d_{th}$  des trains lents.(17)

$$E = d_p - d_{th}$$

*Équation 7: expression d'excès de dévers.*

- Les valeurs limitent d'excès dévers :
  - Selon la norme SNTF :

*Tableau 8: valeur limite de l'excès selon SNCF. (10)*

Valeur limite normal	110 mm
Valeur limite exceptionnel	130 mm

Pour la vitesse minimale normale du train le plus lent, il est souhaitable que l'excès de dévers ne dépasse pas 110 mm.

- Selon la norme UIC :

*Tableau 9: Valeur limite de l'excès selon UIC. (9)*

Valeur normal	70 mm
Valeur Maximal	90 mm
Valeur Exceptionnel	110 mm

- 👉 N.B : pour notre projet, la valeur d'Excès de dévers est :



## Chapitre III : le tracé en plan

Tableau 10: les valeurs prises dans notre projet

E normal	70
E exceptionnel	110

### i. Raccordement de dévers :

Le passage d'un dévers nul en alignement à un dévers prévu en pleine courbe doit se faire d'une façon progressive pour conserver (confort des passagers et éviter la fatigue du matériel).

Cette progression se fait sur une longueur appelée « rampe de dévers », cette variation est accompagnée aussi de la variation de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Son exécution se fait par la surélévation progressive du rail extérieur par rapport au rail intérieur.(17)

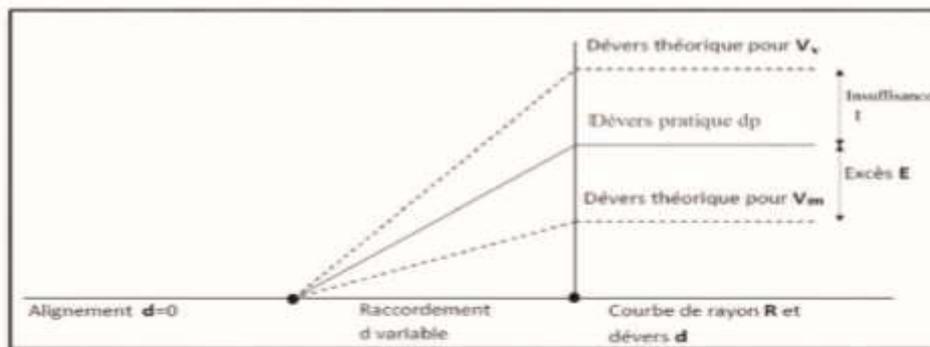


Figure 4: Schéma de raccordement du dévers.

### 1. La variation de dévers par rapport aux longueurs :

Le dévers varie progressivement dans la clothoïde cette variation provoque un gauchissement de la voie, car les deux files de rail ne sont plus parallèles, ce qui oblige le véhicule à s'inscrire anormalement sur ses quatre points de contact, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, ce qui est considéré comme un risque majeur pour la circulation des véhicules. Pour régler le problème, on doit limiter cette variation de dévers (rampe) par unité de longueur. Donc le gauche est défini par taux de variation de dévers par unité de longueur.(17)



## Chapitre III : le tracé en plan

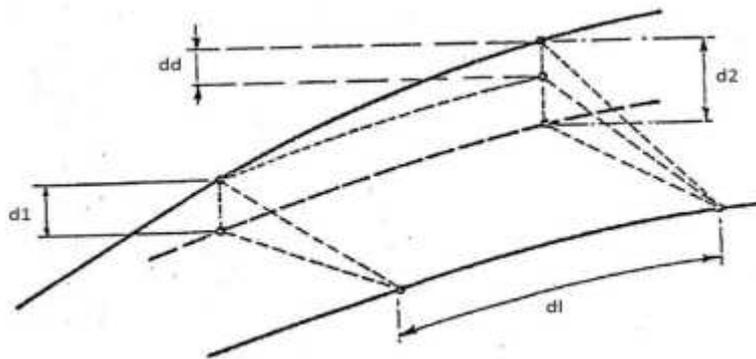


Figure 5: Le gauchissement des rails. (8)

Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Tableau 11: Valeurs maximales admissibles de variation de dévers par rapport aux longueurs  
(Rp)

Valeur limite normale $\Delta d / \Delta L$	$180/V_r$
Valeur limite exceptionnelle	$216/V_r$

$V_r$  : vitesse du mouvement le plus rapide (en km/h).

✎ **N.B** : pour notre projet, la valeur de gauche limite (limite de variation de dévers par unité de longueur) pour une  $V_r=160$  km/h.

### 2. La variation de dévers par rapport au temps :

La variation du dévers dans le temps est aussi limitée par une valeur maximale les valeurs ci-dessus correspondent respectivement à une variation de dévers en fonction du temps.

➤ Selon la norme UIC 703 Catégorie-II :

Tableau 12: Valeurs limite de variation de dévers par rapport aux temps. (9)

Taux de variation du dévers $\Delta d / \Delta t$ en (mm/s)	
Valeur limite normale	28
Valeur maximale	35
Valeur limite exceptionnelle	50



## Chapitre III : le tracé en plan

### ➤ Selon la norme SNCF

Tableau 13: Valeurs limite de variation de dévers par rapport aux temps. (10)

Taux de variation du dévers $\Delta d/\Delta t$ en (mm/s)	
Valeur limite normale	50
Valeur limite exceptionnelle	60

### 3. Variation d'insuffisance de dévers dans les raccordements ( $\Delta I/\Delta t$ ) :

Taux exprimé en mm/s quand le véhicule parcourt la clothoïde, le voyageur ressent progressivement la force centrifuge non compensée à cause de la variation de l'insuffisance de dévers  $\Delta I/\Delta t$ , cette progression doit être si possible inconsciente pour le voyageur.

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

- $\Delta I/\Delta t = I \times V / 3.6 \times L_{RP}$  dans un RP entre alignement et courbe
- $\Delta I/\Delta t = |I_1 - I_2| \times V / 3.6 \times L_{RP}$  dans un RP entre deux courbes de même sens
- $\Delta I/\Delta t = |I_1 - I_2| \times V / 3.6 \times L_{RP}$  dans un RP entre deux courbes de sens contraire

Avec  $\Delta I/\Delta t$  = variation d'insuffisance de dévers (en mm/s),

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

I1 = Insuffisance dans la courbe amont (en mm),

I2 = Insuffisance dans la courbe aval (en mm),

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

$L_{RP}$  = Longueur du RP (en m).

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

Tableau 14: Variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps.

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



### G. Courbe de raccordement :

La géométrie des voies ferrées doit permettre une transition progressive (sans chocs) entre des éléments de tracé présentant des accélérations transversales différentes et éviter un accroissement subit de celles-ci à l'entrée d'une courbe. C'est la raison pour laquelle le passage d'un rayon de courbe, de dimension finie ou infinie, à un autre doit être progressif. Ceci est obtenu par l'introduction d'une courbe de raccordement. Le raccordement introduit entre un alignement et un arc de cercle doit, en définitive Posséder les propriétés suivantes :

- Être tangent à l'alignement et l'arc de cercle.
- Présenter en point de tangence a l'alignement une courbure nulle,
- Présenter au point de tangence à l'arc de cercle de rayon R une courbure égale à  $1/R$
- Avoir entre ces deux points de tangence, une courbure progressive.
- Le raccordement doit ainsi être osculateur à l'alignement et à l'arc de cercle.

Ces courbes de raccordement de la voie en plan peuvent être réalisées de différentes manières

#### a. Raccordement Progressif (RP) :

C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre un alignement et une pleine courbe ou entre deux courbes circulaires de rayons différents. L'origine du raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP côté alignement. La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP côté pleine courbe. Dans le cas d'un RP entre deux courbes, l'ORP est l'extrémité du RP du côté du plus grand rayon et la FRP, l'extrémité du RP du côté du plus petit rayon.(14)



## Chapitre III : le tracé en plan

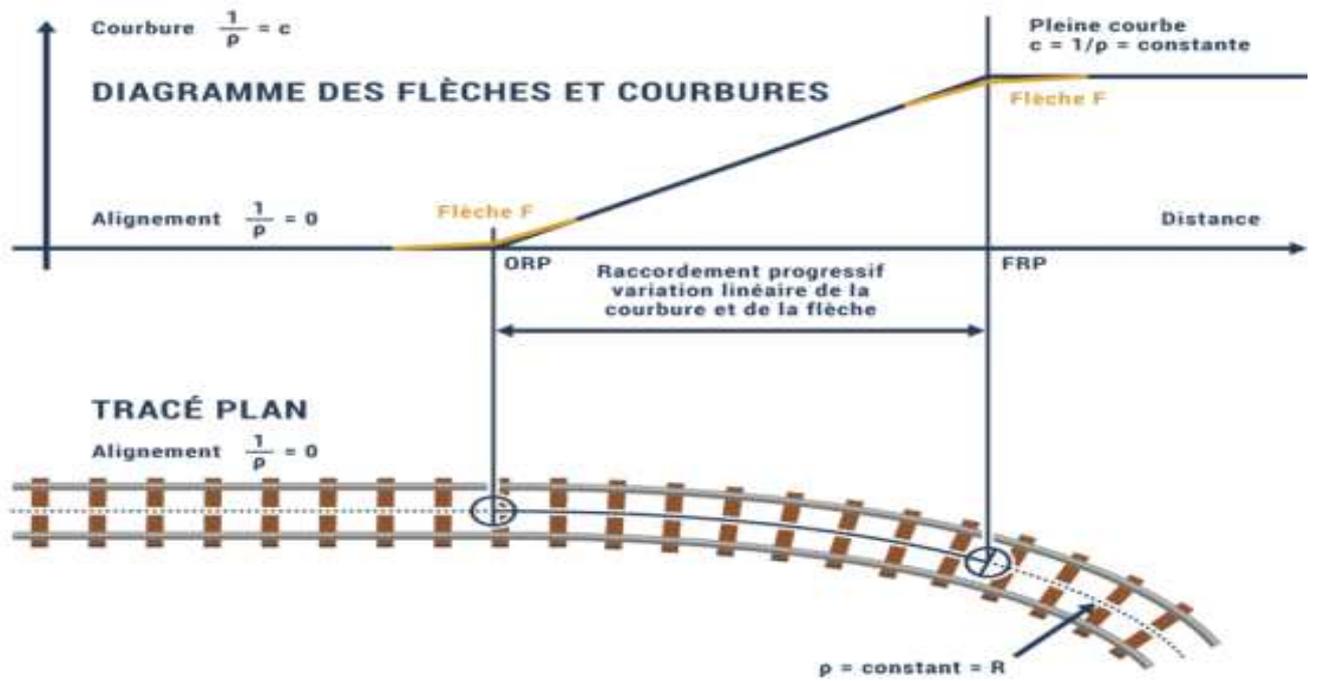


Figure 6: diagramme des flèches et courbures pour un RP. (8)



## Chapitre III : le tracé en plan

### 1. La Clothoïde

**La clothoïde**, ou son approximation la parabole cubique (dite de Nordling), Présente une variation uniforme de la Courbure et donc de la flèche. En général, du fait de la proportionnalité dévers /courbure, La variation de dévers est elle aussi uniforme. L'expression mathématique de la clothoïde est, en choisissant pour des raisons d'homogénéité.

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

#### Equation 7.expression de paramètre de clothoïde-A

- A : Paramètre de la clothoïde.
- LRP : Longueur de clothoïde LRP (m).
- R : Rayon de courbe (m)

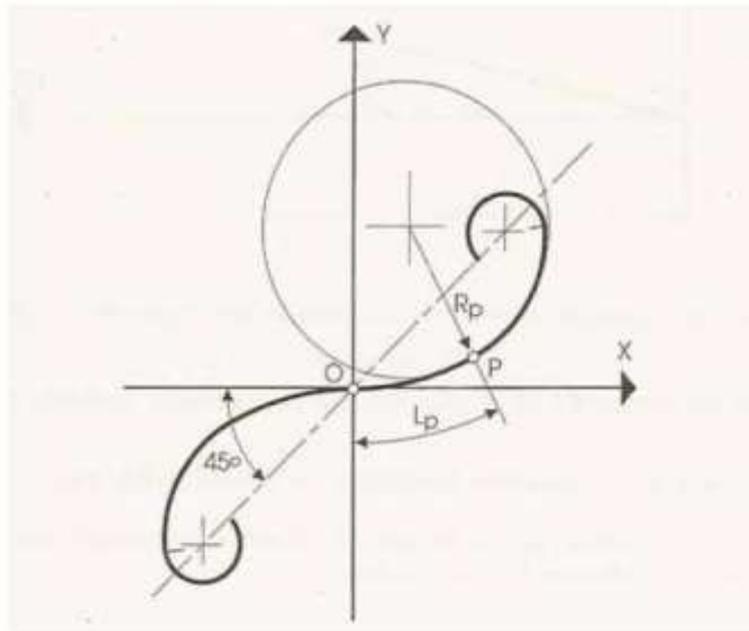


Figure 7: Courbe de raccordement –clothoïde.

### 2. Raccordement Progressif d'inflexion :

C'est un RP unique reliant une courbe à une contre-courbe avec une variation constante des flèches et des dévers entre les deux pleines courbes.



## Chapitre III : le tracé en plan

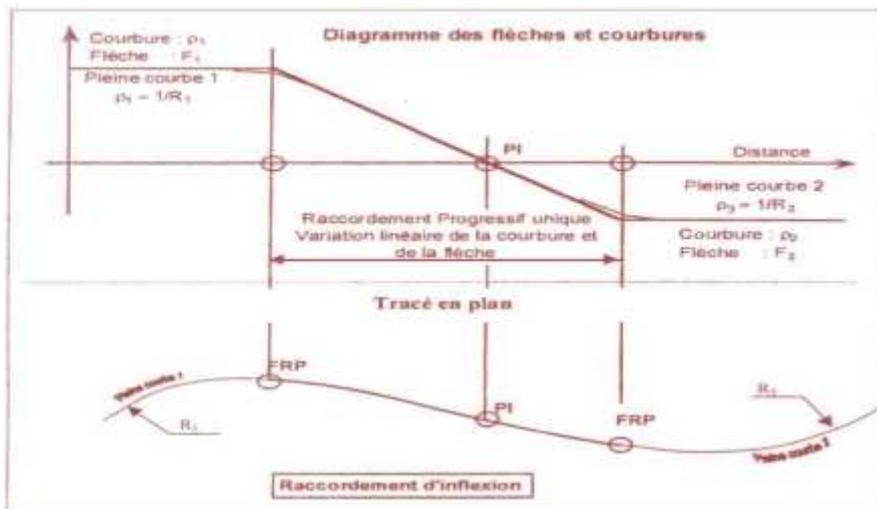


Figure 8: Raccordement Progressif d'inflexion.

### b. Doucines

Au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de Tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis. Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire. Entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP). Du fait de la proportionnalité dévers / courbure, ce raccord se traduit dans le diagramme des flèches par des arrondis appelés **doucines**. Lorsque la vitesse des trains de voyageurs est supérieure ou égale à 60 km/h et la variation de dévers significative supérieur à  $60/v$  il nécessaire d'insérer des doucines axées sur les extrémités des RP (raccordement progressive).(19).

### H. Paramètres du tracé en plan à respecter :

Selon la norme UIC 703 les paramètres géométriques minimaux à respecter, selon la catégorie de trafic, à partir de certains critères de confort. Dans le cas, le projet envisage une ligne ferroviaire de trafic avec une vitesse maximale de circulation des trains de voyageurs établis à 160 km/h.

A partir de ce critère de design, on établit que les paramètres à prendre en compte sont de la deuxième catégorie dont la vitesse est comprise entre 120 à 200 km/h.



## Chapitre III : le tracé en plan

Comme norme générale, dans ces tronçons du nouveau tracé, il ne faudra pas dépasser les valeurs normales. Les maximales ne seront pas dépassées, et dans des cas uniques nécessaires, les paramètres seront limités par les valeurs exceptionnelles.

### ❖ Paramètres pour clothoïde :

	Valeurs du dévers en fonction de temps [mm/s]	Variation de l'accélération non compensée [m/s <sup>3</sup> ]	Variation de l'insuffisance de divers [mm/s]
Normal	28	0.17	25
Maximum	35	0.47	70
Exceptionnel	50	-	-

### I. Application numérique au projet :

Notre projet qui relie Thenia Naciria débute au PK 0+000 jusqu'au PK 26+200 dans une extension de 26 km 200.

Pour la détermination des paramètres de conception du tracé de notre projet, on se réfère aux normes UIC 703 R (Union Internationale des Chemins de fer).

On prend un exemple de calcul pour rayon de 4000 m pour juste illustrer les différentes étapes de calcul pour détermination des divers paramètres du tracé en plan.

- Calcul du coefficient du dévers :

$$c = 0.006 * V^2 = 0.006 * 160^2 = \mathbf{153.6}$$

- Le rayon de courbure minimal :

$$R_{min} = 11.8 * \frac{V^2}{I_{max} + d_{max}}$$

- Cas normal :  $R_{min} = 11.8 * \frac{160^2}{100+120} = \mathbf{1373.09 m}$

- Cas exceptionnel :  $R_{min} = 11.8 * \frac{160^2}{150+160} = \mathbf{974.4 m}$

- Devers pratique :

$$dp = 1000 * \frac{C}{R} = 1000 * \frac{153.6}{4000} = \mathbf{38.4 m}$$



## Chapitre III : le tracé en plan

- Devers théorique :

$$dth = 11.8 * \frac{V^2}{R} = 11.8 * \frac{160^2}{4000} = \mathbf{75.52 \text{ mm}}$$

- Excès de dévers :

$$E = dp - 11.8 * \frac{V_{min}^2}{R} = 38.4 - 11.8 * \frac{80^2}{4000} = \mathbf{19.52 \text{ mm}}$$

- Insuffisance de dévers :

$$I = 11.8 * \frac{V^2}{R} - dp = 11.8 * \frac{160^2}{4000} - 38.4 = \mathbf{37.12 \text{ mm}}$$

- Longueur de clothoïde :

$$L = dp * \frac{V_{max}}{\left(3.6 * \frac{dd}{dt}\right) re}$$

- Cas normal :  $L = 38.4 * \frac{160}{3.6} * 28 = 60.95 \text{ m}$  on prend  $L = \mathbf{65 \text{ m}}$
- Cas exceptionnel :  $L = 38.4 * \frac{160}{3.6} * 50 = 34.13 \text{ m}$  on prend  $L = \mathbf{35 \text{ m}}$

- Paramètre de la clothoïde :

$$A = \sqrt{(L * R)}$$

- Cas normal :  $A = \sqrt{65 * 4000} = \mathbf{509.90 \text{ m}}$
- Cas exceptionnel :  $A = \sqrt{35 * 4000} = \mathbf{374.16 \text{ m}}$

- Variation de l'insuffisance du dévers :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = I * \frac{V_{max}}{3.6L}$$

- Cas normal :  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{37.12 * 160}{3.6 * 65} = 25.38 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$
- Cas exceptionnel :  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{37.12 * 160}{3.6 * 35} = \mathbf{47.14 \text{ mm/s}}$

- Vérification variation de devers :



## Chapitre III : le tracé en plan

Il faut vérifier que la variation de dévers calculé  $\frac{\Delta d}{dt}$  soit inférieure à celle recommandée

$\left(\frac{dd}{dt}\right)_{rec}$  :

$$\frac{\Delta d}{dt} = \frac{dp * V}{3.6 * L}$$

- Cas normal :  $\frac{\Delta d}{dt} = \frac{38.4 * 160}{3.6 * 65} = 26.26 \frac{mm}{s}$
- Cas exceptionnel :  $\frac{\Delta d}{dt} = \frac{38.4 * 160}{3.6 * 35} = 48.76 \frac{mm}{s}$
- Ainsi vérifier  $\frac{\Delta d}{dl}$  :

- Cas normal  $\frac{\Delta d}{dl} < \frac{180 \text{ mm}}{V \text{ m}}$

- Cas exceptionnel  $\frac{\Delta d}{dl} < \frac{216 \text{ mm}}{V \text{ m}}$

$$\frac{\Delta d}{dl} = \frac{dp}{L} = \begin{cases} \frac{38.4}{65} = 0.59 \frac{mm}{m} < \frac{180}{V} = \frac{180}{160} = 1.125 \frac{mm}{m} \\ \frac{38.4}{35} = 1.09 \frac{mm}{m} < \frac{216}{V} = 1.35 \frac{mm}{m} \end{cases}$$

### J. Vérification :

L'excès et insuffisance de divers sont vérifiés, ils sont inférieurs à leurs valeurs maximales.

La variation de l'insuffisance de dévers est inférieure à 25 et 70 mm/s respectivement pour le cas normal et exceptionnel.

La variation du dévers par rapport à la longueur de la clothoïde est aussi inférieure à 1.125 et 1.35 mm/m respectivement pour les deux cas normal et exceptionnel.

La variation de dévers par rapport au temps est aussi inférieure à 28 et 50 mm/s respectivement pour les deux cas normal et exceptionnel.

### K. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons débuté l'étude géométrique du tracé de notre projet on a pu comprendre et voir les paramètres respecter dans un tracé en plan en respectant les normes UIC, et on l'a réalisé sur le logiciel Autocad at Covadis.



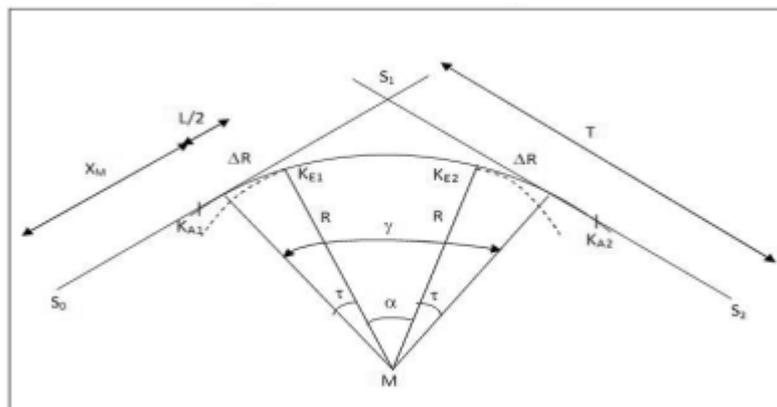
### A. Introduction :

Le calcul d'axe du projet est l'opération de base permettant de matérialiser le tracé d'un projet ferroviaire et déterminer le couloir par le quel passera la voie, elle consiste au calcul d'axe point par point du début du tronçon à sa fin.

En exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées pour atteindre un deuxième point (point d'arrivé).

### B. Procédés de calcul de l'axe :

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde, cet élément Géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées.



Avec :

- $\gamma$  : Angle entre alignement
- **T** : Grande tangente
- $\Delta R$  : Ripage
- **XM** : Abscisse du centre de cercle
- **R** : Rayon de virage
- **SL** : La corde à la clothoïde
- $\sigma$  : L'angle polaire
- **L** : longueur de clothoïde
- **KA** : début de clothoïde
- **KE** : Fin de clothoïde
- $\tau$  : Angle de tangente



- ◆ Pour le calcul de l'axe on doit suivre les étapes suivantes :
- Calcul de gisements,
- Calcul de l'angle  $\gamma$  entre alignements,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la corde  $S_L$ ,
- Calcul de l'angle polaire  $\sigma$ ,
- Vérification de non chevauchement,
- Calcul de l'arc de cercle,
- Calcul des coordonnées des points singuliers.

### C. Exemple de calcul de l'axe :

Nous avons choisi une liaison située dans le premier tronçon de notre projet. Les coordonnées des sommets et les rayons utilisés sont :

$S_0(x=557451.345 ; y=4064383.485)$ .

$S_1(x=557747.003 ; y=4064398.142)$ .

$S_2(x=558000.216 ; y=4064513.845)$ .

Rayon  $R=1090$  m,  $V_{max}= 160$  Km/h.

- Calcul de gisements :
- Le gisement

Le gisement d'une direction est l'angle fait par cette direction avec le nord géographique de la carte dans le sens des aiguilles d'une montre.

$$|\Delta X| = |X_{s1} - X_{s0}| = 295.658 ; |\Delta X_1| = |X_{s2} - X_{s1}| = 253.213$$

$$|\Delta Y| = |Y_{s1} - Y_{s0}| = 14.65 ; |\Delta Y_1| = |Y_{s2} - Y_{s1}| = 115.20$$

$$\overline{S_1 S_0} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 296.02 \text{ m}$$



## Chapitre IV : calcul de l'axe

$$\overline{S_2 S_1} = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2} = 278.18 \text{ m}$$

D'où

$$G_{s_0}^{s_1} = 400 + \text{arctg} \frac{|\Delta y|}{|\Delta x|} = 103.15 \text{ gr}$$

$$G_{s_1}^{s_2} = 400 + \text{arctg} \frac{|\Delta y_1|}{|\Delta x_1|} = 127.18 \text{ gr}$$

- Calcul de l'angle entre l'alignement  $\gamma$  :

$$\gamma = |G_{s_0}^{s_1} - G_{s_1}^{s_2}| = 24.04 \text{ gr}$$

- Calcul de l'angle  $\tau$  :

$$\tau = \frac{L * 200}{2R\pi} = \frac{180 * 200}{(2 * \pi * 1090)} = 5.25 \text{ gr}$$

Avec :  $L = A^2/R = (442.94)^2/1090 = 180 \text{ m}$ .

- Vérification de non chevauchement :

$$\tau = 5.25 \text{ gr}$$

$$\frac{\gamma}{2} = \frac{24.04}{2} = 12.02 \text{ gr}; \text{ D'où } \tau < \frac{\gamma}{2} \text{ donc pas de chevauchement.}$$

- Caractéristiques de la courbe de raccordement :

On a le  $R/L = 180/1090 = 0.16$  ;

$$\frac{\Delta R}{R} = 0.001066 \rightarrow \Delta R = 1.1619 \text{ m}; \frac{X_m}{R} = 0.079983 \rightarrow X_m = 87.18 \text{ m}$$

$$\frac{X}{R} = 0.159898 \rightarrow X = 147.28 \text{ m}; \frac{Y}{R} = 0.004265 \rightarrow Y = 4.64 \text{ m}$$

$$T = X_m + (R + \Delta R) \cdot \text{Tg} \left( \frac{\gamma}{2} \right) (\text{m}); T = 87.18 + (1090 + 1.1619) \cdot \text{Tg} \left( \frac{24.04}{2} \right) \rightarrow$$

$$T = 295.68 \text{ m}$$



## Chapitre IV : calcul de l'axe

- Calcul de la corde  $S_L$ :

$$S_L = \sqrt{X^2 + Y^2} \rightarrow S_L = \sqrt{147.28^2 + 4.64^2} \rightarrow S_L = 147.35m.$$

- Calcul de l'angle polaire  $\sigma$

$$\sigma = \text{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right) = \text{arctg}\left(\frac{4.64}{147.28}\right) = 2gr.$$

- Calcul de l'arc :

$$\widehat{K_{E1}K_{E2}} = \frac{[\pi \cdot 1090(24.04 - 2 \cdot 5.25)]}{200} \rightarrow \widehat{K_{E1}K_{E2}} = 231.71 \text{ m.}$$

- Calcul des coordonnées des points singuliers :

$$K_{A1} \begin{cases} X_{KA1} = X_{S0} + (\overline{S1S0} - T) \sin(200 - G_{S0}^{s1}) = 557451.685m \\ Y_{KA1} = Y_{S0} - (\overline{S1S0} - T) \cos(200 - G_{S0}^{s1}) = 4064397.785m \end{cases}$$

$$K_{E1} \begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} + S_L \sin(200 - \sigma - G_{S0}^{s1}) = 557698.553m \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L \cos(200 - \sigma - G_{S0}^{s1}) = 4064385.878m \end{cases}$$

$$K_{A2} \begin{cases} X_{KA2} = X_{S1} + T \sin(200 - G_{S1}^{s2}) = 558016.141m \\ Y_{KA2} = Y_{S1} - T \sin(200 - G_{S1}^{s2}) = 4064129.012m \end{cases}$$

$$K_{E2} \begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} + S_L \sin(G_{S1}^{s2} - \sigma - 100) = 557880.167m \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} + S_L \cos(G_{S1}^{s2} - \sigma - 100) = 4064454.915m \end{cases}$$

### D. Conclusion

Donc dans ce chapitre nous avons vu le calcul manuel d'un raccordement progressif 'clothoïde' en calculant tous les paramètres de ce dernier. Le calcul de l'axe automatique est fait avec le logiciel Covadis v.16 sera présenter dans l'annexe 1.



### A. 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, il exprime la variation de l'altitude de l'axe en fonction de l'abscisse curviligne. Le profil en long de la voie est constitué des déclivités (paliers, pentes et rampes) reliées entre elles par des raccordements circulaires en cas de changement de déclivité, Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet. Du fait que les rayons verticaux sont très grands, l'introduction de courbes de raccordement progressif n'est pas nécessaire. Le profil en long ayant un but principal d'assurer pour le conducteur une continuité dans l'espace afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers. Pour caler ce profil en long, il faut tenir compte :

Le relief, la nature des sols, les gabarits routiers et ferroviaires (lorsque le projet coupe des routes ou des voies ferrées), les niveaux des plus hautes eaux pour les zones inondables traversées, etc.

La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique là où paraîtra l'importance des Terrassements (Quantité de déblai et de remblai), les ouvrages d'arts ...etc. Soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares. (20)

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

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

### B. Règles à respecter dans le tracé en profil

Il est établi dans l'axe de l'ouvrage, et pour avoir un bon tracé il faut bien respecter les règles suivantes :

- Coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Ne pas dépasser les déclivités maximales ;
- Il faut avoir des paliers dans le tracé pour la traction des trains
- Il faut assurer un bon écoulement des eaux en respectant les pentes minimales ;
- Respecter les hauteurs des déblais et remblais maximales ;



## Chapitre V : profil en long

- Utiliser un cercle unique à la place de deux cercles voisins.(10)(17)

### C. Déclivités :

La construction du profil en long doit tenir compte de plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (puissance des véhicules en rampe). Une déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale, appelée pente pour les descentes et rampe pour les montées. En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰. La figure suivante montre la déclivité admissible en fonction de longueur de la rampe. (19)

### D. Courbe de raccordement verticale :

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire. Ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge Et d'assurer le confort et la sécurité.

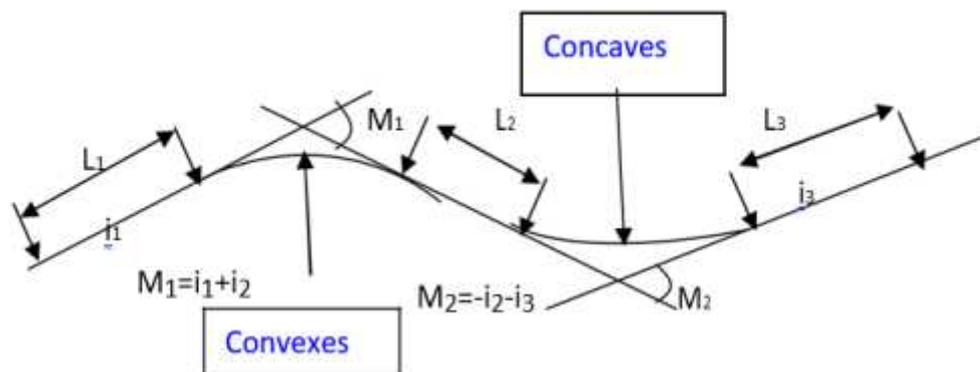


Figure 1: les éléments géométriques du profil en long.

Lors de franchissement d'une courbe de raccordement verticale la notion du confort joue le rôle prépondérant.

### E. Déclivité maximale :

Selon le référentiel technique de la SNTF la déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰ ;



## Chapitre V : profil en long

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

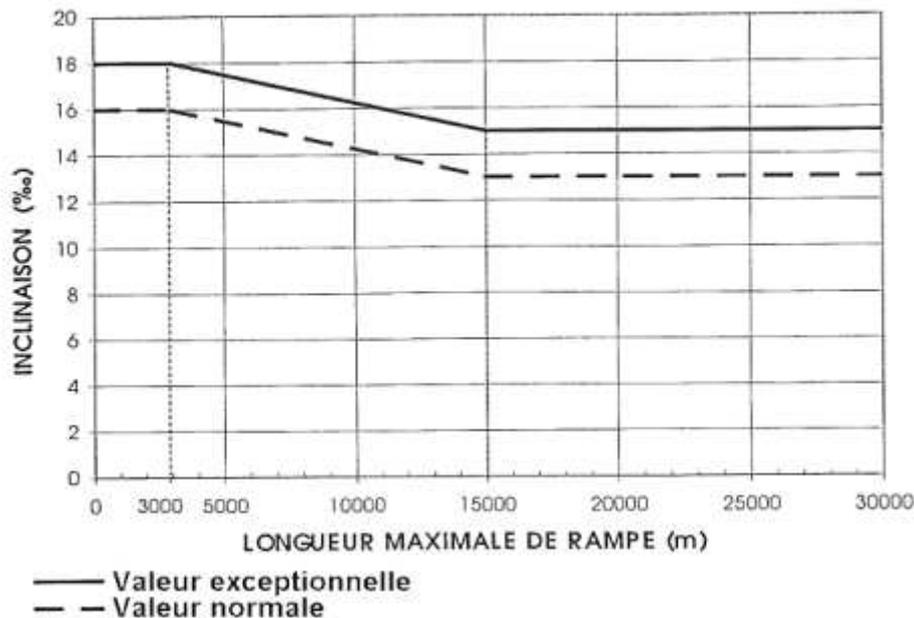


Figure 2: Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur. (2)

### F. Longueur minimale des déclivités :

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importantes aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails. Afin d'éviter ces sollicitations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité est à prévoir.(21)

Tableau 1:

la longueur  
des

<b>Valeur minimale normale (m)</b>	<b><math>v/2</math></b>
<b>Valeur minimale exceptionnelle (m)</b>	<b><math>v/2.5</math></b>

Valeurs de  
minimale  
déclivités

- **V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale) en km/h**



## Chapitre V : profil en long

### G. Raccordements circulaires en profil en long :

Les valeurs des rayons minimale admissibles des raccordements circulaires en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :

a. lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse « V » un raccordement de profil en long de rayon  $R_v$ , il est soumis à une accélération centrifuge :

$$\alpha_v = \frac{V_{max}^2}{12,96R_v} < \alpha_v \text{ rec [m/s}^2\text{]}$$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

b. Ces courbes circulaires sont définies sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement. Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

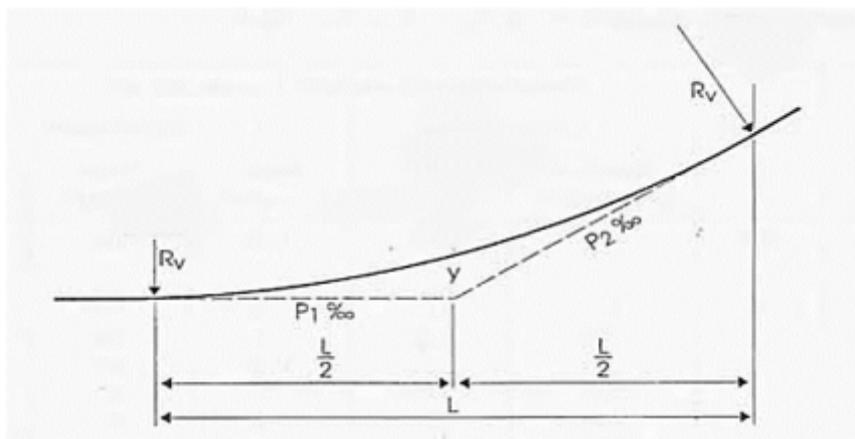


Figure 3: Schéma du raccordement circulaire.

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes de raccordement. Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter :

- **Selon l'UIC** : le rayon minimal des courbes de raccordement ne doit pas être inférieur à **2000 m**.
- **Selon la SNCF** : le rayon minimal se calcule suivant le tableau ci-dessous :



## Chapitre V : profil en long

Tableau 2: Valeurs de rayon minimal des raccordements circulaires.

<b>Valeur normale</b>	<b>0,35 V<sup>2</sup></b>
<b>Valeur exceptionnelle</b>	<b>0,25 V<sup>2</sup></b>
<b>Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 160 km/h</b>	<b>0,15 V<sup>2</sup></b>

- **V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale).**

### H. Coordination profil en long-tracé en plan

Pour assurer une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit vérifier certaine condition :

- Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.
- Lorsqu'une courbe en plan est mal coordonnée avec un rayon en point bas, le rayon rentrant doit être égal à au moins sept fois le rayon en plan.
- En angle rentrant (creux) on doit satisfaire la condition de confort et une vitesse très grande.
- Un sommet de profil en long ne doit pas être sur la clothoïde du tracé en plan.
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

Le respect de ces conditions a pour but de :

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

### I. Détermination pratiques du profil en long



## Chapitre V : profil en long

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, on assimile l'équation du cercle :  $X^2 + (Y - R)^2 = R^2$  ou encore de la forme : dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle :

$$X^2 + Y^2 - 2RY = 0$$

A l'équation de la parabole  $X^2 - 2RY = 0 \rightarrow Y = \frac{X^2}{2R}$

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante :

- Donnée des coordonnées (abscisse, altitude) les point A, D,
- Donnée la pente de la droite P1 de la droite (AS),
- Donnée la pente P2 de la droite (DS),
- Donnée de rayon R.

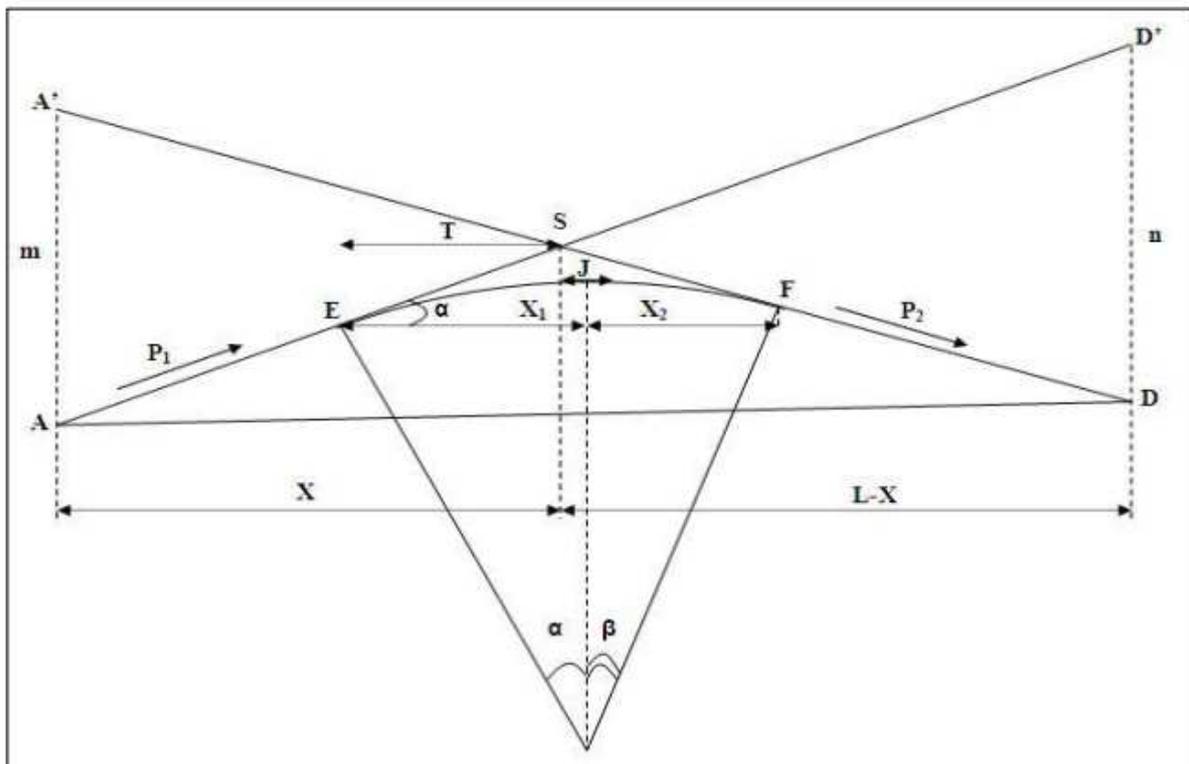


Figure 4: Les éléments de calcul du profil en long.

Avec :

- **A'** et **B'** : Extrémités du raccordement



## Chapitre V : profil en long

- **T** : Tangente de part et d' autre du sommet
- **J** : Milieu de raccordement situé sur la variante
- **A** et **B** : deux points connus sur P1 et P2
- **F** : Hauteur de l' abaissement du sommet (Flèche)
- **X** : Distance entre le sommet et un point A sur P1
- **( $\alpha+\beta$ )** : angle de variation, ou de changement de direction
- **O** : Centre du cercle de rayon R
- **E** : Sommet ou point de changement de déclivité
- **L** : Distance entre les deux points A et B

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante :

On détermine toutes les coordonnées des points singuliers du raccordement, la tangente d'une part et d'autre du sommet, la flèche au-dessous de ce dernier.

➤ Détermination des pentes :

- $P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1}$
- $P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2}$

□ Détermination de la position du point de rencontre (s) :

On a : 
$$Z_{D'} = Z_A + L \cdot P_2 m = Z_{A'} - Z_A$$

$$Z_{A'} = Z_D + L \cdot P_1 n = Z_{D'} - Z_D$$

Les deux triangles SAA' et SDD' sont semblables donc :

$$\frac{m}{n} = \frac{x}{l-x} \rightarrow x = \frac{mL}{m+n} \rightarrow S = (X_S = x + x_A Z_S = P_1 \cdot x + Z_A)$$

□ Calcul de la tangente :

$$T = \frac{R}{2}(P_1+P_2) : \text{On prend (+) pour les rampes et (-) pour les pentes.}$$

La tangente (T) permet de positionner les pentes de tangentes B et C.

$$E = (X_E = X_S - TZ_E = Z_S - T \cdot P_1) F = (X_F = X_S + TZ_F = Z_S + T \cdot P_2)$$

□ Projection horizontale de la longueur de raccordement :

$$LR = 2T$$



## Chapitre V : profil en long

- Calcul de la flèche :

$$f = \frac{T^2}{2R}$$

- Calcul de la flèche et l'altitude d'un point courant M sur la courbe :

$$M = \begin{cases} H_x = \frac{X^2}{2R} \\ Z_M = Z_E + X \cdot P_1 - \frac{X^2}{2R} \end{cases}$$

- Calcul des coordonnées du sommet de la courbe :

Le point J correspond au point le plus haut de la tangente horizontale.

$$J = \left( X_J = X_E + R \cdot P_1, Z_J = Z_E + X_1 \cdot P_1 - \frac{X_1^2}{2R} \right); \text{ Avec : } (X_1 = R \cdot P_1, X_2 = R \cdot P_2)$$

Dans le cas des pentes de même sens le point J est en dehors de la ligne du projet et ne présente aucuns intérêts. Par contre dans le cas des pentes de sens contraire, la connaissance du point J est intéressant en particulier pour l'assainissement en zone de déblai, le partage des eaux de ruissellement se fait à partir du point J, c'est-à-dire les pentes des fossés descendantes dans les sens J vers A et D.

### I. Conclusion

A ce chapitre nous avons vu les éléments géométriques d'un profil en long et les règles à respecter et les valeurs recommandés de la ligne rouge selon la norme SNTF (Géométrie de la voie. Version 2. SNTF, 2005) et le calcul pratique de profil en long manuellement



### A. Introduction

Après une étude de la topographie du site, le bureau d'étude est chargé d'étudier en détail la géologie locale, donc, il faut procéder à un inventaire complet afin de chercher les anomalies de la zone, dont les problèmes d'instabilité tels que le mouvement des versants, affaissement et effondrement. Ensuite nous allons compléter par une étude géotechnique, impliquant des notions de topographie, pédologie, géomorphologie, hydrogéologie. Afin d'interpréter les mouvements gravitaires pour garantir la stabilité et la pérennité à long terme.

### B. Etude géologique

#### a. Introduction

L'étude géologique s'avère d'une nécessité et importance indiscutable, et doit intervenir bien en amont de toute étude pour contribuer au choix du tracé, à détecter ses points critiques (durs), et à bien connaître la nature du terrain qui servira d'assise pour le projet, afin d'éviter ou du moins limiter d'éventuels problèmes pouvant se poser en phase de réalisation ou après.

La géologie de la zone d'étude du projet s'inscrit dans le contexte de l'orogénèse Alpine périméditerranéenne de la chaîne littorale de l'Afrique du Nord.

Particulièrement la section A du projet se trouve sur un terrain d'une morphologie montagneuse douce ; ondulée ; se développant vers la plaine de l'oued Isser.

Du PK 0+000 au PK 4+800 le tracé s'étend au pied d'une zone relativement montagneuse,

Du PK 4+800 au PK 6+262 la zone devient plus plane, de pente douce.

La section B du présent projet présente la particularité de se trouver sur un terrain relativement plat morphologiquement s'étendant le long de la plaine alluviale d'Oued Isser.

On trouve cependant une zone présentant une légère dépression entre les PKs 14+200 et 15+100, correspondant possiblement à une zone de cours méandriformes<sup>1</sup> abandonnés à ce jour.

En outre, la section présente une zone inondable entre les PKs 8+630 et PK 9+250 entre le PK 10+620 et PK 10+920 entre le PK 11+250 et le PK 14+175.

---

<sup>1</sup> Méandriformes :



### b. Etude géologique détaillée de la zone d'étude

#### 1. La section A tronçon Thenia Si Mostapha

La section A est située principalement sur des matériaux marneux du Miocène<sup>2</sup> (tertiaire) possédant un recouvrement de sols du Quatanaire<sup>3</sup>. On trouve ponctuellement des remblayages d'origine anthropique<sup>4</sup>, généralement des remblais de la voie ferrée existante de routes ou de chemins adjacents.

Le tronçon A croisé en particulier une zone granitique aux alentours entre pk 4+600 et le pk 4+760. Les unités rencontrées sont donc les suivantes :

- C<sub>2</sub> : argile limoneuse de consistance moyenne à haute ; pouvant comprendre un substrat argileux altéré ou sol résiduel.
- C<sub>3</sub> : sol granulaire de type sable ayant un contenu en argile et limon variable.
- T<sub>1</sub> : substrat argilo-marneux du tertiaire avec intercalassions éventuelles de couches plus granulaires.
- T<sub>2</sub> : substrat tertiaire constitué de niveaux granulaires même sableux graves sableuse et grés.
- Gr : grave et blocs granitiques en matrice sablo-limoneuse très dense ou consolidé.

#### 2. La section B Si Mostapha Bordj Ménaïel

La section B se trouve entièrement sur une zone de dépôt quaternaire principalement argileux. Ces dépôts se trouvent en appuis sur le substrat tertiaire correspondant aux Marnes grises de Miocène.

Les espèces rencontrées sont les suivantes :

- C<sub>1</sub> : argiles de consistances faibles ;
- C<sub>2</sub> : argiles de consistance moyennes a haute, pouvant comprendre un substrat argileux altère au sol résiduel ;
- C<sub>3</sub> : sols granulaires ;
- T<sub>1</sub> : substrat argilo-marneux du tertiaire.

---

<sup>2</sup> Mameux du miocène : Qui appartient à la période qui marque le milieu de l'ère tertiaire

<sup>3</sup> Quartenaire

<sup>4</sup> Anthropique



### 3. Le tronçon C Bordj Ménaiel Naciria :

Aux environs de la gare de Thenia, on trouve des formations sableuses surmontées par des alluvions anciennes d'âge Quaternaire ainsi que les mêmes bleues d'âge Miocène. Au nord de la voie ferrée on trouve des conglomérats et des sables grossiers d'âge Pliocène ainsi que le Miocène marneux. Au Sud du tracé il y'a des sables rouges d'âge Pliocène supérieur.

Il y a des terrains alluvionnaires ainsi des dépôts limoneux des grandes crues au niveau d'Oued Isser.

#### c. La sismicité

La carte sismique algérienne montre la distribution des différentes zones sismiques en fonction de l'intensité des tremblements de terre enregistrés.

La section A s'étend sur une zone de sismicité de type 3 d'après les « Règles Parasismiques Algériennes » RPOA 2008. L'accélération considérée est de 0.40 g.

La section B traverse deux zones de sismicité différentes d'après le RPOA 2008. Du pk 6+262 au pk 9+000 la zone est du type 3 avec une accélération de 0.40 g.

Du pk 9+000 au pk 15+900 la zone est du type 2b et l'accélération est de 0.3 g.

### C. Etude géotechnique

#### a. Introduction

La conception et la réalisation de projets de génie civil nécessitent des connaissances : La profondeur, la nature et le comportement du sol support. A cet effet, une compagnie de relevés géotechniques des équipements de prospection pour pouvoir déterminer les propriétés physico-mécaniques du sol.

#### b. Puits de reconnaissance à ciel ouvert :

Les fouilles sont réalisées à l'aide d'un Rétro-chargeur tout au long du tracé (endroit accessibles) sur une profondeur de 2.5 m.



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

Exemple de résultat de puits du tronçon C

PK	Profondeur(m)	description	Image de puit
16+665	0.00-0.6	Silt argileux consistant brunâtre à noirâtre.	
	0.6-2.50	Argile marneuse consistante, compacte, brunâtre à jaunâtre, plastique.	
17+200	0.00-0.30	Terre végétale constitué de sable silteux brunâtre.	
	0.30-1.90	Sable fin très graveleuse.	
	1.90-2.50	Argile sablo graveleuse, consistante, peu plastique.	
19+100	0.00-2.50	Argile marneuse consistante, compacte, de couleur verdâtre à grisâtre.	

Figure 1: exemple de résultats de puits de reconnaissances (source rapport géotechnique)

### c. Les sondages carottés :

Les sondages carottés réalisés nous ont permis de déterminer la nature des formations en place et récupérer des échantillons intacts qui ont été transmis au laboratoire pour subir les différents essais physiques et mécaniques.

#### ❖ Exemple de sondage carotté de la section C

Tableau 1: la profondeur des couches et la nature lithologique.

Forage	Profondeur (m)	Nature lithologique
	0.00-2.00	Sable marneuse brunâtre avec trace de cailloux et riche en racine et végétaux



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

		par endroit.
	2.00-2.60	Sable jaunâtre avec présence des inclusions carbonaté blanchâtre



Figure 2: photos du sondage carotté (source rapport géotechnique)

### d. Essais au laboratoire

L'exécution des puits de reconnaissance a permis de récolter des échantillons remaniés, en effet une gamme d'essais exécutés au laboratoire afin de caractériser le matériau et l'identifie.

La caractérisation de laboratoire a compris les essais suivants sur des sols :

#### ➤ Essais d'identification

- Analyse granulométrique (NF P 94-056/ NF P 94-057) ;
- Limites d'Atterberg (NF EN -051) ;

#### ➤ Essais mécaniques

- Essai PROCTOR (NF P 94-093) ;
- Essai CBR (NF P 94-078) ;
- Essai de cisaillement a la boîte de Casagrande (NF P 94-071-2) ;
- L'essai compressible a œdométrie (NF P 94-090-1) ;

#### ➤ Essais physiques et chimique

- Teneur en matière organique ;
- Densité sèche et la densité humide ;
- La teneur en eau (NF P 94-050) ;



# Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

- Essai de bleu de Méthylène (NF P 18-592).

## 1. Analyse granulométrique (NF P 94-056/NF P 94-057) :

L'analyse granulométrique consiste à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille...etc.) l'analyse granulométrique fournit les proportions de grains de différents diamètres.



Figure 3: essai granulométrique (essai laboratoire)

## 2. Limites d'Atterberg (NF EN -051) :

C'est essai est la détermination expérimentale de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP). La détermination de WL et WP nous donnent une idée approximative des propriétés du matériau étudié ; elle permet de la classer grâce à l'abaque de plasticité de Casagrande.

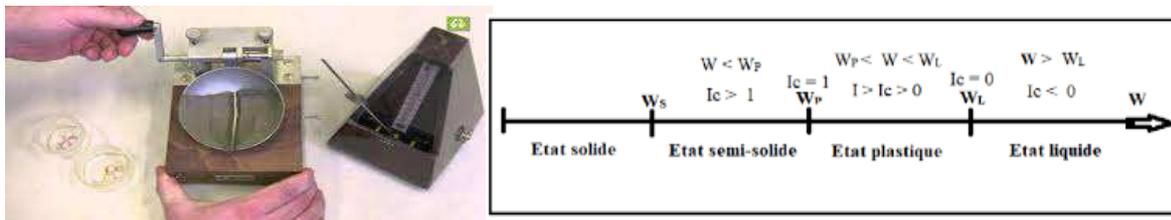


Figure 4: essai limite d'Atterberg (rapport des essais de laboratoire)

## 3. Essai PROCTOR (NF P 94-093) :

Il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence d'un compactage et une teneur en eau il a donc pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue et appelée « optimum Proctor ».

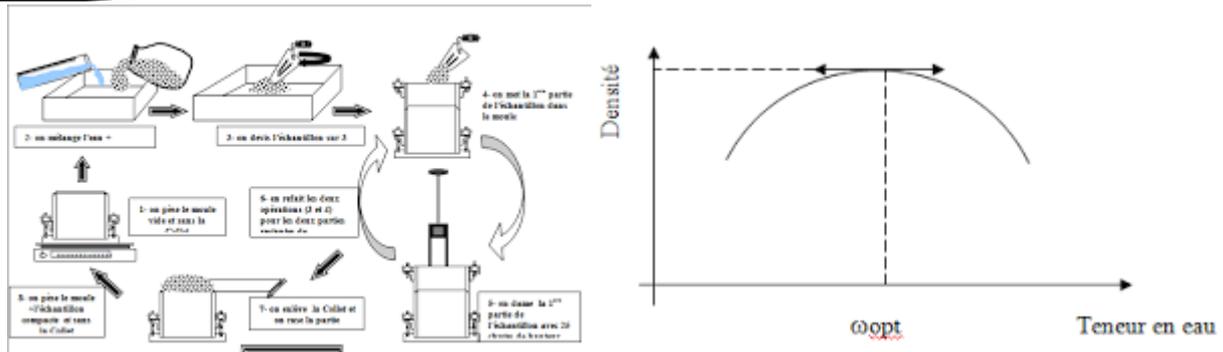


Figure 5: essai Proctor (rapport des essais de laboratoire).

#### 4. Essai CBR (NF P 94-078) :

C'est un essai de laboratoire qui soumet des échantillons d'un même sol au poinçonnement, les échantillons sont compactés dans des moules à la teneur en eau optimum.

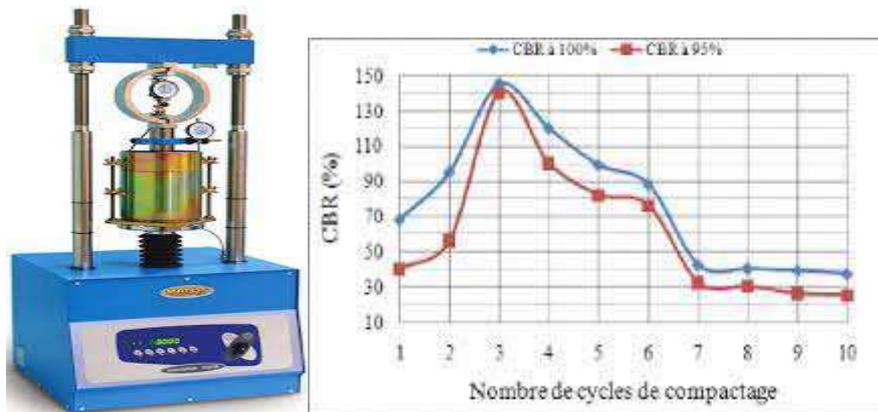


Figure 6: essai CBR (rapport des essais de laboratoire)

#### 5. Teneur en matière organique :

C'est une détermination pondérale basée sur la calcination ( $550^{\circ}\text{C}$ ) de la matière organique totale en conditions sèche. La perte au feu est donc la perte de poids d'un échantillon après calcination rapportée au poids initial.

#### 6. Essai de la densité sèche et la densité humide (NF P64-053)

Le but de l'essai est de déterminer la densité sèche ou humide de tout sol et de déterminer le degré de compactage "C" à l'aide d'un densitomètre à film.

#### 7. La teneur en eau (NF P 94-050)

Il a le but de savoir la quantité de l'eau dans le sol naturel (échantillon).

#### 8. Essai bleu de méthylène (NF P 18-592)

Evaluer la quantité et qualité de la fraction argileuse, à partir de la surface spécifique.



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

### 9. Essai de compressibilité à l'œdomètre

Le but est de mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique (intacte) type galette placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l'application de différentes charges verticales constantes.

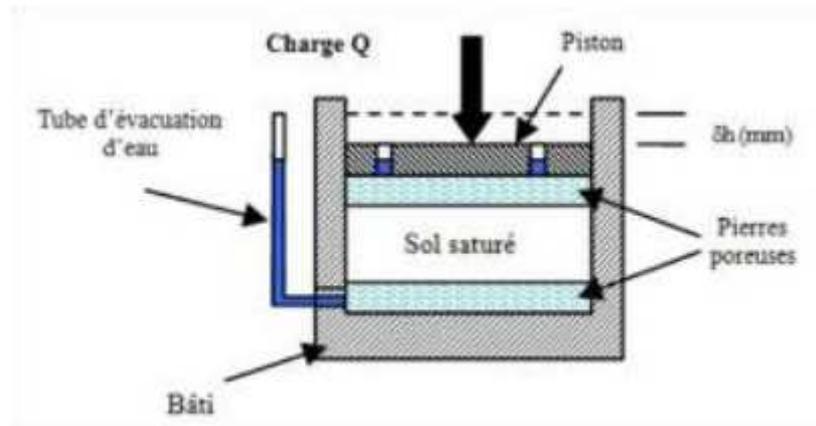


Figure 7: essai de compressibilité à l'œdomètre ( travaux pratique de mécanique de sol)

### 10. Essai de cisaillement à la boîte de Casagrande (NF P 94-071-2)

L'essai a pour objet de mesurer les caractéristiques de rupture d'un échantillon de sol fin saturé soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse constante.

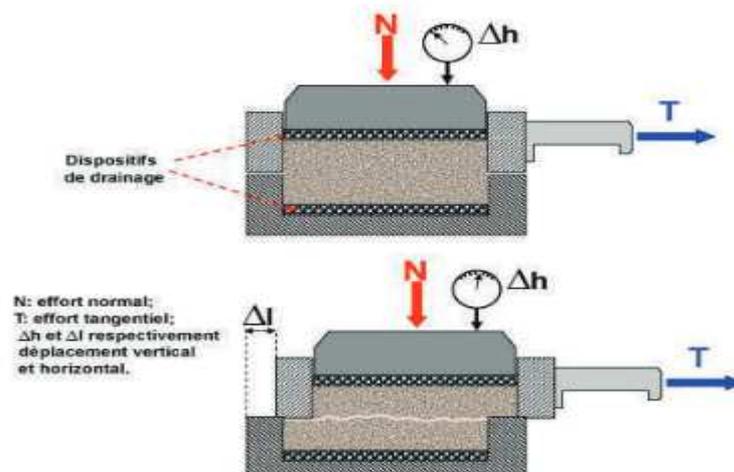


Figure 8: essai de cisaillement direct (travaux pratique de mécanique de sol)

### e. Essai in-situ

Les essais in-situ sont des mesures physiques directement sur le terrain.



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

Les données récupérées sur le terrain sont traitées par les ingénieurs.

Les essais sont principalement :

- L'essai pressiométrique (réalisé dans un sondage)
- L'essai pénétrométrique (mesure directe de résistivité du sol par enfoncement d'une pointe)
- Des essais de vérification de compacte de terrain (essai de plaque, pénétromètre léger type Panda).

Les essais in situ en géotechnique permettent d'approfondir l'étude des sols et des roches avant toute construction en surface ou en profondeur.

### 1. Essai a la plaque :

Ces essais permettront d'apprécier directement le module d'un sol par un essai sur le terrain, ils consistent à charger une plaque circulaire et à mesurer le déplacement vertical sous charge. On déduira ensuite un module de sol  $E$  en interprétant la valeur du déplacement mesuré à l'aide de la formule de Bossinesq qui relie  $Z$ , le déplacement, la pression  $q_0$  le rayon de charge et les caractéristiques du massif  $E_2$ .

### 2. Essai pénétromètre dynamique (NF P 94-115)

Cet essai permet une définition succincte des propriétés mécaniques du sol et aussi donne une approximation de la contrainte du sol par corrélation.

### 3. Essai pressiomètre (NF P 94-110-1)

Il s'agit d'un test de charge statique au sol, à l'aide d'une sonde cylindrique. Il est introduit dans le trou de forage de manière expansible radialement. L'essai fait l'objet de la norme française NF P 94-110-1. Informations recueillies par le forage et les propriétés mécaniques obtenues au cours du processus

### ❖ Le rôle des essais

Les tests permettent :

- Comprendre la continuité et les propriétés possibles des couches de sol ;
- Déterminer si le terrain convient à certains types de construction et guider choix de la base structurelle ;



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

- Déterminer la taille de base ;
- Évaluer le déplacement de la structure sur demande nous faire parvenir.

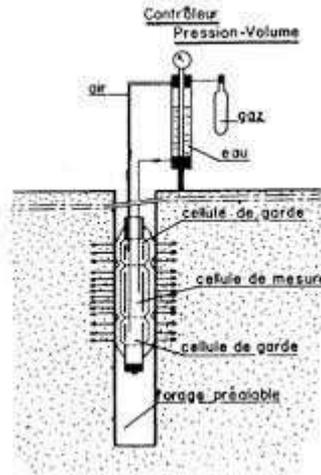


Figure 9: schéma de principe de l'essai pressiométrique Ménard. (Essais Géotechniques 1 GT843 2019/2020 Pr. Zadjouli A. / Aissaoui S).

### f. Résultats des essais de laboratoire :

Ces résultats représentés sont pour le tronçon C :



# Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

Sondage N°	Profondeur (m)	Analyse granulométrique			Essais physiques				Limites d'Atterberg				Essai au bleu Méthylene (ml/g)
		< 2 mm	< 80 μ	< 4 μ	ω (%)	γ <sub>s</sub> (t/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (t/m <sup>3</sup> )	S <sub>r</sub> (%)	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	I <sub>c</sub>	
T20	5.55 – 6.00	99.86	91.10	98.86	23.47	2.01	1.62	94.94	43.00	20.74	22.26	0.87	/
	9.20 – 9.65	100	95.19	99.75	21.42	2.01	1.65	90.76	44.00	20.01	23.99	0.94	6.20
	13.00 – 13.40	99.77	97.64	99.10	28.12	2.01	1.56	100	73.50	36.46	37.04	1.22	/
T21	1.50 – 1.80	98.33	94.69	96.55	18.03	2.01	1.70	82.63	82.05	41.09	41.41	1.54	5.00
	5.50 – 5.85	99.36	97.74	98.58	19.35	2.01	1.68	85.92	62.30	31.69	30.61	1.40	6.60
T22													
T23	5.50 – 5.58	99.95	99.14	99.79	24.24	1.99	1.60	95.13	61.57	28.19	33.38	1.11	/
	7.00 – 7.42	100	100	100	23.32	2.01	1.62	94.33	76.27	36.61	39.66	1.33	/
	10.00 – 10.45	99.60	98.39	99.20	18.63	2.10	1.77	95.58	62.22	30.74	31.48	1.38	5.33
T24	3.00 – 3.40	98.78	93.42	96.46	24.40	1.98	1.59	94.71	70.00	28.10	41.90	1.08	2.25
	3.90 – 4.20	90.62	73.97	76.72	20.89	2.05	1.70	95.40	60.00	28.46	31.54	1.24	/
T25	5.70 – 6.00	96.90	93.72	95.05	/	/	/	/	53.50	23.59	29.91	/	/
	8.60 – 8.90	100	98.00	99.68	/	/	/	/	45.00	25.88	19.12	/	/
	10.70 – 11.00	95.90	91.22	93.91	/	/	/	/	54.50	23.54	30.96	/	/
	13.25 – 13.45	100	100	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/

✓ **Légende**

ω : Teneur en eau. γ<sub>s</sub> : Densité humide. γ<sub>d</sub> : Densité sèche. S<sub>r</sub> : Degré de saturation W<sub>L</sub> : Limite de liquidité W<sub>p</sub> : Limite de plasticité I<sub>p</sub> : Indice de plasticité  
 2 mm : Pourcentage des passants inférieure à 2 mm < 80 μ : Pourcentage des passants inférieure à 80 μ < 4 μ : Pourcentage des passants inférieure à 4 μ.

Figure 10: les résultats des essais de laboratoire. Source rapport géotechnique.

### C. Définition des portances du sol :

Ces essais soient de laboratoire ou in-situ nous en permis de faire une étude détaillée tout en long du tracé du projet et nous en aidais à avoir le rapport suivant :

#### a. Le tronçon A

Tableau 2: classification des sols du tronçon A Thenia Si Moustapha Naciria (rapport géologique et géotechnique P.2)

PK		Longueur	Fond d'excavation	Lithologie
Début	Fin			
0+000	0+850	850	QS0	T1
1+150	1+590	440	QS0	C2 T1 R1
1+625	1+915	290	QS1	T1/T2



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

1+940	2+040	100	QS1	T2
2+040	2+480	440	QS0	C2 T1
2+730	2+800	70	QS1	T1 rocheux
2+990	3+330	340	QS0	T1
4+000	4+140	140	QS1	T2
4+600	4+630	30	QS1	C3
4+630	4+760	160	QS2	Gr
4+760	4+800	40	QS1	T2
5+860	6+260	400	QS0	C2

### Remarque :

Afin d'atteindre au moins la catégorie de plate-forme P1, la partie classée Qs0 doit être traitée.

Le compteur le plus haut doit être remplacé par un matériau compacté répondant au moins aux propriétés spécifiques de la catégorie de sol Qs1.

### b. Le tronçon B

*Tableau 3: classification des sols tronçon si Mustapha Bordj Ménaïel Naciria (rapport géologique et géotechnique P.2)*

PK		Longueur (m)	Fond d'excavation	Lithologie
Début	Fin			
6+262	6+520	258	QS1	C3
6+520	6+830	310	QS0	C2
7+380	8+015	635	QS0	C2
8+015	8+610	595	QS1	C2
9+250	10+490	1240	QS1	C3 C2
11+030	11+250	220	QS0	C2 R1

On obtient donc trois (3) tronçons en sol de type Qs0 on va devoir les traiter.



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

### c. Le tronçon C

Tableau 4: classification des sols tronçon C Bordj Ménaiel Naciria (rapport géologique et géotechnique P.2)

PK		Longueur (m)	Fond d'excavation	Lithologie
Début	Fin			
15+970	16+010	40	QS0	R1
16+080	16+130	50	QS0	R1
16+940	17+030	90	QS0	C2
17+310	17+515	205	QS0	T1
19+320	19+500	180	QS0	R1
21+080	21+450	370	QS0	R1/T1
21+965	22+060	95	QS0	C2 T1
22+210	22+540	330	QS0	C2 T1
22+540	23+040	500	QS0	T1
23+040	23+830	790	QS0	C2 R1
24+535	24+890	355	QS0	C2 T1
25+040	25+180	140	QS0	T1
25+220	25+340	120	QS0	T1

 **Remarque :**

Tel que cela peut être observé tous les tronçons ont été classés comme appartenant à la catégorie QS0 même si de façon ponctuelle, des échantillons de sol C3 (granulaire) et quelques échantillons de sols de types C2 peuvent être classés QS1. Etant donné la discontinuité de localisation de ces échantillons on recommande de ne pas prendre en compte ces caractéristiques et de considérer tout le tronçon comme étant QS0.

Tableau 5: classification des sols

Classification des sols (identification géotechnique).	Classe de qualité des sols
0.1 Sol organique	Qs0 Sol impropres
0.2 Sol fin (comportant plus de 15% de fines) foisonnés ; humides et donc non compactables.	
0.3 Sols thixotropes (quiky-clay par exemple)	



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

0.4 Sol comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sol comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 0.6 Sol mixtes 'minéraux organiques '	
1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives par exemple : <ul style="list-style-type: none"><li>• craies de <math>\rho_d &lt; 1.7 \text{ t/m}^3</math> et de friabilité forte</li><li>• Marnes</li><li>• Schistes</li></ul> 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.4 Roche évolutives Par exemple : <ul style="list-style-type: none"><li>• craines de <math>\rho_d &lt; 1.7 \text{ t/m}^3</math> et de friabilité faible</li><li>• Schiste non altères</li></ul> 1.5 Roches tendres Par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40.	Qs1 Sol médiocres
2.1 Sol comportant de 5 à 15 % de fines 2.2 sol comportant moins de 5 % de fines mais uniformes ( $C_u \leq 6$ ) 2.3 roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < MDE \leq 40$ et $30 < LA \leq 40$	Qs2 Sol moyens
4. Sol comportant moins de 5 % de fines 5. Roche dures Par exemple Si $MDE \leq 25$ et $LA \leq 30$	Qs3 Bon sol

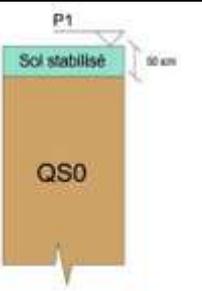
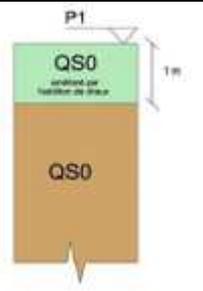


### D. Traitement des sols :

Pour améliorer la qualité du sol on adapte plusieurs méthodes qui vont aider à atteindre la qualité voulue. On a adopté quatre différentes méthodes sont les suivantes :

- **Substitution** : c'est une méthode qui consiste à remplacer le sol de qualité Qs0 par un sol de qualité supérieure disponible à proximité. Dans notre cas présent il s'agirait de substituer par un sol de qualité Qs1 avec  $CBR \geq 5$  sur une hauteur de 1 m.
- **Amélioration** : il s'agit d'améliorer un sol de type Qs0 en y ajoutant de la chaux jusqu'à obtenir un matériau qui puisse être classé comme sol de type Qs1. Ce pourcentage de chaux devra faire l'objet d'une étude précise dans un laboratoire. Dans notre cas le pourcentage est se situe entre 0.5 à 3% du poids du sol sec.
- **Stabilisation** : il s'agit d'un sol de type Qs0 ou Qs1 avec  $CBR \leq 5$  dont les caractéristiques sont augmentées en y ajoutant de la chaux pour obtenir un matériau meilleur. Le pourcentage de la chaux est approximativement entre 0.3 et 6% du poids du sol sec. Le sol stabilisé est à mettre en place sur une hauteur minimum de 50 cm.
- **Solution mixte** : cette solution consiste à réaliser le décapage du sol Qs0 sur 75 cm d'épaisseur de sol et mettre en place :
  - 50 cm de sol de type Qs1 de substitution ou de Qs0 amélioré au moyen de chaux présentant un  $CBR \geq 5$ .
  - 25 cm de sol stabilisé et répondant aux caractéristiques.

Tableau 6:différents schémas de solutions (rapport géotechnique et géologique).

			
Stabilisation	Amélioration	Substitution	Solution mixte



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

### E. Les dimensions des couches d'assises de plateforme P1 et P2 :

Tableau 7: épaisseurs de chaque couche d'assise de plateforme P1 et P2

	Couches	P1	P2
		Epaisseurs (m)	Epaisseurs
1	Ballast	0.30 minimum	0.30 minimum
2	Sous ballast	0.23	0.23
3	Fondation	0.15	0.15
4	Fondation	0.15	-
5	Feutre	0.01	0.01

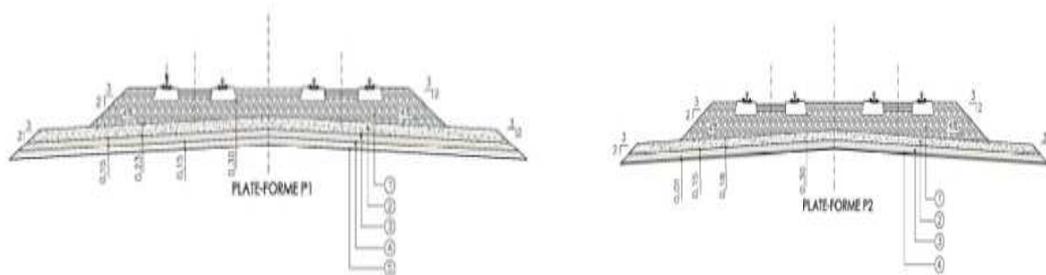


Figure 11: schéma des deux plateformes P1 et P2 successivement (rapport géologique et géotechnique P 04).

### F. Terrassement :

#### a. Introduction

Le terrassement est le travail consistant à préparer un sol en déplaçant des quantités plus ou moins importantes de terre dans divers buts. Le remaniement des terrains naturels entraîne une modification généralement définitive de la topographie et du paysage.

On distingue deux grands types d'opérations :

- Le déblai qui consiste à creuser et évacuer ou stocker la terre.
- Le remblai qui consiste à mettre place la terre stockée sur chantier ou amenée par camion.



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

### b. Déblai :

Les déblais rencontrés sur le tracé sont :

Tableau 8: les déblais de la section B (rapport géotechnique)

PK		Longueurs (m)	Hauteur maximum (m)	Lithologie
Début	Fin			
6+262	6+520	238	3	C3
6+250	6+830	300	1	C2
7+380	8+630	1240	4	C2
9+250	10+260	1010	<1	C2
10+260	10+490	230	<1	C1, R1, C3
11+030	11+250	220	3	C2, R1

Pour le tronçon C près de 32% du tracé environ 3365 se situe à cote du terrain ou en déblai par rapport à la topographie actuelle.

Les déblais rencontrés sur la section C du tracé et la géométrie exécuté pour chacun d'eux est résumé dans ce tableau :

Tableau 9: les déblais dans la section C

Pk		Hauteur maximum (m)	Géométrie
Début	Fin		
15+970	16+010	9	3H/2V
16+490	17+030	2	3H/2V
17+310	17+515	12	3H/2V
21+080	21+450	11	3H/2V
22+965	22+930	18	3H/2V (1)
22+930	23+000	10	TD : mur en pieux TG : 3H/2V
23+000	23+830	6	3H/2V (1)
24+535	24+829	15	TD : 1.75H/1V TG : 3H/2V
24+749	24+829	16	TD : mur en cré + 1.75H/1V TG : 3H/2V
24+829	24+890	14	TD : 1.75H/1V TG : 3H/2V
25+040	25+180	14	TD : 1.75H/1V (1) TG : 3H/2V



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

Avec :

- TD : talus droit ;
- TG : talus gauche ;
- (1) : berme<sup>5</sup> de 5m de largeur et de 10m de hauteur.

### c. Remblais

Les remblais situés entre le PK 8+630 et PK 9+250, entre PK 10+262 et PK 10+920, entre PK 11+250 et le PK 14+175 se trouvent dans une zone inondable. Pour cette raison deux types de remblais sont adaptés.

D'une part les remblais en terre exécutés en matériau de qualité minimal Qs1.

D'autre part les remblais en pierre exécutés en matériau drainants dans la zone inondable entre les suivants PK :

- PK 8+630 au PK 9+250 ;
- PK 10+620 au PK 10+920 ;
- PK 11+250 au PK 14+175.

Tableau 10: Remblais du tronçon B

PK		Longueur (m)	Hauteurs (m)	La portance des terrains
Début	Fin			
6+990	7+390	400	≤4	Qs1
8+610	8+630	20	≤3	Qs1
8+630	8+660	30	≤3	Drainant
8+680	9+070	390	≤3	Drainant
9+205	9+250	45	≤1	Drainant
10+490	10+620	130	≤4	Qs1
10+620	10+690	70	≤4	Drainant
10+810	10+920	110	≤5	Qs1
10+920	11+030	110	≤4	Drainant
11+250	14+175	2925	≤4	Qs1
14+175	15+520	1345	≤4	Qs1

<sup>5</sup> Chemin laissé entrer une levée et le bord d'un canal ou d'un fossé



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

### d. Remblais d'accès aux structures

Tableau 11: des remblais d'accès aux structures.

Structure	PK	Hauteur des remblais (m)
Pont route 8.3	8+323	8
Pont route 11.2	11+264	9
Pont route 14.9	14+965	9

Tableau 12: des remblais sur la section C.

PK		Longueur (m)	Hauteur maximale sur l'axe (m)	Remblais type
Début	Fin			
15+500	15+630	130	5.0	Qs1
15+630	15+895	265	2.0	Qs1
15+895	15+970	75	3.0	Qs1
16+000	16+750	750	3.5	Drainant (*)
16+75	16+940	190	3.5	Qs1
17+090	17+300	210	3.0	Drainant (*)
17+515	17+540	25	2.5	Qs1
17+540	17+980	440	3.0	Drainant (*)
17+980	19+080	1100	10.0	
19+080	19+300	220	2.5	Qs1
19+300	22+250	2950	4.0	
22+385	22+500	115	0.0	Qs1
23+795	23+905	110	5.0	Qs1
24+520	24+570	50	3.0	Qs1
24+890	25+040	150	11.5	Qs1
25+180	25+250	7.	3.0	Qs1
25+340	25+400	60	7.0	Qs1

(\*) les remblais drainants seront constitués d'une base de remblais en pierres (Qs3).

### e. Condition d'utilisation des remblais

L'idéal serait de pouvoir réutiliser la terre des éclats de roche, mais cela doit remplir certaines conditions.

Le matériau de remblai ne contiendra pas :



## Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

- Pierres de taille  $>80$  mm ;
- Matière Plastique IP  $> 20\%$  ou organique.
- Matériaux gélifs.
- On évite les sols à forte teneur en argile.

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

### G. Conclusion

Dans notre projet, les différents essais réalisés au laboratoire ou sur le terrain in situ, ils ont donné un type de sol de qualité portance  $Q_{so}$  (mauvaise qualité) mais avec la méthode d'amélioration, on a réussi à augmenter sa classe portance avec un bon drainage et des traitements appropriés par exemple traiter le sol avec des liants aussi et pour les remblais aussi, on peut utiliser comme déblais.



### A. Introduction

Si les traverses sont posées directement sur la plate-forme, elles s'enfonceront plus ou moins dans le sol naturel, la résistance n'est généralement pas suffisante pour supporter la charge transmise par les traverses, et la planéité de la voie en sera affectée. La résistance au sol est également très inégale. De plus, sur les sols imperméables, les traverses sont souvent immergées dans l'eau, et le gel peut faire gonfler localement les rails. Ces inconvénients sont évités en insérant une structure d'assise de hauteur suffisante entre la poutre et la plate-forme pour que la pression reçue par la poutre soit répartie le plus uniformément possible sur la plus grande surface de plate-forme sous charges roulantes.

### B. La structure d'assise :

L'infrastructure de voie ou structure de fondation est la partie inférieure où se trouve la voie, elle sert à disperser la charge imposée par les traverses sur la plate-forme et à amortir les vibrations de la superstructure, en plus elle aide à stabiliser la voie longitudinalement et latéralement. Ainsi, du point de vue de la rigidité, de la résistance et du drainage, de par sa nature et son épaisseur, le bon fonctionnement de la voie ferrée peut être assuré dans une large mesure. La couche de base se compose de la couche de ballast proprement dite constituée de gravier à gros grains et d'une sous-couche adaptative entre le ballast et la plate-forme. Cette sous-couche mono ou multicouche est constituée de matériaux granulaires (sable ou gravier) et parfois de mats divers.

La sous-couche comprend une couche de sous-ballast, une couche de base et une éventuelle couche anti-pollution, et la plate-forme elle-même est constituée d'une couche de recouvrement sur le corps principal du remblai ou le sol naturel coupé.

### C. Construction général :

La construction de la structure d'assise en principe est comme suite (UIC 719) :

1. La couche d'assise :
  - A. Couche de ballast :

Le ballast est un granulat de granulométrie 31,5/50 mm utilisé dans la construction ferroviaire, issu du concassage de roches dures (granit, quartzite, grès, gneiss, etc.), où la



## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire.

surface des particules est entièrement concassée à 100 %. Les carrières où ces matériaux sont extraits et transformés sont appelées gravières. L'épaisseur de la couche de ballast est de 25 à 30 cm et son rôle est de :

- ◆ Répartir la charge concentrée qu'elle reçoit des traverses sur la plate-forme.
- ◆ Du fait de ces propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par l'usure de l'élément de ballast), amortissement de la dynamique générée par le trafic.
- ◆ De par sa granulométrie, son drainage et son drainage rapide
- ◆ Résiste à tout mouvement de la voie par le frottement entre ses éléments et avec les traverses (le choix de la taille du lest dépend du type de traverse).
- ◆ Permettre de rectifier rapidement le nivellement au moyen du bourrage-dressage mécanique
- ◆ Le rôle du ballast est aussi d'enchâsser les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales, particulièrement importante pour la technique des longs Rails soudés.

Le ballast subit deux types d'usure :

- ◆ Contamination par des matériaux parasites, par exemple de la terre. On procède à des désherbages, mais il est nécessaire de remplacer le ballast régulièrement.
- ◆ Tassement du ballast sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie. Il est alors nécessaire de réinjecter du ballast de faible granulométrie sous les traverses ; ou bien de réaliser une opération d'entretien à l'aide d'une bourreuse.

La qualité de ballast est exprimée à partir des essais classiques :

- ◆ Essai de la résistance à l'usure (les essais Deval sec, Deval humide, Micro Deval).
- ◆ Essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angles).
- ◆ Essai de la résistance à la compression.

### a. Caractéristique du ballast :

- **Caractéristique géométrique :**
- **Granulométrie :**



## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire.

La granularité du ballast devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie « A » de la Norme Européenne NF EN 13450-Granulats pour ballasts de voies ferrées, conformément au tableau suivant :

*Tableau 1: La granularité du ballast.*

Maille de tamis mm	Ballast de voie ferrée 31.5/50 mm			Ballast de voie ferrée 31.5/63 mm		
	Pourcentage en masse de passant					
	Catégorie de granularité					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97 à 100	95 à 100	97 à 99	95 à 99	93 à 99
50	70 à 99	70 à 99	70 à 99	65 à 99	55 à 99	45 à 70
40	30 à 65	30 à 70	25 à 75	30 à 65	25 à 75	15 à 40
31.5	1 à 25	1 à 25	1 à 25	1 à 25	1 à 25	0 à 7
22.4	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 7
31.5 à 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	–	–	–
31.5 à 63	–	–	–	≥	≥	≥

➤ **La teneur en grains fins :**

La teneur en grains fins déterminée par tamisage, doit être conforme à la catégorie « A » spécifiée dans le Tableau suivant :

*Tableau 2: La teneur en fines du ballast.*

Maille de tamis mm	Pourcentage maximal passant en masse			
	Catégorie de teneur en grains fins			
	A	B	C	D
0.5	0.6	1.0	> 1.0	Aucune exigence

➤ **Homogénéité des granulats :**

Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement.



## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire.

### ➤ **Perméabilité :**

Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie.

### ➤ **Densité :**

Afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.

### ➤ **Caractéristique mécanique**

#### ➤ **Résistance à l'attrition (usure) :**

Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux, ce fait se reproduit en laboratoire sous le nom ESSAI DEVAL cette résistance est caractérisée par un coefficient Deval, à sec : Deval sec DS, en présence d'eau : Deval Humide DH.

Le ballast utilisé en chemins de fer :

*Tableau 3: Coefficient Deval sec-humide pour le ballast ferroviaire.*

<b>Matériaux ballast</b>	
<b>Deval sec DS</b>	<b>&gt; 14 (pierres dures)</b>
<b>Deval sec DS</b>	<b>&gt;12 (pierres carbonatées)</b>
<b>Deval humide DH</b>	<b>&gt; 6</b>

#### ➤ **Résistance à la fragmentation :**

Sous l'effet de contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs, donc pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats on réalise l'essai LOS ANGELES. En conformité avec la catégorie « A » de la Norme Européenne sur le Ballast, le coefficient Los Angeles ne dépassera pas 16%.

#### ➤ **Résistance à la compression simple :**

Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire, en Algérie ( $RC > 14 \text{ KN/cm}^2$ ).

### **B. La sous couche**



Est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme. La pose de cette dernière permet :

- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- L'Anticontamination entre plate -forme et ballast (protéger le ballast d'une éventuelle remontée de fines, et protéger la plateforme du poinçonnement causé par le ballast)
- La Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- La Protection contre l'érosion et le gel.
- L'évacuation des eaux (améliorer le drainage)

La sous-couche peut-être mono ou multicouche elle peut comprendre une couche sous ballast, puis une couche de fondation, et enfin s'il y a lieu, une couche anti contaminant en sable complétée par une feuille géotextile. Cette sous-couche est inclinée transversalement de 3 % à 5 %.

### **1. La couche de sous-ballast :**

Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses ou elle sert de couche d'égalisation et contribue à réduire la raideur de l'assise, elle est en grave propre bien graduée 0/31.5 mm avec pourcentage de fine dont le passant à 75 mm doit être <15% (si ce pourcentage dépasse 10% la limite de liquidité et de plasticité doit être <25). Il doit comporter au moins 30% de matériau concassé ayant une DRG  $\geq 12$ . Il doit être compacté à 100% OPM, et possède un coefficient d'uniformité  $D_{60}/D_{10} > 4$ .

### **2. La couche de fondation**

Cette couche permet la circulation des engins de chantiers, elle est composée de grave bien graduée d'une épaisseur d'au moins de 15 cm. Compactée à 95% OPM, elle doit avoir un coefficient de courbure  $1 < C_c < 3$ , et une DRG qui doit être supérieur à 10.

La couche de fondation n'est pas nécessaire sur les sols de classe QS3.

### **3. La couche anti contaminante**

Cette couche est en sable propre comportant éventuellement une feuille de feutre synthétique (soit au contact du sol de la couche de forme, soit si cette couche de forme contient des éléments contons- dants ou abrasifs, A mi- épaisseur de la couche de sable).A prévoir seulement sur plateforme de classe P1.



### 4. Le géotextile

Ce sont des géo-synthétiques perméables à l'eau et à l'air peuvent être utilisés comme séparateur et anti contaminant, filtre drainage et armature. Un géotextile est utilisé lorsque la plateforme est de classe P1 et P2, il améliore la qualité anti contaminante des structures d'assise, il facilite également la mise en œuvre des couches d'assise en évitant l'orniérage des couches de formes en sols QS1 ou QS2.

### 5. La plateforme

La plate-forme de la voie est constituée de sol rapporté (remblai) ou en place (déblai), elle constitue l'élément de support de la superstructure de la voie ferrée, de laquelle elle reçoit, à travers la couche de ballast, les tensions dues à la circulation des compositions.

La couche de forme correspond à la partie finale de terrassement, c'est-à-dire, correspond à la couche qui est placée sur la partie supérieure de remblais et à l'amélioration des terrains "in situ" dans les zones en excavation. Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est constituée soit du même sol que le corps de remblai soit d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM. Parfois la couche de forme est traitée aux liants hydrauliques. Dans le cas d'un déblai, la couche de forme est obtenue par compactage à 95 % OPM sur une épaisseur minimale de 30 cm. Cependant, on peut prévoir un apport de sol de qualité meilleure ou un traitement aux liants de la couche supérieure du sol en place.

**NB :** Le sous-ballast, la couche de fondation, la couche anti- contaminant et la couche de forme doivent être posés en pente transversale afin de mener l'eau de pluie vers l'assainissement.

- 4% pente normale.
- 3% pente posée dans les zones de désert.
- 5% pente posée dans les zones littorales.

D. Classes de qualité des sols

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après :



## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire.

- La nature géotechnique du sol : à cet égard, on utilise l'indentification géotechnique évoquée dernièrement (fiche 719R).
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales, qui sont données si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de tous nappes naturel (niveau de cette dernière est mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable) ;
  - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux au transversaux d'assainissement sont en bon fonctionnement.

Tableau 4: Classes de qualités des sols (UIC 719R).

Qualité	Définition
Qs0	Sol « impropre » à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives (substitution de matériau sur certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux).
Qs1	Mauvais sol acceptables tel quel, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage, ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sol meilleur qualité par un traitement approprié (traitement au liants).
Qs2	Sol moyen
Qs3	Bon sol

### E. Classe de portance de la plateforme

La portance d'une plate-forme dépend :

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

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



## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire.

Tableau 5: Détermination de classe de portance de la plateforme.

Classe de qualité du sol support	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme à mettre en place pour obtenir cette classe de portance	
		qualités	Epaisseur minimale $e_f$ (m)
Qs1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
Qs2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
Qs2	P3	QS3	-

Avec :

- P3 : plate-forme bonne ;
- P2 : plate-forme moyenne ;
- P1 : plate-forme mauvaise.

### ❖ Sensibilité au gel

On peut diviser les sols en trois classes, selon leur degré de sensibilité au gel :

- Sols insensibles au gel.
- Sols sensibles au gel.
- Sols très sensibles au gel.

Pour ce qui concerne les classes granulaires élémentaires la sensibilité au gel s'apprécie au moyen du tableau ci- après.



Tableau 6: Sensibilité au gel de diverses classes granulaires de sols (normes UIC 719 R. p34).

Classe de sensibilité au gel	Classe granulaire du sol
Insensible	Gravier – sable
Sensible	Argile
Très sensible	Limon

### F. Epaisseur des couches d'assise

L'épaisseur minimale de l'assise (ballast + sous-couche) dépend des paramètres suivants :

- La classe de portance de la plate-forme ;
- L'armement de la voie ;
- Les caractéristiques du trafic.

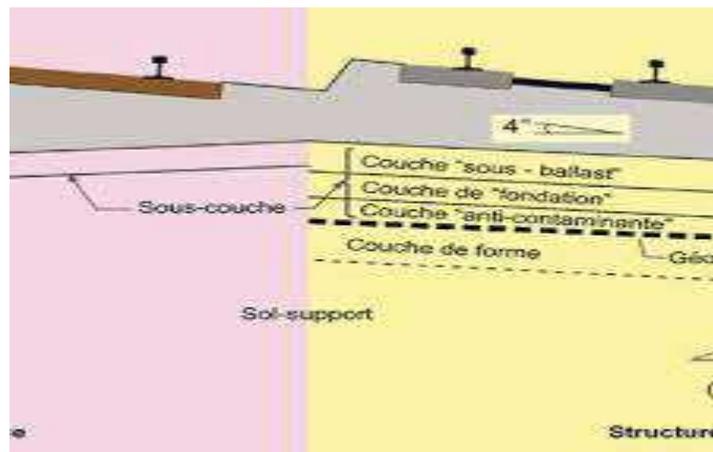


Figure 1: Epaisseur de couche de forme et de la sous couche (UIC 719)

#### a. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

L'épaisseur de la couche d'assise « e » est donnée par la formule :

$$e = E + a + b + c + d + f + g \quad (\text{Norme UIC 719 R p .57})$$

**E**: elle est déterminée selon la classe, et la qualité du sol support et la portance de la plateforme.

**a, b, c** : paramètre dépendant de la classe, de l'armement et de l'intensité du trafic de la voie.

Les valeurs de ces paramètres sont données dans le tableau suivant :



## Chapitre VII : l'infrastructure ferroviaire.

Tableau 7: Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur.

E	0.7	Pour les plateformes de classe de portance p1
	0.55	Pour les plateformes de classe de portance p2
	0.01	Pour les plateformes de classe de portance p3
A	0	Pour UIC 1 et 2 ou ligne $V > 160$ km/h
	-0.05	UIC 3 et 4
	0.01	UIC 5 ,6,7,8,9 avec voyageur
	-0.15	UIC 7,8,9 sans voyageur
B	0	Traverse en bois de longueur 2.6 m
	$(2.5-L) / 2$	Traverse en béton L
C	0	Un dimensionnement normal
	-0.1	Titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7,8,9 sans voyageur
	-0.05	Titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7, 8,9 sans voyageur.
D	0	charge essieu $< 200$ KN
	0.05	charge essieu $< 225$ KN
	0.12	charge essieu $< 250$ KN
F	0	ligne tell que $V < 160$ km/h et pour P3
	0.05	plate-forme classe de portance P2
	0.1	plate-forme classe de portance P1
G		Géotextile lorsque la couche de forme en sol QS1 et QS2
	0	géotextile lorsque la couche de forme en sol Qs3



### G. Exemple d'application sur notre projet

On a une classe de qualité Qs2 dans la classification de UIC 719.

➤ Définition des paramètres selon le UIC 719 :

- $E \Rightarrow$  Classe P2 donc  $E=55$  cm ;
  - $a \Rightarrow$  UIC 2 donc  $a=0$  ;
  - $b \Rightarrow$  la longueur de la travers bi-bloc est équivalente à 209.4 cm donc
$$b = \frac{250-209.4}{2} = 20 \text{ cm.}$$
  - $c \Rightarrow$  dimensionnement normal  $c=0$  ;
  - $d \Rightarrow$  la charge maximale est 225 KN donc  $d= 5$  cm ;
  - $f \Rightarrow$  la vitesse de la ligne est 160 Km/h donc  $f=0$  ;
  - $g \Rightarrow$  l'épaisseur de la géotextile est négligeable mais on prend 1cm en faveur de la sécurité donc  $g= 1$  cm.
- ❖ Résultat  $e = a+b+c+d+f+g +E = 55+0+20+5+1 = 85$  cm.

Ce qui nous donne les épaisseurs suivantes :

- Ballast = 30 cm ;
- Sous ballast = 20 cm ;
- Couche de fondation = 35 cm.

### H. Conclusion

Ce chapitre traite l'étudier de la voie ferrée ballastée, étant la structure la plus utilisée dans le monde grâce à sa flexibilité, le dimensionne la couche d'assise ainsi les différentes couches constituant cette plateforme.

La terminologie ferroviaire désigne par la voie, l'ensemble des constituants assurant la circulation des trains et supportant les efforts transversaux, longitudinaux et verticaux.



### A. Introduction

La superstructure de la voie se compose de deux files de barres en acier appelés « rails » posées parallèlement sur des supports transversaux en béton qui sont « traverses ». Les rails sont fixés sur les traverses par « les attaches ». Et pour permettre la ramification et la jonction des voies, on utilise « les appareils de voie ». Dans ce chapitre on va détailler chacun de ces éléments.

### B. La Technique du système ferroviaire

#### 1. Description du système

Les deux « unités techniques » de base qui assurent le « transport » par des moyens ferroviaires sont l'ensemble de **Roues du véhicule** et les **Rails**.

L'essieu monté se compose de trois parties de base :

- L'essieu
- Les roues
- Les boîtes d'essieux.

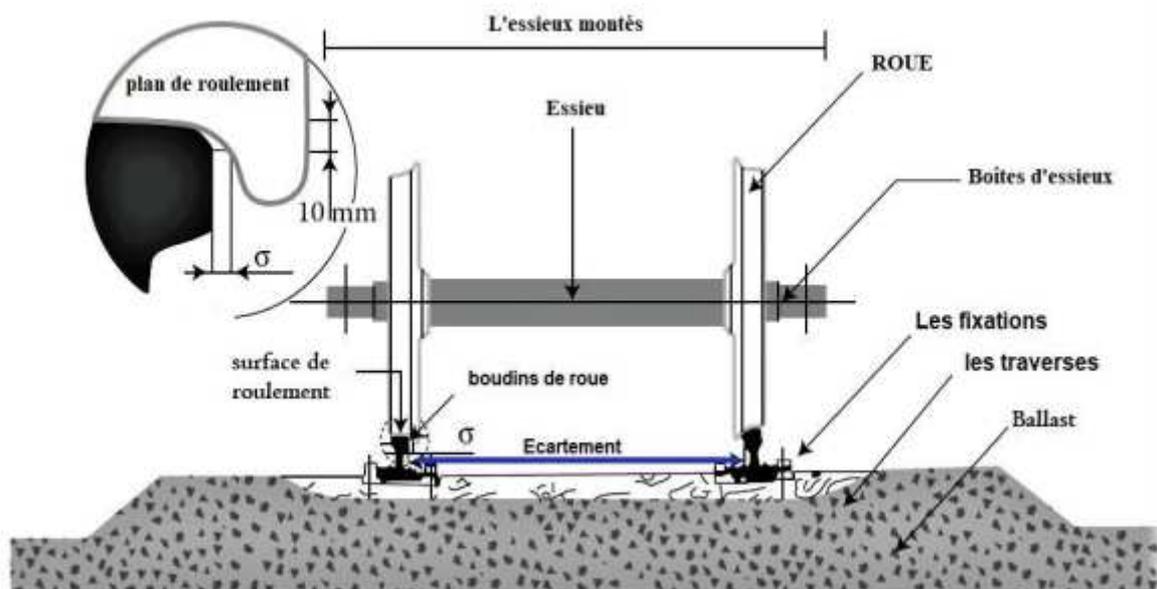


Figure 1: Roulement des roues conventionnelles sur rails. (12)



Figure 2: exemple d'essieu ferroviaire.

**a. Les roues sont constituées :**

- La bande de roulement, c'est la partie extérieure des roues qui permet le roulement sur les rails.
- Le corps de roue

Au cours des 30 dernières années, tous les véhicules de transport de marchandises et de passagers circulant à une vitesse  $V > 160 \text{ km / h}$  ont été équipés de roues en fonte (la jante et la carrosserie étant monobloc).

- **Les boudins** de roue (une sur chaque roue) sont caractéristiques de la section intérieure des roues ; leur mission est d'empêcher le déraillement dans le cas où le déplacement latéral  $\Delta e_l$  de l'ensemble de roues excède les limites fixées par l'écartement de la voie.

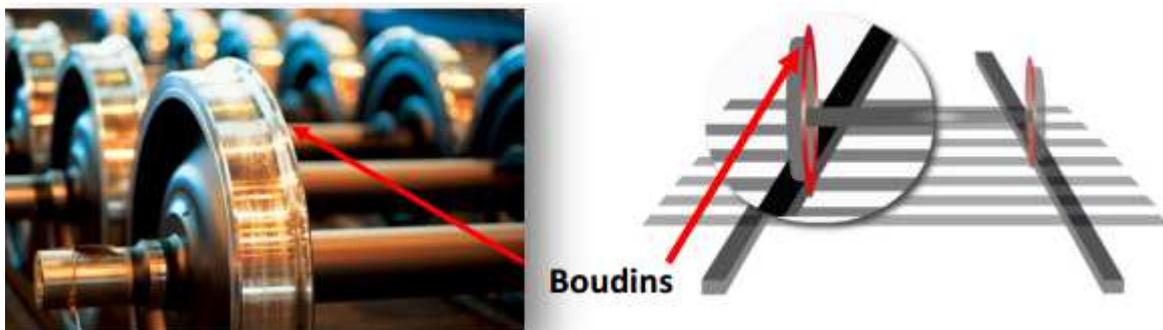


Figure 3: Boudins d'essieu ferroviaire [12]

Pendant ce temps, les boudins supportent l'autoguidage des essieux montés lors du passage à travers Aiguillage et le passage à niveau.



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

La section transversale des roues (profil) n'est pas orthogonale comme dans le cas des pneus de véhicules routiers. Il présente une légère conicité variable qui « s'ouvre » vers la partie intérieure de Lavoie.

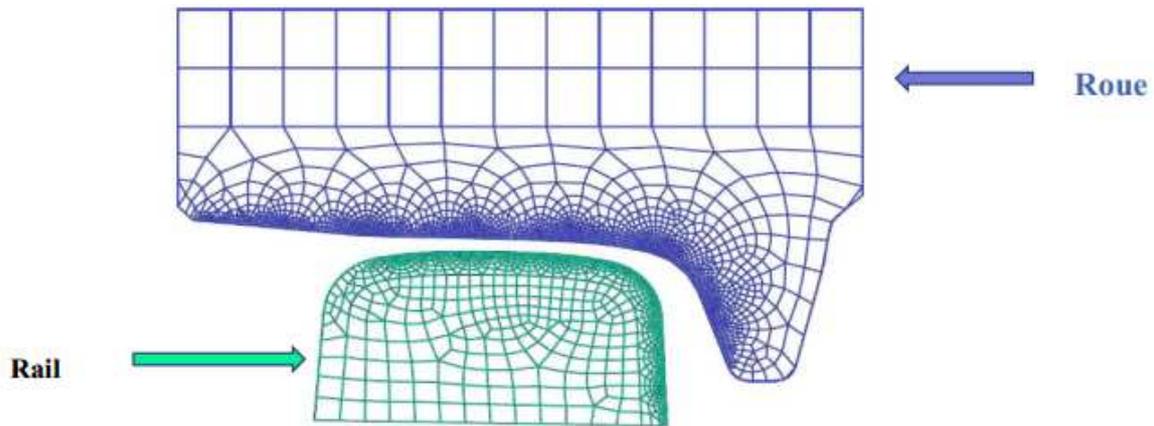


Figure 4: Section transversale par maillage d'essieu ferroviaire en contact avec le rail.

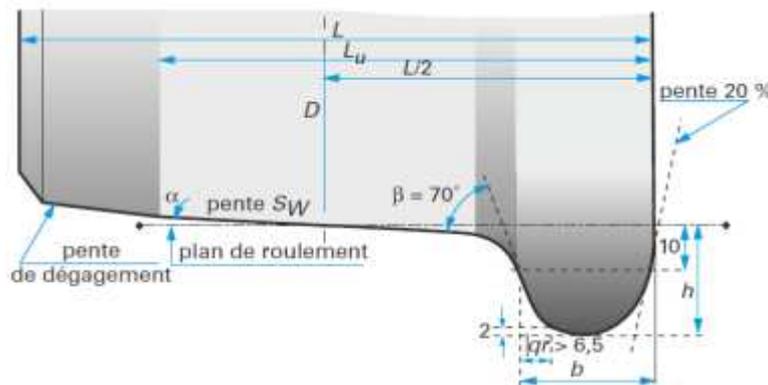


Figure 5: profil transversale de roue ferroviaire. (13)

- Largeur :  $L$  ( $0,135 \leq L \leq 0,140$  m) ;
- Diamètre nominal moyen :  $D$  ( $\geq 0,330$  m) mesuré à  $L/2$  ;
- Pente de la génératrice (ou 1/2 conicité) :  $SW$  ;
- **Les valeurs les plus utilisées sont :**
  - 1/20 (5 %) ( $\alpha = 2^\circ 51' 51''$ ) ;
  - 1/40 (2,5 %) ( $\alpha = 1^\circ 25' 57''$ ) ;
  - Pente de dégagement (15 %) suivie du chanfrein d'extrémité ;
  - Largeur utile :  $L_u = L -$  longueur de pente de dégagement ( $= 0,105$  m) ;
  - Hauteur de boudin, mesurée à partir du plan de roulement :  $h$  ( $= 0,036$  m) ;
  - Largeur de boudin, mesurée à 10 mm du plan de roulement :  $b$ .



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

➤ Les valeurs sont :

- $B > 0,022$  m pour  $D > 0,840$  m ;
- $B > 0,0275$  m pour  $D \leq 0,840$  m.

➤ Caractéristique de l'épaisseur du boudin en fonction de son usure :  $qr > 6,5$  mm.

➤ Angle de raccordement du boudin au plan de roulement :  $\beta = 70^\circ$ . (13)

La surface supérieure du champignon du rail est un cylindre de rayon  $r$  (m). La roue de profil en pente  $SW$ , vient en contact avec le rail au point  $C$ . le point  $C$  où s'applique le poids de la roue n'est donc pas dans l'axe du rail. Deux conséquences en résultent :

- L'âme du rail, siège principal de son inertie, subit une contrainte de flexion,
- L'action du poids ne se répartit pas symétriquement sur le patin.

Pour éviter ce décalage d'application de l'effort de la roue, le rail est positionné sur la traverse avec une inclinaison, ou pente  $SR$ , dirigée vers le centre de la voie. Cette inclinaison permet l'application de l'effort appliquée par la roue sur le rail, dans l'axe du rail, à condition que

$SR = SW$ .

L'inclinaison du rail  $SR$ , la plus courante, est  $1/20$ . Si la pente de la roue  $SW$  est plus faible,  $1/40$  par exemple, le point de contact  $C$  est décalé vers l'extérieur de l'axe du rail.

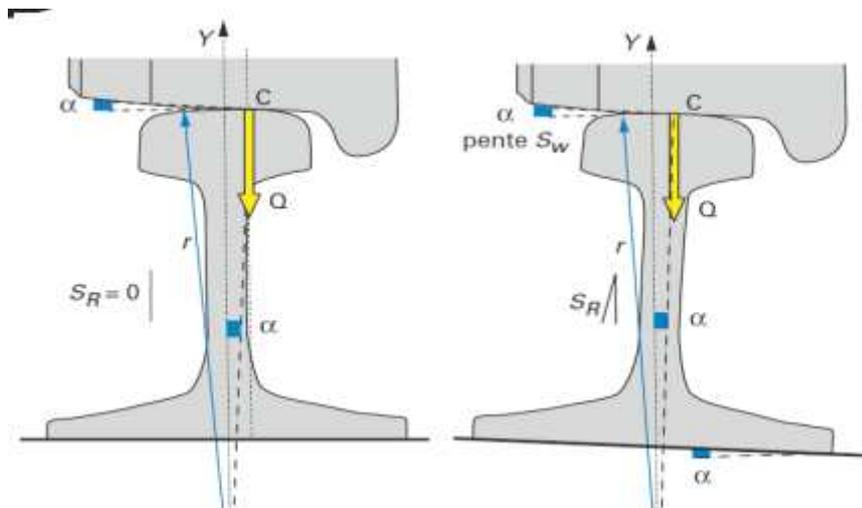


Figure 6: Inclinaison du rail. (13)

Les deux roues sont reliées de manière rigide par une tige cylindrique (axe), ce qui entraîne la rotation des roues et de l'essieu à la même **Vitesse angulaire**.



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

Le système « essieu / roue » ci-dessus est appelé système conventionnel (ou classique). Les essieux montent sur un rail de guidage en acier constitué de deux rails parallèles fixés à une distance fixe entre eux (face interne du rail), communément appelé écartement de rail. (12)

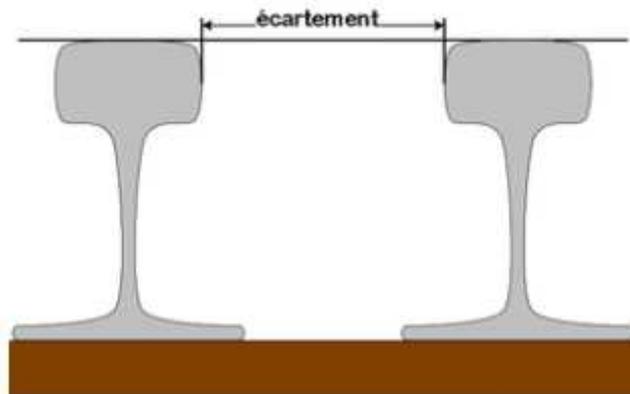


Figure 7: écartement des rails.

### 2. Principes fonctionnels fondamentaux

Lors du roulement de la roue, des forces élastiques se développent sur la surface de contact (Fluage, forces gravitationnelles). Dans des conditions de conduite en douceur (bonne qualité de la voie, limites de vitesse admissibles, matériel roulant en bon état), ces forces garantissent la stabilité et le guidage des véhicules sur des alignements droits et dans courbes. (3) (12)

- La production de ces forces est en fonction :
  - Le profil spécifique des roues (nuance d'acier) ;
  - La liaison rigide des roues à l'essieu ;
  - La géométrie de la partie extérieure supérieure de la surface du rail ;
  - Phénomènes de fluage.
- **Fonctionnement à chemin droit :**

Nous considérons une paire de roues de chemin de fer conventionnelle centrée sur la voie, circulant à vitesse constante,  $V$ , sur un trajet rectiligne en alignement, le roulement théorique a lieu sur le diamètre nominal  $D$ , identique pour les deux roues parcourant la même longueur sur les deux files de rail. (13)



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

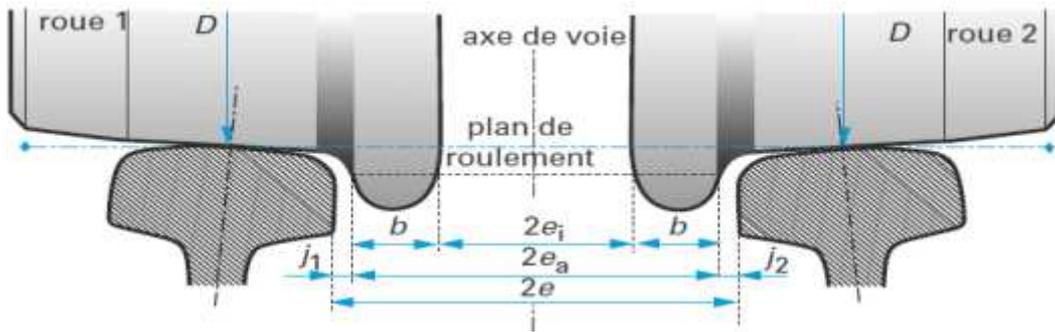


Figure 8: Inscription de l'essieu sur voie en alignement

- Écartement de voie :  $2^e$  ;
- Écartement des faces actives de roues :  $2e_a$  ;
- Écartement des faces internes de roues :  $2^e$  ;
- Largeur de boudin :  $b$  ;
- Jeu entre boudin de roue 1 et rail :  $j_1$  ;
- Jeu entre boudin de roue 2 et rail :  $j_2$ .

En pratique, tout déséquilibre de force s'exerçant sur les roues, provenant soit d'un désaxement de la charge verticale, soit d'un effort transversal extérieur (défaut d'horizontalité de la voie, vent latéral sur le véhicule), provoque un désaxement du roulement d'une roue par rapport à l'autre qui a tendance à se compenser (les deux roues roulent avec des rayons différents ( $r_1 \neq r_2$ )). Il en résulte un mouvement transversal périodique autour de la position médiane : c'est le « **lacet** » le mouvement parasite de l'essieu. Son amplitude est limitée par le contact entre boudins et champignons de rails.

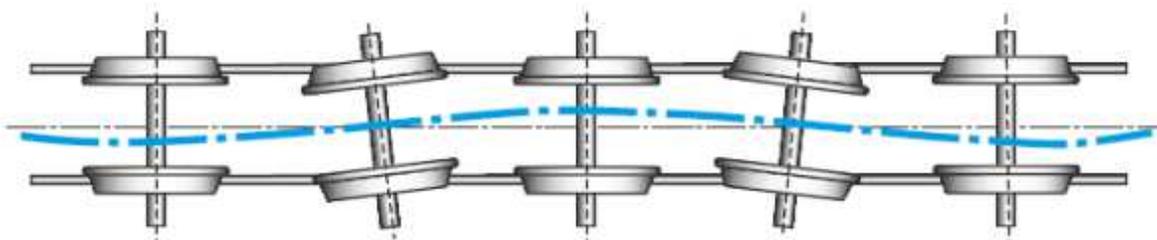


Figure 9: Mouvement de lacet sur voie en alignement.

### ➤ Fonctionnement dans les courbes

Examinons la structure de la figure 16. En entrant dans la courbe, la paire de roues est déplacé de "y" par rapport à sa face extérieure. En raison du profil conique des roues, le rayon de



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

roulement initial  $R_0$  des deux roues passe respectivement à  $r_1$  et à  $r_2$  pour la roue extérieure et la roue intérieure respectivement.

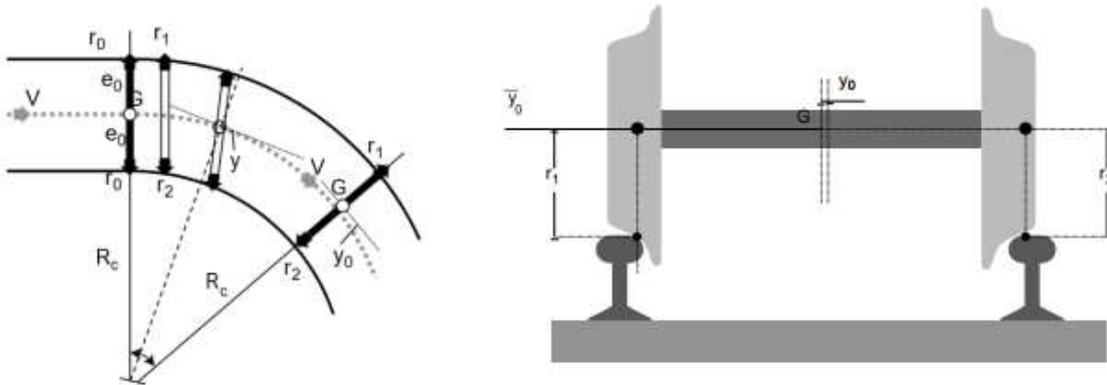


Figure 10: Mouvement d'un essieu de roues dans une courbure de voie.

Le rayon de roulement de la roue extérieure est plus grand. L'iniquité  $r_1 > r_2$  s'applique et, par extension,  $V_1 > V_2$  s'applique également (où  $V_1$ ,  $V_2$  : vitesses relatives des deux roues).

En raison de la liaison rigide des roues, l'ensemble de roues a tendance à tourner seul vers la face interne de la courbure, décalée de  $y_0$ , en recherchant un positionnement radial à l'intérieur de la courbe (les deux roues recouvrent des chemins inégaux). Comme dans le cas de pistes droites, lorsque le décalage transversal de l'ensemble de roues dépasse l'enjeu existant de la bride «  $\sigma$  », le roulement des roues sur les rails est assuré par la présence de boudins. La motion décrite ci-dessus concerne un seul essieu isolé. La négociation des bogies dans la courbe est plus complexe et le positionnement de l'essieu est affecté par les mouvements des bogies et de la carrosserie. Cependant, le mécanisme d'inscription des essieux dans les courbes reste le même.

Depuis la naissance du chemin de fer (1825) jusqu'à maintenant, le système décrit ci-dessus représente l'unité de base matérialisant le mécanisme physique de guidage des véhicules ferroviaires sur un trajet rectiligne et en courbes. Contrairement aux autres moyens de transport, les véhicules ferroviaires ne nécessitent pas intervention humaine (commande au volant) ou mécanismes compliqués. (12)



### Les éléments de la superstructure :

#### 1. Les Rails

Les rails sont des barres d'acier profilées, mises bout à bout et posées sur les traverses en deux ligne parallèle destiné à supporter la charge de la roue et permet son guidage et son roulement. L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions. Sa composition, outre que le carbone, comprend le manganèse, silicium, phosphore et soufre. Les dimensions varient suivant les pays et les lignes. Dans le cas général ou le trafic important, la masse linéaire du rail est de 60.00 kg/m.

Les deux files de rail sont fixées sur les traverses qui maintiennent leur écartement. Les rails doivent supporter les différents efforts qu'ils reçoivent, et les transmettre aux autres éléments qui composent l'infrastructure de la voie.

Ces efforts peuvent être :

- Des efforts verticaux dus au poids du véhicule avec une répartition hétérogène (charges statiques), le surpoids provoqué par la force centrifuge non-compensée (charges quasi statique) et les surcharges dues à l'action de la masse (charge dynamique).
- Des efforts transversaux dus aux mouvements de lacet, et à l'action la force centrifuge et qui agissent sur le rail, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.
- Des efforts longitudinaux sont prioritairement d'ordre thermique, mais ils résultent aussi de l'adhérence des roues, soit au moment du démarrage d'un train, soit au moment de freinage brusque et répartissent la charge sur le ballast. Le rail sert également de conducteur électrique soit pour les courants de signalisations ou pour le retour du courant de traction. Le Rail est une barre d'acier en trois parties ; la table de roulement est la face supérieure du champignon permettant le roulement de la roue.

#### A. Les types de rails :

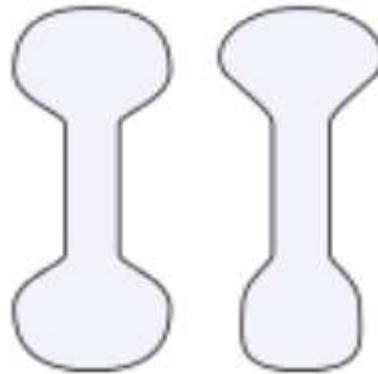
##### a. Rail a doublé champignon :

Le rail à double champignon, dont la section est symétrique, avait été conçu pour remettre de retourner le rail usé et donc doubler sa durée de vie. En fait, cette possibilité s'est révélée vaine du fait de l'encochage rapide du rail dans les coussinets qui le supportent. Par contre, ce profil, facile à laminier, était particulièrement intéressant à l'époque ou le fer



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

corroyé était le métal couramment utilisé pour la fabrication des rails. Le rail à double champignon est fixé sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte dans lesquels il est serré par des coins élastiques, en général métalliques, parfois en bois.



*Figure 11: rail type double champignon.*

### **b. Rail Vignole (à patin)**

Ce rail couramment désigné sous le nom de Vignole ou rail à patin, se caractérise par une base élargie qui permet une fixation facile sur la traverse. Il évite les nombreux inconvénients du rail à double champignon : fixation dans des coussinets en fonte, encochage du champignon inférieur, difficulté de conservation du dressage. Il est fixé sur les traverses, soit directement, soit par l'intermédiaire de selles métalliques. Sa forme est largement conditionnée par la nécessité d'assemblage des rails entre eux, c'est-à-dire par le problème de l'éclissage, ce qui conduit souvent, dans les raccords entre champignon et âme, à une forme contradictoire avec une bonne résistance du profil aux efforts.

Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance.

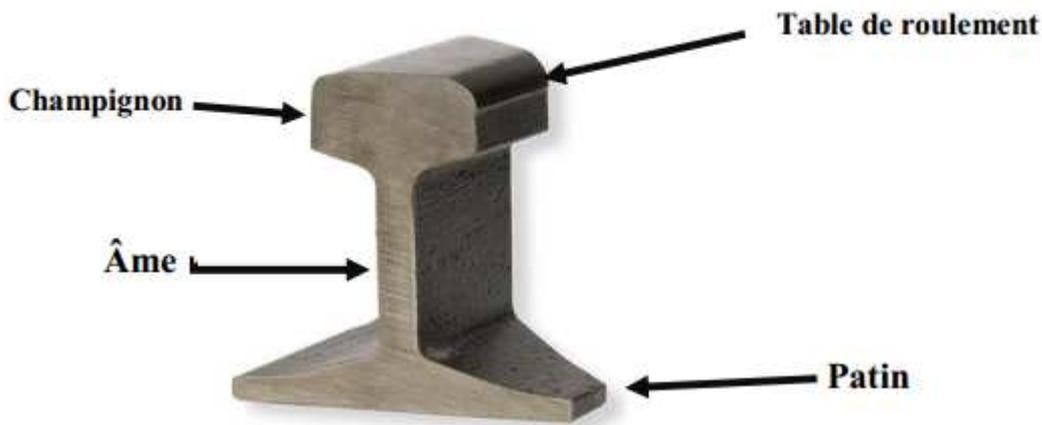


Figure 12: rail type Vignole.

- **Le patin :**

Caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailes, qui sont essentiellement fixées par des considérations d'équilibrage entre la section du patin et celle de champignon et par les possibilités du laminage, sa largeur conditionne la rigidité du rail dans le plan horizontal et détermine le taux de compression sur les traverses.

- **L'âme et portée d'éclissage :**

Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison des portées d'éclissage. L'épaisseur de l'âme doit tenir compte des efforts de déversement et les efforts tranchants. Qu'elle supporte et des sollicitations élevées qui se développent au voisinage des trous d'éclissage.

- **Le champignon :**

C'est la partie supérieure du rail, il est caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces forces latérales. Les dimensions de ce type de rail varient suivant les pays. Elles se caractérisent par la masse linéaire (en kg/m). L'Union Internationale des Chemins de fer a standardisé deux profils de rails pour les charges à l'essieu pratiquées en Europe : 54 et 60 kg /m. (Un rail de 71 kg/m est en cours de normalisation).



### c. Rail Broca ou à Gorge

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

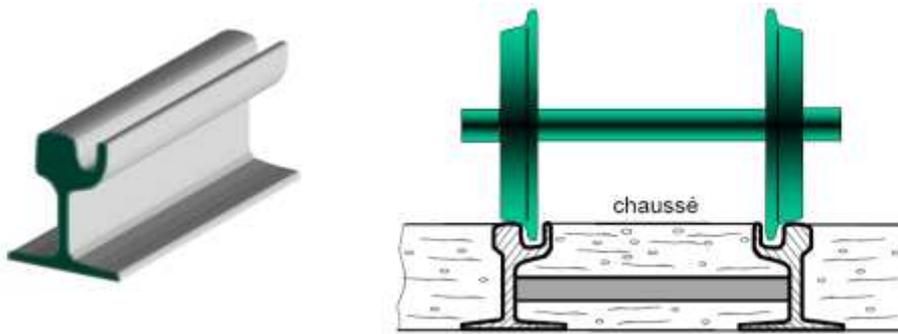


Figure 13: Rail type Broca à gorge.

#### ❖ Pour notre projet :

Type du rail utilisé : Vu son emploi universellement répandu, on a adopté pour notre ligne étudiée le rail Vignole UIC 60 (60 kg/ml de rail). Les poses de rails neufs sont faites, en longs rails soudés (LRS).

#### ➤ Caractéristiques géométriques et mécaniques de rail UIC 60

Désignation :

SNCF : UIC 60

Europe : 60EI

- Hauteur  $H=172$  mm ;
- Epaisseur de l'âme  $E=16.5$  mm ;
- Poids métrique  $P= 60,340$  kg,
- Largeur de table de roulement  $l=72$  mm ;
- Largeur du patin  $L=150$ mm ;
- Section  $F=71$  cm<sup>2</sup> ;
- Moment d'inertie par rapport à l'axe neutre (horizontale)  $I_x=3031$  cm<sup>4</sup> ;
- Moment d'inertie par rapport à l'axe vertical  $I_y=417.5$ cm<sup>4</sup> ;
- Moment de résistance par rapport :
  - Au champignon :  $W_{xk} = 303.6$ cm<sup>3</sup> ;
  - Au patin  $W_{xf} = 312.8$  cm<sup>3</sup> ;
  - A l'axe vertical y-y :  $W_y =68.3$  cm<sup>3</sup>
- Elancement :  $E = 1.16$ .

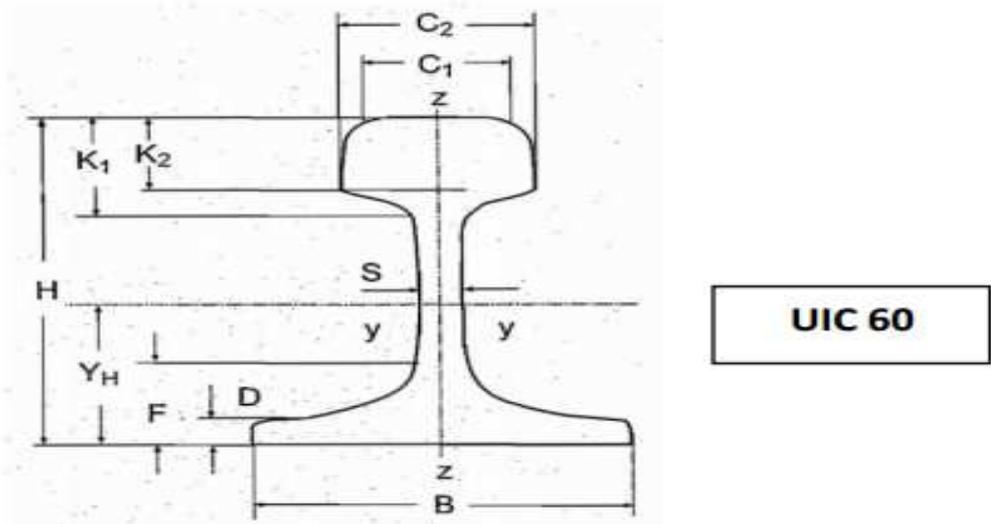


Figure 14: Le Profil du rail 60 E1 (UIC 60).

## B. Écartement des rails :

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

L'écartement n'est pas constant en fonction du tracé de la ligne. Pour faciliter l'inscription des essieux en courbe on ménage un " **sur écartement** ". Un écartement supérieur à l'écartement normale est appelé **voie large** et un écartement inférieur, **voie étroite**.

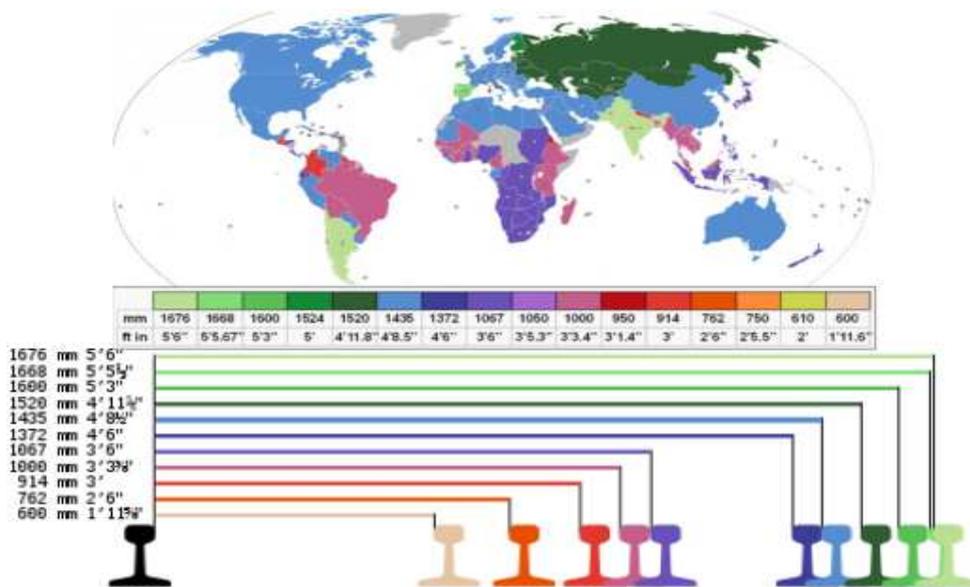


Figure 15: Écartement des rails dans le monde.



### C. Inclinaison du rail :

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20e en voie normale et métrique excepté pour les réseaux de tramways touristiques. Cette pente est obtenue par entaillage incliné des traverses bois.

### D. Défaut et usure des rails :

#### a. Les Fissures :

Les fissures représentent entre 55 et 65 % des défauts graves des rails. Leur localisation est variable, mais sont les fissures fréquentes sont les fissures horizontales et verticales du champignon et les fissures verticales de l'âme. Leur risque est modéré parce qu'elles sont détectables, en partie, par observation directe, électronique ou ultrasonique.



*Figure 16: Cas d'un rail fissuré.*

#### b. Rail avarié :

Rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autres défauts généralement situés en surface.



*Figure 17: Cas d'un rail avarié.*



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

### c. Rail rompu :

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



Figure 18: cas d'un rail rompu.

### E. Assemblage des rails :

#### a. L'éclissage

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées, qui s'entrent entre le dessous du champignon et le dessus du patin toute en respectant les diamètres des trous de perçage et leurs distances.

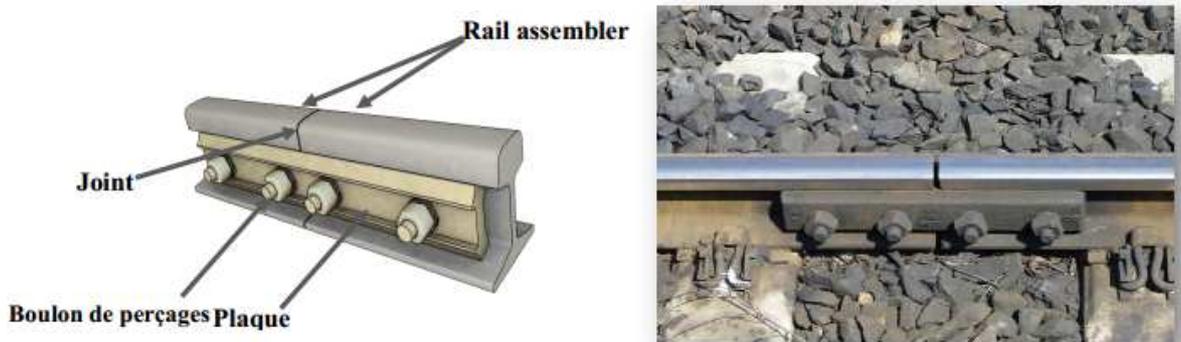


Figure 19: Assemblage par éclissage.



### b. Soudage

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



*Figure 20: Soudage.*

### 2. Les travers :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison (Les traverses assurent l'inclinaison au 1/20 du rail), et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois, en béton ou métalliques.

#### A. Le rôle des travers

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

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

#### B. Type de travers

A. **Travers en bois** : elles assurent la souplesse et l'isolement électrique, néanmoins, leur inconvénient est celui de la sensibilité aux attaques atmosphériques, causant des frais d'entretien assez importants.



Figure 21: travers en bois.

**B. En béton:** une durée de vie importante (50 ans), plus de choix de types d'attaches. Le désavantage des traverses en béton armé est qu'il exige plus de ballast que d'autres types de traverses. Il en existe deux types :

- **Mono bloc en béton précontraint :** Les premiers types de traverses en béton armé étaient des traverses monoblocs qui présentaient l'inconvénient d'une masse de l'ordre de 300 à 350kg.



Figure 22: traverses en mono bloc en béton précontraint.

- **bi-blocs en béton** 2 blocs en béton arme reliées par une barre métallique Pour transmettre les efforts du rail au ballast, il n'est utile de disposer de matière que dans le volume compris entre la surface d'appui du rail sur la traverse et la surface d'appui de celle-ci sur le ballast. Il suffit donc de disposer, sous chaque file, d'un bloc protégé du contact direct du rail par une semelle en caoutchouc.



Figure 23: traverse bi-bloc en béton armé.



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

✎ **Remarque :** Les traverses du type monobloc M450NP en béton précontraint sont utilisées dans toutes les sections de voie courante, les traverses sont posées à raison de 1666 unités au kilomètre.

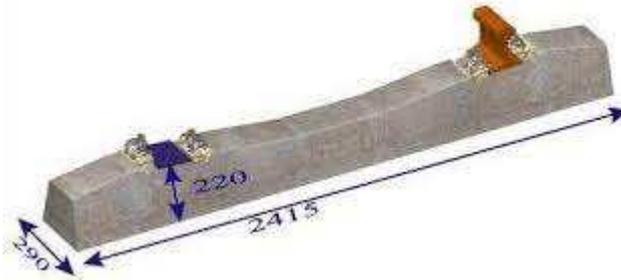


Figure 24: la traverse M450NP en béton précontraint

Les voies de service, les voies d'évitement et les voies tiroirs seront équipées de rails 60-E1 posés sur des traverses bi-bloc de type VAX U31. Au niveau des appareils de voie on utilise les traverses en bois dur azobé.

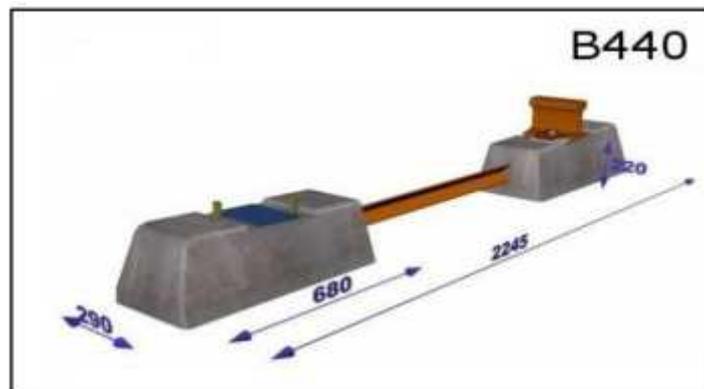


Figure 25: traverse VAX U31(B440).

### 3. Les attaches :

Les attaches rail-traverse assurent la fixation du rail sur la traverse. Elles assurent à la fois une élasticité dans le sens vertical et horizontal. Ces constituants permettent de régler la progression de l'effort en fonction du déplacement. Une semelle d'élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse afin de permettre l'absorption des vibrations nées dans le rail. Ce dispositif permet donc :



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

- D'assurer le positionnement du rail sur la traverse,
- Le serrage du rail sur la traverse, afin que la résistance au glissement entre le rail et la traverse soit supérieure à la résistance au glissement longitudinal entre la traverse et le ballast.
- De conserver un effort de serrage suffisant malgré les vibrations dues aux circulations,
- D'absorber les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.

### a) Les types d'attaches

Elles dépendent du type de la traverse utilisée :

#### ➤ Fixation pour les traverses en bois

Les rails sont fixés sur les traverses en bois par des tire-fond (vis à bois) ou par des crampons.

#### ➤ Fixation pour les traverses en béton armé

Les attaches élastiques sont plus récentes et plus performances car ce type de fixation peut résister d'une manière élastique aux mouvements.

Le système d'attaches est comme les traverses, un composant de la voie important du point de vue technique et économique.

### I. L'attache type NABLA :

Est la plus utilisée actuellement est constituée par un crapaud (lame-ressort) maintenu par un écrou (tirefond) vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet.



Figure 26: attache type NABLA



### 2. L'attache de type E-clip :

Il s'agit d'une attache dont le ressort, de même type que celui de l'attache vissée « à boudin », n'est pas fixé par vissage mais par emboîtement à force dans une selle fixée à la traverse. Les contraintes auxquelles est soumis le ressort assurent à la fois son maintien en place et la fixation élastique du rail.



Figure 27: attaches de type E-clip

### 4. caténaire :

Il peut être utile de connaître quelques aspects de la caténaire réelle qui permettront de comprendre sa constitution et sa pose sur le réseau.

Il existe plusieurs types de caténaires dépendant principalement de

- La tension électrique (25000 V / 50 HZ ou 1500 V continu en France) ;
- Type de circulation parcourant la voie ;
- Conditions locales et historiques

L'alimentation électrique des engins moteurs est assurée par le frottement de l'archet du pantographe placé en toiture de l'engin sur une ligne de contact aérienne. Le pantographe est constitué :

- D'un système mécanique déformable par un vérin pneumatique et/ou des ressorts pour rattraper les différences d'altitude entre le plan de la voie sur lequel roule l'engin et le plan de contact ;



## Chapitre VIII: la superstructure ferroviaire

- D'archet glissant sur les fils de contact, et assurant le passage du courant électrique entre conducteur et l'engin en mouvement. A travers l'archet peuvent transiter par une surface d'ordre de  $\text{cm}^2$  des intensités relativement importante (3000 A).

Pour maintenir un ou les conducteurs à une hauteur quasi-constante au-dessus de la voie, il est nécessaire entre deux support (poteaux caténaire)

- Soit des tendres très fortement ;
- Soit, à l'image d'un pont suspendus, de mettre en place un ou des câbles porteurs et d'y suspendre les conducteurs de contact par intermédiaire de pendules.

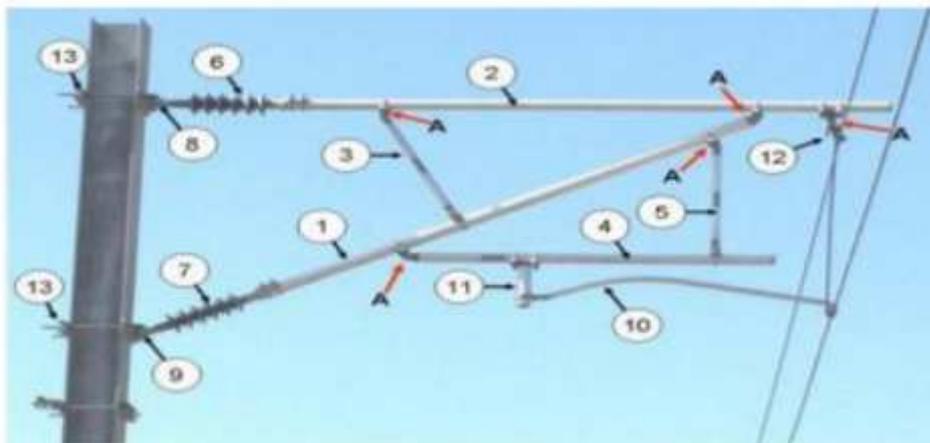


Figure 28: composant de caténaire.

### 5. Les appareils de voie

#### A. Branchement simple :

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

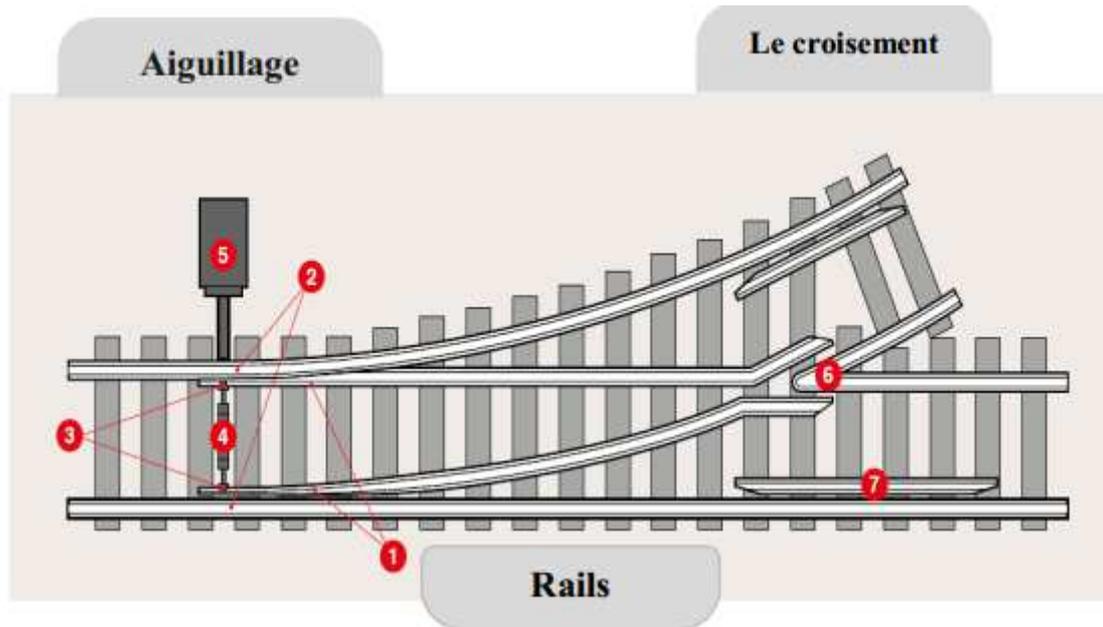


Figure 29: Appareil de voies -système de branchement simple

### B. Branchement symétrique

Sont des branchements comportant deux voies déviées divergentes de même rayon.

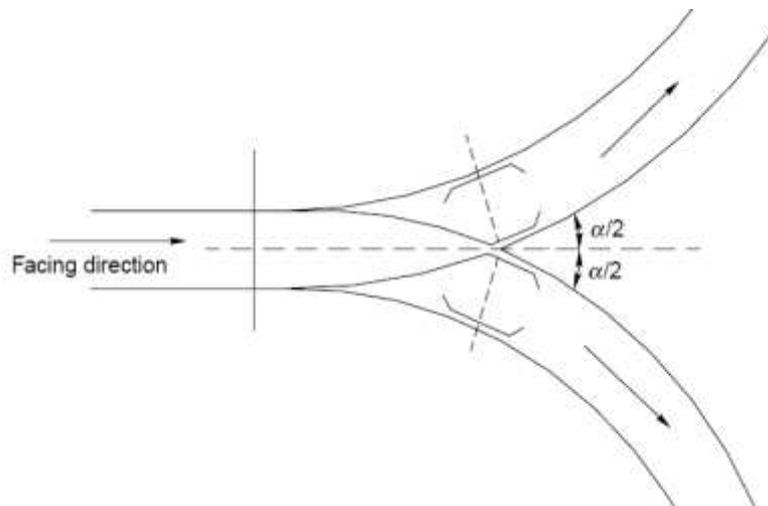


Figure 30: Branchement symétrique de deux voies.

### C. Branchement double

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

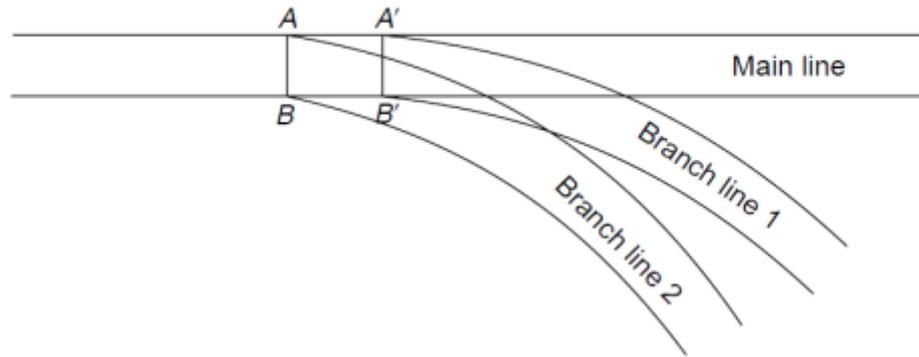


Figure 31: Branchement double.

❖ Mécanisme des appareils de voie :

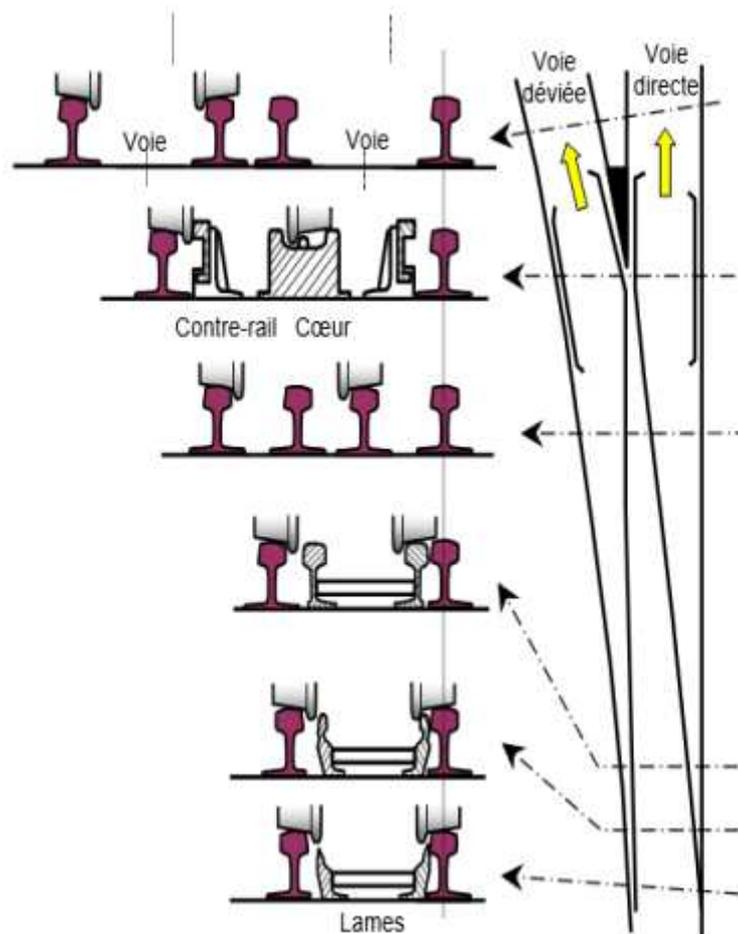


Figure 32: Mécanisme d'appareils de voie.



### 6. Les traversées de voie

Sont utilisées pour réaliser le croisement de deux voies :

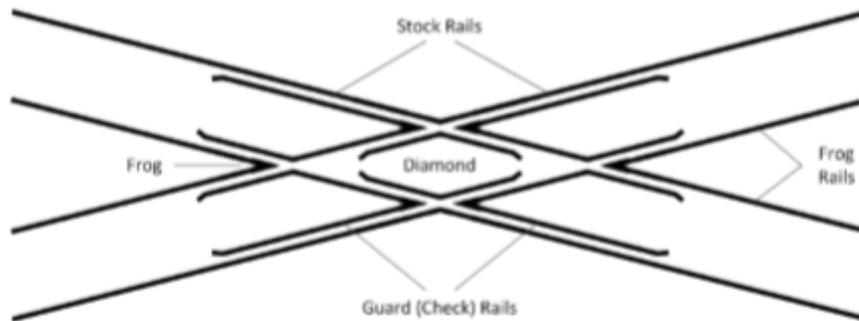


Figure 33: Les traversées jonctions

#### A. Les traversées-jonctions

Il s'agit d'une combinaison d'un seul aiguillage et d'une intersection de voie dans un petit espace. Ils permettent aux véhicules de passer d'une voie à l'autre sans interrompre le chemin roulant de l'intersection. Il convient de distinguer :

L'intersection simple, qui remplace deux aiguillages simples et une intersection de voie.

Double intersection, qui est une combinaison de quatre aiguillages simples et d'une intersection de voies.

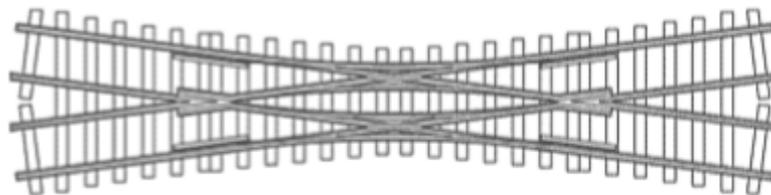


Figure 34: Les traversées-jonctions.



### I. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu les éléments formant la superstructure de chaque élément et les systèmes existant au niveau du monde et le système choisi pour notre projet.

Rail type	UIC 60 et UIC 54
Ecartement de voie	1.345 m
Type de traverse	Traverses bi-bloc de type VAX U31 UNTA
Système de fixation	NABLA



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

### I. Introduction :

La ligne ferroviaire reliant Thenia à Tizi Ouzou traverse les bassins versants des côtières Algérois et de l'Isser.

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

L'objectif principal de la présente étude hydrologique est donc la détermination du débit de crues tout le long du tracé de cette voie ferrée afin d'éviter les éventuelles inondations de celle-ci et prévoir ainsi l'aménagement hydraulique de protection le plus approprié.

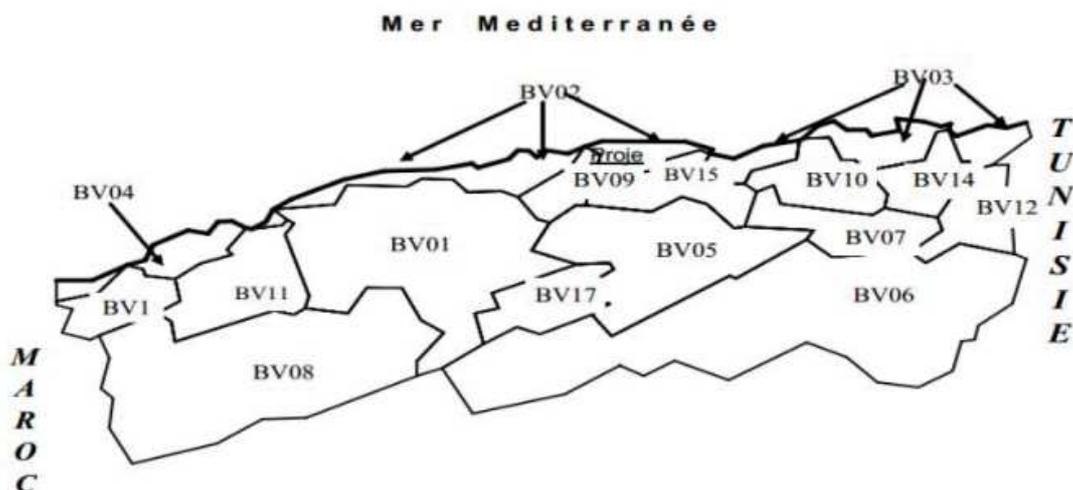


Figure 1: carte des bassins versants au nord de l'Algérie.

### II. Description du site du projet :

Le site du projet portant sur le tracé de la nouvelle voie ferrée se situe au nord de l'Algérie et à l'est de la capitale. Cette région se caractérise d'un climat méditerranéen avec parfois des averses très importantes qui peuvent conduire à des catastrophes naturelles.

En outre, ces oueds font partie de sous bassins versants, caractérisés par un chevelu hydrographique très dense, et par conséquent une apparition rapide de très fortes crues.

### III. Caractéristiques des bassins versants :

Un certain nombre de paramètres caractérise un bassin versant et son réseau de drainage :



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

- Surface ;
- Périmètre ;
- Altitude maximum et minimum du bassin versant ;
- Longueur de l'oued principal ;
- Longueur maximum et minimum e l'oued principale ;
- Coefficient de compacité de Gravelius ;
- Pente brute de l'oued principale ;
- Indice de pente moyenne.

### A. Données pluviométriques

Plus que tout autre facteur, la pluie joue un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Elle influence ces derniers par :

- Sa hauteur totale annuelle ;
- Sa répartition mensuelle et saisonnière ;
- Ses taux journaliers.

Les données de la région d'étude ont été recueillies à partir du rapport hydrologique du projet.

#### ❖ Pluies annuelles

Les pluies annuelles des stations disponibles pour différentes fréquences sont résumées dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 1: précipitation annuelle (mm) (source rapport hydrologique)*

Période de retour (ans)	Fréquence	Var.GAUSS	P Annuelle (mm)
10	0.90	1.28	983.8
20	0.95	1.65	1051.8
50	0.98	2.06	1128.0
100	0.99	2.33	1197.0



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

### ❖ Précipitation mensuelle :

Le régime des pluies moyennes mensuel interannuelles présente un maximum principal, généralement situé entre Novembre et février, mais les pluies orageuses de l'automne et du printemps sont non négligeables, des maxima secondaires sont assez fréquents les mois Octobre Mars et Avril.

Tableau 2: des précipitations mensuelles (mm) (source rapport hydraulique).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P moy mm	94.5	108.0	97.1	70.6	42.7	13.4	4.3	8.1	40.0	69.3	112.5	140.1
P%	11.8	13.5	12.1	8.8	5.3	1.7	0.5	1.0	5.1	8.7	14	17.5

Avec l'analyse de la variante des pluies moyennes mensuelles interannuelles pour la situation de notre projet montre que le mois de décembre est le plus pluvieux avec une moyenne des précipitations supérieures à 140 mm.

### ❖ Précipitation journalière :

La prévention des dégâts des eaux nécessite une détermination précise des précipitations quotidiennes maximales annuelles. Dans le tableau ci-dessous, nous montrons les précipitations quotidiennes maximales pour différents segments de fréquence de la région.

Tableau 3: des précipitations journalière (mm) (source rapport hydraulique).

Poids de retour	Fréquences	Var.GAUSS	P <sub>jmax</sub> (mm)
10 ans	0.90	2.25	109.4
20 ans	0.95	2.97	135.2
50 ans	0.98	3.90	174.7
100 ans	0.99	4.60	209.4

En conclusion, on peut dire que le climat du bassin d'étude est généralement méditerranéen, il se caractérise par une saison des pluies moyenne d'octobre à avril et des étés secs et chauds.

D'une année à l'autre, et le plus souvent la même année, la répartition des précipitations est très irrégulière. Cette énorme irrégularité est un fait fondamental du climat algérien.



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

### B. Intensité de pluies :

Le calcul de l'intensité de la pluie  $I$  pour une certaine durée  $t$  et période de retour  $T$  est obtenu à partir de l'expression suivante :

$$I = a t^b$$

Avec :

$I$  : intensité de pluies (mm/h) ;

$t$  : la durée (min) ;

$a$  et  $b$  : les paramètres des courbes IDF.

Tableau 4: valeurs des intensités pour différentes périodes de retour.

Période de retour	Fréquence	6 min	15 min	30 min	1 h	2 h
2 ans	0.50	176.0	100.6	65.9	43.2	28.3
5 ans	0.80	237.9	136.0	89.1	58.4	38.2
10 ans	0.90	278.7	159.3	104.4	68.4	44.8
20 ans	0.95	317.4	181.4	118.9	77.9	51.0
50 ans	0.98	367.4	210.1	137.6	90.2	59.1
100 ans	0.99	405.2	231.7	151.8	99.4	65.1
1000 ans	0.999	532.5	304.5	199.5	130.7	85.6

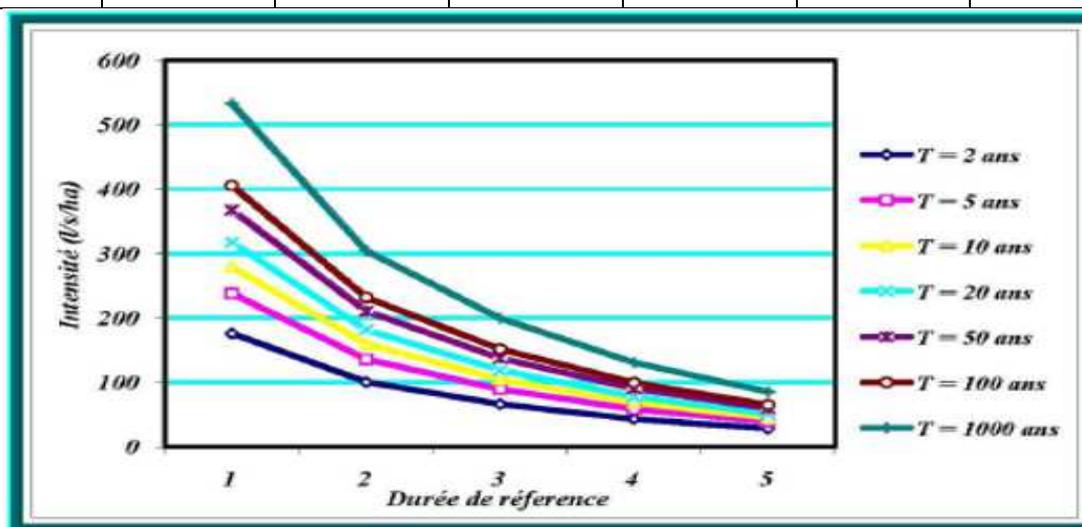


Figure 2: courbe intensité, durée, fréquence « station de Draa Ben Kheda » (source rapport géotechnique).



Echelle de l'axe X, durée de référence est le suivant :

1 : 6 min

2 : 15 min

3 : 30 min

4 : 1 h

5 : 2 h

### **C. Les inondations :**

Les inondations sont considérées comme un risque naturel et nous devons nous protéger par la prévention et la prévision.

En raison des effets destructeurs de ces catastrophes hydrologiques, la prédétermination du débit maximal possible a des implications socio-économiques évidentes et nécessite le calcul de certains ouvrages de protection dont la taille est essentiellement déterminée par l'inondation maximale possible, qui doit respecter les visages.

Les caractéristiques d'une crue sont : le débit maximum, sa durée et son volume. Estimation des débits de crue dans différents bassins versants par démarcation. A l'aide d'une formule empirique raisonnable, il est décrit en fonction de la pluviométrie et des caractéristiques physiques du bassin versant.

Pour plus de sécurité, nous conserverons les méthodes les plus courantes et les plus raisonnables de dimensionnement des ouvrages hydrauliques, la méthode la plus utilisée est la méthode rationnelle.

### **D. Méthode rationnelle :**

La formule rationnelle permet de calculer le débit maximal associé à une certaine période de retour, le débit de pointe d'un bassin versant est calculé par la relation suivante :

$$Q_{\max} = K * C * I * A$$

Avec :

- $K = 0.278$  : coefficient qui permet de convertir les unités ;
- $Q_{\max}$  : débit de pointe de crue d'une période de retour donnée [ $m^3 s^{-1}$ ] ;



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

- C : coefficient de ruissellement ;
- A : aire du bassin versant [Km<sup>2</sup>].

### ❖ Coefficient de ruissellement :

L'appréciation de l'aptitude d'un bassin versant au ruissellement se matérialise par un coefficient de ruissellement qui constitue une des conditions essentielles pour obtenir des résultats corrects. Le coefficient de ruissellement c'est le rapport entre la précipitation utile et la précipitation totale ayant lieu dans un bassin. il dépend de :

- La nature du sol ;
- La végétation ;
- De la pente.

Les différentes valeurs du coefficient de ruissellement sont représentées dans le tableau suivant :

*Tableau 5: valeurs de coefficient de ruissellement*

Nature du bassin versant	Cr
Bois	0.1
Champs cultivé	0.2
Terrains nus	0.5
Rochers	0.7
Route sans revêtement	0.7
Route avec revêtement	0.9
Village et toitures	0.9

### ❖ Le temps de concentration :

Le calcul du temps de concentration a une grande influence sur l'évaluation des débits de crues, ce temps caractéristique d'un bassin versant dépendant de l'étendue, de la forme et de la pente du bassin versant. Il est évalué à l'aide des formules empiriques utilisées en Algérie. Pour le calcul de temps de concentration des bassins versants il existe différentes formules :

- **Formule de GIANDOTTI**

$$\text{Lorsque } A > 25\text{km}^2 \quad tC = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$$



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

- **Formule de PASSINI**

Lorsque  $5 \text{ km}^2 < A < 25 \text{ km}^2$   $tc = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A} * L}{\sqrt{P}}$

- **Formule de Ventura**

Lorsque  $A < 5 \text{ km}^2$   $tc = 0.127 \sqrt{\left(\frac{A}{P}\right)}$

Avec :

**A** : superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ ) ;

**Tc** : temps de concentration (h),

**L** : longueur de l'oued principal en (km),

**H** : différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin (m) ;

**P** : pente brute de l'oued principal.

E. Les données hydrauliques de notre projet :

❖ Les bassins versants :

Un bassin versant correspond à l'ensemble de la surface qui reçoit les eaux qui circulent vers un même cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine. Il se délimite par des lignes de partage des eaux entre les différents bassins.

👉 **Remarque** les bassins versants du projet seras présenté dans une annexe.

- **Le tronçon A :**

Au total on trouve 34 bassins versants nous présenterons au moyen d'un tableau, les caractéristiques physiques les plus importantes de chaque bassin.

*Tableau 6: les bassins versants du tronçon A (source rapport hydraulique).*

N du	Nom du	Superfici	Longueur	Dénivellement	Pente	Tc	$\mu$ (degrés)
------	--------	-----------	----------	---------------	-------	----	----------------



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

bassin versant	bassin versant	e (km <sup>2</sup> )	(km)	(m)		heures	urbanisation)
1		0.367	1.120	115.4	0.1031	0.3815	0.4
2		0.045	0.612	115.6	0.1890	0.1896	0.9
3		0.307	1.533	166.0	0.1083	0.4797	0.9
4		0.42636	1.648	177.0	0.1074	0.5339	0.3
5		0.006	0.128	13.0	0.1016	0.0971	
6		0.019	0.245	31.0	0.1265	0.1526	
7		1.133	2.306	313.5	0.1359	0.8271	
8		0.004	0.057	10.3	0.1807	0.0471	
9		0.015	0.143	18.0	0.1259	0.1014	
10		0.042	0.395	69.5	0.1759	0.2060	
11		0.733	1.822	313.0	0.1718	0.6614	
12		0.012	0.144	44.0	0.3066	0.0862	
13		0.061	0.340	79.0	0.2324	0.1744	
14		0.180	0.582	122.0	0.2096	0.2675	
15		0.049	0.390	93.5	0.2397	0.1924	
16		0.074	0.540	91.0	0.1685	0.2634	
17		0.009	0.191	62.0	0.3246	0.1056	
18		0.035	0.281	100.2	0.3567	0.1391	
19	Oued Zaàtra	1.162	1.706	299.5	0.1755	0.6266	
20		0.058	0.301	72.4	0.2407	0.0983	
21		0.013	0.144	22.0	0.1528	0.0754	
22		0.003	0.108	21.0	0.1944	0.5413	
23	Oued Zahoun a	0.813	1.444	281.0	0.1946	0.0657	
24		0.007	0.077	8.0	0.1039	0.1842	
25		0.035	0.342	61.0	0.1784	0.1973	
26		0.037	0.370	63.0	0.1703	0.3175	
27		0.337	0.743	168.0	0.2261	0.3175	
28		0.108	0.432	77.8	0.1800	0.2196	
29		0.284	1.051	160.2	0.1524	0.4454	
30		0.120	0.544	74.0	0.1360	0.2759	
31		0.238	0.732	80.7	0.1102	0.3598	
32		0.034	0.328	24.3	0.0740	0.1406	
33		0.149	0.587	29.0	0.0494	0.2363	
34		0.049	0.260	26.4	0.1017	0.1109	

 Remarque :



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

Certains bassins seront drainés à travers de fossés et de collecteurs, en dérivant le canal vers l'ouvrage de drainage d'un autre bassin. Exemple : le BV 9 inclut le BV 8 ; le BV 14 inclut les BV 12 et le 13.

- Le tronçon B

On trouve 18 bassins versants dans ce tronçon.

Tableau 7: les bassins versants de la section B. (source rapport hydraulique).

N du bassin	Nom du bassin	Superficie Km2	Longueur km	hmax	Hmin	Dénivellement	Pente	Tch	$\mu$
1		0.043	0.380	63.00	38.79	24.2	0.0637	0.1618	1.00
2		0.012	0.226	38.20	37.59	0.6	0.0027	0.1987	1.00
3		0.66	0.460	38.65	34.00	4.7	0.0101	0.3980	
4		0.27	0.575	34.20	33.63	0.6	0.0010	0.7331	
5		0.097	0.819	33.10	31.00	2.1	0.0026	0.8008	
6		0.11	0.166	32.80	30.00	2.8	0.0169	0.1664	
7		0.21	0.260	32.33	27.90	4.4	0.0170	0.2336	
8		0.59	0.413	28.67	25.15	3.5	0.0085	0.3788	
9	Oued Isser	4170.00	114.000	1810.00	0.00	1810.0	0.0159	24.1114	
10		0.153	0.420	29.50	28.35	1.2	0.0027	0.3184	0.90
11		0.111	0.500	30.00	28.59	1.4	0.0028	0.3615	0.90
12		0.113	0.560	30.00	28.96	1.0	0.0019	0.4266	0.90
13		0.100	0.410	31.00	29.37	1.6	0.0040	0.2913	0.90
14	Oued el	122.455	18.361	1031.00	23.00	1008.0	0.0549	4.7552	



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

	djema a								
<b>15</b>		0.953	1.602	21.00	19.7 3	1.3	0.000 8	1.6666	
<b>16</b>	Oued besbe s	15.606	7.492	340.00	23.0 0	317.0	0.043 2	2.3087	0.1 0
<b>17</b>		0.045	0.240	19.00	18.8 0	0.2	0.000 8	0.3901	
<b>18</b>		0.250	0.619	21.00	19.7 3	1.3	0.002 1	0.6753	

- Le tronçon C

On trouve au totale 31 bassins versants.

*Tableau 8: les bassins versants du tronçon C (source rapport hydraulique).*

Numéros du bassin	Nom du bassin	superficie	Longueur	H min	H max	Dénivellement	Pente	Tc
<b>1</b>		2.230	5.363	275.00	20.00	255.0	0.048	1.351
<b>2</b>		0.958	2.644	55.00	21.00	34.0	0.013	1.012
<b>3</b>		0.424	1.754	878.00	21.75	28.3	0.016	0.710
<b>4</b>	Oued Ménaïel	27.702	13.679	89.00	23.50	854.5	0.016	3.710
<b>5</b>		1.750	2.628	32.00	22.00	67.0	0.062	1.255
<b>6</b>		0.104	0.366	55.00	23.95	8.1	0.025	0.289
<b>7</b>		0.215	0.512	230.00	26.00	29.0	0.022	0.311
<b>8</b>		1.853	2.936	72.00	28.50	201.5	0.057	1.132
<b>9</b>		0.136	0.310	85.00	30.85	41.2	0.069	0.181
<b>10</b>		0.137	0.440	376.00	33.36	51.6	0.133	0.242
<b>11</b>		3.461	3.121	122.00	37.00	339.0	0.117	1.086
<b>12</b>		0.408	1.150	122.00	38.95	83.1	0.109	0.550



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

13		0.237	0.837	76.00	42.95	79.1	0.072	0.410
14		0.023	0.107	82.00	58.00	18.0	0.094	0.077
15		0.023	0.124	90.00	60.00	22.0	0.168	0.085
16		0.019	0.194	82.00	59.00	31.0	0.177	0.122
17	Assif Ezzaouia	0.153	8.615	90.00	50.70	788.0	0.160	2.428
18		0.023	0.212	839.00	65.00	22.0	0.092	0.142
19		0.012	0.120	87.00	65.00	22.0	0.104	0.083
20		0.180	0.879	87.00	70.00	73.0	0.183	0.436
21		0.124	0.645	143.00	78.00	65.0	0.083	0.332
22		0.050	0.275	143.00	84.00	59.0	0.101	0.151
23		0.081	0.460	143.00	84.00	68.0	0.215	0.229
24		0.328	0.765	170.00	84.00	121.0	0.187	0.347
25		0.153	0.830	205.00	92.00	103.0	0.124	0.387
26		0.140	0.615	195.00	93.00	102.0	0.166	0.292
27	Oued Chender	12.722	8.321	889.00	71.00	818.0	0.098	2.333
28		0.009	0.134	128.00	116.00	12.0	0.090	0.103
29		0.033	0.117	133.00	104.00	29.0	0.248	0.077
30		0.015	0.075	134.00	115.00	19.0	0.253	0.054
31		0.012	0.093	142.00	114.00	28.0	0.310	0.062

### I. Assainissement

L'assainissement des infrastructures ferroviaires a pour objet d'assurer l'évacuation de toutes les eaux superficielles et souterraines pour éviter la submersion de la voie ferrée et assurer sa stabilité. Il existe deux types de drainage de la voie drainage transversal et longitudinal.

#### 1. Les ouvrages transversaux :

Aux intersections de la voie ferrée avec les cours d'eau naturel, il sera construit des ouvrages hydrauliques qui devront assurer l'écoulement des eaux pluvial.

Ces ouvrages traversent l'emprise de la voie dans le sens de l'écoulement des eaux et sont implantés le long du tracé. Ces ouvrages sont des buses dont la génératrice supérieure est minimum à 1.50 m de niveau rail et dalots en béton armé enterrés à 0.700 minimum.



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

### A. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale (T=100 ans). Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule de MANNING-STRICKLER.

$$Q_s = K_s * A * R_h^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

- $Q_s$  : débit (m<sup>3</sup>/s) ;
- $A$  : section utile de l'ouvrage ;
- $I$  : pente longitudinale de l'ouvrage ;
- $R_h$  : rayon hydraulique ( $R_h = S_m/P_m$ ) ;
- $S_m$  : section mouillée ;
- $P_m$  : périmètre mouillé ;
- $K_s$  : coefficient de rugosité de Strickler.

Les valeurs du coefficient  $K_s$  sont organisées dans le tableau suivant :

*Tableau 9: les valeurs du coefficient de Strickler.*

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

### B. Critère de dimensionnement :

Pour le dimensionnement des différents ouvrages les critères suivants ont été tenus en compte :

- Le Débit est concentré à l'exutoire ;
- Ecoulement uniforme et permanent ;
- Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluviale) ;
- L'écoulement doit se faire à surface libre pour le débit de projet considéré en régime permanent. La hauteur d'eau correspondant à ce débit ne doit pas dépasser 90 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage) ;



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

- Le drainage transversal sera dimensionné pour un débit de pointe de crue correspondant à une période de retour de  $T = 100$  ans ;
- La pente des ouvrages doit être limitée pour éviter des vitesses trop élevées. La vitesse maximum acceptée sera de 5,0 m/s.

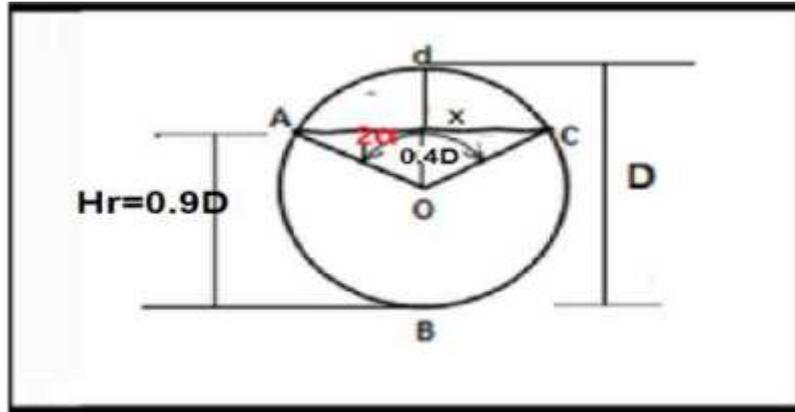


Figure 3: la hauteur de remplissage de

### ❖ Dimensionnement des buses :

Le dimensionnement de la buse se fait par la formule de MANNING STRICKLER en écrivant l'égalité du débit d'apport saturation tel que :

$$Q_s = Q_{\text{apport}}$$

$$K_s = 80 \text{ et } I = 1\%$$

$$Q_s = K_s * A * R_h * I^{1/2}$$

$$R_h = S_{\text{mouillé}} / P_{\text{mouillé}} = 0.74 D^2 / 2.48 D^2 = 0.29 D$$

$$Q_s = 80 * 0.74 D^2 * (0.29 D)^{2/3} * (0.01)^{1/2} = Q_{\text{apport}}$$

La formule avec laquelle le diamètre de la buse sera déterminé :  $D = (Q_{\text{apport}} / 2.58)^{3/8}$

👉 Remarque : Les différentes valeurs des diamètres des buses seront présentées dans une annexe.

### ❖ Dimensionnement des dalots :

Dans ce schéma :

B : largeur nette du cadre (m)

H : hauteur nette (m)

$H_r = 0.9H$  : hauteur de remplissage (m)



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

Le dimensionnement du dalot se fait par la formule de MANNING STRICKLER tel que :  $Q_s = Q_{\text{apport}}$

$K_s = 70$  et  $I = 1\%$

$$Rh = 0.9H * \frac{B}{1.8H + B}$$

Donc

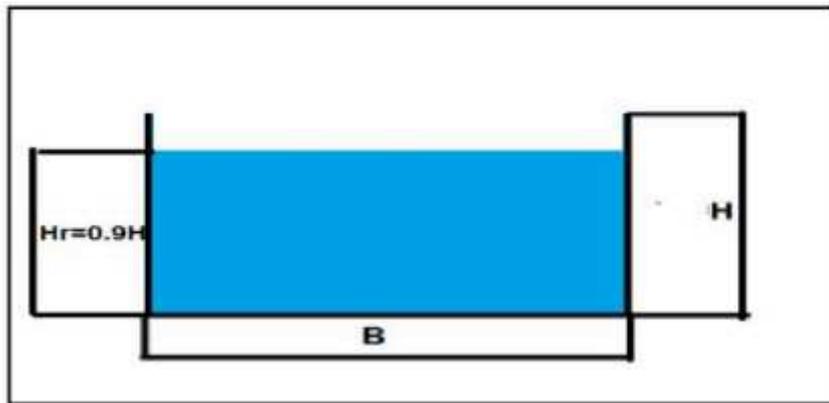


Figure 4: la hauteur de remplissage de dalot

On prend l'exemple du Bassin Versant BV1 dans le débit d'apport est de  $41.25 \text{ m}^3/\text{s}$ , pour la détermination des dimensions du dalot pour cours d'eaux de ce bassin on a fait des itérations qui nous ont donnés les valeurs suivantes :

$H = 3.01 \text{ m}$  et  $B = 2.9 \text{ m}$  pour que  $Q_s > Q_{\text{apport}}$

Les valeurs adoptées sont  $H = 3.3 \text{ m}$  et  $B = 3.2 \text{ m}$ .

### 2. Le drainage longitudinal

Le drainage longitudinal a pour but de dimensionner des dispositifs permettant d'évacuer et d'éviter :

- Les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme dans les structures d'assise,
- Les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants,
- Les eaux internes éventuelles.
- Les pollutions chroniques, accidentelles et saisonnières potentielles.

Et aussi il permet de :



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

- Rétablir les lignes d'eau interceptées par le tracé ferroviaire ;
- Eviter l'accès à la plateforme de l'eau qui tombe sur les terrains limitrophes ;
- Réduire l'action négative de l'eau qui sort de talus et garantissant leur récolte.

### A. Les ouvrages longitudinaux :

#### ❖ Fossés au pied du talus de déblai :

Les fossés de drainage sont prévus à l'extérieur dans les deux côtés de la plateforme ferroviaire dans la zone de déblai, Ils recueillent les eaux de ruissellement en provenance de la structure d'assise et du talus. Ils assurent le transit des eaux vers l'exutoire en évitant leur pénétration dans la plate-forme.

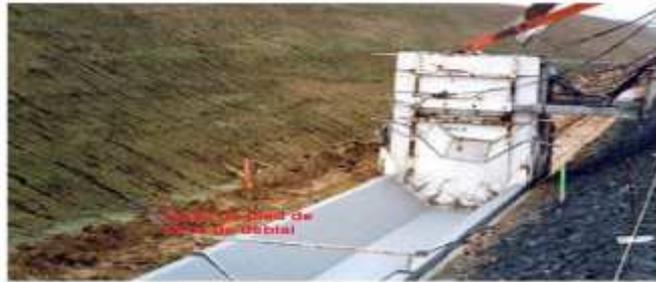


Figure 5: fossé au pied de talus de déblai.

#### ❖ Fossés de crête et pied de talus :

Les fossés de crêtes De forme trapézoïdale généralement, situés à l'extérieur des limites de pentes de déblais, ils sont conçus pour recueillir les eaux de ruissellement ou de drainage en provenance de bassin versant dont le rôle est de rabattre la nappe phréatique, stabiliser, protéger les talus de déblais de l'érosion et alimenter le réseau de pied de talus.

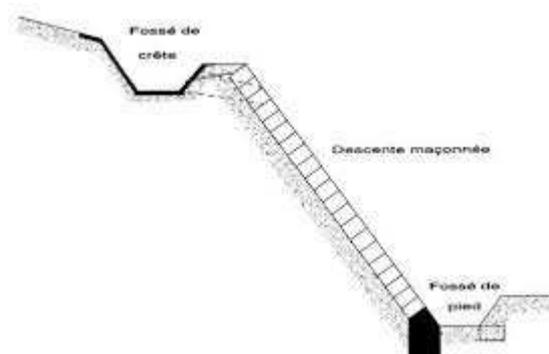


Figure 6: crête et pied de talus.



### ❖ Fossés de pied de talus :

Ce type de fossé est destiné à remplir la double fonction d'évacuation des eaux en provenance de la plate-forme vers un exutoire proche et aussi la collecte et la canalisation des eaux de ruissellement du terrain naturel pouvant s'infiltrer dans le corps des remblais vers un ouvrage de traversée.

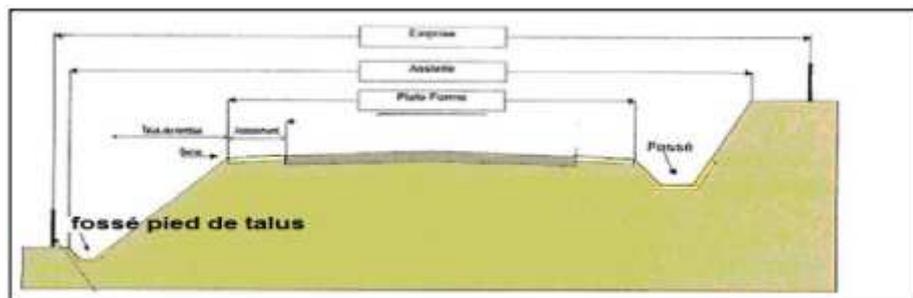


Figure 7: fossé de pied de talus

### B. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux

#### ❖ Les critères de dimensionnement :

Ils sont basés essentiellement sur la pérennité, la sécurité et le bon fonctionnement durant la vie de l'ouvrage, citant ci-dessous les principaux critères de dimensionnement :

- Tout le système de drainage fonctionne en gravité
- Des cas particuliers de surdimensionnement dans les zones dangereuses pratiquement le drainage est inefficace
- Fossés trapézoïdaux seront placés les extrémités de la plateforme dans la zone de déblai,
- A la base des remblais seront prévus des fossés de pied de talus afin d'éviter l'érosion du merlon.

#### -Dimensionnement des fossés

Pour leur dimensionnement on utilise la formule de Manning-Strickler cité ci-dessus dans le dimensionnement des ouvrages transversaux tel que :

- Le matériau utilisé pour les fossés est du béton grossier dont le coefficient de rugosité est de  $K_s = 50$



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

- La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés est la hauteur totale.
  - Forme de construction trapézoïdale.
  - Pente trop faible (<0,2%) : risque de débordement et de colmatage (boucher et fermer).
  - Pente trop forte (>3%) : risque de ravinement (érosion et affouillement).
- Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation  $Q_s = Q_{\text{apport}}$

On fixe la pente du talus à ( $1/n = 1/2$ ) d'où la possibilité de calcul du rayon hydraulique en fonction de la hauteur  $h$  et la base  $b$   $K_s=50$  et  $I=0.5\%$

$$Rh = h * b + n * \frac{h^2}{(b + 2B) = b * \sqrt{n + 1} * h^2}$$

### C. Les ouvrages hydrauliques réalisés dans notre projet

#### Tronçon A :

Tableau 10: les ouvrages hydrauliques dans le tronçon A (source rapport hydraulique).

N du bassin	Désignation de l'ouvrage	Type d'ouvrage	Emplacement de l'ouvrage
1	COLLECTEUR-1		
2	COLLECTEUR-1		
3	COLLECTEUR-2		
4	O.B.0.8	Buse d=1800	PK 0+889
5	O.B.0.9	Buse d=800	0+970
6	O.B.1.0	Buse d=800	1+060
7	O.B.1.1	2 Buse d=1500	1+108
8		FOSSE A-1	
9		FOSSE A-1	
10	COLLECTEUR-3		
11	O.C.1.5	DALOT EXISTENT	1+540



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

12		FOSSE A-1	
13	COLLECTEUR-4	0.0	
14	O.B.1.9	Buse d=1200	1+928
15		FOSSE A-1	0+000
16	O.B.2.2	Buse d=1200	2+247
17		FOSSE A-1	
18		FOSSE A-1	
19		VIADUC	2+620
20	O.B.2.9	Buse d=1200	2+099
21	O.B.3.0	Buse d=800	3+022
22		FOSSE A-1	
23	O.C.3.4	Dalot 2.2 m	3+443
24		FOSSE A-1	3+680
25	O.B.3.8	Buse d=1200	3+832
26	O.B.3.9	Buse d=800	3+920
27	O.B.4.3	Buse d=1500	4+332
28	O.B.4.5	Buse d=1200	4+519
29	O.B.4.9	Buse d=1500	4+922
30	O.B.5.3	Buse d=1200	5+348
31	O.B.5.5	Buse d=1500	5+547
32	O.B.5.7	Buse d=1200	5+756
33	O.B.5.8	Buse d=1200	5+425
34	COLLECTEUR-5		

**Tableau les ouvrages hydrauliques dans le tronçon A (source rapport hydraulique).**

### Tronçon B :

*Tableau 11: les ouvrages hydrauliques de la section B (source rapport hydraulique).*

N du bassin	Désignation de l'ouvrage	Type de l'ouvrage	Emplacement de l'ouvrage
1	COLLECTEUR-1		
2	COLLECTEUR-1		
3	O.B.6.9	Buse d=800	PK 5+998



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

4	OUVRAGE EXISTEN RN 12		
5	COLLECTEUR-2		
6	COLLECTEUR-2		
7		PONT RAIL	PK 8+675
8		PONT RAIL	PK 8+675
9		VIADUC	PK 9+137
10	COLLECTEUR-3		
11	COLLECTEUR-3		
12	COLLECTEUR-4		
13	COLLECTEUR-4		
14		VIADUC	PK 10+744
15		FOSSÉ	
16	O.C.13.8	DALOT 2*(5.0*3.6)	PK 13+866
17	O.B.14.2	Buse d=800	PK 14+276
18	O.B.14.3	Buse d=1200	PK 14+349

### Tronçon C :

Tableau 12: les ouvrages hydrauliques de la section C (source rapport hydraulique).

N du bassin	Désignation de l'ouvrage	TYPE D4OUVRAGE	L'emplacement des ouvrages
1	PNT RAIL 15.5	DALOT 8*4	PK 15+554
2	COLLECTEUR-1		-
3	COLLECTEUR-1		-
4		DALOT	PK 16+664
5	O.B.17.2	2 buses d=1800	PK 17+205
6	O.B.17.5	Buses d=1200	PK17+557
7	O.B.18.0	Buses d=1200	PK18+001
8	O.B.18.4	2*buses d=1800	PK18+446
9	O.B.19.1	Buses d=1200	PK 19+155
10	O.B.19.4	Buses d=1200	PK19+467
11	O.B.19.8	Buses d=2000	PK 19+837



## Chapitre IX : Hydraulique et assainissement

12	O.B.20.2	Buses d=1500	PK 20+276
13	FOSSE C		
14	O.B.21.2	Buses d=800	PK21+223
15	O.B.21.3	Buses d=800	PK 21+385
16	O.B.21.4	Buses d=800	PK21+487
17	O.C.21.7	DALOT EXISTENT	PK21+744
18	O.B.22.0	Buses d=800	PK 22+078
19	O.B.22.4	Buses d=800	PK22+404
20	O.B.22.4.1	Buses d=1200	PK22+460
21	COLLECTEUR- 3		
22	COLLECTEUR-3		
23	O.B.23.1	Buses d=1200	PK 23+147
24	O.B.23.2	Buses d=1800	PK23+290
25	COLLECTEUR-4		
26	COLLECTEUR-4		
27		VIADUC	PK 24+209
28	FOSSE A-1	Buses d=600	
29	O.B.24.9	Buses d=800	PK 24+943
30	O.B.25.1	Buses d=800	PK 25+197
31	O.B.25.3	Buses d=800	PK 25+371

### II. Conclusion

L'étude hydraulique est très importante dans un projet ferroviaire car elle permet d'assurer la pérennité de la voie.

En ce qui concerne l'assainissement, on a surdimensionné les ouvrages hydrauliques pour assurer un bon service à long terme et faire face à l'insuffisance d'entretien dans notre pays.

#### Remarque

**La carte des bassins versants et les données hydraulique et ouvrages d'assainissement on les a présentés dans les annexes.**



### I. Introduction :

Le profil en travers est une coupe le long d'un plan vertical perpendiculaire à l'axe de projection de la piste. Un projet ferroviaire implique le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter chaque dimension, nous créons d'abord un profil. Chaque zone est unique, appelée "coupe type" et comprend toutes les dimensions et tous les détails de construction (largeur de la voie, pente de la surface et du remblai, dimensions couches de superstructures, systèmes de drainage, etc.).

- ❖ **Profil en travers courant** : est une pièce de base dessinée dans les projets, Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet. Devers de la plate-forme et qui servent à calculer les cubatures.
- ❖ **Profil en travers type** : Est un profil unique pour chaque zone contenant et détaillant d'une manière précise toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure et de l'infrastructure, système d'évacuation des eaux etc....).

### II. Élément du profil en travers

- ❖ **Profil en travers type** : En chemin de fer, le profil en travers types doit indiquer tous les éléments suivants :
  - **Éléments d'infrastructure** :
    - Les épaisseurs et la nomination de chaque couche,
    - Les pentes de chaque couche,
    - L'emplacement des fourreaux électriques (traction).
    - La pente latérale de la plate-forme.
  - **Éléments de superstructure** :
    - La distance entre les axes des voies,
    - Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie,
    - La longueur des butées du ballast,



## Chapitre X : profil en travers

- Le type des traverses utilisées,
  - La valeur du dévers maximale en courbe,
- **Éléments du talus :**
- La pente de chaque talus.
  - Les ouvrages de consolidation.

➤ **Éléments d'assainissement :**

On indique :

- Le type et dimension du fossé des drains

👉 **Remarque**

On doit établir le long de notre tracé plusieurs profils en travers type et cela selon la nature topographique et géologique du terrain naturel, le cas où on est en courbe ou en alignement.

❖ **Profil en travers courant :**

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

👉 Exemple de profil en travers type et courant



# Chapitre X : profil en travers

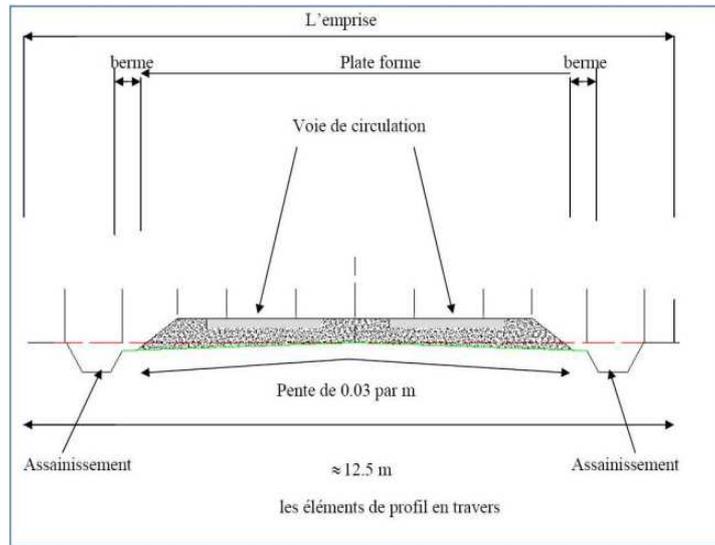


Figure 1: profil en travers courant.

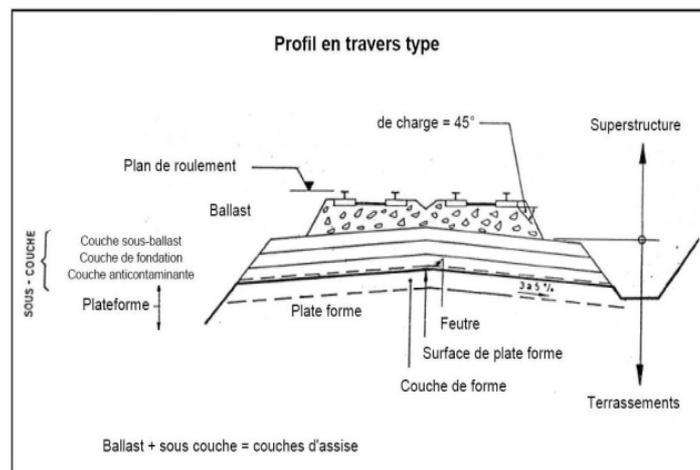


Figure 2: profil en travers type.

✎ N.B ; les différents profils en travers types sont présenter dans l'annexe.

## III. Les cubatures

### 1. Introduction :

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont objectif primordial de modifier la forme du terrain naturel pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général. Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les profils en travers. La modification de la forme du terrain naturel comporte deux actions, la première s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième s'agit



## Chapitre X : profil en travers

d'enlever des terres (déblai). Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle (les cubatures des terrassements).

### 2. Définition :

On définit les cubatures par le nombre des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme sensiblement rapprocher et sous adjacente à la ligne rouge de notre projet. Le profil en long et le profil en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

### 3. Méthode de calcul des cubatures:

Les cubatures sont Les calculs effectués pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Les cubatures sont fastidieuses, mais il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures qui simplifie le calcul.

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

Le travail consiste a calculé les surfaces SD et SR pour chaque profil en travers, en suite on les soustrait pour trouver la section pour notre projet. Pour calculer un volume, nous utilisons la méthode de la moyenne des aires, qui est une méthode très simple mais elle présente l'inconvénient de donner des résultats avec une marge d'erreur, donc pour être proche des résultats exacts on doit majorer les résultats trouvés par un coefficient de 10 % et ceci dans le but d'être en sécurité.



## Chapitre X : profil en travers

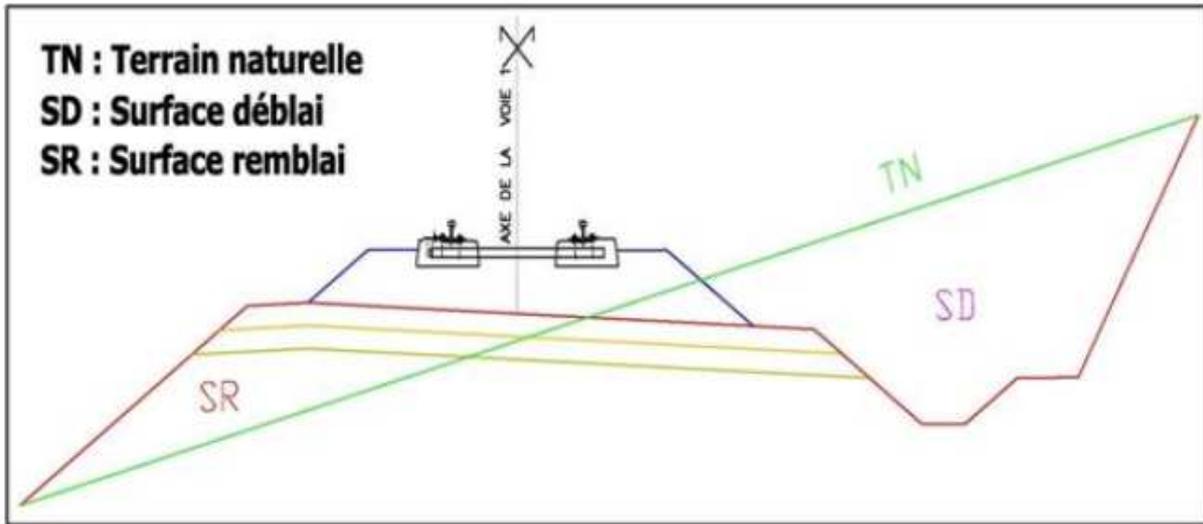


Figure 3: surface déblai remblai.

### 4. Méthode de la moyenne des aires:

En utilisant la formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs :

Où  $h$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S$  désignant respectivement :

- Hauteur entre deux profils.
- Hauteur des deux profils en travers P1 et P2.
- Surface limitée à mi-distances des profils.

Adoptons la figure ci-dessous présentant les profils en long d'un tracé donné.

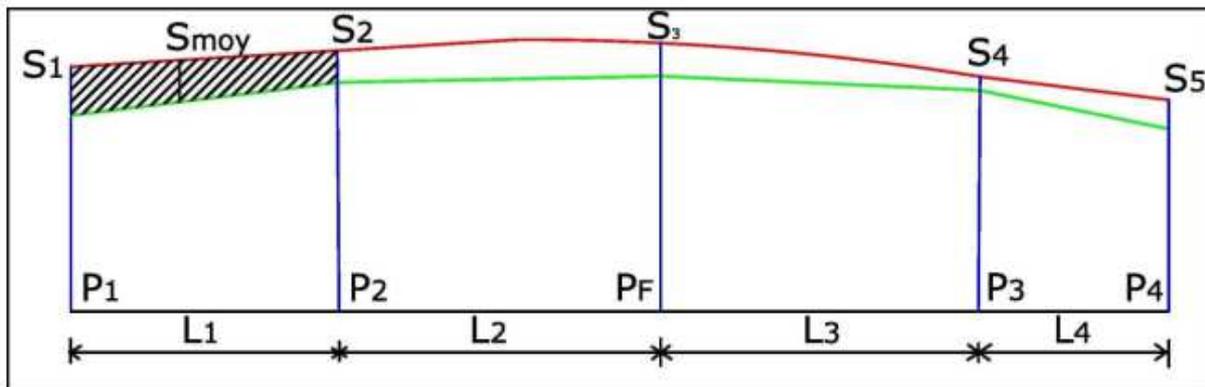


Figure 4:surface déblai remblai.

Le volume compris entre les deux profils en travers P1 et P2 de section S1 et S2 sera égale à :

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines

les deux expressions  $S_{moy}$  et  $\frac{S_1+S_2}{2}$



# Chapitre X : profil en travers

Donc les volumes seront :

- Entre P1 et P2 :  $V_1 = \frac{L_1}{2} \times (S_1 + S_2)$ ,
- Entre P2 et PF :  $V_2 = \frac{L_2}{2} \times (S_2 + S_3)$ ,
- Entre PF et P3 :  $V_3 = \frac{L_3}{2} \times (S_3 + S_4)$ ,
- Entre P3 et P4 :  $V_4 = \frac{L_4}{2} \times (S_4 + S_5)$ .

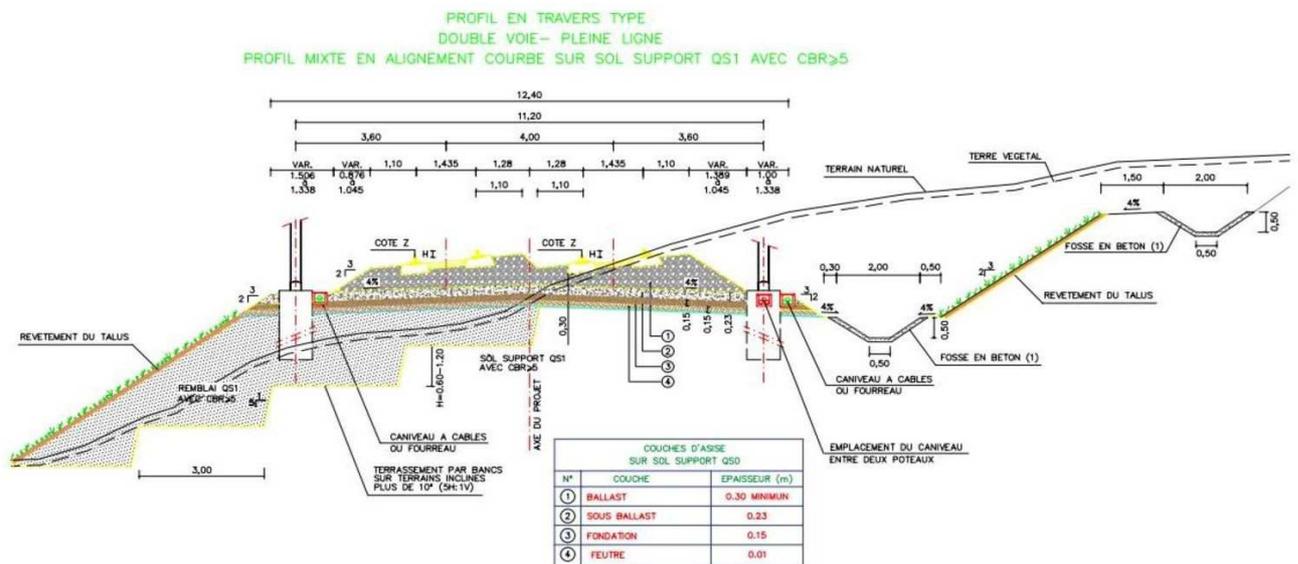
En additionnant membre à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = \frac{L_1}{2} \times S_1 + L_1 + \frac{L_2}{2} + L_2 + \frac{L_3}{2} \times S_3 + L_3 + \frac{L_4}{2} \times S_4 + \frac{L_4}{2} \times S_5$$

On voit l'utilité de placer les profils PF puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

## 5. Exemple de calcul :

Annexe 06 : profil en travers type



### Remarque :

Les profils en travers type du projet sont présentés dans l'annexe 2.



## A. Introduction :

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction :

- Les montées et les descentes des voyageurs ;
- Chargement et déchargement des marchandises.

## B. Les différents types de gares :

### a. Gares des voyageurs :

C'est un ensemble fonctionnel, conçu pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage. Pour certaines gares, le passage de nombreux voyageurs justifie l'installation de fonctions annexes au déplacement proprement dit, tels que des commerces et services variés. Elles sont de tailles très variables :

- **Les gares principales** : Situées dans les grandes villes, elles sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les divers modes de transport urbains (bus, tramway, métro). Elles voient passer quotidiennement un nombre considérable de voyageurs.
- **Les haltes (points d'arrêt)** : elles constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel permanent.



Figure 1: maquette d'une gare

### b. Gare de marchandises :

Les gares de marchandises assurent la totalité du traitement du trafic marchandises.

Elles sont dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles



s'opèrent le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires).



*Figure 2: Gare marchandise.*

### **c. Les gares terminus :**

Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé symétriquement un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivés.

### **d. Les gares de passages :**

Le bâtiment est généralement le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un souterrain. Il arrive qu'il soit placé au-dessus des quais. Les installations accueillent des voyageurs peut aussi se trouver sous les quais.

### **e. Les gares de triages :**

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



*Figure 3: Gare triage.*

### **f. Les gares de croisement :**

Ce sont des gares implantées à une distance considérable d'une autre gare. Elles se situent dans les tracés à voie unique pour permettre le croisement des trains sans risque de collision.

### **C. Aménagement de la gare :**

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

- Le bâtiment de voyageurs ;
- Les bâtiments à usages divers (BUD) ;
- Les quais ;
- Les abris de quais (protection des voyageurs contre les intempéries) ;
- Hall de stockage ;
- Cours de débord pour embarquement et débarquement des marchandises.



### a. La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se 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. Les valeurs de la longueur utile sont représentés dans la norme SNTF (aménagement et gare, tracé des voies).tel que :

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie principale et la voie de service.

### b. Les heurtoirs :

Les heurtoirs matérialisent la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Ils sont placés aux extrémités des voies en cul-de-sac pour éviter que les véhicules en mouvement n'en franchissant les extrémités.

En règle générale, les heurtoirs doivent êtres précédés, 10m de distance, par des patins de freinage, qui après chaque déplacement doivent être remis en place.

Il existe deux principaux types de heurtoirs :

- Heurtoirs fixes ;
- Heurtoirs patinant, petit et grand modèle.

### c. Le quai :

Dans les gares de passagers, des plateformes sont utilisées pour que les passagers montent et descendent.

Les quais peuvent être bas ou hauts le long des quais surélevés, le plus souvent sur les lignes électrifiées avec les marches d'accès tous les 25 mètres pour permettre aux personnes sur la voie de s'échapper sans difficulté à l'arrivée d'un train.

Les quais doivent avoir une surface très régulière et uniforme, non glissante et légèrement incurvée ; elles sont généralement recouvertes d'un enduit dur ou d'une couche de cendres tamisées.



## d. Dimensionnement des quais

Pour le dimensionnement des quais, on utilise la fiche UIC (f741) qui définit les éléments suivants :

### ➤ La hauteur du quai

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à 550mm.

Pour des quais concernés par du trafic voyageurs grandes lignes et banlieue, dans certaines conditions, une hauteur différente peut être appliquée, par exemple 760 mm. Donc, la hauteur du quai dépend du type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

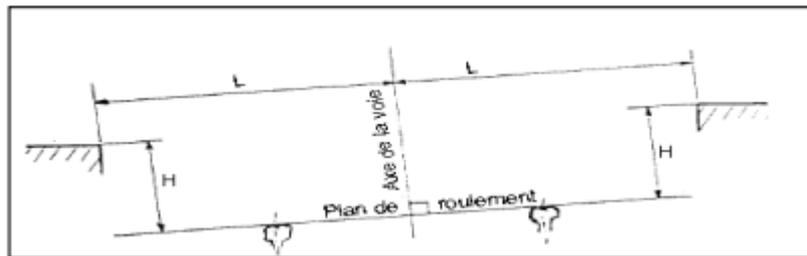


Figure 4: La hauteur du quai et à distance entre le bout du quai et l'axe de la voie (source UIC 741 OR).

Avec :

- H = Hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement.
- L = Distance par rapport à l'axe de la voie, parallèle au plan de roulement.

### ➤ Détermination de la distance à l'axe de la voie

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à  $L \text{ (mm)} = 1\,650 + S$  ; la valeur de S est donnée par la formule :

$$s(\text{mm}) = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

I = étant l'écartement de la voie, en millimètres ;

R = étant le rayon de la voie, en mètres.



### ➤ Les largeurs et longueur du quai :

La largeur et la longueur du quai sont déterminées en utilisant la norme SNTF (aménagement et gare, tracé des voies). On distingue pour les largeurs :

- La largeur du quai latéral : 6m.
- La largeur du quai intermédiaire : 8m

Et pour les longueurs :

- 225m.
- 350m.
- 450m.

### D. Application dans notre projet :

La modernisation de la ligne ferroviaire comprend la modernisation des sites de gare et la construction des gares à chaque station. Le tracé lié à la vitesse de 160 km/h ne permet pas maintenir toutes les gares dans le site original.

On prend exemple la gare de Bordj Menaiel, cette gare était dans le PK 16+165 elle sera implantée dans un nouveau site à la limite nord de la ville.

Elle se trouve entre l'autoroute RN 12 et un quartier résidentiel en face de la gare routière.



Figure 5: schéma de la gare de bordj Menaiel.



### ❖ **Caractéristiques de la gare de Bordj Ménaïel :**

#### 1. **Fonction :**

- Gare type BV 6 implanté dans un nouveau site,
- Arrêt de trains nouvelles et des trains expresse original.

#### 2. **Terrain :**

Le terrain est dans le contexte préurbain plat, marqué par les remblais du pont routiers qui traverse la RN 12 et ses bretelles d'accès. Il domine aussi une légère pente en direction du Sud.

#### 3. **Raccordement au tissu urbain existant :**

Pour raccorder la nouvelle gare à la circulation routière, il est proposé de se brancher sur le raccordement existant de la nouvelle RN12 avec la RN68, assurant au même temps la liaison directe avec le reste du tissu urbain.

Pour implanter la gare dans le nœud, les bretelles seront déplacées vers l'est d'environ de 200 m. cette implantation est imposée par le tracé lié à la vitesse de 160 km/h. elle permet un raccordement rapide avec le centre-ville ainsi qu'une accessibilité facile pour les voyageurs arrivants en voiture depuis les villages de la région. De plus, cette gare peut desservir la grande gare routière située de l'autre côté de la RN12 et à proximité du centre de la protection civile.

L'accessibilité directe à l'entrée principale pour piétons, taxis, voiture et bus se fait par une grande place à créer en face de la gare. Cette place sera dotée d'un parking de 47 places.

#### 4. **Flux de circulation :**

La circulation routière s'effectue en boucle depuis le raccordement avec la RN12. Les piétons arrivent par un trottoir à créer ou par la passerelle. La bretelle d'accès au parking permet une circulation interne qui ne gêne pas l'accès à la gare. Tous les moyens de circulation peuvent être organisés aisément.

#### 5. **Bâtiment :**

- **Dimensionnement du bâtiment :**



Vu la taille de l'agglomération de Bordj Menaiel et l'importance de la gare, un bâtiment de voyageurs modèle 6 (BV6) est proposé.

Il comprend sur 208m<sup>2</sup> de surface bâtie, un hall (salle de pas perdus) de 68 m<sup>2</sup>, un espace service SNTF et personnel 60 m<sup>2</sup> et un espace de service supplémentaire (avec WC, entretien etc. 32 m<sup>2</sup>).

### ➤ **Implantation du bâtiment :**

Le BV est construit sur un remblai dominant les voies et les quais. Cette implantation élevée permet l'installation d'une passerelle qui sera accessible sous marches mais par une courte rampe en pente légère. Elle est aussi pratique pour les handicapés.

Un café terrasse est situé côté gauche du hall. Un accès par portail est prévu pour les véhicules sur un côté droit près des rampes d'accès à la passerelle qui traverse les voies.

### **E. Ouvrage d'art :**

Concevoir un bon itinéraire qui répond aux exigences techniques et économiques, tout en assurant la perméabilité latérale et le franchissement des lignes ferroviaires projetées

Infrastructures et voies navigables existantes, il faut équiper cette nouvelle ligne d'ouvrages d'art suivant :

- Ponts et viaducs ferroviaires ;
- Ponts routiers ;
- Passages inférieures (Ponts cadre) ;
- Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots) ;
- Tunnels ferroviaires ;
- Trachées couvertes ;
- Murs de soutènements ;
- Dalots.

Ces ouvrages seront, également, dimensionnés pour répondre aux critères de sécurité et de confort voyageurs imposés par les normes UIC et les normes européennes en vigueur. La démarche de conception des ouvrages d'art sera basée sur l'identification des solutions les plus adaptées aux conditions du site et de service, en couvrant tous les aspects à savoir la sécurité, le confort, l'économie et l'esthétique. Ce chapitre présentera les ouvrages d'art existants, ainsi le type de l'ouvrage à concevoir pour franchir les obstacles existants.



### a. Normes et références :

La conception des ouvrages d'art doit être conforme à la dernière édition ou révision des normes et des références en vigueur suivantes :

- Eurocode 1, Actions sur les structures - Partie 2 : Actions sur les ponts dues au trafic.
- Eurocode 2, Calcul des structures en béton.
- Eurocode 3, Calcul des structures en acier.
- Eurocode 4, Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton.
- Règles BAEL 91, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, Commission Générale de Normalisation du Bâtiment – DTU, révision de 1999 ;
- RCPR2009, règles définissant les charges à appliquer pour le calcul et les épreuves des ponts routes ;
- RPOA2008, règle parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (Algérie),
- Cahier des prescriptions communes, règles de conception et de calcul des ouvrages en béton, en métal ou mixtes (IN0032) RFF-SNCF.

L'étude et exécution des ouvrages en terre font appel aux techniques mises au point dans le domaine des travaux publics. Bien entendu, l'étude et le contrôle d'exécution des ouvrages en terre ferroviaire doivent être conduits d'une façon particulièrement stricte.

### b. Etude de la stabilité de l'ouvrage :

#### 1. La stabilité au glissement :

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

#### 2. Tassement :



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

### 3. Pentes des talus :

- **Remblai** : pour les sols utilisables, on adopte généralement une pente dont la tangente est : 1 : 1,5 ou 1 : 2 (certains réseaux, dans le cas de matériaux rocheux très frottant, adoptent 1 : 1 ou 1 : 1,25). De plus, des bermes et banquettes de pied, etc. peuvent être nécessaires.
- **Déblais** : les pentages varient selon la nature des terrains par exemple :
  - Roche compacte non évolutive, exemple de pentage et diaclasage défavorables : pente subverticale mais avec piège à cailloux et bermes de largeur égale au 1/3 environ de la hauteur de chaque gradin ainsi constitué.
  - Sols grenus : tangente 1 : 1,5 ;
  - Sols cohérents : tangente de 1 : 1,5 à 1 : 2 suivant hauteur du talus et même plus plat, avec bermes s'il y a lieu.

#### c. Influence sur le choix des ouvrages :

Dans tous les cas, le choix du type de travaux dépend des contraintes imposées, qui sont de deux types :

- Données naturelles : débit d'eau, type de sol, etc.
- Exigences techniques : portée ; chargeur ; fixation, etc.

Cependant, la taille et les limitations fonctionnelles sont :

- La voie portée ou l'obstacle franchi ;
- Programme de charge ;
- Gabarit ;
- Tirait d'eau ;
- Adaptation architecturale à la région ;
- Sujétion à respecter pendant la construction.

#### d. Le croisement route-rail :

En général, le problème de croisement doit prendre en considération la nature et le débit de la voie afin d'analyser cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale. On prévoit en effet trois solutions possibles :

- **Passage supérieur** :



- Si la vitesse de train est importante et si la topographie ne le permet pas.
- Si ce croisement se fait en un endroit où la voie ferrée passe en très grand remblai par rapport à la route, de telle façon à pouvoir insérer un gabarit routier entre leur niveau de roulement et cela sans oublier les retombées des poutres de l'ouvrage d'art. Alors dans ce cas, c'est la voie ferrée qui sera en passage supérieur, c'est-à-dire qu'il faudra prévoir un ouvrage d'art ferroviaire.

➤ **Passage à niveau :**

- Si cette vitesse est supérieure à 100km/h aucun passage à niveau n'est toléré sauf pour les pistes en débit presque nul et seulement si la topographie du terrain le permet sinon pour toutes les autres classes de routes un ouvrage est à prévoir,
- Si cette vitesse est inférieure à 100 km/h, en plus des pistes on peut admettre un passage à niveau pour les chemins à débit presque nul (même condition topographique)

➤ **Passage inférieure de la route :**

Rarement envisagée seulement si la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

**e. Compactage :**

La technique de compactage est déterminante concernant la qualité des ouvrages en terre, les Taux de compactage et les modules de déformations minimaux prescrites dépendent de la nature du sol, du type de compacteur et de l'état d'humidité. L'épaisseur des couches élémentaires à prévoir et l'énergie de compactage nécessaire, des dispositions particulières peuvent également être recommandées (arrosage, essorage etc.) La technique de compactage est définie soit, à l'aide de planches d'essais, soit en utilisant les recommandations mises au point à cet effet : par exemple, le document référencé (Setra LCPC, recommandation pour les terrassements routiers).



## f. Profil en travers des ouvrages d'art :

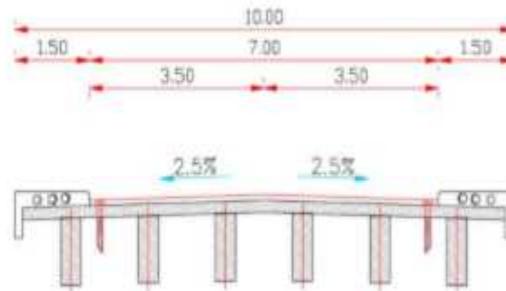


Figure 6: Profil en travers type de l'ouvrage d'art passage supérieur avec une route nationale.

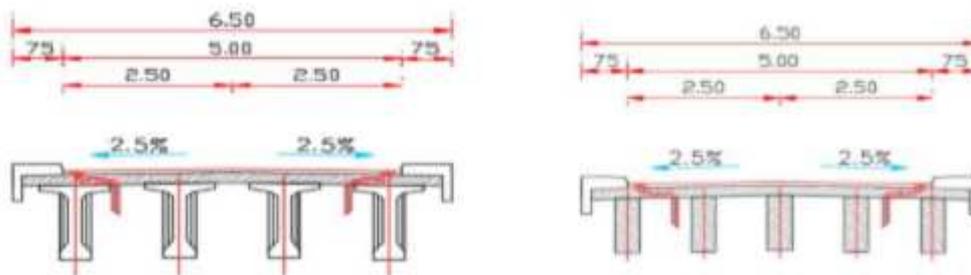


Figure 7: Profil en travers d'un ouvrage d'art passage supérieur avec une piste agricole.

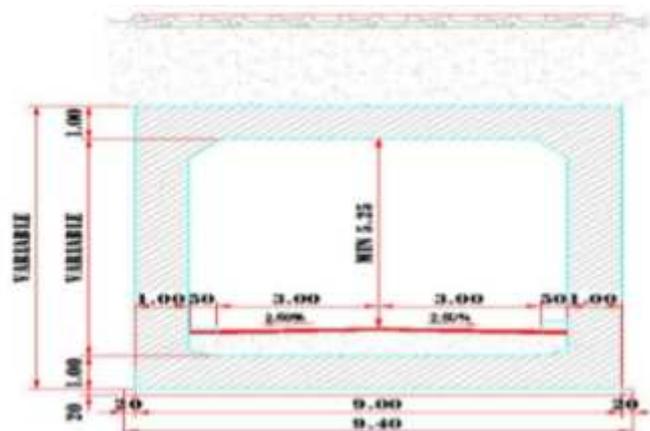




Figure 8: Profil en travers d'un ouvrage d'art passage inférieur.

## g. Les ouvrages d'art du tracé :

Le tracé retenu contient :

- **Pont et viaduc**

Tableau 1: les ouvrages d'art du tracé.

Ouvrage d'art	Le PK	Description
Pont rail	3+600	
Pont rail	5+435	L = 12 m
Pont route	8+323	L = 12 m
viaduc	9+136	L = 100m
viaduc	10+700	L = 100 m
Pont route	14+900	
Pont rail	15+554	Pont rail sur l'oued L=8 m
Pont route	15+970	Rétablissement du pont route existant (PK 15+985) faisant partie de l'échangeur de Bordj Menaiel. On a modifié le tracé de rétablissement du CW -123 de façon à maintenir le trafic sur le pont route existant pendant l'exécution du nouvel ouvrage.
Pont route	16+359	Nouveau chemin d'accès à la gare et formant partie de l'échangeur de Bordj Menaiel L=40 m.
Pont rail	21+899	Permet le passage de la route coupée au-dessous de la plateforme ferroviaire.
Viaduc	24+209	Traverse la vallée existante (RN 12) L=616 m.



- **Tunnel :**

Un tunnel ferroviaire peut être défini comme un passage souterrain pour le transport de passagers, de marchandises, d'eau, d'égouts, de pétrole, de gaz, ou d'autres. La construction d'un tunnel est normalement réalisée sans causer de grandes perturbations à la surface du sol.

Tunnel de ténia tranché couvert PK 0+000

### **F. Conclusion**

Dans ce chapitre on a parlé d'une manière général les gares et spécifiquement la gare de bordj ménaeil et les Ouvrage d'Art utilise couramment dans un tracé pour assure le passage optimal des véhicules .



### A. Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le mécanicien du train d'une circulation ferroviaire, en lui donnant sous forme de codes réalisés par dessignaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverse, disposés le long des voies. Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter, l'information d'une direction géographique vers laquelle le convoi va s'engager, des prescriptions concernant la traction électrique, d'où la signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire. Avec le développement du matériel roulant avec des vitesses supérieures à 160 km/h, la signalisation routière est devenue très puissante. Quasi indissociable pour les chauffeurs, pour lesquels ils ont développé un système unifié ERTMS (European Rail Transit Management System) résout les problèmes invisibles, et normalisation des systèmes de signalisation européens.

### B. Rôle des installations de signalisation :

Le système de la signalisation conçu pour notre projet devra respecter les objectifs suivants :

- Assurer un haut niveau de sécurité des circulations ;
- Doter la ligne des équipements nécessaires pour permettre la circulation sûre et efficace des trains avec une vitesse de 160 km/h ;
- On prévoit que la ligne ait un trafic mixte (voyageurs et marchandises). La vitesse maximale d'exploitation sera de 160 km/h pour les trains voyageurs et de 80 km/h pour les trains de marchandises ;
- Assurer que par cette ligne, pourront circuler un nombre suffisant de véhicules pour couvrir la demande prévue de passagers et marchandises aussi bien au début de la mise en place de la ligne comme dans les années suivantes ;
- Faciliter l'exploitation de la ligne, à travers un système moderne de signalisation, qui incorpore la commande automatique d'une façon sûre de tous les équipements de la voie ;
- Appliquer un système centralisé d'exploitation depuis le Poste de Contrôle Central (PCC) ;



- Installer un système moderne, adapté aux standards européens aussi bien au niveau de la sécurité que de la qualité ;
- Afin de réaliser l'espacement des circulations, on découpe la voie en sections appelées « cantons », chaque canton est alors précédé d'un signal indiquant si ce canton est libre ou occupé par un autre train.

### **C. Système de signalisation :**

Depuis l'apparition des trains jusqu'à nos jours, les systèmes de signalisation même les plus sophistiqués ont la même base et principe : les trains ne peuvent pas partager la même voie simultanément.

En outre, un seul train peut circuler au sein de chaque block de section dont les lignes ferroviaires sont devisées.

### **D. Evolution des systèmes de signalisation :**

À partir de l'année 1990, l'Institut Européen de la Recherche Ferroviaire (ERRI) a considéré l'idée de développer un système commun aux pays Européens et le système ERTMS (Européen Railways Traffic Management System) est devenu le standard de la signalisation Européenne et pour le monde entier. L'ERTMS est créé pour mettre en œuvre une plate-forme interopérable commune pour les systèmes de signalisation des chemins de fer, et donc : faciliter le passage des frontières, ouvrir le marché de la signalisation ferroviaire, augmenter les vitesses commerciales, réduire les intervalles entre deux trains, diminuer les coûts de maintenance et assurer une sécurité maximale. L'ERTMS est actuellement la technologie la plus utilisée dans la signalisation des nouvelles lignes ferroviaires. ERTMS se compose essentiellement du système de contrôle/commande ETCS (European Train Control System) et du système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways) :

#### **a. ETCS (European Train Control System) :**

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

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



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

### 1. ETCS niveau 1 :

En ETCS niveau 1, le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol, cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons. Les balises récupèrent les indications du signal via des adaptateurs de signaux et les encodeurs LEU (Lineside Electronic Unit) et les transmettent au train sous forme d'une autorisation de mouvement accompagnée des données de l'itinéraire. L'ordinateur de bord calcule et surveille en permanence la vitesse maximale et la courbe de freinage à partir des données de gestion de trafic (vitesse autorisée, aiguillages, distance de sécurité entre les trains ...). En raison de la transmission ponctuelle à l'aide de balises, le train doit se déplacer au-dessus de la balise pour obtenir l'autorisation de mouvement suivante :



Figure 1: Le système européen de contrôle des trains niveau 1.

### 2. ETCS niveau 2 :

ETCS niveau 2, est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies



et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central RBC (Radio Block Center), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

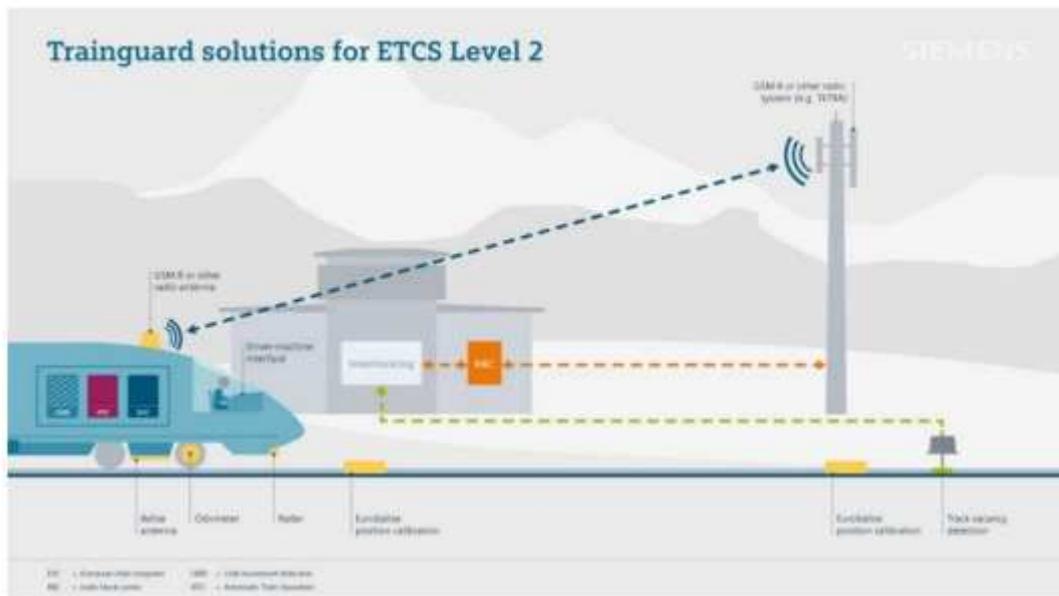


Figure 2: Le système européen de contrôle des trains niveau 2.

### 3. ETCS niveau 3 :

L'ETCS Niveau 3 fournit une fonctionnalité d'espacement des trains entièrement basée sur la communication radio. Comme avec l'ETCS niveau 2, les trains se localisent au moyen de balises de positionnement et via des capteurs et doivent être capables de déterminer l'intégrité du train, au niveau du bord, au plus haut degré de fiabilité. De ce fait, l'ETCS Niveau 3 écarte le fonctionnement classique avec des intervalles fixes et permet de calculer la distance de sécurité entre deux trains qui se suivent. Une autorisation de mouvement est indiquée pour une position du train, à base de la distance réelle entre le train et le train le précédant.

#### **b. Système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways) Le GSM-R :**

Est le système de communication radio utilisé exclusivement dans le secteur ferroviaire. Grâce à celui-ci, l'infrastructure ferroviaire est équipée d'un système radio mobile qui peut



répondre d'une manière efficace et intégrée à tous les besoins de communication liés aux opérations ferroviaires. Le GSM-R permet une communication continue entre la cabine et le sol (communications de service ainsi que la gestion d'urgence) pour l'échange de données entre les équipements au sol et les systèmes embarqués.

### **E. Les fonctions des signaux :**

#### Signaux d'arrêt

La catégorie des signaux d'arrêt peut être différenciée en trois parties :

- Signal de protection : protège l'accès à une aiguille, une zone de manœuvres, un passage à niveau... ;
- Signal de block : protège l'accès à une ligne séparant deux établissements ;
- Signal de cantonnement (signal d'espacement) : protège l'accès à une section de ligne.

#### Signaux à distance

- Signal annonceur : précède un signal d'arrêt ;
- Signal d'arrêt différé : l'équivalent du signal annonceur, utilisé en block.
  - Signaux de limitation de vitesse.
  - Signaux de direction.

### **F. Implantation des signaux :**

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (au point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales, c'est le rôle des signaux d'annonce à distance.

Ces distances sont appelées respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

La distance d'implantation d'un signal à distance est en fonction :

- Du profil moyen de la partie de la voie intéressée (déclivité moyenne).
- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.



- Des caractéristiques de freinage des circulations.

### G. Type de signalisation :

#### a. Signalisation lumineuse :

En signalisation lumineuse, les signaux donnent, de jour comme de nuit, les mêmes indications. Il est fait usage :

- Soit de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants qui, sauf dans certains tunnels, sont groupés sur un écran noir bordé de blanc ;
- Soit de tableaux lumineux ou réflectorisés, pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

✎ **Remarque** : Certains signaux lumineux sont normalement éteints : ils ne présentent d'indication qu'à l'approche des trains, ou bien leur allumage n'est commandé que sous certaines conditions.

#### b. Signalisation mécanique :

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur, ou bien d'un tableau mécanique.

- **Signaux combinés** : Lorsque plusieurs signaux lumineux ou mécaniques sont groupés, ils sont généralement combinés : c'est-à-dire que leurs feux ne présentent, de nuit s'il s'agit de signaux tous mécaniques, ou de jour comme de nuit s'il s'agit de signaux lumineux groupés ou non avec des signaux mécaniques, que l'indication ou les indications les plus impératives à observer par le conducteur. [49]
- **Signaux à main** : Les employés qui peuvent être appelés par leurs fonctions à donner des signaux à main doivent avoir les accessoires voulus, les garder en bon état et prêts à un usage immédiat. Il faut utiliser les signaux de nuit du coucher au lever du soleil et lorsque les signaux de jour ne peuvent être vus distinctement. [50]
- **Implantation et visibilité des signaux** : A l'exception de certains signaux amovibles par nature (signaux à main, par exemple), les signaux sont implantés à demeure, soit à titre permanent, soit à titre temporaire (signaux de chantier, par exemple). Utilisés



isolement ou au contraire groupés, les signaux implantés à demeure peuvent être fixes ou mobiles, du type lumineux ou du type mécanique.

- **Les signaux implantés à demeure** sont normalement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent, ou au-dessus de cette voie. Dans certains cas, notamment dans les entre-voies réduites, il peut être fait usage de signaux du type bas (carrés violets de refoulement, signaux de chantier...) installés au ras du sol.

c. Signalisation latérale :

La signalisation latérale ou signalisation classique est constituée de signaux implantés le long de la voie sur des mâts, des poteaux ou des portiques. Cette signalisation est fixe, mais peut être temporaire, et comporte différents types de signaux :

- **Les signaux mécaniques** : sont composés d'une cible de forme particulière (carre, losange, disque, etc.) aisément identifiable qui est soit présentée perpendiculairement à la voie lorsque l'indication doit être exécutée par le mécanicien, soit parallèlement à la voie lorsqu'elle est dite effacée ;
- **Les signaux lumineux** : comportent, quant à eux, plusieurs feux toujours disposés de la même manière sur une cible à fond noir et liseré blanc ;
- **Signaux à main/mobiles** : lampes, drapeaux.
- **Signaux acoustiques** : pétards, coups de klaxon.





Figure 3: signalisation latérale et mécanique

### d. Signalisation en cabine :

L'avancement et le développement des trains ferroviaires en termes de vitesses a conduit que la signalisation ne permet plus la circulation en toute sécurité, car au de la d'une certaine vitesse, les informations qu'elle donne ne peuvent plus être perçues par le conducteur, On a donc dû inventer des systèmes où ces mêmes informations sont affichées directement dans le poste de conduite.

### VIII. Consistance des travaux réalisés :

#### 1) Signalisation :

- Signalisation latérale ;
- Enclenchement :informatique (PIPC et PCC);
- Détection d'occupation : compteurs d'essieux ;
- Appareils de voie : motorisés.

#### 2) Télécommunication :

- Téléphonie de gestion : 02 gares ;
- Téléphonie de sécurité : 03 gares ;
- Support de transmission : fibre optique redondant ;
- Système de transmission : SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

#### 3) Energie :

- Alimentation principale : Réseau SONELGAZ ;
- Alimentation de secours : groupe électrogène ;
- Batteries et redresseurs ;
- Alimentation stabilisée : ASI (Alimentation Sans Interruption).

### IX. Conclusion

Le système de signalisation ferroviaire est différent des autres systèmes de circulation car le système ferroviaire à des exigences élevées en matière de sécurité routière.

## *Conclusion générale*

Tout développement économique implique une croissance et toute croissance entraîne une intensification des transports des biens et des personnes. L'absence d'un réseau adéquat peut donc constituer un facteur de blocage au développement, il s'agit alors d'a nécessité de mettre en place des infrastructures de transport suffisantes répondants aux besoins d'un développement harmonieux et diversifié de l'économie et capable de créer une dynamique spéciale.

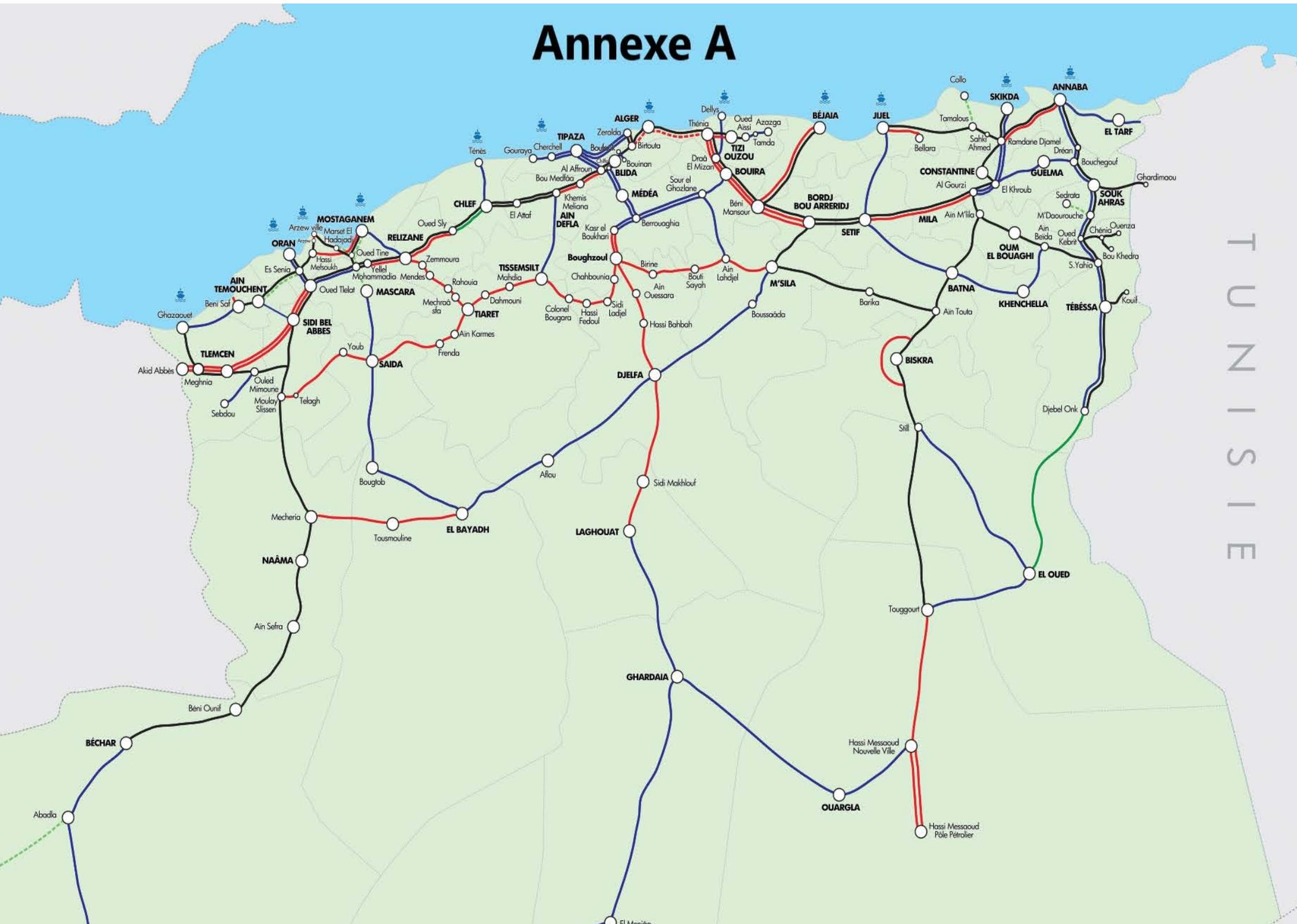
Vu l'importance et la nécessité de l'infrastructure ferroviaire pour le développement du pays, l'Etat Algérienne à donc chercher d'investir dans le domaine de chemin de fer par le lancement de plusieurs programmes de modernisations et de créations des lignes ferroviaires le long du territoire national. Notre thème de projet de fin d'étude, qui s'intègre dans ces programmes s'est porté sur l'étude du tronçon Thenia Naciria sur une longueur de 26 Km 200 m.

Dans notre démarche d'étude nous avons tenu à respecter toutes les normes existantes (UIC, SNCF, SNTF), toute en prenant en considération les exigences de la situation réelle, qui nous ont obligés dans certains contraignantes d'utiliser des cas exceptionnels selon les normes précédentes.

L'étude du tronçon Thenia Tizi Ouzou du PK 0+000 au PK 26+200 qui s'étale sur 26 Km 200 m concernant le tracé en plan, profil en long, profil en travers le dimensionnement de la couche d'assise assainissement, et présente les caractéristiques les plus avantageuses.

Ce projet de voie ferre nous a permis d'exprimer et d'applique les connaissances acquises pendant 05 dernière année de notre formation et d'approfondir notre savoir pour appréhender notre avenir dans le monde professionnel.

# Annexe A



Annexe « 3 » les résultats des essais géotechniques

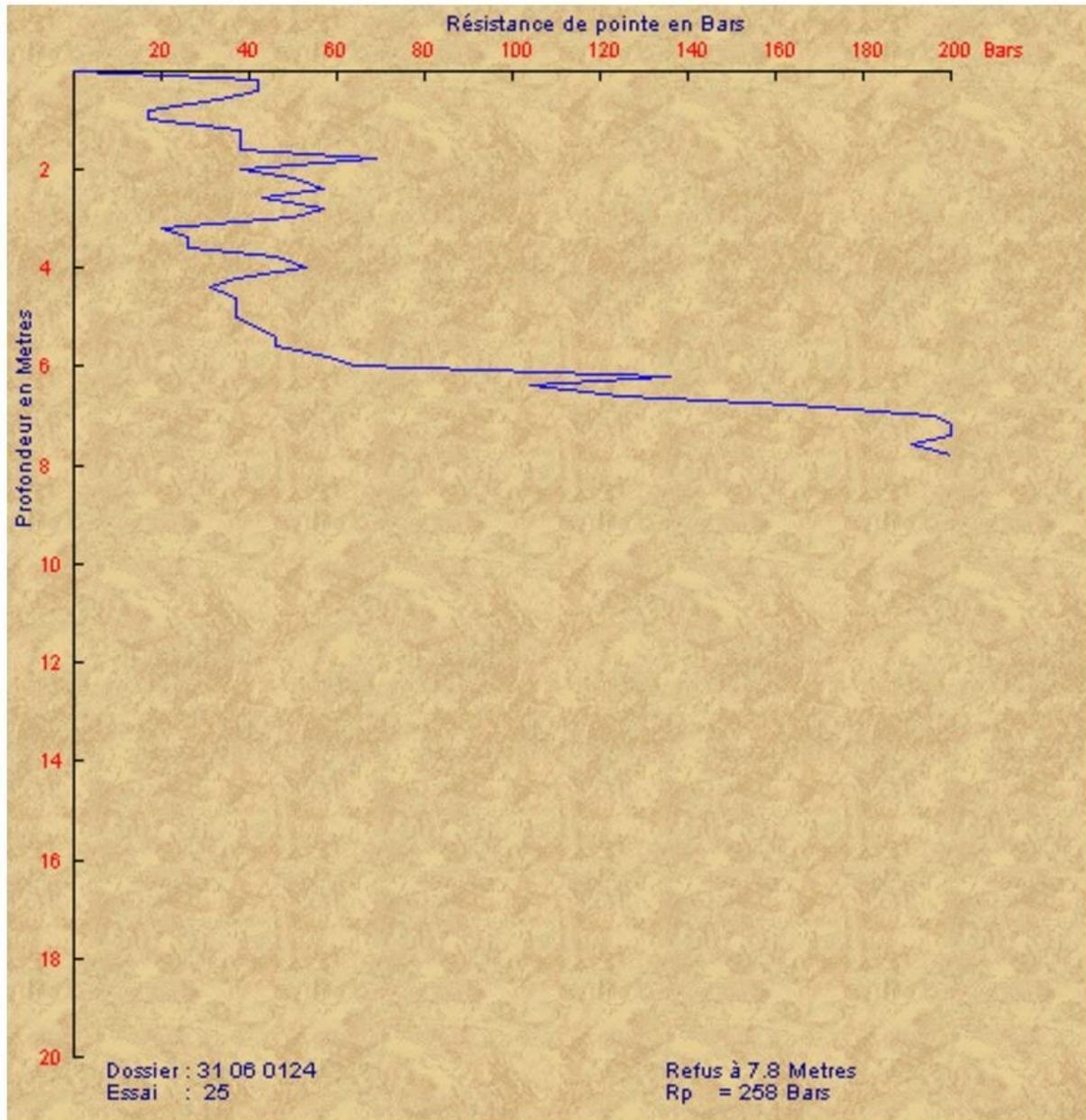
**Pénétromètre dynamique lourd**

**Etude** : Modernisation de la ligne ferroviaire Thénia – Tizi Ouzou

**PK** : 16 + 008

**Date d'essai** : 29.04.2007

**Essai N°** : 25



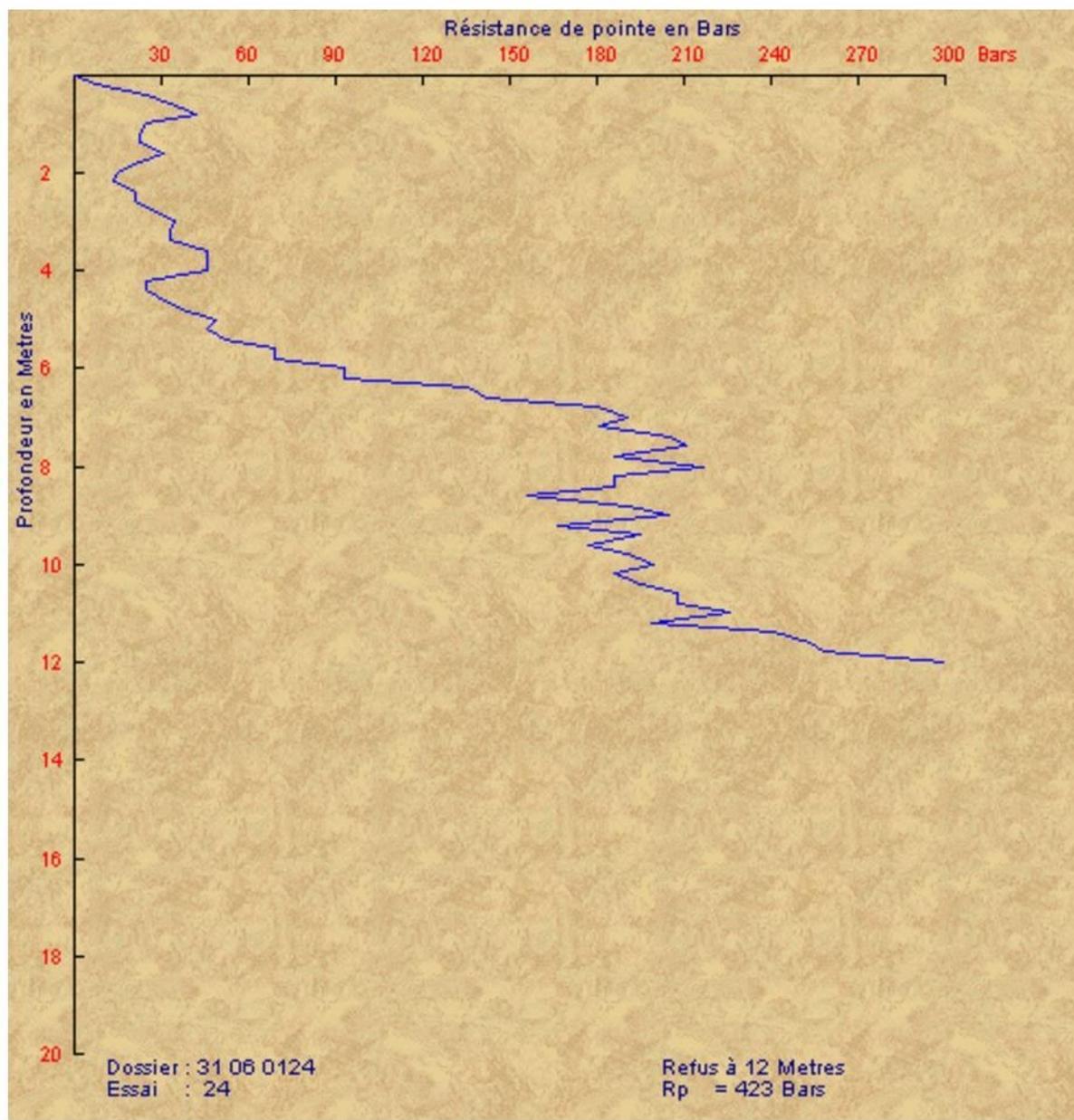
## Pénétromètre dynamique lourd

**Etude :** Modernisation de la ligne ferroviaire Thénia – Tizi Ouzou

**PK :** 15 + 574

**Date d'essai :** 07.05.2007

**Essai N° :** 24





### ESSAI CBR selon la norme NFP94-078

Sols

Ref :  
SU0581-AG10

Puits( sondage) : PU 21+800	Provenance : PK 21+800
Date de prélèvement : 13 Novembre 2010	Profondeur : 1,60m à 4,00m
Client : ETRHB HADDAD	Date de l'essai : 28/12/2011
Projet : modernisation de la ligne ferrovière THNIA TIZI OUZOU section C	

Type d'essai : <input type="checkbox"/> Immédiat <input checked="" type="checkbox"/> Après immersion	Résultats Proctor : Densité Max : 1,82 Teneur en eau Optimale : 16,06%
--	--

#### RESULTAT DE L'ESSAI

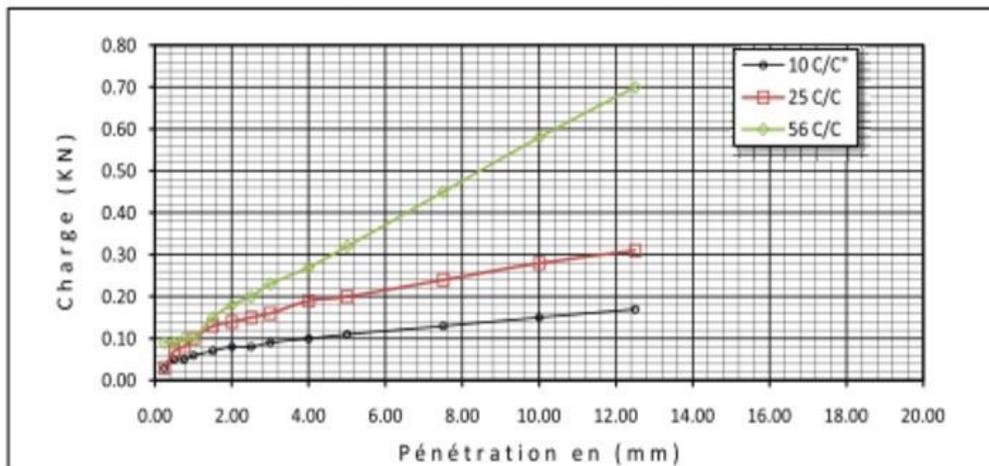
##### Avant Immersion

Teneur en Eau (%)	16,33%	16,07%	15,93%
Densité (t/m <sup>3</sup> )	1,55	1,71	1,82
Compacité (%)	85%	94%	100%

##### Après Immersion

Teneur en Eau (%)	29,25%	23,28%	20,68%
Gonflement (%)	9,12	6,98	6,88
Absorption (%)	12,92%	7,21%	4,75%
Indice CBR (%)	0,51	1,08	1,47

#### COURBE DE POINCONNEMENT



Le chef de département Laboratoire



**ESSAI PROCTOR**  
**NFP 94-094**

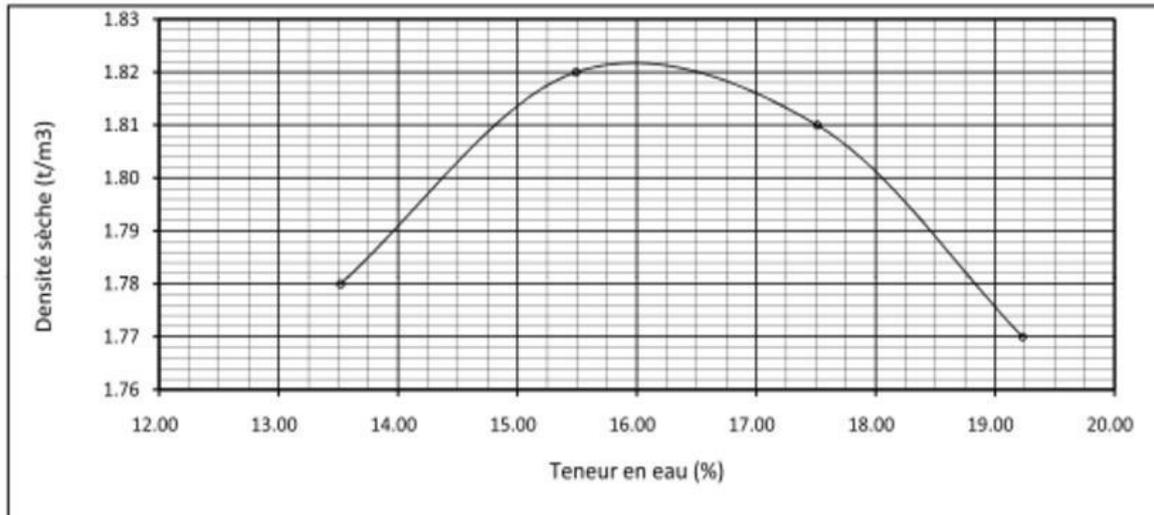
**Sols**

Ref :  
SU0581-AG10

Type d'essai : - Modifiée  - Normal

N° de Sondage / Puits : PU 21+800	Position : 21+800
Date de prélèvement : 13/11/2010	Profondeur : 1,60m à 1,40
Client : ETRHB	Date de l'essai : 27/12/2010
Projet : Modernisation de la ligne ferrovière THNIA TIZI OUZOU section C	

Teneur en eau (%)	13,52	15,49	17,51	19,23
Densité sèche (t/m <sup>3</sup> )	1,78	1,82	1,81	1,77



RESULTAT DE L'ESSAI	
Densité sèche maximale (t/m <sup>3</sup> )	Teneur en eau Optimale (%)
1,82	16,06

Le chef de département Laboratoire



### ESSAI CBR selon la norme NFP94-078

Sols

Ref :  
SU0581-AG10

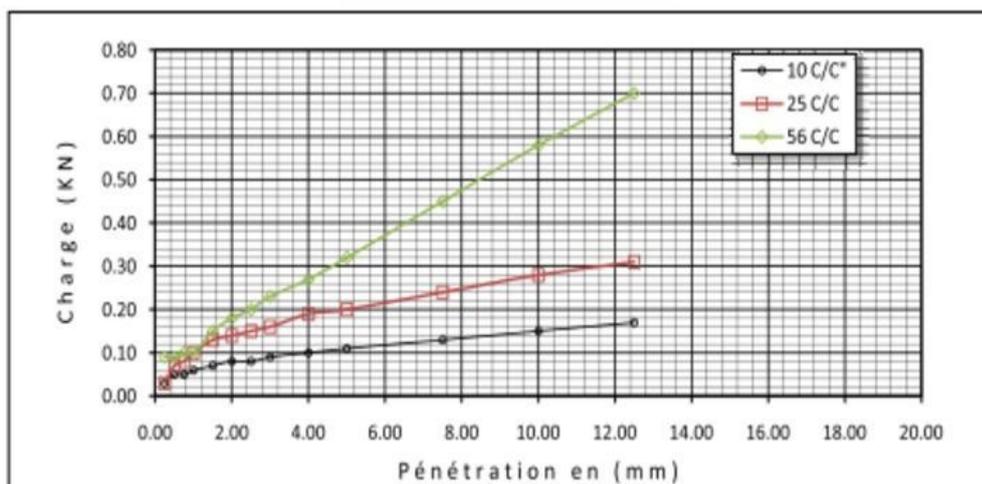
Puits( sondage) : PU 21+800	Provenance : PK 21+800
Date de prélèvement : 13 Novembre 2010	Profondeur : 1,60m à 4,00m
Client : ETRHB HADDAD	Date de l'essai : 28/12/2011
Projet : modernisation de la ligne ferrovière THNIA TIZI OUZOU section C	

Type d'essai : <input type="checkbox"/> Immédiat <input checked="" type="checkbox"/> Après immersion	Résultats Proctor : Densité Max : 1,82 Teneur en eau Optimale : 16,06%
--	--

#### RESULTAT DE L'ESSAI

Avant Immersion			
Teneur en Eau (%)	16,33%	16,07%	15,93%
Densité (t/m <sup>3</sup> )	1,55	1,71	1,82
Compacité (%)	85%	94%	100%
Après Immersion			
Teneur en Eau (%)	29,25%	23,28%	20,68%
Gonflement (%)	9,12	6,98	6,88
Absorption (%)	12,92%	7,21%	4,75%
Indice CBR (%)	0,51	1,08	1,47

#### COURBE DE POINCONNEMENT



Le chef de département Laboratoire



Numéro du bassin	Désignation de l'ouvrage	Emplacement de l'ouvrage	Q100 (mm/seg)	Type d'ouvrage	D (m) o H	B	Longueur de l'ouvrage	Pente %	Tirant d'eau normal Yn (m)	Remplissage %	Hauteur libre (m)	Vitesse (m/s)	Type de contrôle	HW/D	Hw (m)
4	O.B.0.8	0+889	4.56	Buse D1800	1.8	-	16.88	2.00	0.83	45.89	0.97	4.0	ENTRÉE	0.97	1.75
5	O.B.0.9	0+970	0.17	Buse D1800	0.8	-	19.93	2.00	0.20	25.25	0.60	1.7	SORTIE	0.72	0.58
6	O.B.1.0	1+060	0.48	Buse D1800	0.8	-	23.71	3.00	0.31	39.00	0.49	2.6	ENTRÉE	0.86	0.69
7	O.B.1.1	1+108	9.89	2buses D1500	1.5	-	30.46	3.00	0.74	49.07	0.76	4.7	ENTRÉE	0.88	1.32
11	O.C.1.5	1+500	7.34	Dalot existant	1.5	1.5	95.00	1.00	1.31	87.27	0.19	3.7	ENTRÉE	1.57	2.36
14	O.B.1.9	1+928	3.02	Buse D1200	1.2	-	18.52	3.00	0.73	60.92	0.47	4.2	SORTIE	1.41	1.70
16	O.B.2.2	2+247	1.25	Buse D1200	1.2	-	15.35	1.00	0.60	49.58	0.61	2.2	ENTRÉE	0.83	1.00
20	O.B.2.9	2+909	1.46	Buse D1200	1.2	-	43.60	5.00	0.42	34.67	0.78	4.2	ENTRÉE	0.91	1.09
21	O.B.3.0	3+022	0.38	Buse D800	0.8	-	23.42	2.00	0.31	38.38	0.49	2.1	ENTRÉE	0.75	0.60
23	O.B.3.4	3+443	8.90	Dalot 2*2	2.0	2.0	66.70	1.00	1.11	55.30	0.89	3.4	SORTIE	1.11	2.21
25	O.B.3.8	3+832	0.81	Buse D1200	1.2	-	26.81	0.50	0.57	47.17	0.63	1.5	SORTIE	0.88	1.05
26	O.B.3.9	3+920	0.81	Buse D800	0.8	-	31.98	2.00	0.48	59.63	0.32	2.6	ENTRÉE	1.16	0.93
27	O.B.4.3	4+332	5.26	Buse D1500	1.5	-	44.17	3.00	0.89	59.33	0.61	4.8	ENTRÉE	1.41	2.12
28	O.B.4.5	4+519	2.14	Buse D1200	1.2	-	23.44	2.00	0.67	55.67	0.53	3.3	ENTRÉE	1.13	1.36
29	O.B.4.9	4+922	3.57	Buse D1500	1.5	-	19.06	1.50	0.87	57.80	0.63	3.4	ENTRÉE	1.10	1.65
30	O.B.5.3	5+348	1.99	Buse D1200	1.2	-	39.29	3.50	0.54	45.17	0.66	4.0	ENTRÉE	1.09	1.30
31	O.B.5.5	5+547	3.47	Buse D1500	1.5	-	32.94	1.50	0.85	56.80	0.65	3.4	ENTRÉE	1.08	1.63
32	O.B.5.7	5+756	1.01	Buse D1200	1.2	-	18.70	1.00	0.53	43.92	0.67	2.1	SORTIE	0.74	0.89
33	O.B.5.8	5+825	3.06	Buse D1200	1.2	-	15.22	2.00	0.85	71.08	0.35	3.6	ENTRÉE	1.43	1.71

Tableau 1: Description des données hydraulique et ouvrages d'assainissement dans la section A

Numéro du bassin	Nom du bassin	Superficie (Km2)		Longueur (km)		H sup		H inf		Débit (m3/s)		Désignation de l'ouvrage		Type de l'ouvrage		Emplacement de l'ouvrage	
		Nouveau	APD	Nouveau	APD	Nouveau	APD	Nouveau	APD	Nouveau	APD	Nouveau	APD	Nouveau	APD	Nouveau	APD
1			0.043		0.380		63.00		38.79		1.17		Collecteur-1				
2			0.012		0.226		38.20		37.59		0.28		Collecteur-1				
3			0.066		0.460		38.65		34.00		0.62		O.B.6.9		Buse d-800		Pk 6+998
4			0.027		0.575		34.20		33.63		0.16		Fosse A-1				
5			0.097		0.819		33.10		31.00		0.60		Collecteur-2				
6			0.011		0.166		32.80		30.00		0.18		Collecteur - 2				
7			0.021		0.260		32.33		27.90		0.23				Pont rail		Pk 8+657
8			0.059		0.413		28.67		25.15		0.48				Pont rail		Pk 8+675
9			4170.000		114.000		1810.00		0.00		3028.00				Viaduc	Pont	Pk 9+137
10			0.153		0.420		29.50		28.35		2.28		Collecteur - 3				-
11			0.111		0.500		30.00		28.59		1.63		Collecteur - 3				-
12			0.113		0.560		30.00		28.96		1.39		Collecteur - 4	BV 8		Pnt	- Pk 10+696
13			0.100		0.401		31.00		29.37		1.64		Collecteur - 4				-
14			122.455	122.455	18.361	18.361	1031.00	1031.00	23.00	23.00	732.70	732.70			Viaduc		Pk 10+744
15			1.018		1.602		21.00		19.73		3.10				Fossé		-
16			16.676	17.255	7.492	8.949	340.00	343.00	23.00	9.00	80.40	164.61	O.C.13.8	BV 9-OH 121	Dalot 2-(5.0*3.6)	Dalot 8.0*4.5	Pk 13+866 Pk 13+866
17			0.054		0.240		19.00		18.80		0.40		O.B.14.2		Buse d=800		Pk 14+276
18			0.263		0.619		21.00		19.73		1.38		O.B.14.3	OH 13	Buse =1200	Dalot 2.0*2.0	Pk 14+349 Pk 14+990

Tableau 2: Description des données hydraulique et ouvrage d'assainissement dans le tronçon B (source rapport hydraulique).

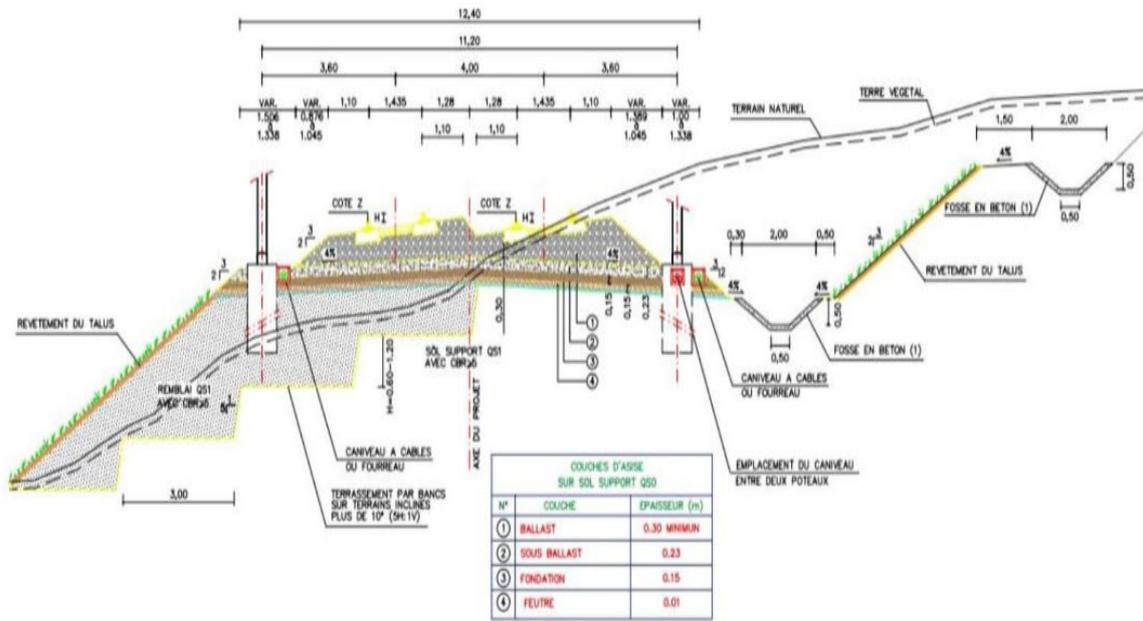
Numéro du bassin	Désignation de l'ouvrage	L'emplacement de l'ouvrage	Q100 (m3/seg)	Type d'ouvrage	D (m) o H	B	Longueur de l'ouvrage	Pente (%)	Tirant d'eau normal	Surface libre	Vitesse (m/s)	Type de contrôle	HW/D	Hw (m)
1	Pont rail 15.5	15+554	10.72	Pont rail	4.0	8	12.95	0.50%	0.48	3.52	2.8	Entré	2.25	1.00
4	Pont rail 16.6	15+664	105.26	Pont rail	3.0	15	-	1.00%	1.07	1.93	4.9	Entré	0.82	2.46
5	O.B.17.2	17+206	10.71	2 Buse D1200	1.8	-	17.14	1.25%	1.05	0.75	3.5	Entré	1.07	1.93
	O.B.17.2.1	0+218(E11)					26.77	1.00%	1.13	0.67	3.2	Sortie	1.07	1.93
	O.B.17.2.2	0+099(E11)					33.11	0.60%	1.37	0.43	2.6	Sortie	1.07	1.93
6	O.B.17.5	17+557	1.54	Buse D1200	1.2	-	15.35	1.50%	0.60	0.60	2.7	Entré	0.93	1.12
7	O.C.18.0	18+001	3.07	Buse D1200	1.2	-	26.19	1.50%	0.97	0.23	3.1	Sortie	1.43	1.72
8	O.B.18.4	18+446	11.84	2 Buse D1800	1.8	-	37.91	1.50%	1.05	0.75	3.8	Entré	1.14	1.72
9	O.B.19.1	19+155	2.86	Buse D1200	1.2	-	15.41	1.20%	1.02	0.18	2.8	Entré	1.36	2.04
	O.B.19.1.1	0+569(E13)					15.7	1.20%	1.02	0.18	2.8	Entré	1.36	1.64
10	O.B.19.4	19+467	2.24	Buse D1200	1.2	-	16.47	1.00%	0.88	0.32	2.5	Entré	1.17	1.64
	O.B.19.4.1	0+886(E13)					12.37	1.00%	0.88	0.32	2.5	Entré	1.17	1.40
11	O.B.19.8	19+837	19.74	2 Buse D2000	2.0	-	13.867	1.20%	1.50	0.50	3.9	Entré	1.33	1.40
	O.B.19.8.1	1+253(E13)					11.794	1.20%	1.50	0.50	3.9	Entré	1.33	2.66
	O.B.20.2	20+276		Buse			19.067	0.75%	1.23	0.27	3.6	Entré	1.18	2.66

12	O.B.20.2.1	1+694 (E13)	3.98	Buse D1500	1.5	-	11.778	0.75%	1.23	0.27	2.6	Entré	1.18	1.77
14	O.B.21.2	21+223	0.61	Buse D800	0.8	-	16.431	3.00%	0.38	0.44	2.8	Entré	0.98	1.77
	O.B.21.2.1	2+634 (E13)					16.644	7.00%	0.28	0.52	3.8	Entré	0.98	0.79
15	O.B.21.3	21+385	0.62	Buse D800	0.8	-	14.598	2.00%	0.41	0.40	2.4	Entré	0.99	0.79
	O.B.21.3.1	2+797 (E13)					13.525	7.00%	0.29	0.52	3.9	Entré	0.99	0.79
16	O.B.21.4	21+487	0.48	Buse D800	0.8	-	16.59	5.00%	0.27	0.53	3.2	Entré	0.86	0.69
	O.B.21.4.1	2+901 (E13)					13.12	3.00%	0.31	0.49	2.6	Entré	0.86	0.69
17	O.C.21.7	21+744	35.04	DALOT EXIST	5.0	4	-	1.00%	1.81	3.19	4.8	Entré	0.70	3.05
18	O.B.22.0	22+078	0.54	Buse D800	0.8	-	14.99	3.00%	0.33	0.47	2.7	Entré	0.92	0.73
19	O.B.22.4	22+404	0.34	Buse D800	0.8	-	15.91	3.00%	0.26	0.54	2.4	Entré	0.71	0.57
20	O.B.22.4.1	22+460	2.06	Buse D1200	1.2	-	24.6	2.00%	0.65	0.55	3.3	Entré	1.11	1.33
23	O.B.23.1	23+147	1.38	Buse D1200	1.2	-	15.48	3.00%	0.46	0.74	3.4	Entré	0.88	1.05
24	O.B.23.2	23+290	4.37	Buse D1800	1.8	-	15.83	3.50%	0.69	1.11	4.9	Entré	0.95	1.71
29	O.B.24.9	24+943	0.91	Buse D800	0.8	-	40.78	3.00%	0.45	0.35	3.1	Entré	1.25	1.00
30	O.B.25.1	25+197	0.40	Buse D800	0.8	-	18.49	3.00%	0.28	0.52	2.5	Entré	0.78	0.62
31	O.B.25.3	25+371	0.32	Buse D800	0.8	-	26.17	3.00%	0.25	0.55	2.4	Entré	0.69	0.55

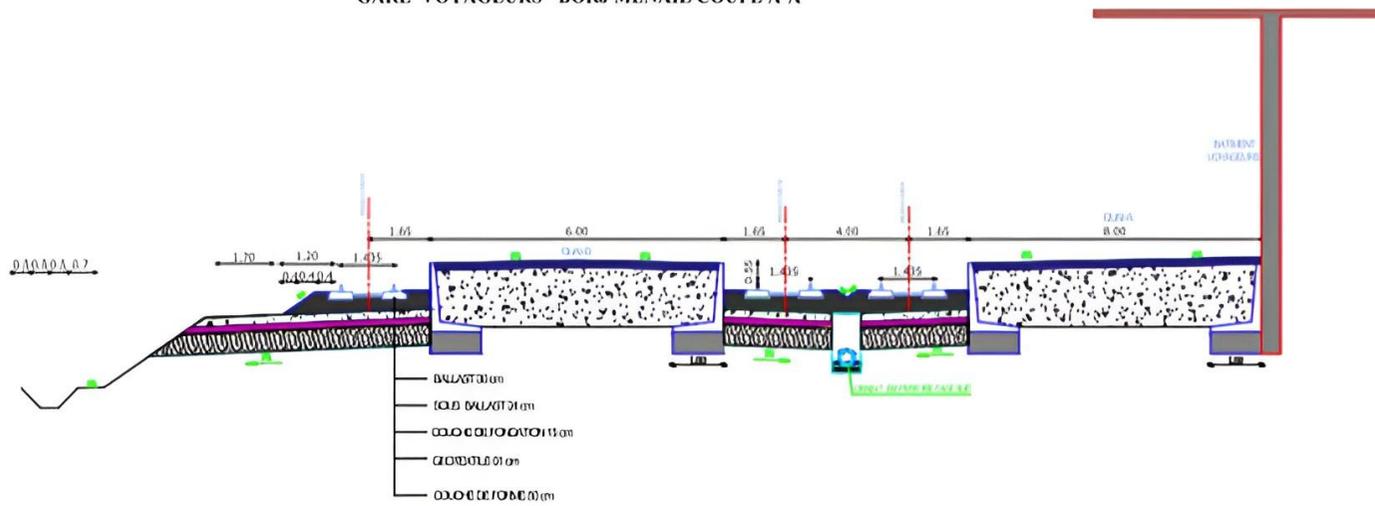
Tableau 3: Description des données hydrauliques et ouvrages d'assainissement pour la section C.

# Annexe exemple de cubature

## PROFIL EN TRAVERS TYPE DOUBLE VOIE - PLEINE LIGNE PROFIL MIXTE EN ALIGNEMENT COURBE SUR SOL SUPPORT Q51 AVEC CBR<sub>25</sub>



GARE VOYAGEURS - BORJ MENAIL COUPE A-A



## Bibliographie

1. **Chapas, P.** *"Traction ferroviaire.* s.l. : Alstom Transport, septembre 1999.
2. **GALOIN, A.** *Les premiers chemins de fer.* [En ligne] <http://www.histoire-image.org/fr/etudes/premiers-chemins-fer>.
3. **Chandra, S.** *Railway engineering.* s.l. : Oxford University Press, Inc, 2008.
4. **EDDINE, M. A.-M. S.** *Mise à double voie électrifiée et modernisation des installations ferroviaires Tronçon ISSER-TADEMAIT sur 22 Km.* s.l. : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2010.
5. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport\\_ferroviaire\\_en\\_Alg%C3%A9rie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport_ferroviaire_en_Alg%C3%A9rie). *Wikipédia. "Transport ferroviaire en Algérie,* [En ligne]
6. **alger-roi.** *le chemins de fer algériens de l'état. ;* [http://algerroi.fr/Alger/transports/chemin\\_fer/textes/1\\_chemin\\_de\\_fer\\_algeriens\\_afn64.htm](http://algerroi.fr/Alger/transports/chemin_fer/textes/1_chemin_de_fer_algeriens_afn64.htm). [En ligne]
7. *"ALGERIE Chemins de fer,"* . s.l. : encyclopedie-afn,, 24 novembre 2010 .
8. *wikipédia .* [En ligne] 2019.
9. **EDDINE, M. A.-M. S.** *Mise à double voie électrifiée et modernisation des installations ferroviaires Tronçon ISSER-TADEMAIT sur 22 Km.* s.l. : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics,, 2010.
10. **C.ZAKARYA.** *Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire à double voie électrifiée (KHEMIS MILIANA - EL AFROUN ) du PK 116+000 au PK 123+000) avec l'aménagement de la gare de KHEMIS MILIANA .* algéria : ecollege nationale supérieure des travaux publics .
11. *ferroviaire, ANESRIF.agence nationale de suivi de la réalisation des investissements.* <http://www.anesrif.dz/index.php/fr/life-styles.html#>. [En ligne]
12. *Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation.* Pyrgidis, C. N. 2016 : CRC press,.
13. **Experts, E. T. I.** *Auteurs et. Infrastructure ferroviaire et matériel roulant,* s.l. : T.I., 2018. .
14. **Rafik, F. S.-M. ,** *"ETUDE EN A.P.D DE LA VOIE FERRÉE DU MÉTRO D'ALGER - Ligne 1-Phase 1 - du PK 1+159 au PK 9+434,* algéria 2009 : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2009.
15. **SNTF.** *GEOMETRIE DE LA VOIE.* s.l. : REFERENTIEL TECHNIQUE,, 2005.
16. **B. H. MOKHTAR.** *LA ROCADE FERROVIAIRE DES HAUTS PLATEAUX REALISATION DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TIARET - SAIDA SUR UN LINEAIRE DE 55 KM,"* s.l. : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics,, 2012.
17. **Hichem, H.** *ÉTUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE À VOIE UNIQUE TIARET SAIDA DU PK108+475 AU PK 123+000,* s.l. : Infrastructures de Base, Ecole Nationale Supérieure des Travaux.
18. **UIC.** *Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides UIC 703R,* s.l. : " Union Internationale des chemins de fer DE-Consult, 01/01/1989.
19. **SNCF.** *Conception du tracé de la voie courante V <220 km/h.* s.l. : IN 0272 (EF 2 C 32).

20. ZAKARYA, C. *Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Double Voie Électrifiée (KHEMIS MILIANA- EL AFROUN) (Du pk 116+000 au pk 123+000) Avec L'aménagement de la gare de KHEMIS MILIANA.* s.l. : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

21. SNTF. *GEOMETRIE DE LA VOIE.* s.l. : REFERENTIEL TECHNIQUE, 2005.

22. Wikipédia. *Histoire des chemins de fer algériens,*. [En ligne]  
[http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Histoire\\_des\\_chemin%20de\\_fer\\_alg%C3%A9riens&oldid=156935222](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Histoire_des_chemin%20de_fer_alg%C3%A9riens&oldid=156935222).

23. YOUGERDTA, h. m. l.-L. *Etude de faisabilité et APS DE la ligne ferroviaire BIRTOUTA-ZERALDA Sur Un Linéaire De 22 Km.* s.l. : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

24. Rafik, F. S.-M. *ETUDE EN A.P.D DE LA VOIE FERRÉE DU MÉTRO D'ALGER - Ligne 1-Phase 1 - du PK1+159 au PK 9+434.* algeria : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2009.

25. MOKHTAR, B. H. *LA ROCADE FERROVIAIRE DES HAUTS PLATEAUX REALISATION DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TIARET - SAIDA SUR UN LINEAIRE DE 55 KM.* 2012 : Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics,.

26. M. ROUDIER. *Granulats pour ballasts de voies ferrées-norme européenne," NF EN 13450,*. s.l. : É. e. d. p. l. A. F. d. N. (AFNOR), , Août 2003.

27. J. ALIAS. *LA VOIE FERREE TECHNIQUES DE CONSTRUCTION ET D'ENTRETIEN.* 1984.