

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



**Ecole Nationale Supérieure
des Travaux Publics**

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

Code :

Projet de Fin d'Études

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

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne à voie unique
Tissemsilt-Boughzoul du pk 15 au pk 40 avec la
conception de la gare du Colonel Boughara

Encadré par :

Md. AIT MOKHTAR Khedidja

Présenté par :

DADDA Abdelali

DJIRIBIA Moussa Amine

Promotion 2012

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics. Garidi. Kouba.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قُلْ إِنَّ صَلَاتِي وَنُسُكِي وَمَحْيَايَ وَمَمَاتِي لِلَّهِ رَبِّ
الْعَالَمِينَ، لَا شَرِيكَ لَهُ وَبِذَلِكَ أُمِرْتُ وَأَنَا أَوَّلُ
الْمُسْلِمِينَ.

صدق الله العظيم

Remercîment

Tout d'abord nous tenons à remercier le dieu tout puissant.

Le projet de fin d'étude qu'on a l'honneur de présenter et exécuter est mené bien grâce à la participation exceptionnelle de notre encadrement par M^d AIT MOKHTAR Khedidja.

On remercie au premier lieu :

M^r KARA chef de département

M^d AIT MOKHTAR Khedidja

Les enseignants de l'E.N.S.T.P sans exception.

Le Personnel de la bibliothèque.

Le groupe de SETI-RAIL spécialement M^d SERIJI Widad

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, et qui nous feront le plaisir d'apprécier.

Comme nous tenons à remercier tout ceux et celle qui de loin ou prés ont contribué à finaliser ce modeste travail.

Dédicace

Je DEDIE CE TRAVAIL A :

** En Premier Lieu A Mes Parents Qui Ont Consentit Beaucoup De Sacrifices Pour Me Permettre De Réaliser Mes Objectifs. Qu'ils Trouvent Ici Toute Ma Reconnaissance Et Ma Gratitude. A Celui Qui M'a Indiqué La Bonne Voie En Me Rappelant Que La Volonté Fait Toujours Les Grands Hommes...A Celle Qui A Attendu Avec Patience Les Fruits De Sa Bonne Éducation,...*

A mon père lah yarhmou

** A mon frère Manouni, A mes soeurs surtout Douniazed (doudou), A Mr Serridj Ali et A.Hocine.*

** A mes oncles et tantes surtout mes cousins Hamza, Boualem, Didine, Sofiane, khalil.*

** A tous mes amis, particulièrement : (Nassim, Hakim, Zozo, Mustapha "pirili", Merouane, Mitchi, Hamza, Ahmed, Rahim, Tarek, Amel, Yasmine, Amina, Zohir, Zikou, Bawam, Zaki, Samir, Anter, lyna) et surtout mon binôme Dadda Abdelali et toute sa famille.*

** A toutes les ENSTPiste*

** A tous qui me connu*

** A mon encadreur*

** A Toute la promotion 2012*

Merci mes chers parents...

DJERIBIA MOUSSA AMINE



أهدي هذا العمل الذي جاء ثمرة مسيرة طويلة من العمل و الذي ما تم إلا بفضل الله علينا.
إلى الوالدة العزيزة التي مهما عملت ما وفيتها حقها.
إلى الوالد العزيز جزاه الله كل الخير.
إلى أخوتي وأخواتي عبد الباسط, بدر الدين, محمد لمين, مصطفى, جمال الدين, نعيمة, سامية,
صباح, هدى, فاطمة الزهراء .
إلى زميلي في العمل جريبية موسى جزاه الله خيرا.
إلى كل زملائي في دفعة 2012.
إلى جميع اصدقائي: مصباحي بشير, محمد اسلام مفتاح, مفتاح سيف الدين, نفيدي الصادق
(النقيت), يوسف حشفة, خالد يجور, شيخة محمد و الى كل اصدقائي بدون استثناء
إلى كل من أسهم في إثراء هذا العمل.
تم الكلام وربنا محمود
انه هو ذو العلا والجود.
والصلاة على النبي محمد
ما ناح قمري وأورق عود.

دادة عبد العالي



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Le chemin de fer en Algérie	
I- INTRODUCTION	3
II- HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER DANS LE MONDE.....	4
III- HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE	5
III-1. Situation du réseau avant l'indépendance.....	5
III-2. Situation actuelle du réseau.....	7
III-3. Programme futur des infrastructures ferroviaires.....	8
IV- CONCLUSION.....	9
CHAPITRE II : Présentation du projet	
I- LOCALISATION DU PROJET.....	10
II- PRESENTATION DES VILLES LIMITROPHES AU PROJET	11
II-1. la ville de Tissemsilt.....	11
II-2. la ville de Boughzoul.....	14
III- CARACTERISTIQUE DE NOTRE PROJET	15
IV- CONCLUSION.....	15
CHAPITRE III : Description de la voie ferrée	
I- INTRODUCTION	16
II- LES RAILS.....	17
II-1.description sommaire des rails	17
II-2. L'assemblage des rails.....	20
III- LES TRAVERSEES.....	25
IV- LES SYSTEMES D'ATACHES.....	28
V- LE BALLAST	29
V-1. La dureté globale.....	30
V-2. Les elements plats	31
V-3. La propreté.....	32
VI- LA SOUS-COUCHE.....	32
VI-1.Les rôles de la sous-couche.....	32
VI-2.Les constitution de la sous-couche.....	33
VII- LA VOIE SANS BALLAST	33
VII-1. Description des differentes technique utilisées.....	33

VII-2. Les avantages de la voie en béton.....	38
VIII-CONCLUSION.....	40
CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN	
I- INTRODUCTION.....	41
II- REGLE A RESPECTER POUR LE TRACE EN PLAN.....	42
III- LES ELEMENTS DE TRACE EN PLAN.....	42
III-1. L'alignement.....	42
III-1. La courbe.....	42
IV- MOUVEMENT D'UN VEHICULE DANS UN COURBE.....	42
IV-1. L'influence de l'acceleration laterale.....	44
V- DEVERS OU SURHAUSSEMENT.....	44
V-1. Devers théorique.....	45
V-2. Devers réel.....	45
VI- LES COURBES DE RACCORDEMENTS.....	48
VI-1.La géométrie des courbes de raccordement.....	48
VII- LE RACCORDEMENT DE DEVERS.....	50
VII-1.Condition de raccordement.....	51
VIII- APPLICATION AU PROJET.....	52
IX- CONCLUSION.....	56
CHAPITRE V : Profil en long	
I- INTRODUCTION.....	57
II- REGLE A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG.....	58
III- ELEMENTS GEOMETRIQUE DU PROFIL EN LONG.....	58
IV- ELEMENTS CARACTERISTIQUE DU PROFIL EN LONG.....	59
V- LIMITES IMPOSEES PAR LE FREINAGES(PENTES).....	59
VI- LIMITES IMPOSEES PAR LE DEMARRAGE (RAMPES).....	60
VII – RAYON ADMISSIBLE EN RACCORDEMENT DE PROFIL EL LONG.....	61
VIII – LONGUEUR MINIMALES DES PENTES UNIFORMES ET DES RACCORDDEMENTS EN PROFIL EN LONG.....	62
IX – LONGUEUR MINIMALES DES ELEMENTS DE PROFILE EN LONG.....	63
X – DETERMINATION PRATIQUE DU PROFILE EN LONG.....	64
XI – APPLICATION AU PROJET.....	67
XII – CONCLUSION.....	67
CHAPITRE VI : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE	

I- INTRODUCTION	68
II- APERCU GEOLOGIQUE.....	68
II-1. La geologie regionale.....	58
II-2. La geologie locale.....	69
II-3. Sismicité	72
III- RECONNAICANCE GEOTECHNIQUE	74
III-1. Puits de reconnaissance.....	74
III-2. Essai de laboratoire	75
III-3. Conditions d'utilisation des sols en remblais	80
III-4. Classification de sol.....	80
IV- CONCLUSION.....	81
CHAPITRE VII : Dimensionnement	
I- INTRODUCTION	82
II- DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE	82
II-1. Les differentes couches constituant l'assise.....	82
II-2.Principe de dimensionnement des voies ferrées.....	82
III- APPLICATION AU PROJET	84
III-1. Justification de choix de la structure d'assise.....	84
III-2. Plateforme proposée.....	85
IV- CONCLUSION.....	87
CHAPITRE VIII : Assainissement	
I- INTRODUCTION	88
II- OBJECTIFS DE L'ASSAINISSEMENT ET DU DRAINAGE	88
III- LES OUVRAGES HYDROLIQUES.....	89
IV- METHODOLOGIE A SUIVRE.....	89
V- DRAINAGE DES EAUX SOUS TERRAINES	90
VI – STRUCTURE GENERALE	90
VII – ASSAINISSEMENT DE LA PLATEFORME	91
VIII – HYDROLOGIE DE LA REGION	92
VIII –1. Caracteristiques morphologique des bassins versants	93
IX –DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE RETABLISSEMENT DES ECOULEMENTS	94
IX –1.Estimation de debit de crue ou d'apport	93
IX –2.Calcul de debit de saturation	97

X –DIMENSIONNEMENT DE RESAU DE DRAINAGE AU RAMPES	98
XI – APPLICATION AU PROJET	98
XI – 1. Dinmmensionnement des fossés	98
XI – 2. Dinmmensionnement des buses.....	99
XI – 3. Dinmmensionnement des dalots	100
XII – CONCLUSION	101
CHAPITRE IX : Profil en travers	
I- INTRODUCTION	102
II- LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS	102
III-ECARTEMENT DE LA VOIE.....	104
IV- ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE	106
V- TERRASSEMENT	108
V –1. Definition de cubature.....	109
V –2. Methode de calcul des cubature	110
V –3. Les resultat de calcul des cubatures	112
VI-CONCLUSION.....	112
CHAPITRE X : Ouvrage d’art et ouvrage en terre	
I- INTRODUCTION	113
II-. LES PONTS.....	113
III- CROISEMENT AVEC UNE ROUTE.....	114
IV-LISTE DES OUVRAGES D’ART SUR NOTRE TRACE	115
V-LES OUVRAGES EN TERRE.....	116
V-1.Talus en remblais	116
V-1.Talus en deblais	116
VI- CONCLUSION.....	119
CHAPITRE XI : Signalisation ferroviaire	
I- INTRODUCTION	120
II- NOTIONS	120
III- LES COMPOSANTES DE LA SIGNALISATION.....	121
III-1. Les signaux et les plaques	121
IV- OBJECTIF DE LA SIGNALISATION.....	122
V- DIFFERENTES FONCTION DES SIGNAUX.....	123
VI- SIGNALISATION CLASSIQUE OU LATERALE	123

VII- SIGNALISATION EN CABINE	124
VIII- GENRE ET ETALON DE LA SIGNALISATION	125
IX- LES DIFFERENTES MARCHES DE TRAIN	127
X- IMPLANTATION DES SIGNAUX	127
XI- VISIBILITE DES SIGNAUX.....	128
XII- CONCLUSION	128
CHAPITRE XII : Les appareils de voies	
I- INTRODUCTION	129
II- LES DIFFERENTS TYPE DES APPAREILS DE VOIES.....	129
III- ETUDE DE L'APPAREIL DE VOIE.....	133
III-1. Le branchement.....	133
IV- CONCLUSION.....	140
CHAPITRE XIII : Conception de la gare	
I- INTRODUCTION	141
II- CONCEPTION GENERALE DES GARES.....	141
II-1. Plan de masse d'une gare	141
II-2. Considerations generales	141
II-3. Instalation de base d'une gare.....	142
II-4. Gare de voyageurs	143
II-5. Gare de marchandises	145
II-6. Gare de croisement.....	147
II-7. Reseau de voie	147
III- APPLICATION AU PROJET	150
III-1. Conception de la gare de Colonel Bougara	150
IV- CONCLUSION.....	154
CHAPITRE XIV : Impact sur l'environnement	
I- INTRODUCTION	155
II- MISE EN CONTEXTE DU PROJET	156
III- IDENTIFICATIO ET EVALUATION DES IMPACTS	156
IV- ASPECTS JURIDIQUES ET INSTITUTIONNELS.....	157
V- CONVENTIONS INTERNATIONALS.....	159
VI- MONUMENTS CLASSES.....	161
VII- IMPACT DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT ET MESURES D'ATTENUATION ET/ OU DE COMPENSATION	162

VIII- IMPACT TEMPORAIRES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT ET MESURES D'ATTENUATION ET/ OU DE COMPENSATION	162
IX- IMPACT SUR LE MILIEU ECOLOGIQUES, LA FAUNE ET LE FLORE.....	163
X- IMPACT SUR LE RESSOURCES EN EAU ET MESURES Y AFFERENTES	167
XI- IMPACT SUR AGRICULTURES.....	169
XII- IMPACT SUR LES HABITANTS	170
XIII- CONCLUSiION.....	171

CHAPITRE XV : Devis quantitatif et estimatif

I- LA GARE DE COLONEL BOUGARA	172
II- TRACE DE SECTION TISSEMSSILT A BOUGHZOUL DE PK 15 AU PK 40.....	173
III- TOTAL DU PROJET	173
CONCLUSION GENERALE	174

ANNESXES

BIBLIOGRAPHIE

Introduction générale

L'analyse de la situation des pays développés montre que le secteur du transport constitue une base au plan du développement national et de la croissance économique et qu'il est un secteur clé pour le développement d'un territoire donné. Dans une économie moderne, le transport joue un rôle prépondérant car il facilite non seulement des échanges entre agents économiques, mais il améliore également la circulation des personnes, des biens, en même temps qu'il participe au raffermissement des liens d'amitié et de fraternité entre les peuples.

Les transports engendrent des avantages multiples pour des nombreux bénéficiaires. Ils génèrent indéniablement des avantages économiques considérables. Les plus évidents sont les gains de temps, la réduction des coûts de transport, l'élargissement de la surface d'influence pour le travail et les achats. L'essor des transports est particulièrement spectaculaire depuis le lendemain de la seconde guerre mondiale, dans le cadre de ce qu'il convient désormais d'appeler la mondialisation de l'économie.

En Algérie, l'état a consenti de très grands efforts dans le domaine du transport.

Ainsi l'autoroute Est-Ouest, longue de 1216 kms avec deux fois trois voies, qui sera en principe bientôt livrée à la circulation, comprend pas moins de 60 échangeurs, 450 ouvrages d'art, 30 via paysage.

L'évaluation du coût de cette grandiose réalisation était en 2010 d'environ 11 millions de dollars. A peine cette première autoroute achevée, qu'une seconde reliant Tlemcen à Tébessa, d'une longueur de plus de 1000 km et traversant les Hauts-plateaux est annoncée.

C'est dire que le pays cherche à améliorer ses infrastructures des transports !

Evidemment, le rail n'est pas en reste et commence à prendre de l'importance dans l'économie du pays. C'est ainsi qu'outre le projet de la liaison par chemin de fer Bel Abbés-Bechar, annoncé par le ministre des Transports, il est prévu la réalisation de 6500 kms de nouvelles voies et l'amélioration de 500 kms du réseau existant. Avant même que le programme d'investissement ne soit dévoilé, un projet de 185 kms reliant Relizane à Tiaret a été signé.

Toujours dans le même contexte, un contrat est signé pour une société mixte en partenariat avec Alstom, cette société aura en charge la maintenance des rails et le

montage des locomotives tant pour le chemin de fer que pour les trams. Cette société sera domiciliée à Annaba. Outre cela, le métro d'Alger vient d'être inauguré et il transporte les Algérois après trente longues années d'attentes. Le bijou qu'ont eu à contempler et à utiliser les Algérois aura coûté 885 millions d'euros et d'ores et déjà son extension est programmée. Le tramway, cet autre moyen de transport urbain, fait déjà partie du décor (du moins à Alger) et il est attendu dans 14 autres villes dont Sidi Bel Abbas, Oran, Mostaganem, Ouargla, Constantine Jijel, Sétif et Batna. Le transport aérien n'est pas oublié non plus avec une enveloppe de 400 milliards de dinars réservée à ce secteur dans le cadre du quinquennat 2010-2014. Il sera en principe question de l'aménagement et des améliorations des infrastructures existantes et du renforcement et de, l'extension de la piste de l'aéroport d'Alger, l'extension de la piste de l'aéroport de Sétif et également la réalisation de 24 héliports.

Notre projet s'inscrit dans le cadre de la voie ferrée des hauts plateaux et s'intitule

« La nouvelle ligne de la voie unique Tissemsilt Boughzoul », il nous a été proposé par le bureau d'étude « SETI-RAIL ».

Le chemin de fer en Algérie

I. Introduction:

Le chemin de fer possède ces qualités propres qui le distinguent des autres modes de transport par :

- le contact métal sur métal qui limite à une faible valeur la résistance au roulement, ce qui permet aussi la remorque des charges élevées avec une puissance et un personnel de bord souvent réduits à un homme. En contrepartie, ce contact métal sur métal augmente les distances de freinage.
- le chemin de fer est un transport guidé qui n'offre au véhicule qu'un seul degré de liberté en avant ou en arrière. Les changements de voie ne peuvent se faire qu'aux appareils de voie. Le dépassement est impossible. Ceci constitue une sécurité vis-à-vis des accidents.
- la circulation des wagons ne se fait pas isolément comme sur la route mais en convoi.
- le débit d'une voie ferrée est supérieur à celui d'une autoroute à quatre voies.
- le coût moyen du kilomètre de voie ferrée à deux voies est moins cher que celui d'une autoroute à deux fois deux voies dans les mêmes conditions.
- il présente un faible degré de pollution.
- à égalité de kilomètres transportés, le chemin de fer consomme de 2 à 3 fois moins de carburant à la tonne transportée qu'un camion lourd.



Fig. I.01. : Le transport ferroviaire

II. Historique du chemin de fer dans le monde:

Nés sur le carreau des mines pour transporter le charbon entre les puits d'exploitation et les voies navigables les plus proches, les premiers chemins de fer n'ont pas donné immédiatement naissance aux voies ferrées telles que nous les connaissons aujourd'hui. Les premiers rails étaient en bois, les premiers trains étaient tirés par des chevaux et ne transportaient que du charbon. Le chemin de fer mécanisé, tel que nous le connaissons encore aujourd'hui, a pris naissance en Angleterre dans les années 1820 et à partir de 1840, le chemin de fer connut un développement remarquable dans les pays qui disposaient de charbon, ou qui pouvaient facilement en importer, Bénéficiant de la révolution industrielle, les grands réseaux ferrés furent construits entre 1830 et 1930. Comme les locomotives à vapeur éprouvaient certaines difficultés à gravir de fortes pentes, les ingénieurs construisirent des ouvrages d'art en grand nombre afin de faciliter le parcours des trains. Ils réalisèrent de nombreux viaducs et tunnels, ouvrages qui permettent de concilier les contraintes topographiques avec les fortes exigences de la voie ferrée en matière de tracé et de nivellement.

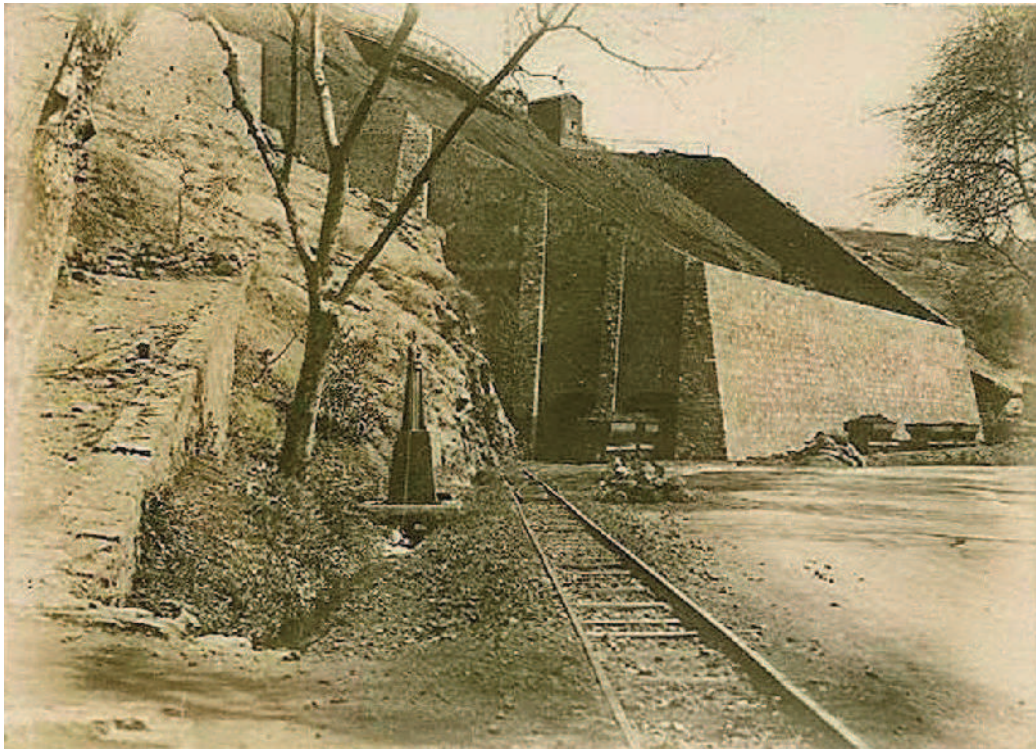


Fig. I.02. : Chemin de fer dans une mine

III. Historique du chemin de fer en Algérie :

III.1. Situation du réseau avant l'indépendance :

La réalisation du réseau de chemin de fer algérien s'est faite par étapes successives durant la période coloniale, 3 programmes ont été initiés par l'administration:

a. Le programme de 1857:

Un décret daté du 8 avril 1857 autorisa la construction de 1357 km de ligne. Le 12 décembre 1859 l'armée d'occupation ouvrit le chantier de la ligne Alger-Blida. Une entreprise de statut privé, appelée « Compagnie des Chemins de Fer Algériens » fut créée et prit le relais de l'armée à partir du 11 juillet 1860 pour achever cette première ligne. Cette compagnie obtint au même temps une concession pour la réalisation des lignes Oran-Sig et Constantine-Skikda mais elle rencontra des problèmes de financement et seule la ligne Alger-Blida a pu être réalisée et ouverte au service voyageur

Le 8 septembre 1862. Au cours de la période 1857 - 1878 les lignes ou tronçons de lignes suivants, totalisant une longueur de 1365 km, en été réalisés :

- Annaba - Ain Mokra
- Annaba - Bouchegouf - Guelma
- Khroub - Oued Zenati
- Constantine – Skikda
- Constantine – Sétif
- Alger - Thénia
- Alger – Oran
- Arzew - Mohammedia
- Mohammedia – Mécheria
- Oued tlélat - Sidi Bel Abbes

b. Le Programme de 1879:

Au cours de la période 1879 – 1906, les lignes ou tronçons de lignes suivants, totalisant une longueur de 2035 km, en été réalisés ou entamés :

- Souk Ahras - Tébessa_ Le Kouif et embranchement vers la frontière tunisienne.
- Ain Mokra - Remdane Djamel
- Ouled Rahmoune - Khenchela
- El Guerrah – Biskra
- Sétif - Thénia avec embranchement vers Tizi-Ouzou, Bejaïa et Sour el Ghozlane

- Blida - Berrouaghia
- Mostaganem – Relizane - Tiaret
- Oran – Arzew
- Sénia – Témouchent
- Sidi bel abbés – Tlemcen – frontière
- Tabia – Crampel
- Méchria – Béchar
- Tizi-Ouzou - Mascara

c. le programme de 1907:

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km de lignes fut établi et vint s'ajouter au réseau existant de 3400 km de lignes ouvertes ou en cours de réalisation. 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 embranchements vers Tolga et El Oued
- Constantine - Oued Athmania
- Berrouaghia – Djelfa
- Tiaret - Mahdia-CL.Bouguerra
- Mascara-Mecheria avec embranchement vers Relizane
- Sidi bel abbés – Tizi-Ouzou
- Tlemcen – Beni Saf
- Mostaganem-la Macta

En 1946, le réseau algérien comprenait 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers.

Le 27 septembre 1912 fut créée la compagnie des chemins de fer algériens de l'Etat (CFAE). Le 1er janvier 1939 est institué un office des chemins de fers algériens (office CFA). Le 1er janvier 1960 est créée une société des chemins de fer français en Algérie jusqu'au 16 juin 1963, date laquelle sera créée la société nationale des chemins de fer algériens (SNCFA).

III.2. Situation actuelle du réseau :

Un large programme d'investissement a été lancé à partir de 1980. Il a permis la réalisation de :

- La ligne Jijel /Ramdane-Djamel (140 km).
- La réalisation des dessertes des cimenteries de Beni-Saf (23km), Sida et Ain-Touta (15 km).
- Le renouvellement complet (voie et ballast) d'une grande partie du réseau soit un totale de 1400 km de voie.
- La mise à double voie de tronçons de la rocade nord (200 km).
- l'aménagement et la modernisation et reconstruction des gares réparties sur le réseau.
- L'aménagement ferroviaire des régions d'Annaba et d'Alger (partiellement).

La voie ferrée algérienne est actuellement constituée d'un réseau de 4653 km de voie, dont la longueur exploitée et de 3945 km. Le réseau contient 3000 ouvrages d'art ,120 tunnels et 200 gares ouvertes au trafic marchandises et voyageurs.

Le réseau se compose de :

Tableau I.01 : Composition actuelle du réseau Algérien

Réseau existant	km
Voie normale	2860
Voie étroite	1085
Voie électrifiées	283
Double voie	383

Voie normale: écartement de 1435 mm

Voie étroite: écartement de 1055 mm

Le chemin de fer qui assurait en 1970 près de 30% du trafic national de voyageurs et de marchandises a vu sa part relative des marché, réduite actuellement à seulement 12,3% du trafic marchandises et 16,2 % du trafic de voyageur.

La répartition du trafic du transport ferroviaire est de :

- 3,1 % pour les voyageurs de banlieue
- 17,3 % pour les voyageurs des grandes lignes
- 17,1% pour le transport des carburants
- 6,7 % pour le transport de phosphate
- 4,7 % pour le transport des céréales
- 15 % pour le transport des produits sidérurgiques

- 36,1% pour les autres marchandises

III.3. Programme futur des infrastructures ferroviaires:

a) La densification et le renforcement de la rocade nord:

Cette ligne qui relie les deux frontières de l'Est à l'Ouest du pays et qui se prolongera vers le Maroc et la Tunisie sera électrifiée et à double voie.

b) La réalisation de la rocade des hauts plateaux et de ses connexions:

Elle est destinée à sous-tendre le développement économique et social de ces régions.

c) La réalisation de la boucle de sud

Elle assurera les échanges avec les zones du sud.

d) L'extension du réseau ferroviaire vers le sud-ouest :

Par le raccordement de Béchar à Tindouf et la desserte de la mine de Gara Djebilet

e) La suppression des voies étroites existantes:

Par conversion en voies normales et la création de lignes nouvelles assurant des liaisons équivalentes.

f) L'aménagement ferroviaire de la région algéroise:

- La desserte de l'Aéroport revêt un caractère particulièrement important car il préfigure du visage qu'auront la capitale et sa banlieue. Parfaitement intégré au schéma du futur système de transport (métro, tramway et bus) le train en constituera la colonne vertébrale.

Par ailleurs, la réalisation de lignes ferroviaires à grande vitesse LGV en Algérie (bordj Bou Arréridi-Miliana sur 330 km, Boumedfaa – Djelfa sur 220 km et Touggourt – Hassi Messaoud sur 150 km) mais aussi l'électrification du réseau ferroviaire de la banlieue d'Alger sont parmi les grands projets qui seront réalisés en partenariat avec des groupes européens.



Fig.I.03 : le plan de futur du réseau ferroviaire national

IV. Conclusion:

On peut conclure que La politique de l'Algérie est un peu en retard en ce qui concerne le développement des chemins de fer. Il est plus que nécessaire, pour le développement et l'amélioration des conditions de l'investissement et du commerce et l'augmentation des échanges entre les différentes régions dans le pays, de favoriser ce secteur. Le projet de la rocade des hauts plateaux dans lequel s'intègre notre étude, permettra d'atteindre cet objectif et de rendre efficace le niveau de développements de l'économie du pays.

Présentation du projet

I. Localisation du projet :

Notre projet intitulé « étude de la ligne ferroviaire entre la nouvelle ville de Boughzoul et Tissemsilt sur une longueur de 25 km du PK 15 au PK 40 » s'intègre dans le cadre de la nouvelle rocade ferroviaire des hauts plateaux qui doit être finalisée à l'horizon 2030 et qui est un véritable challenge qui servira de « laboratoire » pour les futurs centres urbains. La réalisation de cette rocade a pour objectif le maillage et la densification du réseau, le rapprochement et le désenclavement des villes. Elle constituera un plus pour l'économie régionale autant qu'elle présente la meilleure offre de transport dans ces régions. Voir figure II.01



Fig. II.01: localisation de notre projet de la rocade des hauts plateaux

Le projet de la ligne ferroviaire Tissemsilt-Boughzoul, un des maillons de la rocade ferroviaire des Hauts-Plateaux et sera d'un apport non négligeable à l'essor économique de nombreuses localités de la région. Cette ligne s'intègre dans le plan d'aménagement global de la nouvelle ville de Boughzoul. Les travaux de réalisation de la ligne Tissemsilt-Boughzoul, d'un linéaire de 139 km, prendront fin en décembre 2014, selon les prévisions de l'Agence Nationale d'Etudes et du Suivi des Réalisations et des investissements ferroviaires (Anesrif). Deux autres tronçons de la rocade ferroviaire des Hauts-Plateaux, en l'occurrence M'sila-Boughzoul et Tissemsilt-Tiaret sont également en cours de réalisation.

II. Présentation des villes limitrophes au projet :

II.1: La ville de Tissemsilt :

Située en plein centre du quart nord-ouest de l'Algérie et des hauts plateaux dans leur partie occidentale, la wilaya de Tissemsilt est située entre 30 et 32° de latitude nord et 03° de longitude est avec un décalage de 12 minutes par rapport au fuseau horaire universel. Elle occupe une zone charnière naturelle entre la plaine du Sersou et l'oued Chlef et est délimitée par des barrières naturelles constituées par les monts de l'Ouarsenis au nord et djebel Nador au sud.

S'étalant sur une superficie de 3151.37 Km² qui abrite une population de près de 300.000 âmes, Tissemsilt est cernée par les wilayas de Chlef et Ain Defla au nord, Médéa à l'est, Relizane à l'ouest et Tiaret et Djelfa au sud. (Voir fig. II.02)



Fig. II.02: Localisation de la Wilaya de Tissemsilt

La région de Tissemsilt fait partie de l'étage bioclimatique du climat méditerranéen caractérisé par un hiver froid humide et un été chaud et sec. La température moyenne hivernale est comprise entre 0 et 6°C et celle estivale oscille entre 32°C et 40°C. Quant à la pluviosité moyenne annuelle, elle oscille entre 300 et 600 mm de pluies, avec cependant un pic de 800mm enregistrée aux monts de l'Ouarsenis où on note également des chutes de neige dont la hauteur moyenne se situe dans une fourchette comprise entre 0.5 et 50cm d'épaisseur.



Fig. II.03: région climatique de Tissemsilt

La nature géomorphologique de la wilaya de Tissemsilt offre trois ensembles distincts. On y rencontre un relief montagneux (les monts de l'Ouarsenis), la région des hauts plateaux et la zone steppique. Les montagnes occupent une proportion de près de 65 % de la superficie globale, 25 % pour les hautes plaines et 10% pour les steppes. Le haut sommet est cartographié au niveau de Sidi Amar (monts de l'Ouarsenis) avec une altitude de 1983m. Le niveau le plus bas est enregistré à Koudiet el Yachine (au nord d'El Azharia) avec près de 389m d'altitude.



Fig. II.04: Photo montrant la topographie de la wilaya de Tissemsilt

Le réseau de transport dont dispose Tissemsilt permet de drainer et de fluidifier les mouvements et déplacements au sein même de la wilaya aussi bien pour les usagers

publics que du secteur privé et ce, dans le transport de voyageurs et de marchandises à travers l'exploitation d'un réseau non négligeable, particulièrement du point de vue nombre de lignes de navettes, le nombre de place et la capacité offerte disponible. Toutes ces caractéristiques œuvrent à offrir aux citoyens, aux écoliers et, aux étudiants, et aux voyageurs, en général, les conditions favorables de transport. En ce qui concerne le réseau routier, de nombreux projets inscrits ont largement et considérablement amélioré le vaste réseau routier de la wilaya soit par la réhabilitation et le renforcement des anciennes routes, soit par la construction de nouvelles voies. Le but étant de créer de nouvelles dessertes entre les villes et villages de la wilaya afin de désenclaver les contrées isolées. Ces travaux concernent aussi bien les routes nationales, de wilaya et communales. Il y'a eu également une campagne de confortement ou d'édification d'ouvrages d'art. A cela, s'ajoute également les projets d'ouverture de voies de communication entre la wilaya de Tissemsilt et les autres wilayas limitrophes.



Fig. II.05: l'infrastructure de transport dans la wilaya de Tissemsilt

De plus, la réalisation de la voie ferroviaire reliant Relizane à Boughzoul, en passant par Tissemsilt, permettra également d'intensifier le secteur des échanges économiques et commerciaux dans la région.

II.2: La ville de Boughzoul:

La ville de Boughzoul se trouve dans la zone des hauts plateaux à une altitude moyenne de 700 mètres. Au nord on trouve la dépression Feïdh Lalla qui rejoint lors des fortes précipitations celle qui forme le barrage de Boughzoul. Au nord-est se trouve le point culminant, le Djebel Ezerga qui marque la fin de la plaine. Au sud on trouve la vaste plaine fertile de Boucedraïa.

La nouvelle ville de Boughzoul, située à 170 km d'Alger, s'étend sur une superficie de 6000 hectares avec 4000 hectares habitables pour une population prévue de 350 000 âmes. Son territoire est organisé autour de plusieurs ensembles qui, outre la zone urbaine (c'est-à-dire la ville proprement dite d'une superficie de 3.653 ha) comprend un grand ensemble commercial de 116 ha, une base logistique de 335 ha, une gare intermodale et une plateforme de marchandises de 305 ha, une zone d'extension de 1301 ha, une zone aéroportuaire de 500 ha, un lac de 1886 ha, des zones d'exploitations agricoles de 1839 ha.

Elle jouit d'un climat continental, froid et assez humide en hiver, très chaud et sec en été. La saison du printemps y est très courte. Le niveau des précipitations est très capricieux, si bien qu'il peut varier du simple au double d'une année à l'autre.



Fig. II.5: nouvelle ville de Boughzoul

III. Caractéristique de notre projet :

- Caractéristique de la voie : ligne mixte (voyageurs et marchandises)
- Vitesse max des trains de voyageurs : 160 km/h
- Vitesse max des trains de marchandises : 100 km/h
- Type de rail : UIC 60.
- Type de traverse : B440
- Ecartement de la voie (standard) :1435 mm
- Rayon minimale en plan exigé par la SNTF 975m
- Pente longitudinale maximale : 16‰
- Largeur de la plateforme : 8 m (voie unique)
- Levé topographique (couloire d'étude).
- Logiciel a utilisé dans l'étude « COVADIS 9.1 »

IV. Conclusion :

La réalisation des liaisons ferroviaires entre les grandes villes du pays est un facteur qui influe directement sur le développement économique d'une région. En Algérie, malheureusement, le secteur du transport ferroviaire a été quelque peu négligé au profit du secteur du bâtiment, de la route et des aéroports.

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

Description de la voie ferrée

I. Introduction:

La voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticités et d'amortissements variable qui transmettent à la plateforme, la charge statique et dynamique des roues. La voie classique comporte des rails maintenu par des traverses reposant sur une épaisseur variable de ballast, en principe, isolée de la plateforme avec une sous couche. Une nouvelle technologie a vu le jour à savoir la voie en béton (voie sans ballast).



Fig.III.01 : Une voie ballastée

La voie en béton est une superstructure pour laquelle le ballast, susceptible de se tasser, est remplacé par des couches d'assise constituées d'une dalle en béton. Les rails sont solidaires aux traverses par un système d'attache.



Fig.III.02.d'une voie en béton.

La voie est constituée d'une plateforme et d'une superstructure qui constituée eux même de divers éléments dont les plus importants sont les rails, les traverses, le système d'attaches et le ballast et. Nous allons vous donner un aperçu de chacun de ces éléments dans le présent chapitre.

II. Les rails:

II.1. Description sommaire des rails :

Les rails sont de longues barres d'acier profilées, qui mises bout a bout servent à former un chemin de fer. La part du rail est importante (de 30 à 50 %) dans le cout d'établissement d'une superstructure de voie neuve. Les rails servent à la fois de guide et de support de roulement pour les véhicules .En général, les rails possèdent à la partie supérieure le champignon qui supporte le contact des roues; l'âme partie médiane amincie et le patin qui assure la fixation à la traverse (voire Fig.II.03).

Le rail est l'élément essentiel de la sécurité de la voie, les traverses et le ballast ne servent qu'à attacher le rail et à le supporter.

Le rail actuel est en acier avec un taux de carbone moyen de l'ordre de 0,6 à 0,8 % mais un taux de manganèse (0,7 à 1,2%) et de silicium (0,1 à 0,6) important qui le rendent dur et lui permettent de supporter des contraintes élevées.

Le carbone est l'élément durcissant qui forme avec le fer les constituants primordiaux des aciers ordinaires; la teneur en carbone est forcément limitée par la fragilité qui augmente rapidement avec elle.

L'action du manganèse sur le métal à un effet durcissant et, de ce point de vue, le manganèse est un élément d'appoint très intéressant pour les aciers de construction dans lesquels la teneur en carbone doit être limitée si l'on veut éviter la fragilité.

Le silicium est un élément désoxydant très actif qui réagit avec l'oxygène inclus dans le métal pour former avec lui de la silice (SiO_2)

Au cours des années, la nuance de l'acier a rail, caractérisé par sa résistance à la traction n'a cessé de croître; elle est passée de 65 kg/m² en 1925 à 680 kg /m² de nos jours (fiche UIC860.0).

Il existe trois types principaux de rails:

- **Le rail à patin** dit rail Vignole (voir Fig. III.03)
- **Le rail à double bourrelet** ou bull headed (tête de taureau) appelé aussi rail a coussinets (voir Fig.III.04).

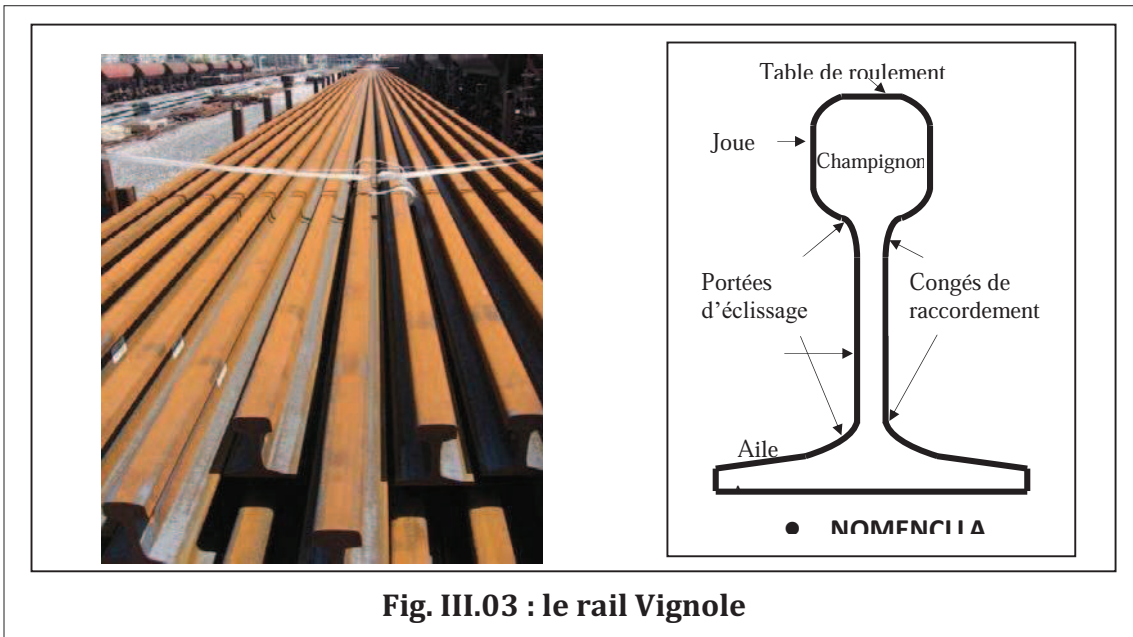


Fig. III.03 : le rail Vignole

- **Le rail a ornière**, que les sociétés de tramway et les chemins de fer secondaires utilisent dans les agglomérations (voir Fig. III.05)

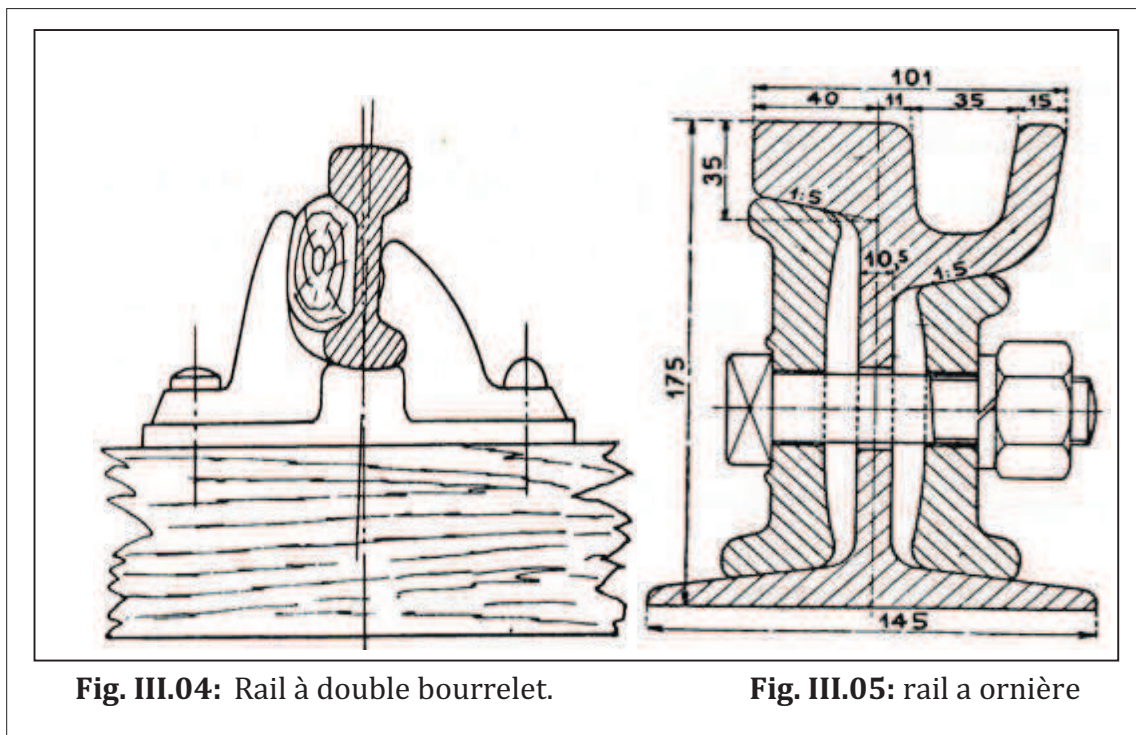


Fig. III.04: Rail à double bourrelet.

Fig. III.05: rail a ornière

Le type de rail le plus utilisé par la SNTF est le rail Vignole. Vu son emploi universellement répandu, la SNTF a adopté pour la ligne étudiée le rail Vignole UIC 60 (60kg/ml de rail) dont les caractéristiques géométriques figurent sur la fig.III.6:

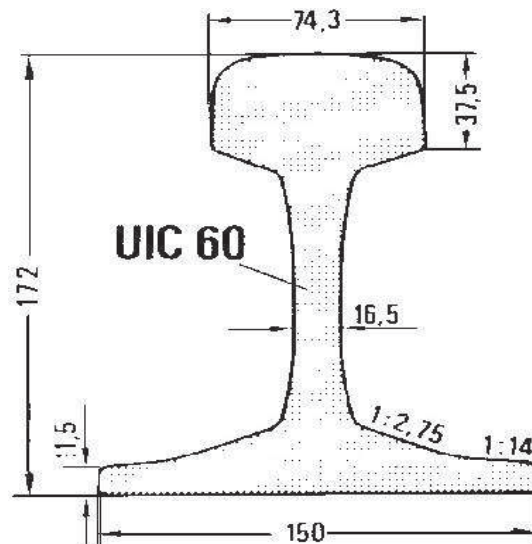


Fig. III.06: rail Vignole type UIC 60

- Hauteur $H=172\text{mm}$
- Largeur de table de roulement $l=74,3\text{mm}$
- Epaisseur de l'âme $E=16,5\text{mm}$
- Largeur du patin $L=150\text{mm}$
- Poids métrique $P=76,86\text{kg}$
- Section $F=69,34\text{cm}^2$
- Moment d'inertie par rapport à l'axe neutre (horizontale) $I_x=3055\text{cm}^4$
- Moment d'inertie par rapport à l'axe vertical $I_y=513\text{cm}^4$

Le rail Vignole est constitué de 3 parties principales:

a. Le champignon:

C'est la partie supérieure du rail. Elle est caractérisée par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces faces latérales.

b. 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.

c. Le patin:

Il est 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.

II.2. L'assemblage des rails:

La pose d'une voie ferrée nécessite la mise en place de nombreux kilomètres de rails. La longueur élémentaire des rails a constamment crue depuis les origines du chemin de fer a nos jours passant de 1,2 m à 18,24 et 36 m actuellement. La dilatation des rails a été une source de désagréments pour les exploitants ferroviaires. La première technologie alors disponible ne permettait pas d'avoir de longs rails, ce problème fut résolu en laissant, aux joints entre les rails, un espace suffisant à leur libre dilatation. Une voie posée selon cette méthode est dite en « barres normales ».

Cependant, les joints, du fait de cette discontinuité du roulement, entraînaient des chocs au passage des roues. Outre l'inconfort ressenti par les passagers, ces chocs causaient une usure des constituants du joint ainsi que du ballast sous les traverses supportant le joint et nécessitaient un entretien très régulier.

Les exploitants ont donc toujours cherché une solution pour supprimer les joints. C'est ainsi que, dès les années 1930, fut théorisé le fonctionnement des longs rails soudés. Mais les matériaux de l'époque, en particulier les attaches rigides, n'assuraient pas un maintien suffisant et ne permettaient donc pas une mise en œuvre aisée de cette nouvelle technique. Il fallut attendre la mise au point des attaches élastiques pour reprendre l'expérimentation puis passer à la généralisation du procédé.

II.2.1. Les longs rails soudés :

Les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs kilomètres. C'est la méthode de pose adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.

Elle est constituée avec des barres longues, d'une longueur de 144, 300 ou 400 m selon les pays. Ces barres sont produites en atelier



Fig. III.07 : photo d'une barre soudée

par la soudure de rails élémentaires de respectivement 18m, 36m, 72m, 75m, 80m, 100 m ou 120m. Cette soudure effectuée en atelier fixe ou semi-mobile est faite par étincelage et forgeage ou bien par induction et forgeage. Ces barres longues, dont la souplesse autorise le transport sur des rames de wagons plats spécialement équipés d'agrès et de goulottes de déchargement, sont ensuite posées et soudées entre elles sur place par soudure aluminothermique ou soudure électrique.

Elles sont fixées aux traverses par l'intermédiaire d'attaches élastiques. Dans le cas de création d'un LRS par soudage des rails d'une voie en barres normales fixées, totalement ou en partie, par des attaches rigides, on installera des dispositifs « anti-cheminant » destinés à s'opposer aux mouvements longitudinaux du rail.

II.2.1.1. Principe des LRS:

La voie en longs rails soudés LRS est une voie dans laquelle les variations de longueur des rails dues à la température ne peuvent se manifester qu'aux extrémités dans rails, la partie centrale restant immobile. La libre dilatation et la libre contraction des rails sont limitées par l'introduction artificielle d'une dilatation contrôlée dans les rails avant la fixation des attaches de la voie.

L'extrémité d'un tronçon en LRS sur lequel un déplacement du rail peut se produire est appelé 'longueur de respiration'. Les mouvements de l'extrémité du rail étant supérieurs à ce qu'un joint peut normalement absorber, on adopte des dispositifs de dilatation à l'extrémité d'un tronçon en LRS lorsque celui ci rejoint un tronçon éclissé ou en des endroits spécifiques tels que les gares ou les ponts. L'appareil de dilatation, couramment appelé "AD" est constitué de deux rails (aiguilles) taillés en biseau venant de plaquer contre deux autres rails usinés (contre-aiguilles) de manière à ce qu'il n'y ait pas de discontinuité dans la surface de roulement Voir (fig. III.08). Le couple aiguille/contre-aiguille est maintenu en contact par des coussinets (de glissement) leur interdisant tout déplacement latéral tout en autorisant un libre déplacement longitudinal. Les traverses sur lesquelles repose ce dispositif sont reliées entre elles par des pièces métalliques (liernes) bridant leur déplacement.



Fig.III.08 : Appareil de dilatation pour LGV

II.2.1.2. La procédure de soudage des LRS:

Le soudage est un mode d'assemblage qui permet de réunir deux ou plusieurs pièces entre elles sans solution de continuité par des joints appropriés aux pièces à assembler. Le procédé de soudage actuellement utilisé est celui du soudage par aluminothermie qui consiste à couler dans un moule entourant les abouts des rails préalablement portés à une température de 900°C, par préchauffage, un métal en fusion à une température de 2200°C par réduction de l'oxyde de fer par l'aluminium suivant la réaction suivante:



Fig. II.10 : Soudure aluminothermique de deux barres de rails soudés

II.2.1.3. Avantages et inconvénients des LRS :

Les LRS présentent deux principaux avantages, qui sont la conséquence de la suppression des joints éclissés :

- Une réduction des coûts d'entretien de la voie ;
- Une meilleure qualité de roulement et un plus grand confort pour les voyageurs.

Leurs inconvénients, largement compensés par leurs avantages, sont :

- Une technicité plus grande de leur mise en œuvre et de leur entretien, nécessitant un personnel bien formé ;
- Un risque de déformation par flambement de la voie sous les contraintes de compression excessives lors de périodes de très fortes chaleurs (mais ce risque existe aussi en barres normales) ;
- Cette compression sous températures élevées entraîne également des risques de déformations lors de travaux effectués sur les rails, le ballast ou les attaches durant la saison chaude. Pour cette raison, on prend des précautions particulières comme par exemple une limitation de la vitesse, on n'entreprend pas de travaux en été sur des voies en LRS ;
- Un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres ;
- Une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses. Pour minimiser le risque de déformations de voie, les LRS ne sont en général pas utilisées sur les voies sinueuses ou sur les terrains de mauvaise stabilité.

II.2.2. L'éclissage:

La continuité des fils de rails est assurée par l'assemblage bout à bout des barres par des éléments appelés éclisses (voir Fig. III.11) qui doivent:

- permettre la compensation des dilatations des rails dues à la température
- conserver dans la zone de l'assemblage les caractéristiques de résistance et d'élasticités présentées par la voie en plein barre.
- relier les rails de façon qu'ils se comportent comme une poutre continue.
- empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'un par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation.

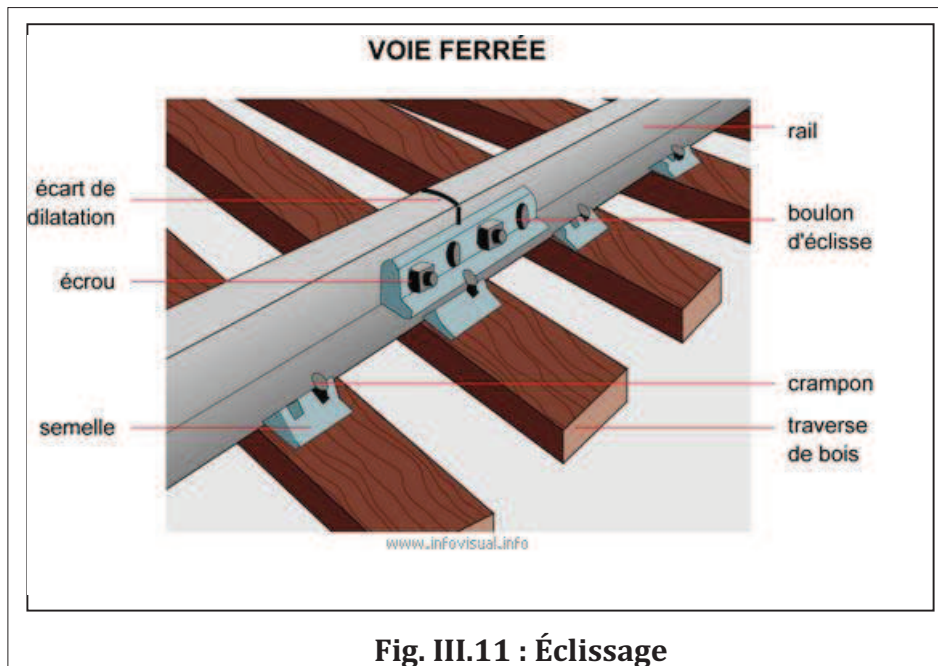


Fig. III.11 : Éclissage

Les éclisses supportent aux joints des efforts importants. Les problèmes des joints sont à envisager sous les aspects suivant:

- **Tenue mécanique:** lorsque l'essieu arrive au voisinage du joint, l'extrémité du rail amont tend à fléchir comme une poutre en console; cette flexion est contrariée par la présence de l'éclisse qui reçoit la charge vers le milieu de sa portée supérieure et la reporte sur le patin du rail. Il en est de même lorsque la roue a franchi la lacune.
- **Jeu de dilatation:** le rail en acier a la propriété de s'allonger sous l'effet d'une augmentation de température et se raccourcir sous l'effet de sa diminution. L'allongement thermique est donné par: $\Delta l = \alpha l \Delta T$; α étant le coefficient de dilatation thermique de l'acier et l la longueur de rail. L'éclisse doit permettre au rail de se dilater et se contracter librement en fonction des variations de température de sorte qu'elle doit être périodiquement graissée afin de faciliter le déplacement du rail. Pour permettre cette libre dilatation, le diamètre des trous de l'éclissage et le diamètre des boulons d'éclisses doivent être bien choisis.
- **Isolement électrique:** en vue d'assurer l'isolement électrique des deux files de rail sur les voies électrifiées, on utilise des éclisses qui comportent en plus les pièces suivantes:
 - ✓ Des fourrures isolantes placées entre l'éclisse et le rail de part et d'autre de ce dernier;
 - ✓ Des canons isolant cylindriques placés entre les trous d'éclissage et les boulons;

- ✓ Un profil isolant en matière plastique ayant la forme du rail serré entre les 2 extrémités des rails.

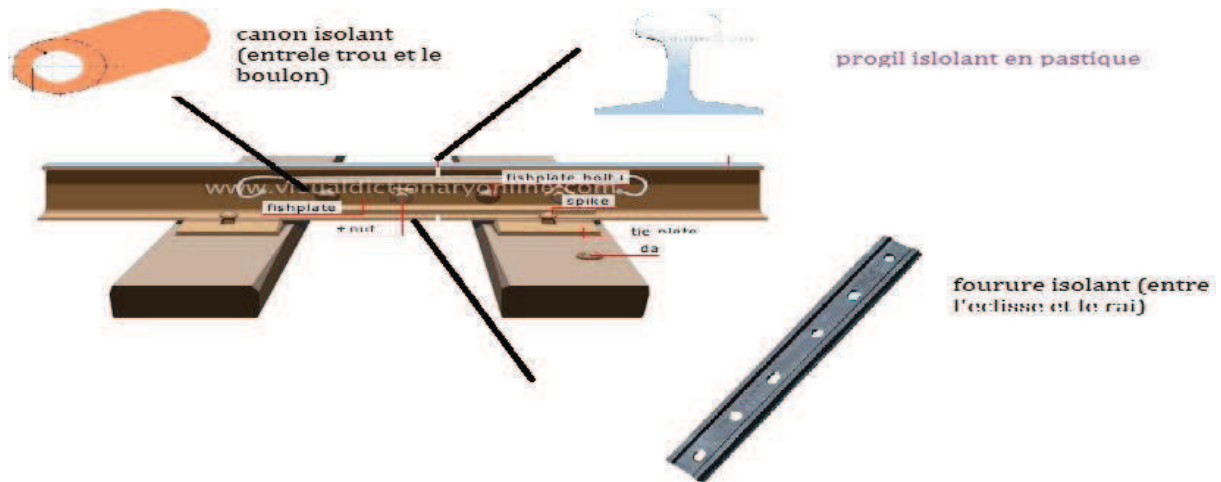


Fig. III.12: isolement électrique

Les premières éclisses étaient plates, mais elles ont été modifiées pour jouer un rôle d'anticheminant d'où l'apparition des éclisses à patin, des éclisses cornières et des éclisses doubles cornières.

III. Les traverses:

Les traverses assurent la transmission de la charge au ballast, et le maintien de l'écartement des rails. Les traverses peuvent être:

- En bois généralement du chêne (Fig. III.13): 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.



Fig.III.13: traverses en bois

- Métallique (ne sont plus utilisées Fig. III.14): elles ont la forme d'un U renversé. Leurs extrémités sont enfoncées dans le ballast pour empêcher tout déplacement. Vu leur légèreté, elles sont faciles à poser. Cependant, elles sont bruyantes et conductrices d'électricité, donc nécessitent des dispositifs d'isolement couteux.



Fig. III.14 : traverse métallique

- En béton, de durée de vie importante (50 ans), il en existe de deux types :
 - ✓ Monobloc en béton précontraint :

Les premiers types de traverses en béton armé étaient des traverses monoblocs (Fig. III.15) qui présentaient l'inconvénient d'une masse très élevée de l'ordre de 300 à 350kg.

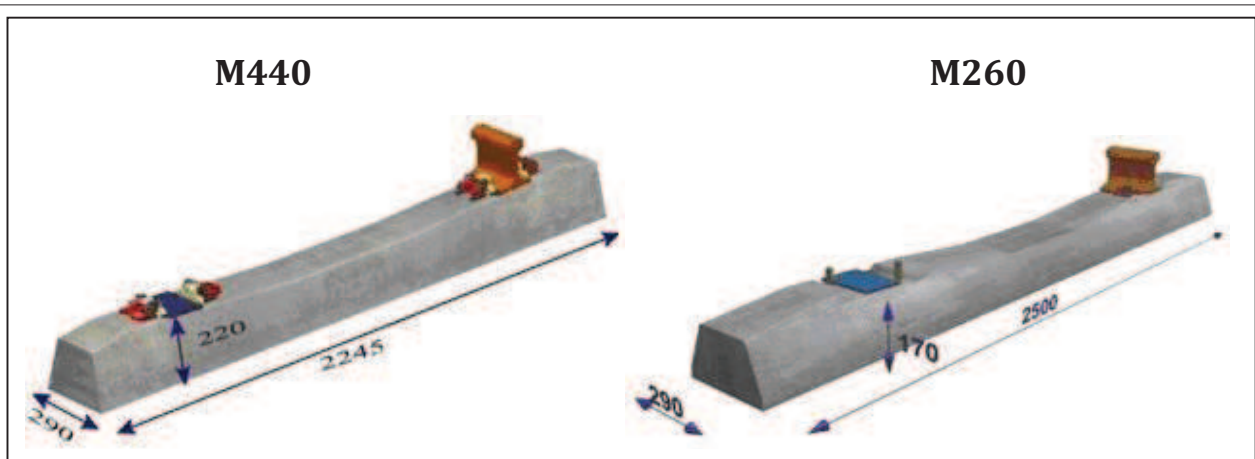


Fig. III.15 : Traverses monobloc:

- ✓ Bi bloc, 2 blochets en béton arme reliées par une barre métallique(Fig.III.16) :
- 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 blochet protégé du contact direct du rail par une semelle en caoutchouc ou en bois comprimé.

Quant à la fonction écartement, qui ne met en jeu que des efforts de flexion, elle est assurée par un fer U en acier doux entretoisant les deux blochets. La traverse bi-bloc est le type qui convient aux LRS.

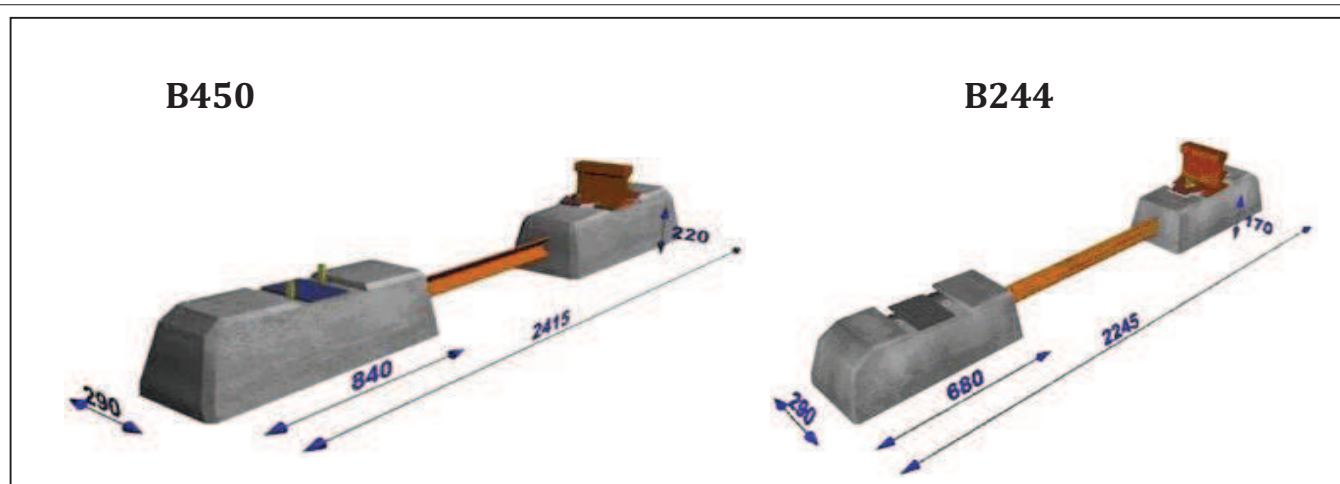


Fig. III.16 : Traverses béton bi-bloc

Dans notre projet on utilise des traverses bi-bloc de type V.A.X. U31 correspondant à la désignation actuelle française B440.

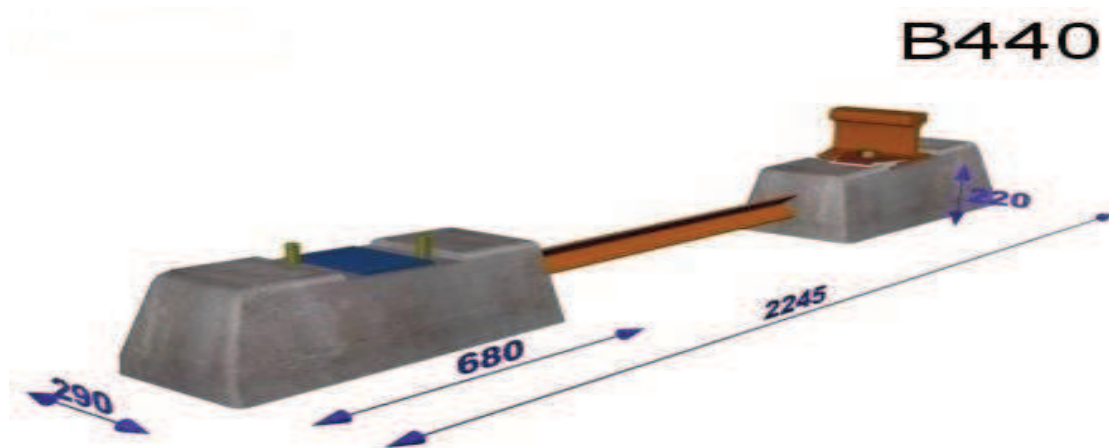


Fig. III.17 : traverse type B 440 anciennement VAX U31

Note :

La désignation des traverses est codée. La première lettre désigne le type de traverses, les trois chiffres suivants donnent des indications sur les dimensions de traverses (largeur, hauteur sous le rail).

Plus la voie est noble, plus les dimensions de la traverse seront importantes sauf pour des cas particuliers (tunnel, voie en quai, etc.....) où des traverses plus courtes, moins épaisses ou de type différent peuvent être requises.

Remarque:

Dans la pose des traverses, les charges sont d'autant mieux réparties que les traverses sont plus rapprochées. La distance entre deux traverses successives ne peut cependant être inférieure à une certaine valeur au-dessous de laquelle il ne serait plus possible de procéder aux travaux d'entretien de la voie pour lequel l'outillage doit être engagé entre les traverses. En général, cette distance est de 0,6 m et le travelage (c'est-à-dire le nombre des traverses au kilomètre) varie de 1500 à 1722 traverses par kilomètre. Généralement en Algérie, on utilise un travelage de 1666 traverses au kilomètre.

IV. Le système d'attaches :

Une attache est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse. Elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour empêcher tout déplacement. Une attache est dite « rigide » si, du fait du manque de souplesse des matériaux la constituant, elle n'accompagne pas le mouvement vertical du rail lors du passage des roues. Elle assure un bon maintien transversal du rail mais ne garantit en rien son maintien longitudinal, lui permettant ainsi de « cheminer », c'est à dire de se déplacer vers l'origine ou l'extrémité de la ligne sous les sollicitations de la dilatation ou des forces de freinage ou d'accélération des convois. Contrairement à l'attache rigide, l'attache dite « élastique » continue à assurer le maintien du rail lorsque celui-ci s'affaisse sous la charge des circulations. Elle s'oppose donc à son cheminement longitudinal et peut être utilisée pour la pose de LRS.

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



Fig.III.18: attache type Nabla

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

- Il ya quasiment 1,3 million d'attaches par 200 km de ligne à voie unique
- D'autre part sa rapidité de montage et son automatisation possible vont influencer sur les couts de pose, sa tenue dans le temps et un facteur très important vis-à-vis des couts de maintenance etc....

V. Le ballast:

Le ballast désigne le lit de pierre ou de gravier sur lequel repose une voie de chemin de fer. Son rôle est de transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement. Le rôle de ballast est aussi d'enclâsser les traverses afin d'assurer une résistance à la déformation longitudinale. On utilise généralement des granulats concassés, de granulométrie 25/50 pour les voies en lignes et 10/25 pour la correction de nivellement des voies.



Fig. III.19: Voie ballastée

Le ballast permet en raison de sa granulométrie particulière le drainage et l'évacuation rapide des eaux de pluie. Il constitue un amortisseur des vibrations très efficace (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments du ballast). Il permet aussi au moyen du bourrage (Fig. III.20) la rectification rapide du nivellement et du tracé ainsi que l'ancrage des traverses.



Fig. III.20 : Bourrage de ballast

Un bon ballast doit respecter les conditions suivantes :

V.1. La dureté globale:

Elle doit lui permettre de résister aux efforts reçus ainsi qu'à l'usure due aux vibrations engendrées par les charges roulantes (charge dynamique). Cette résistance doit être envisagée sous le double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs.

a. Résistance à l'attrition: les matériaux de la couche de ballast sous l'action des charges concentrées et des vibrations subissent des déplacements relatifs provoquant une usure par frottement aux points de contact entre les granulats. Ce phénomène a été reproduit en laboratoire avec l'essai Deval mais selon la procédure suivante:

- Granularité: 25/50
- Échantillon: 44 pierres dont le poids total sec est de 5000g \pm 50g
- Nombre de rotation : 10000 avec 2.00 rotations/ heure
- Maille du tamis : 1.6 mm
- mesure du coefficient Deval : $D=400/K$; k=perte spécifique due à l'usure inférieure à 1,6mm pour 10000g d'échantillons. Ce coefficient doit être supérieur à 14 pour les pierres dures et 12 pour les calcaires.

b) Résistance aux chocs: le ballast sous l'effet des contraintes qui lui sont transmises évolue aussi par les chocs engendrés par les traverses. Ce phénomène a été reproduit en laboratoire avec l'essai Los Angeles mais selon la procédure suivante:

- 5 kg de matériau dont 3 kg de 25/40 et 2kg de 40:50
- Une charge de 12 boulets en acier de 47 mm de diamètre.
- 10.000 rotations avec une vitesse de 30 à 35 tr/mn

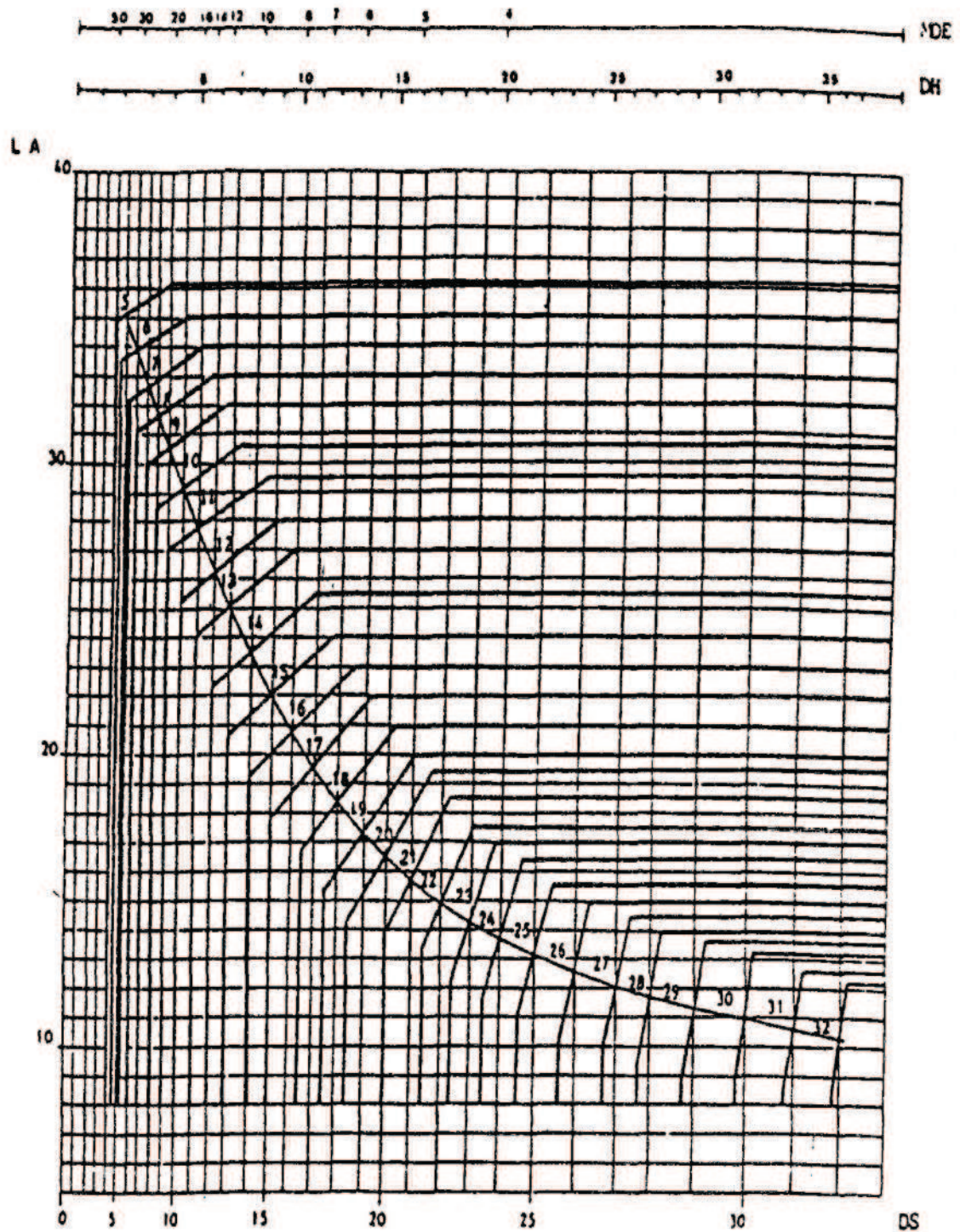
Le coefficient LA égal à $LA = (100 \times M) / 5000$ avec M la masse en grammes des éléments inférieurs à 1,6 mm.

c) Les duretés minimales :

La qualité du ballast est exprimée au moyen d'un coefficient dit de « dureté globale » DRG. Ce coefficient est établi à partir des deux essais classiques définis ci dessus (LA et MDE). Les duretés minimales souhaitables pour chaque catégorie de trafic sont :

- Lignes classiques avec voyageurs et vitesses inférieures à 200 km/h : DGR=17
- Lignes sans voyageurs : DGR=14
- Lignes à grandes vitesses supérieures à 200 km/h DGR=20

L'abaque ci-dessous permet la détermination pour chaque échantillon d'un coefficient de dureté DR en fonction de la valeur du Deval et los Angeles.



Utilisation de l'abaque

Cas des ballast

Fig. III.21 : Abaque donnant le coefficient DRG

V.2. Les éléments plats: le tamisage sur grilles à fentes (écartement E entre les barres) est réalisé sur les classes granulaires définies dans le tableau qui suit:

Tableau III.01 : valeurs du coefficient d'aplatissement

Classe granulaire d/D	Ecartement E	Tolérance normale en %
50-63	31,5	Le coefficient d'aplatissement A ne doit pas être supérieur à 12%.
40-50	25	
31,5-40	20	
25-31,5	16	

V.3. La propreté: les matériaux de ballast doivent être exempts de poussière, de débris terreux ou de toutes autres matières étrangères. La masse relative des éléments passant au tamis à mailles carrées de 1,6 mm ne doit pas excéder 0,5 %. Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuses). Cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie.

VI. La sous-couche:

Mono ou multi - couche, composée de matériaux grenus (sables ou graves) bien gradués qui comporte parfois des tapis de natures diverses: feuilles étanches plastique (géomembranes) ou feuilles en feutre synthétique anticontaminant (géotextile).

VI.1. Les rôles de la sous-couche:

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

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

La nature et l'épaisseur de la sous couche dépendent de trois facteurs

- les caractéristiques de sol proprement dit (nature, indice portance, sensibilité au gel, etc.)

- Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du site,
- Les conditions climatiques

VI.2. Les constitution de la sous couche:

- a. Une couche (sous-ballast)** en grave propre bien graduée 0/31.5 mm comportant au moins 30% de concassé, et compactée à 100% OPN, cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses ou elle sert de couche d'égalisation et où elle contribue à réduire la raideur de l'assise,
- b. Une couche de (fondation)** en grave propre bien graduée compactée à 100% OPN. Cette couche permet la circulation des engins de chantiers ((la couche sous- ballast) étant mise en œuvre en fin de chantier, lorsque les travaux de terrassement proprement dit sont tous achevés). la couche de fondation n'est pas nécessaire sur les meilleurs sols.

S'il y a lieu, une couche (anticonaminante) en sable propre et complétée en outre par une feuille de feutre synthétique (géotextile).

VII. La voie sans ballast:

VII.1. description des différentes techniques utilisées :

Après des décennies de conception de voie ballastées, y compris pour les voies à grande vitesse, la voie sans ballast (Fig. III.22) à de plus en plus de partisans, qui mettent en avant:

- son moindre cout pour la maintenance.
- Les gains en tracé (certaines géométries complexes ne peuvent pas être réalisées en ballast et nécessitent un allongement des tracés) pouvant compenser le surcout de la voie sur dalle.
- L'absence de risque d'envol de ballast
- L'absence de risque de déformation des LRS.

Plusieurs techniques existent actuellement, toutes utilisent une dalle en béton armé installée soit en continu grâce à une machine spécialisée (machine à coffrage glissant), soit en éléments préfabriqués, soit par la mise en œuvre de béton coulé en place. IL faut s'attendre à ce que cette technologie prenne de l'ampleur à l'avenir, notamment du coté des lignes à grande vitesse.



Fig. III.22 : Voie en dalle de béton (sans ballast)

Les traverses peuvent être maintenues en place de plusieurs façons: la plus courante est l'utilisation de ballast, Si cette méthode est avantageuse à la construction, elle nécessite cependant une hauteur totale de voie importante et beaucoup d'entretien.

Une autre technique existe, consistant à noyer les traverses dans un béton de calage. La pose est facilement réalisable et nécessite peu de maintenance.

Remarque: Ce type de conception ne permet pas le remplacement des traverses en cas d'incident. D'autre part, il nécessite la mise en œuvre d'une grande quantité de ferrailage à la pose. La figure III.23 montre les différentes étapes de la construction d'une voie de traverses en béton noyées dans la dalle.



Les différentes étapes de la construction de la voie :

- pose des traverses en béton sur la chape en béton
- disposition d'armatures intermédiaires ;
- positionnement des rails (selles, boulons, ressorts)
- installation des bordures latérales (auget) ;
- constitution de la dalle définitive.



Fig. III.23 : les différentes étapes de construction d'une voie en béton

On peut aussi réaliser des voies sans ballast en dalle en béton préfabriquée qui trouve son emploi surtout dans les cas où la mise en œuvre d'une épaisseur importante de ballast et l'encombrement de l'assainissement conduisent à réaliser, en terrain rocheux, des travaux de terrassement importants. Pour s'affranchir de ces travaux de déroctage lourds et coûteux, la réalisation d'une dalle mince de béton, associées à une pose de voie directe sur selles est une solution technique permettant d'optimiser l'encombrement vertical de la voie et sa structure d'assise. Innovante, Cette technique ouvre les perspectives de réduire les interventions d'entretien des voies.

La surface mince en béton armé est réglée avec une tolérance de l'ordre du centimètre. Les rails sont fixés sur des selles élastiques. Celles-ci sont réglées puis scellées dans le béton, permettant d'obtenir le niveau exact du plan de roulement des rails. Cette pose permet d'envisager une augmentation future de la vitesse des trains. Elle facilite son entretien par l'emploi des matériels mécanisés et informatisés. (Voire fig. III.24)



Fig. III.24 : Voie en dalle béton préfabriquée et Partie d'une dalle préfabriquée

Ce type de conception à l'avantage de la rapidité à la pose, car les éléments préfabriqués peuvent être stockés avant le chantier. La géométrie entre les dalles et la liaison des dalles sur les fondations pour la transmission des efforts sont les points à surveiller. Le franchissement des ouvrages d'art est également complexe techniquement. Cette conception de voie sur dalle a été largement adoptée par la Chine.

Une autre technique consiste à maintenir les rails dans une engravure qui peut être moulée dans une dalle en béton. On appelle cette technique la technique des rails noyés ou **ERS** (Embedded Rails Systems):

Il s'agit d'un système de fixation en continu dont la caractéristique principale est l'absence totale des éléments de fixation traditionnelle, tels que les plaques, les boulons, les selles, etc. (Voir figure III.25).

Après réglage et calage, le rail est enrobé et collé par une résine dont les capacités mécaniques sont fonction des besoins de projet (atténuation des bruits et des vibrations). Cette résine doit être invariable dans le temps et résister au rayonnement et aux agressions chimiques, thermiques et mécaniques. De plus, elle doit être facile à employer dans des conditions courantes de chantier. Elle doit en plus répondre aux exigences suivantes :

- Conditionnement adapté des composants.
- Consistance et temps de polymérisation réglés en fonction du travail à réaliser ;
- Collage parfait sur toutes les surfaces ;
- insensibilité à l'humidité.

Les avantages du système ERS:

- Réduction des bruits et des vibrations ;

- Augmentation de la durée de vie des rails grâce au support vertical et au calage latéral en continu par la résine élastique et par l'absence de forces dynamiques induites par la flexion des traverses ;
- Réduction de la hauteur de la construction (tunnels, ouvrages d'art, gares) ;
- Technique utilisable pour toute la gamme des rails existants ;
- Soudage et meulage des rails sans contraintes en dehors de la réservation ;
- Réglages avec outillage courant ;
- Entretien réduit au minimum: moins de pièces desserrées ou corrodées.
- Remplacement aisé du rail.



Fig.III.25 : Mise en œuvre du système d'ERS

VII.2. Les avantages de la voie en béton :

Ils sont perceptibles aussi bien dans le cout de la construction que sur les dépenses d'entretien.

VII.2.1. Coûts de la construction:

- Réduction du cout de la réalisation par la possibilité d'augmenter le gabarit du tunnel (lors des travaux de rénovation) ou de diminuer le diamètre du tunnel (Surface bétonnés, excavations) en travaux neufs.

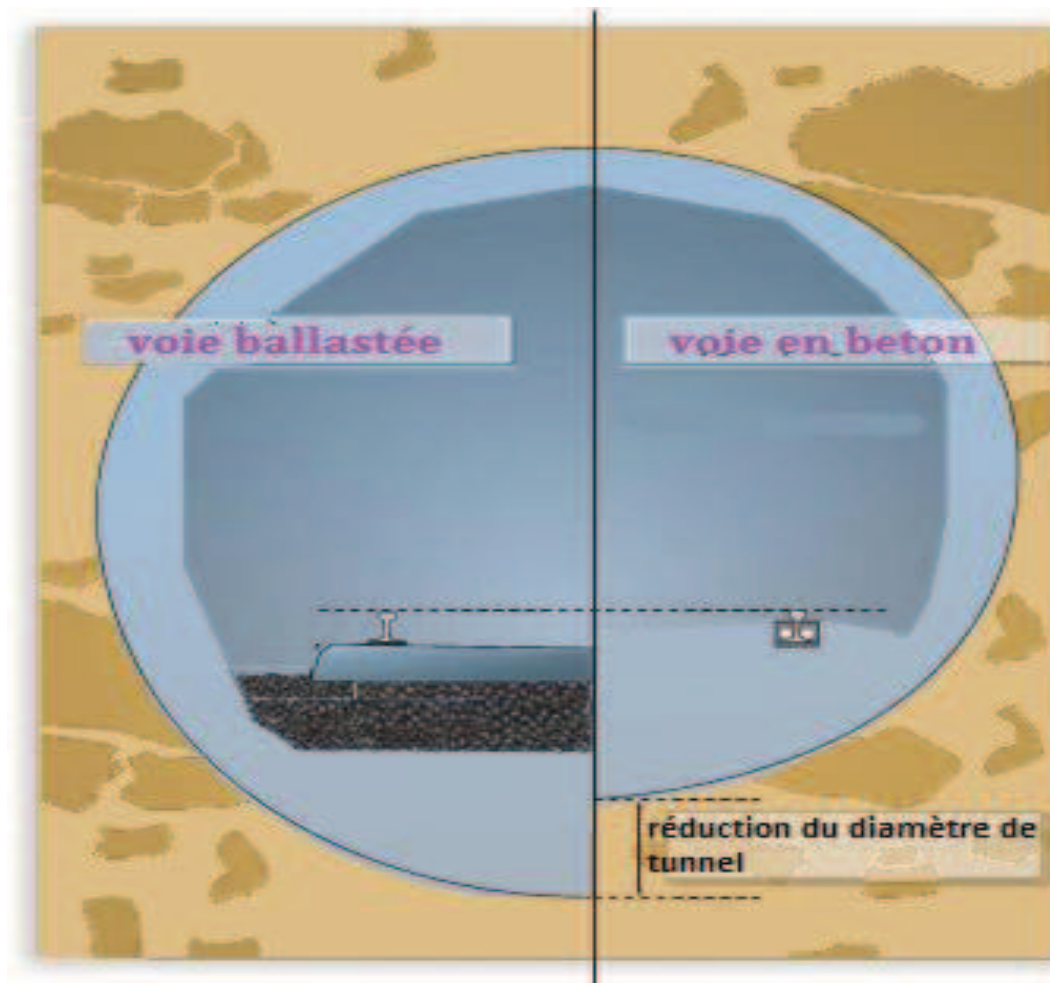


Fig.III.26 : tunnel ferroviaire

- Réduction du temps de pose des rails (Le réglage et le coulage sont plus simple que dans le cas des fixations classique) en tenant compte de l'ensemble des paramètres, la pose en rail noyé est comparable aux systèmes existants.

VII.2.2. Dépenses pour l'entretien:

- Entretien pratiquement nul pour le rail (plus de réglages ou de boulons à resserrer) ;
- Accès facile pour les véhicules sur pneus (inspection et entretien de l'équipement du tunnel) ;

- Réparations ponctuelles sur les rails facilitées (remplacement des rails cassés, rechargement des rails usés) ;
- dans le cas d'accident grave (choc, déraillement ou feu) s'il est nécessaire de remplacer des longueurs importantes, le support n'ayant pas bougé, les réglages et la pose seront bien moins chers qu'avec des fixations classiques.

VII.2.3. Avantages techniques:

- le rail est naturellement isolé électriquement ;
- le collage continu donne des valeurs négligeables de dilatation même sur des grandes longueurs ;
- La durée de vie des rails est augmentée par le support en continu, grâce à la disparition de l'effet ondulatoire (usure excessive du rail sur les traverses) et des efforts de fatigue.

VII.2.4. Avantages environnementaux:

Le bruit est un élément de confort incontournable. Le système ERS permet la diminution du bruit solide grâce à sa rigidité et à l'absence totale de ponts acoustiques entre rail et support. Le bruit aérien est également diminué par l'encapsulage du rail (effet de « silentbloc »).

VII.3. Comparaison entre une voie classique (ballastée) et une voie en béton:

Le tableau suivant propose une comparaison technique entre les deux voies :

Tableau III.02. comparaison technique entre les deux types de voies

	Voie avec ballast		Voie en béton	
	avantages	inconvénients	avantages	inconvénients
conception	- tenue de la géométrie de voie apte à l'usage -niveau sonore faible	- projection de ballast à grande vitesse ; - Résistance latérale au déplacement limitée -Transfert des vibrations élevé	-Réduction de la hauteur de la structure. -Pas de défragmentation de ballast. -Haute résistance aux déplacements latéraux et longitudinaux	Problème de fissuration de béton dans les zones chaudes

construction	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtrise à grande Vitesse -Largement mécanisée -Faible sensibilité aux imperfections de fabrication -Prix maîtrisé 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation de quantités importantes de granulats 	<ul style="list-style-type: none"> -Cadences rapides (en fonction de l’approvisionnement en béton) -Expériences étrangères Favorable -Maîtrise globale des cadences et des coûts 	<ul style="list-style-type: none"> -Expérience algérienne réduite sur le contrôle et la surveillance de ce type de voies -Transition voie béton / voie ballastée demandant une réalisation rigoureuse
maintenance	<ul style="list-style-type: none"> -Techniques de maintenance parfaitement maîtrisées 	<ul style="list-style-type: none"> -Dégradation du ballast -évolution à long terme de la géométrie de voie -Obligation d’un suivi des opérations de contrôle 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande durabilité générale de la voie béton sans action de reprise ou de nivellement 	<ul style="list-style-type: none"> - Expérience algérienne faible vis-à-vis de la maintenance des rails

VIII. Conclusion :

Le point de vue économique est primordial dans le choix d’une pose de voie béton. Une vision globale intégrant à la fois les coûts de construction et les coûts d’exploitation s’impose. Si l’enveloppe finale élevée a été un frein au développement de cette technique, aujourd’hui, la prise en compte, d’une part, des coûts globaux et, d’autre part, des critères de développement durable, permet de relativiser cette affirmation.

La pose de voie béton est particulièrement intéressante pour les tunnels ferroviaires ainsi d’ailleurs que sur les ponts. Les opérateurs japonais ont la meilleure expertise de ces opérations. Les coûts de construction des voies sur dalle en béton au Japon sont de l’ordre de 1,3 à 1,5 fois moins chers que ceux des voies classiques.

Sur les ponts et viaducs, l’avantage des voies sur dalles est plus net grâce au gain de poids mort sur les infrastructures. La voie sur dalle béton permet un maintien de l’état des voies plus long que la voie classique. Il n’existe aucun phénomène de défragmentation du ballast. Ce facteur s’intègre dans les coûts de maintenance qui sont d’un rapport 4 en faveur de la voie béton.

En conclusion, et selon l’expérience japonaise, l’excédent d’investissement de la voie béton est amorti entre deux et six années d’exploitation. Il convient de souligner que l’expérience allemande dans ce domaine conduit à des conclusions similaires.

Tracé en plan

I. Introduction:

Un tracé ferroviaire en plan est constitué de tronçons en alignement et de tronçons en courbes circulaires, entre lesquels il faut généralement intercaler des courbes de raccordements. Pour obtenir une vitesse régulière sur un tronçon de ligne, il est nécessaire d'établir un tracé dont les caractéristiques géométrique soient homogènes.

Les fréquents changements du tracé (alignement, courbe de raccordement, courbe circulaire), ainsi que les éléments géométriques de courte longueur influencent négativement la marche des véhicules et le confort des usagers tout en compliquant l'entretien de la voie.

Dans les voies mixtes le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

V v: vitesse des trains de voyageur (vitesse rapide).

V m: vitesse des trains de marchandise (vitesse lent).

II. Règle à respecter pour le tracé en plan :

- adapter le tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- éviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestiers.
- éviter au maximum les propriétés privées.
- éviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques.
- éviter les sites qui sont sujets a des problèmes géologiques.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement.
- éviter les terrains à forte plasticité.

Vu les caractéristiques propres aux voies ferrée, les courbes doivent être établies avec le rayon de courbure le plus grand possible. La valeur du rayon de courbure est fonction de la vitesse de circulation des trains dans la courbe est donnée comme suit par les règlements:

- TGV R= 4000m.
- Ligne parcourues à 160 km/h on se limite à R= 1000 m.
- Dans les gares et sur les voies où la vitesse est faible, on peut tolérer des courbures de 180 m de rayon exceptionnellement 150 m.

III. élément du tracé en plan :

Le tracé en plan est constitué par des alignements et des courbes comme indiqué sur la figure suivante:



Fig. IV.01 : Raccordement progressif

III.1.L'alignement:

C'est le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, outre le confort apporté aux voyageurs.

III.2.La courbe:

Par cette appellation, on désigne les courbes dans le plan ainsi que les éléments de transition qui y sont associés (cercle et courbe de raccordement). Sauf spécification contraire, les paramètres de la courbe sont définis par rapport à l'axe de la voie.

a. L'arc de cercle:

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au raccordement circulaire. Vu le poids important des convois, le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

b. La courbe de raccordement:

C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon $R = \infty$ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle.

Il y a plusieurs types des courbes de raccordement mais le plus utilisable est la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure, la stabilité et le confort. Elle présente en plus un aspect esthétique satisfaisant.

IV. Mouvement d'un véhicule dans une courbe

D'après les lois de la mécanique classique, un point matériel qui se déplace dans une

courbe subit une force centrifuge. Cette force vaut : $F = \frac{m \cdot V^2}{R} = m \cdot a_c$

F: la force centrifuge en newton(N)

m: masse en grammes

V: vitesse en m/s

ac: l'accélération centrifuge en m/s^2

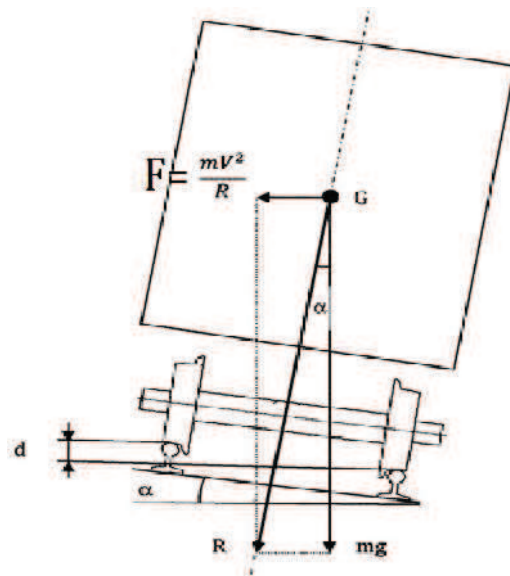


Fig. IV.02 : schéma statique des forces exercées sur un véhicule en courbe

p est l'accélération latérale est la composante latérale de la résultante de l'accélération de la pesanteur et de l'accélération centrifuge (on peut dire que c'est la l'accélération que les voyageurs ressentent dans la courbe).

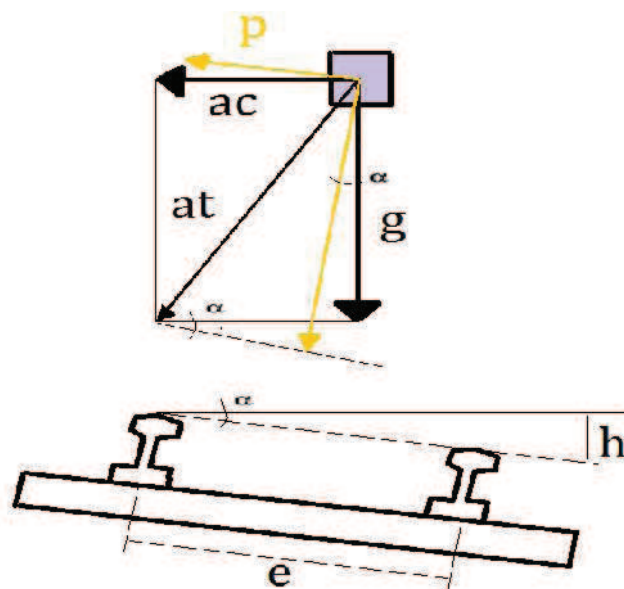


Fig. IV.03: Schéma statique des accélérations exercées sur le véhicule

$$p = \frac{V^2}{12,96 R} - 9,81 \frac{h}{e}$$

P: accélération latérale en m/s²

R: rayon en m

h: devers en mm

e: entraxe des rails en mm

IV.1. Influence de l'accélération latérale:

L'accélération latérale influence grandement le confort du voyageur qui la ressent directement comme un effort le poussant contre la paroi du véhicule. Cette accélération est différemment ressentie selon la position du voyageur (debout, assis ou couché).

Les variations brusques de cette accélération sont ressenties de manière encore plus désagréable. Cette accélération influence de la même façon l'arrimage des marchandises dans les wagons et est une des causes principales de l'usure latérale des rails.

De plus, elle influence directement les conditions de sécurité car elle tend à favoriser le déraillement du train

De tout ceci, on peut retenir que:

- a. L'accélération latérale ne peut dépasser certaines limites pour des raisons de sécurité et de confort;
- b. Elle ne peut changer brutalement; si un changement est nécessaire, il doit être progressif.

Des essais pratiques ont montré que des accélérations latérales de 1 m/s² sont raisonnablement supportés par des voyageurs assis et admissibles pour des voyageurs debout. Cependant, la fatigue ressentie par le voyageurs dépend non seulement de la valeur des accélérations subies mais encore du temps pendant lequel elles agissent. Aussi, les valeurs maximales ne peuvent être atteintes que rarement et une ligne complètement construite sur leur base serait inconfortable

L'accélération latérale maximale n'engendrant pas l'inconfort du voyageur se situe dans l'intervalle:

$$0,6 \text{ m/s}^2 \leq P \text{ max} \leq 0,9 \text{ m/s}^2$$

V. Devers ou surhaussement:

Pour franchir les courbes sans risque de déraillement du train et sans risque de dommages sur la voie à cause de l'accélération latérale, il faut annuler ou modérer la force de l'accélération latérale, avec un soulèvement d'une file de rail de la voie. Cette

différence de niveau dans une courbe est appelée dévers. Généralement elle est réalisée avec une variation progressive dans toute la longueur de courbe de raccordement.

Il y a plusieurs manières de mettre en place un dévers :

- ✓ On relève le rail extérieur de la valeur du dévers h sans modifier le niveau du rail intérieur.
- ✓ On abaisse le rail intérieur de la valeur de h sans modifier le niveau du rail extérieur.
- ✓ On modifie les niveaux des 2 rails, le rail extérieur étant relevé de $h/2$ et le rail intérieur abaissé de la même valeur.

Pour des raisons pratiques d'exécution sur le terrain, la plupart des réseaux adoptent la première méthode.

V.1. Dévers théorique :

Le dévers théorique correspondant à une vitesse V et un rayon R est par définition le dévers qui rend nulle l'accélération latérale subie par un véhicule roulant dans une courbe.

$$p = 0$$

Dans une courbe de rayon R , la force F vaut : $F = mV^2/R$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{R.g}$$

On a : $d = e.\sin \alpha$ (α est petit $\Rightarrow \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$)

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

Pour : $e = 1.5\text{m}$, $g = 9.81\text{m/s}^2$ et V (m/s) = $(1/3.6).V(\text{km/h})$

D'où : $d = 0.0118 V^2/R$ (R en m, d en m et V en km/h)

$$\text{Ou bien : } d = 11.8 \frac{V^2}{R} \text{ avec } d \text{ en mm}$$

V.2. Dévers réel :

En pratique, rouler au dévers théorique est impossible car les trains roulent souvent à des vitesses différentes selon leur nature (train de marchandises ou train de voyageur)

et leur type. Le dévers réel choisi est normalement un peu inférieur au dévers théorique sans dépasser une certaine limite.

- Si on adopte pour vitesse V , la vitesse V_{\max} des train de voyageur, leur confort serait parfaitement assuré, par contre ,les train de marchandises auront un démarrage difficile sinon impossible en cas d'arrêt dans les courbes et en outre risqueraient l'écrasement du champignon.
- Si on adopte pour vitesse V , la vitesse V_{\min} des trains lents, le dévers serait nettement insuffisant pour les trains de voyageurs, ce qui se traduirait par un inconfort pour eux.
- On adopte alors une solution de compromis donnant une insuffisance de dévers I pour les trains de voyageurs plus rapides et un excès E de dévers pour les trains de marchandises plus lents.

V.2.1.dévers minimum et insuffisance de dévers:

La valeur minimale admissible du dévers est obtenue simplement par l'équation suivante:

$$d_{\min} = \frac{11.8 \cdot V_{\max}^2}{R} - I_{\max}$$

Le premier terme de cette équation correspond au dévers théorique qui varie avec le rayon et la vitesse, le second est un terme constant qui correspond au maximum autorisé de l'insuffisance de dévers.

La valeur limite pour l'insuffisance de dévers I est fixée à 150 mm (exceptionnellement 160 mm).

V.2.2.Dévers maximal et excès de dévers:

Les valeurs limites pour l'excès de dévers dépendent de l'intensité du trafic quotidien des trains de marchandises et sont déterminées de la façon suivante:

Tableau IV.02 : les valeurs d'excès de devers (fiche UIC)

Tonnage journalier	E_{\max} (mm)
Volume \leq 45000 T/J	70
25000 < volume < 45000	80
10000 < volume < 25000	90
Volume \leq 10000	100

En Algérie, la SNTF a longtemps utilisée les valeurs suivantes pour les voies courantes dont la vitesse est inférieure à 220km/h.

Tableau IV.3 : les valeurs d'excès de devers (SNTF)

Valeur maximale normale	110mm
Valeur maximale exceptionnelle	130mm

La formule qui donne la valeur du dévers maximal est la suivante:

$$d_{\max} = \frac{11 \cdot 8 \cdot V_{\min}^2}{R} + E_{\max}$$

V.2.3.Détermination de la valeur du dévers réel:

On a deux méthodes de fixation de la valeur du dévers réel

a. La méthode ancienne de la SNTF:

Le SNTF proposait une approche très simple pour la détermination du dévers réel qui consistait à fixer le dévers normal ou réel à 70% du dévers théorique tout en limitant ce dévers normal à 160 mm

$$d_{\text{réel}} = 0,7 \frac{11 \cdot 8 \cdot V_{\max}^2}{R} \leq 160 \text{ mm}$$

b. méthode universel (UIC) : cette méthode consiste à définir le dévers normal en prenant en compte un coefficient de dévers C qui doit être **un multiple de 15** et qui est donné par :

$$d_{\text{réel}} = \frac{1000 \cdot C}{R}$$

$$C = \frac{R_{\min} \times d_{\max}}{1000} \quad \text{Et on a} \quad R_{\min} = \frac{11 \cdot 8 \cdot V_R^2}{(d_{\max} + I_{\max})}$$

R_{\min} : Rayon minimum

$d(R_{\min})$: Dévers pratique correspondant au rayon minimum.

V_{\max} : Vitesse du train voyageur.

V_{\min} : Vitesse du train marchandise.

c. Méthode de (SNCF) :

Les mêmes formules de calcul de dréel par la méthode UIC sauf le calcul de coefficient C :
Ceci est méthode valable pour les voie ≤ 220 km /h (utiliser par la SNTF)

$$C = 0,006 \times V_{\max}^2$$

VI. les courbes 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 subie 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

VI.1. La géométrie des courbes de raccordement:

Les courbes de raccordement de la voie en plan doivent être conçues pour limiter la variation de l'accélération latérale non compensée P afin de répondre à des exigences de confort (Fig. IV.04)

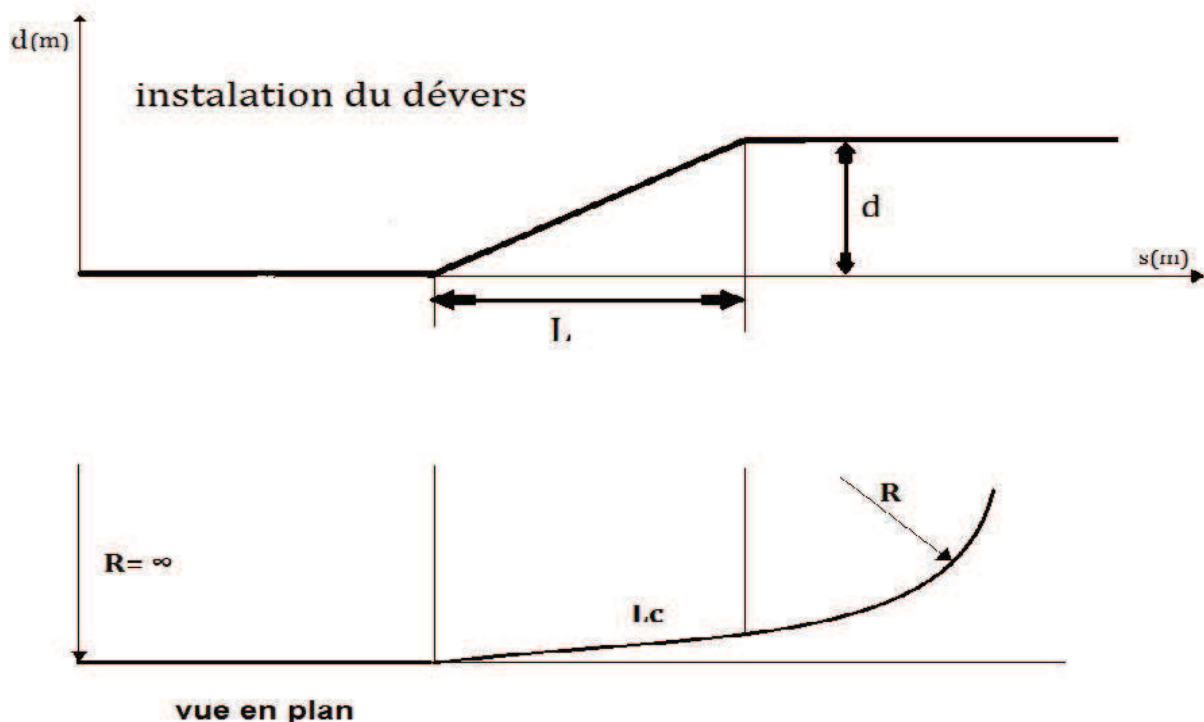


Fig.IV.04: courbe de raccordement

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

- a. Radioïde aux abscisses, parabole cubique ou de Nördlingen (Fig. IV.5)

La courbure est proportionnelle à l'abscisse X mesurée depuis le point d'inflexion O

$$\frac{1}{R_p} = k \cdot X_p$$

D'implantation aisée, son utilisation était autrefois généralisée dans le domaine des chemins de fer.

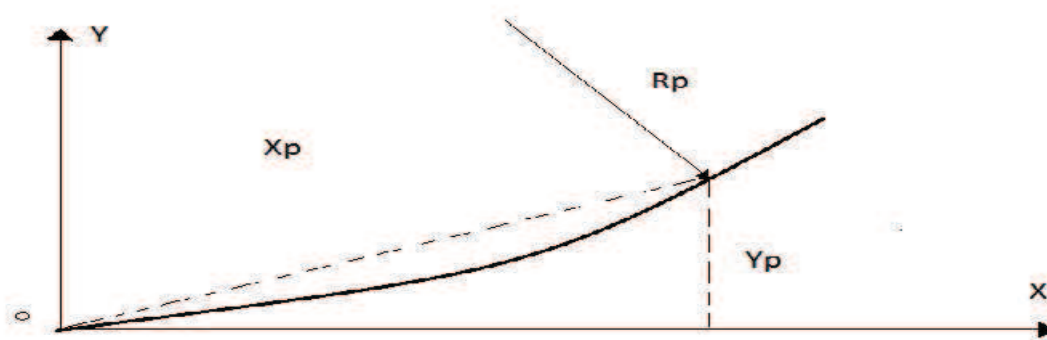


Fig. IV.05: illustration d'une parabole cubique

- b. Radioïde aux arcs : clothoïde ou spirale de cornu (Fig. IV.06)

Courbure proportionnelle à l'abscisse curviligne L mesurée depuis le point d'inflexion O .

$$\frac{1}{R_p} = k \cdot L$$

Répondant le mieux aux conditions spécifiques de trafic, la Clothoïde a totalement remplacé la parabole cubique pour les tracés de chemins de fer. Son utilisation dans les projets routiers est également généralisée.

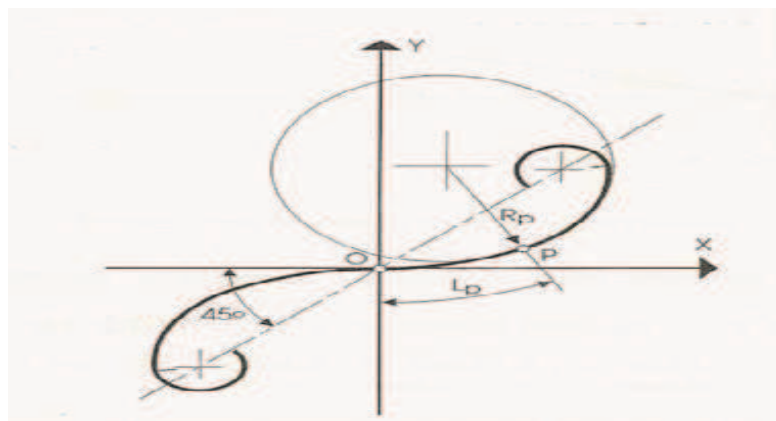


Fig. IV.06: illustration d'une parabole cubique

Avec l'apparition des moyens de calcul informatique, tant le calcul de l'axe que le piquetage des Clothoïdes, a été largement facilité. Le tracé de la clothoïde ne diffère guère de celui de la parabole cubique. Les deux courbes peuvent en effet être

approximées dans ce domaine par la formule suivante : $\frac{1}{R_p} = \frac{X^3}{6 \cdot X \cdot L}$

VII. Le raccordement de devers:

L'installation de devers se fait progressivement sur une certaine longueur appelé rampe de raccordement de dévers. La géométrie de la rampe de devers (file de rail extérieur) peut être réalisée de différentes manières:

- La variation linéaire (SNTF, SNCF, UIC....) (Fig.IV.07)

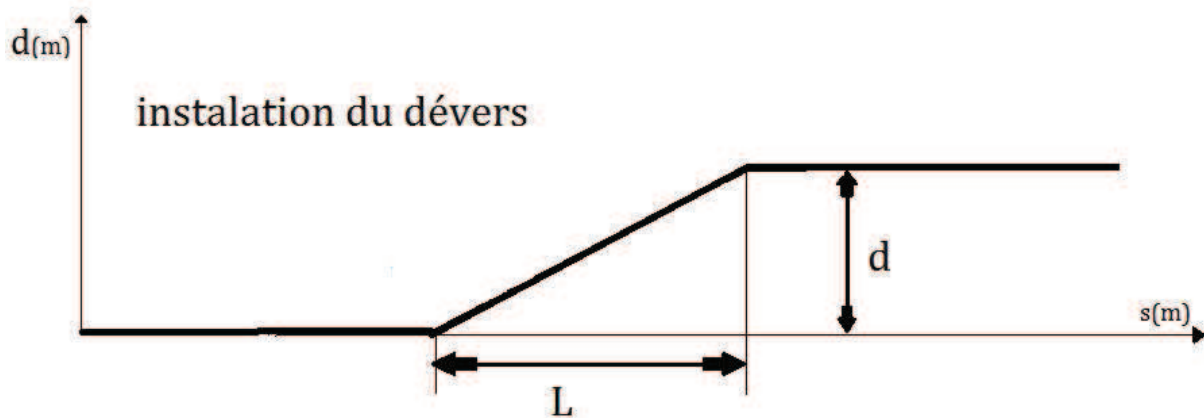


Fig.IV.07: Raccordement linéaire du devers

- Variation sinusoïdale (ligne à grande vitesse du Tokaido)
- Ligne brisée avec doucines pour atténuer la brisure de la trajectoire du centre de gravité des véhicules (Fig. IV.10)

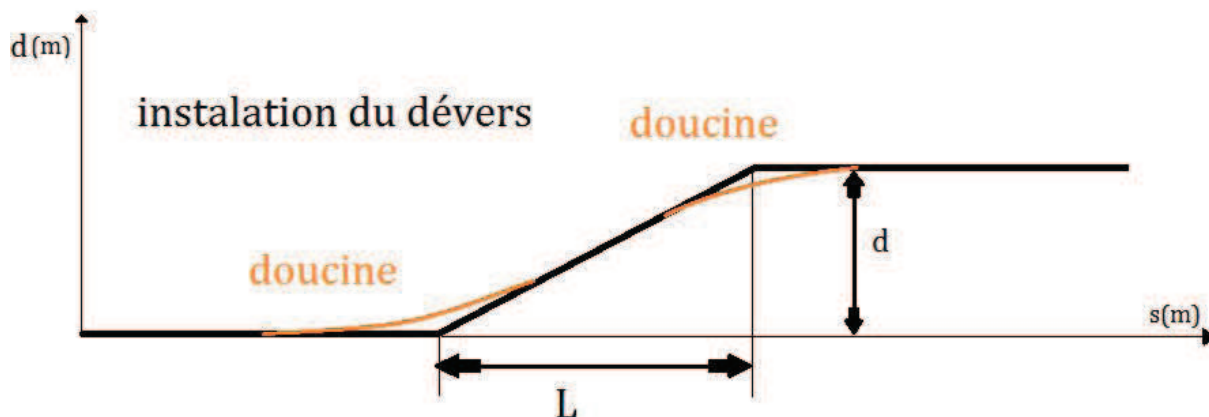


Fig. IV.10 : Raccordement linéaire du devers avec doucines.

- Rampe arquée (DB....) (Fig. IV.11)

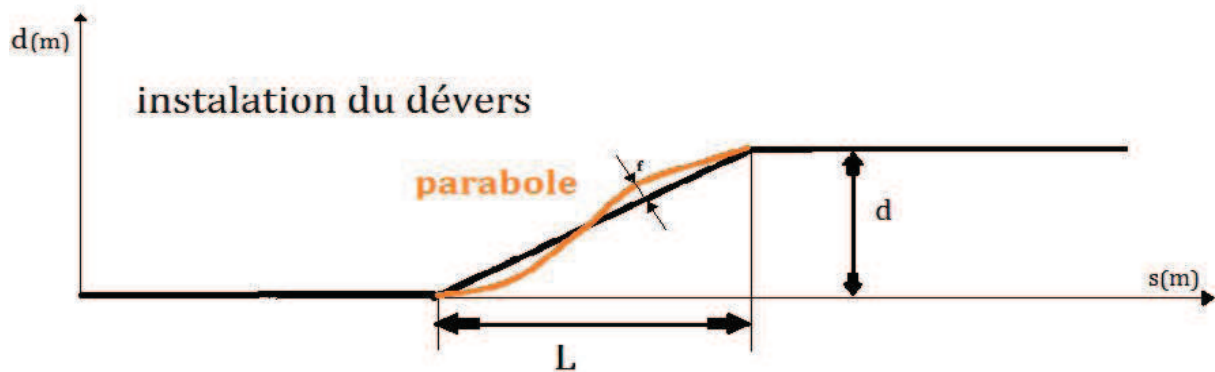


Fig. IV.11: Raccordement parabolique du dévers

VII.1. Condition de raccordement :

Pour des raisons de sécurité et de confort il faut respecter deux conditions dans la courbe de raccordement : la condition de gauchissement (sécurité) et la condition de confort dynamique, ces deux conditions seront définies plus bas.

a. Notion de gauche nominal:

La variation du dévers par unité de longueur s'appelle le gauche nominal (g) (Fig. IV.12) et s'exprime en mm/m ou sous la forme d'un rapport d/L comme par exemple 1/1000 ou 1 mm/m.

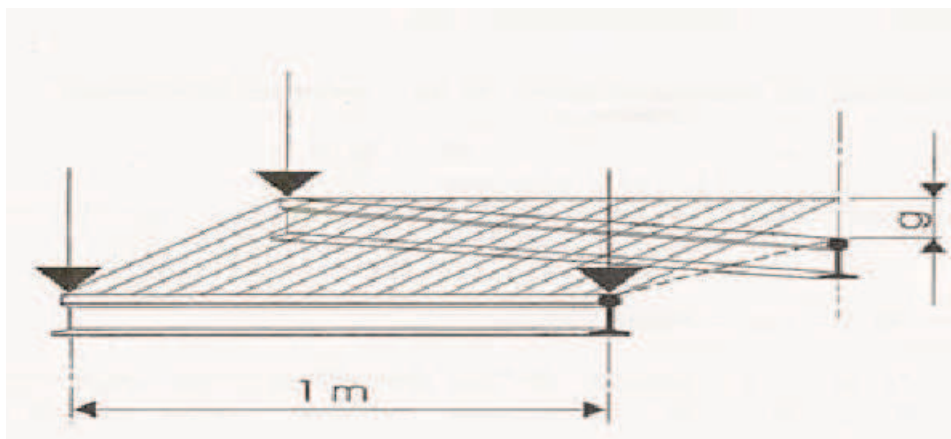


Fig. IV.12: illustration du gauchissement

Le gauche maximal admissible est donné en fonction de la vitesse V par:

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq \frac{180}{V_{\max}} \quad \text{Et exceptionnellement}$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq \frac{216}{V_{\max}} \leq 4 \text{ mm/m}$$

b. Longueur de la rampe de dévers:

La longueur minimale de la rampe de dévers est :

$$L_{\min} = \frac{d \times V_{\max}}{180}$$

Exceptionnellement:

$$L_{\min} = \frac{d \times V_{\max}}{216}$$

V (km/h) et h (mm)

De plus la longueur de la rampe de dévers doit être telle que:

$$L \geq 0,4 V_{\max} \geq 30 \text{ m} \quad \text{et} \quad L \leq \frac{R}{4}$$

VIII. Application au projet:**a. La Méthode française (SNCF) :**

- Calcul de coefficient de devers C:

$$C = 0,006 \times 160^2 = 153,6$$

Tableau IV.04 : Les valeurs des éléments caractéristiques du tracé en plan pour le (référentiel de SNCF) utiliser par SNTF

valeurs	Normales	exceptionnelles
I (insuffisance de dévers) (mm)	150	160
E (Excès de dévers) (mm)	110	130
d (dévers) (mm)	160	180
$\Delta d/\Delta l$ (Variation de dévers) (mm/m)	1,125	1,35
$\Delta I/\Delta t$ (Variation d'insuffisance de devers) (mm/s)	75	90

- Calcul de rayon minimal : $R_{\min} = \frac{11,8 \cdot 160^2}{(160 + 150)} = 975 \text{ m}$

- Calcul de devers pratique (réel):

Pour vous donner un exemple on prend R = 2000 m

$$d_{\text{réel}} = \frac{1000 (153,6)}{2000} = 76,8 \text{ mm}$$

- Calcul de l'insuffisance (I) et l'excès de devers (E):

On fait le calcul avec R= 2000 m

On a **$I = d_{th} - d_r$**

A.N:

$$I = \frac{11,8 (160)^2}{2000} - 76,8 \text{ mm} = 74,24 \text{ mm}$$

$I = 74,24 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$ (vérifié)

Et on a **$E = d_r - d_{th}$**

A.N:

$$E = (76,8) - (11,8 \cdot (100)^2 / 2000) \Rightarrow \mathbf{E = 17,8 \text{ mm} < 110 \text{ mm}}$$
 (vérifié)

- Calcul de longueur de clothoïde (L):

On fait le calcul pour R = 2000 m

- ✓ Condition de gauchissement :

$$L_{\min} = \frac{d V_{\max}}{180} = \frac{76,8 \times 160}{180} = 68,27 \text{ m}$$

- ✓ Condition de confort dynamique (variation de l'insuffisance de divers) :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} \leq 75 \text{ mm / s} \Leftrightarrow \frac{I \cdot V_{\max}}{3,6 L} \leq 75$$

$$L \geq \frac{I \cdot V_{\max}}{270} \Leftrightarrow L \geq 44 \text{ m}$$

Et pour le référentiel français :

$$L_{\min} = 60 \text{ m}$$

Donc on prend L= 100 m

- Calcul de paramètre de clothoïde(A):

$$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{2000 \times 100} = 447,21$$

b. La Méthode universel (UIC) :

Tableau IV.05 : Les valeurs des éléments caractéristiques du tracé en plan par UIC

Valeurs	Normales	Maximales	Exceptionnelles
I (insuffisance de dévers) (mm)	100	120	150
E (Excès de dévers) (mm)	70	90	110
d (dévers) (mm)	120	150	160
di/dt (mm/s)	25	70	-
dd/dt (mm/s)	28	35	-

- Calcul de rayon minimal R min :

$$R_{\min} = \frac{11,8 \cdot 160^2}{(120 + 100)} = 1375 \text{ m}$$

- Calcul de coefficient C :

$$C = \frac{1375 \times 120}{1000} = 165$$

- Calcul de devers pratique :

On fait le calcul pour R=2000m

$$d_{\text{réel}} = \frac{1000 (165)}{2000} = 82,5 \text{ mm}$$

- Calcul de l'insuffisance (I) et l'excès de devers (E):

On fait le calcul avec R= 2000 m

$$\text{On a } I = d_{\text{th}} - d_{\text{r}}$$

A.N:

$$I = \frac{11,8(160)^2}{2000} - 82,5 \text{ mm} = 68,54 \text{ mm}$$

$$I = 68,54 \text{ mm} < 150 \text{ mm (vérifié)}$$

$$\text{Et on a } E = d_{\text{r}} - d_{\text{th}}$$

A.N:

$$E = (82,5) - (11,8 \cdot (100)^2 / 2000) \Rightarrow E = 23,5 \text{ mm} < 110 \text{ mm (vérifié)}$$

- Calcul de longueur de clothoïde (L):

On fait le calcul pour R = 2000 m

✓ Condition de gauchissement :

$$L_{\min} = \frac{82,5 \times 160}{180} = 73,34 \text{ m}$$

✓ Condition de confort dynamique (variation de l'insuffisance de dévers) :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} \leq 25 \text{ mm / s} \Leftrightarrow \frac{I \cdot V_{\max}}{3,6 L} \leq 25$$

Alors

$$L \geq \frac{I \cdot V_{\max}}{90} \Leftrightarrow L \geq 121,85 \text{ m}$$

✓ Condition de confort dynamique (variation de dévers) :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} \leq 28 \text{ mm / s} \Leftrightarrow \frac{d \cdot V_{\max}}{3,6 L} \leq 28$$

Alors

$$L \geq \frac{d \cdot V_{\max}}{100,8} \Leftrightarrow L \geq 131 \text{ m}$$

On prend L=135m

• Calcul de paramètre de clothoïde(A):

$$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{2000 \times 135} = 519,61$$

Tableau IV.06: récapitulatif de calcul de L, A, E, I, dp (SNCF) :

Coefficient de dévers C	153,6			
rayon	2000	2000	10000	3000
dréel(mm)	76,8	76,8	15,36	51,2
E(mm)	17,8	17,8	3,56	11,86
I(mm)	74,24	74,24	14,85	49,49
L(mm)	100	100	64	64
A	447,21	447,21	800	438,18

Tableau IV.07 : récapitulatif de calcul de L, A, E, I, dp (UIC) :

Coefficient de devers C	165			
	rayon	2000	2000	10000
dréel(mm)	82,5	82,5	16,5	55
E(mm)	23,5	23,5	4,7	15,66
I(mm)	68,5	68,5	13,71	45,69
L(mm)	135	135	65	100
A	519,61	519,61	806,22	547,72

Remarque :

- La SNTF utilise la méthode française pour les voies ≤ 220 km/h
- Le calcul automatique d'axe est fait par logiciel COVADIS 9.1 les résultats obtenus sont joints dans l'annexe.

IX. Conclusion :

Nous avons utilisé dans ce chapitre (tracé en plan) deux méthodes de tracé, la première c'est la méthode de SNCF (référentiel française) et la deuxième c'est la méthode de SNTF (UIC), on remarque que la méthode française a une insuffisance de devers supérieur à celle de SNTF (à cause de la différence de valeur de C), alors on peut dire que SNTF prend en considération les trains de marchandise plus que les trains de voyageurs dans les voies mixtes.

Profil en long

I. introduction :

Le profil en long d'une voie ferrée est le développement de l'intersection de la surface de la voie avec le cylindre à génératrice verticale passant par l'axe de celle-ci. Il est constitué de segments de droite raccordés par des arcs de cercle caractérisés par leur rayon. Pour les segments de droite, on parle de **pen**te ou de **rampe** suivant que la voie descend ou monte dans le sens de la marche. Un parcours horizontal est aussi appelé palier. L'ensemble des pentes et des rampes constitue les déclivités.

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 ou apparait 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.

II. Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Dans ce paragraphe on va citer les règles dont il faut tenir en compte –sauf dans des cas exceptionnels- lors de la conception du profil en long.

L'élaboration du tracé s'appuiera sur les règles suivantes :

- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter la valeur maximale des pentes.
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements.
- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- Eviter aux maximums les angles rentrant pour éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux.

IV. Éléments caractéristiques du profil en long :

La déclivité d'une ligne affecte les possibilités de freinage et de démarrage des circulations. Pour le tracé, la déclivité est considérée positive en rampe et négative en pente. La valeur de la déclivité en un point donné correspond à :

$$I = 1000 \times \tan \alpha$$

Avec α , l'angle (dans un plan vertical) entre la voie en ce point et l'horizontal et I la déclivité instantanée exprimée en ‰.

La déclivité instantanée (en pente et en rampe) ne doit pas dépasser 35‰ sauf cas particulier. Des limites de déclivité moyenne sont aussi fixées vis-à-vis du freinage (pente) et du démarrage des trains (rampe).

V. Limites imposées par le freinage (pentes) :

Le freinage est conditionnée par la capacité du matériel, pour une vitesse donnée, à maintenir sa vitesse (en pente), à s'arrêter et à maintenir son arrêt (immobilisation) en respectant les limites de capacité énergétique des équipements de freinage.

- **condition n°1** : La pente de chaque tronçon à pente constante doit respecter l'une des conditions ci-après :

- ✓ pente < 20‰ (pour une longueur de tronçon quelconque),
- ✓ pente < 25‰ pour une longueur de tronçon $\leq 2000\text{m}$,
- ✓ pente < 30‰ pour une longueur de tronçon $\leq 1000\text{m}$,
- ✓ pente $\leq 35‰$ pour une longueur de tronçon $\leq 400\text{m}$.

• **Définition d'une zone :**

Une zone est définie comme un ensemble d'un ou plusieurs tronçons à déclivité constantes successifs, encadrés en amont et en aval par un ou plusieurs tronçons à déclivité constante de déclivité < 10‰. La longueur de chacun de ces deux ensembles de tronçons en amont et en aval étant 2000m.

-**Condition n°2 :**

- ✓ Pente moyenne < 20‰ pour une zone de longueur quelconque
- ✓ Pente moyenne < 25‰ pour une zone de longueur $\leq 2000\text{m}$
- ✓ Pente moyenne < 30‰ pour une zone de longueur $\leq 1000\text{m}$
- ✓ Pente moyenne < 35‰ pour une zone de longueur $\leq 400\text{m}$

Tableau V.01 : norme de profil en long selon le type de trafic

Type de circulation	Vitesse (km/h)	Pente moyenne maximale (mm/m)	Distance pour le calcul de la pente moyenne (m)
Circulations voyageurs	$160 < V \leq 220$	5	1500
	$140 < V \leq 160$	8	1350
	$120 < V \leq 140$	10	1300
	$110 < V \leq 120$	13	1200
	$100 < V \leq 110$	16	1150
	$90 < V \leq 100$	20	1050
	$V \leq 90$	24	950
Circulation messageries	$100 < V \leq 140$	10	1100
	$90 < V \leq 100$	16	1100
	$80 < V \leq 90$	20	1000
	$V \leq 80$	24	910
Circulation marchandises	$80 < V \leq 100$	10	1000
	$70 < V \leq 80$	13	950
	$60 < V \leq 70$	20	900
	$V \leq 60$	25	800

VI. Limites imposées par le démarrage (rampes) :

La problématique du démarrage est conditionnée par la capacité du matériel à redémarrer avec une certaine accélération et à atteindre une vitesse garantissant un échauffement limite du système de traction dans une déclivité de rampe et de longueur donnée. Les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont :

- lorsque la déclivité est inférieure à 3000m, la rampe ne doit pas dépasser 16‰ (exceptionnellement 18‰).
- lorsque la déclivité est comprise entre 3000m et 15000m, la rampe diminue régulièrement pour passer de 16‰ à 13‰ (exceptionnellement de 18‰ à 15‰).
- lorsque la déclivité est supérieure à 15000m, la rampe ne doit pas dépasser 13‰ (exceptionnellement 15‰).

• Cas des gares :

En gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues selon les valeurs reprises dans le tableau suivant :

Tableau V.02 : déclivité maximale dans les gares

Activité en gare	Déclivité maximale
Service voyageur seul	≤10‰
Service voyageur et modification de position des rames.	≤5‰
Service voyageur et stationnement prolongé de rame	≤1‰

Dans les deux derniers cas, des valeurs supérieures de déclivité peuvent être utilisées dans le cadre d'une demande de dérogation

VII. Rayon admissible en raccordements de profil en long :

Dans la pose des voies neuves ou renouvelées on doit s'attacher à réaliser des raccordements de déclivités aux points de changement de pente. Lorsque la différence algébrique de deux déclivités successives est importante (supérieure à 2‰, cette valeur peut être portée à 4‰ lorsque la vitesse est inférieure ou égale 60km/h). Les déclivités sont raccordées entre elles par des cercles dans le plan vertical. Ces cercles sont appelés "raccords de déclivité"

Sur voie principale, pour ne pas compromettre le confort des voyageurs, le rayon minimal de raccordement en profil est donné par le tableau suivant :

Tableau V.03 : les valeurs limite des rayons de raccordement

Catégorie de trafic (V en km/h)	I Lignes à trafic mixte 80≤V≤120	IIa Lignes à trafic mixte 120≤V≤160	IIb Lignes à trafic mixte 160<V≤120	III Lignes à trafic mixte 200<V≤300	IV Lignes à trafic mixte avec vitesse des trains de voyageurs<230 ou 2510 avec des véhicules ayant des caractéristiques techniques spéciales	V lignes à grande vitesse uniquement dédiée au trafic voyageur 250≤V≤300
Valeur limite recommandée (m)	0.35V ²	0.35V ²		0.35V ²		
Valeur limite minimale (m)	0.25V ² ≤2.000m			0.175 ² V	0.25V ² ≤2.000m	0.175V ²

L'application de ces formules permet de limiter l'accélération verticale subie par les voyageurs à :

Tableau V.04 : les valeurs limite de l'accélération verticale

Catégorie de trafic (V en km/h)	I Lignes à trafic mixte $80 \leq V \leq 120$	Ila Lignes à trafic mixte $120 \leq V \leq 160$	Iib Lignes à trafic mixte $160 < V \leq 120$	III Lignes à trafic mixte $200 < V \leq 300$	IV Lignes à trafic mixte avec vitesse des trains de voyageurs < 230 ou 250 avec des véhicules ayant des caractéristiques techniques spéciales	V lignes à grande vitesse uniquement dédiée au trafic voyageur $250 \leq V \leq 300$
Valeur limite recommandée (m)	0.22					
Valeur limite minimale (m)	0.31			0.44	0.31	0.44

Avec R=rayon de la courbe de raccordement (en m)

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

Le rayon ne devra pas, sauf dérogation, être inférieur à 900m.

VIII. la longueur minimale des pentes uniformes et des raccords en profil :

La longueur minimale des déclivités constantes est représentée dans ce tableau :

Tableau V.05 : les valeurs des longueurs minimales des déclivités constantes

Catégorie de trafic (V en km/h)	I Lignes à trafic mixte $80 \leq V \leq 120$	Ila Lignes à trafic mixte $120 \leq V \leq 160$	Ilb Lignes à trafic mixte $160 < V \leq 120$	III Lignes à trafic mixte $200 < V \leq 300$	IV Lignes à trafic mixte avec vitesse des trains de voyageurs < 230 ou 250 avec des véhicules ayant des caractéristiques techniques spéciales	V lignes à grande vitesse uniquement dédiée au trafic voyageurs $250 \leq V \leq 300$
Valeur limite recommandée (m)	$V_{max}/3 \geq 30m$			$V_{max}/1.5$		
Valeur limite minimale (m)	$V_{max}/5 \geq 30m$			$V_{max}/2$		

Pour faciliter la maintenance, il est recommandé de positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignement ou pleine courbe) à au moins 30m d’une extrémité de doucine pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

IX. Longueur minimale des éléments de profil en long :

a. Déclivité constante :

A fin d’éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir.

Valeur limite normale : $V/2$

Valeur limite exceptionnelle : $V/2.5$

V : étant la vitesse du train le plus rapide exprimée en km/h

a. Raccord des déclivités :

Leur longueur doit, en principe, être d’au moins 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

X. Détermination pratiques du profil en long :

a. Éléments nécessaires au calcul du profil en long :

Après la projection des pentes du profil en long on procède à l'étape suivante, qui est le calcul des coordonnées des points de tangence en coordonnées rectangulaires.

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle :

$$X^2 + Y^2 - 2 R Y = 0 \text{ à l'équation de la parabole } X^2 - 2 R Y = 0 \Rightarrow Y = X^2 / 2R$$

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

- ✓ les coordonnées (abscisse, altitude) les points A, D.
- ✓ -la pente P1 de la droite (AS)
- ✓ la pente P2 de la droite (DS)
- ✓ le rayon R

Pour le cas de notre projet :

Tableau V.06:tableau recuoilatif des valeur limite pour notre projet

Declivité max	Rayon min(m)	Lmin (m)
16‰	8960	54

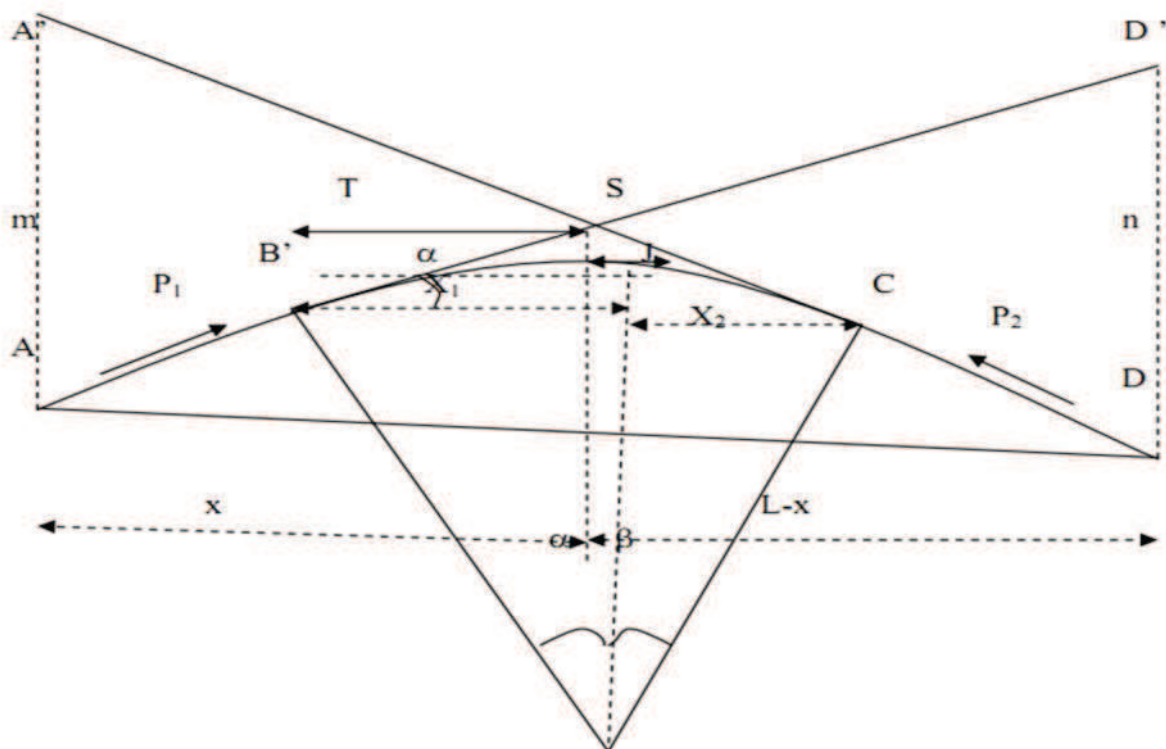


Figure. V.02 : raccordement du profil en long

b. calcul des éléments de profil en long :

Dans ce calcul, on détermine toutes les coordonnées des points singuliers du raccordement, la tangente, le sommet et la flèche au-dessous de ce dernier, on déterminera aussi les PK des points singuliers.

- Calcul des pentes :

$$P_1 = \frac{\Delta z_1}{\Delta s_2}$$

$$P_2 = \frac{\Delta z_2}{\Delta s_2}$$

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

On a:

$$L = X_D - X_A$$

$$Z_A = Z_{D'} + L p_2, \quad m = Z_A' - Z_A$$

$$Z_D = Z_A' + L p_1, \quad n = Z_D - Z_{D'}$$

Les deux triangles A'SA et SDD' sont semblables donc :

$$m/n = x / (L-x) \Rightarrow x = m \cdot L / (n+m)$$

$$\begin{cases} X_S = X + X_A \\ Z_S = P_1 X + Z_A \end{cases}$$

$$T = \frac{R}{2(p_1 + p_2)}$$

- Calcul de la tangente :

On prend (+) lorsque les deux pentes sont de sens contraires, on prend (-) lorsque les deux pentes sont de même sens.

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

$$\begin{matrix} \text{B} \\ \left\{ \begin{array}{l} X_B = X_S - T \\ Z_B = Z_S - T p_1 \end{array} \right. \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{C} \\ \left\{ \begin{array}{l} X_C = X_S + T \\ Z_C = Z_S + T p_2 \end{array} \right. \end{matrix}$$

- Projection horizontale de la longueur de raccordement :

$$LR = 2T$$

- Calcul de la flèche:

$$F = T^2 / 2R$$

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

$$M \begin{cases} H_x = X^2/2R \\ Z_M = Z_B + X p_1 - X^2/2R \end{cases}$$

- Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (T) :

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

$$X_1 = R p_1$$

$$X_2 = R p_2$$

- Calcul de PK et altitudes des points singuliers :

$$L = P_{Kc} - P_{Kb}$$

$$Z = Z_B + P_1 I$$

$$P_{Ks} = P_{Kb} + l$$

$$I = \frac{Z_c - Z_B + P_2 L}{P_2 - P_1}$$

- Point du milieu de raccordement j:

$$Z_j = Z_s - F$$

$$P_{kj} = P_{ks}$$

La flèche prise avec leur signe

- Points de début et de fin du raccordement :

$$\text{Début : } Z_B = Z_s - P_1 \cdot T$$

$$P_{Kb} = P_{ks} - T$$

$$\text{Fin : } Z_c = Z_s - P_2 \cdot T$$

$$P_{Kc} = P_{ks} + T$$

Dans le cas des pentes de même sens le point J est en dehors de la ligne de projet et ne présente aucun intérêt par contre dans le cas des pentes de sens contraire, la connaissance du point (J) est intéressante 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 descendants dans les sens J (A) et J (D).

XI. Application au projet :

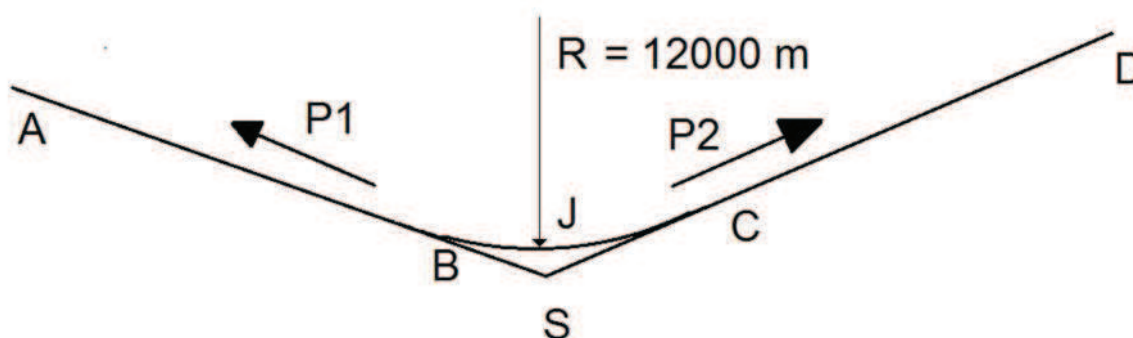


Fig.V.03:exemple de raccordement du 1 er profil dans le tracé

A: PKA=0.00, ZA= 814.08m, S: PKS=1125m, ZS= 800.13m, D: PKD=4400m, ZD= 849.91m

Calcul des pentes :

$$P1=100 \times (\Delta Z1/\Delta PK1)=-1,24\% \quad ; \quad P2=100 \times (\Delta Z2/\Delta PK2)=1,52\%$$

Calcul des tangentes :

$$T=\frac{R}{2} |P1+P2| = \frac{12000}{2} |1,52-1,24| = 16,80\text{m}$$

Calcul des flèches :

$$H=\frac{T^2}{2R} = 0,012 \text{ m}$$

Calcul des coordonnées des points de tangentes :

$$C : PKC=PKS+T=1125+16,8=1141,8 \text{ m} ; \quad ZC=ZS+T.P2=800.13+ 16,8. 0,0152=800,38\text{m}$$

$$B : PKB=PKS-T=1125-16,8=1108,2 \text{ m} ; \quad ZB=ZS-T.P1=800.13+ 16,8. 0,0124=800,34\text{m}$$

$$J : PKJ=PKC-R.P2=1123,56\text{m}; \quad ZJ=ZC+PKC.P2 \frac{RP_2^2}{2} = 798,62\text{m}$$

Note : les résultats de calcul automatique sont joints en annexe.

XII. Conclusion :

En général, on remarque qu'on a un terrain un peu accidenté surtout dans la première partie à cause de cela, on utilise une pente un peu considérable de 16‰ et un grand déblai de 10 m de hauteur. On utilise des banquettes pour stabiliser les talus dans cette première partie et pour la deuxième partie du tracé, on utilise le principe d'un léger remblai car l'étude géotechnique nous a montré que le sol est non réutilisable.

Etude géologique et géotechnique

I. Introduction:

Une bonne analyse géologique est un élément fondamental de la qualité d'un projet et de la tenue ultérieure de la plateforme, il faut donc procéder à un inventaire complet des problèmes géologiques dans le couloir choisi afin que le tracé évite les difficultés dans la mesure du possible.

La zone du projet peut être naturellement stable mais elle peut également présenter certains caractères d'instabilité tels que les mouvements de versants, affaissement ou effondrement.

Les éléments géologiques recueillis lors de l'étude d'avant-projet doivent être complètes par des éléments géotechniques précis permettant des calculs de mécanique des sols.

II. Aperçu géologique:

II.1. La géologie régionale :

Les trois domaines paléogéographiques de l'Algérie du Nord sont séparés par des couloirs déprimés, bordés par des accidents tectoniques majeurs à déversement vers le Sud. L'accident sud atlasique sépare le domaine de la plate-forme saharienne du domaine atlasique. Au Nord entre l'Atlas saharien et le domaine tellien (pays des nappes) s'intercale le couloir sud-tellien dit usuellement les « Hauts Plateaux » bordés au Nord par le front de la première nappe méridionale du système tellien. La ligne projetée dans le présent tronçon s'intègre dans le domaine des Hauts Plateaux, à la limite de l'Atlas Tellien. C'est une région qui présente différentes formes de relief; avec des altitudes variant généralement entre 400m et 1000m. Le domaine des Hauts Plateaux (avant-pays alpin) se présente en une dépression allongée, grossièrement orientée SW-NE, dans laquelle s'est écoulé le matériel plastique de sédiments crétacés et tertiaires. Ces derniers forment une couverture sédimentaire réduite, dont les affleurements sont masqués souvent par des dépôts d'âge Quaternaire. Ce domaine géographique est irrigué par des rivières ou des ruisseaux à régime saisonnière, néanmoins les plus importants (Oued Touil, Oued Leham, etc.). Leur courant est orienté suivant la direction générale des reliefs (SW-NE). Ils franchissent les chaînes

montagneuses dans les zones de faiblesses (les failles et les formations meubles par exemple).

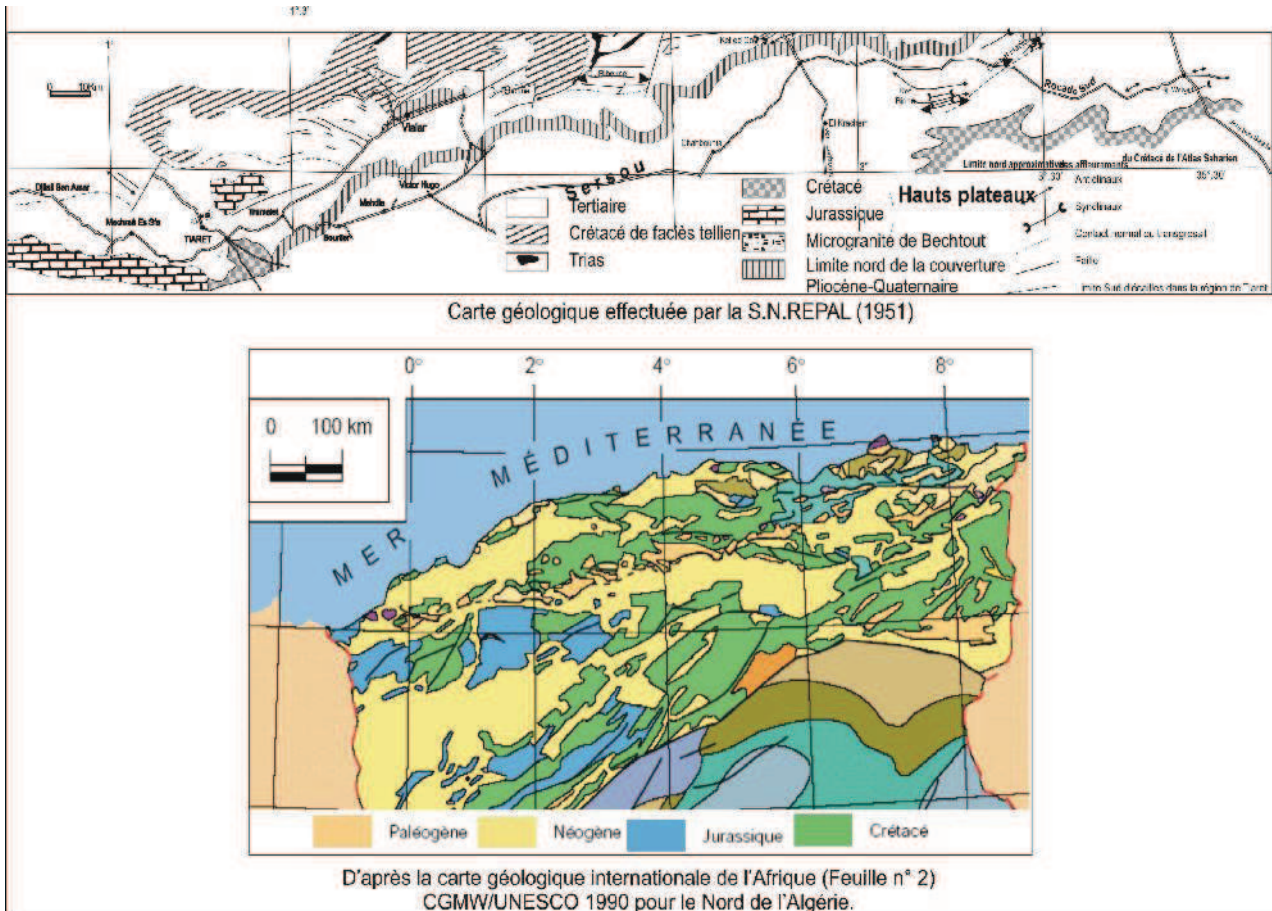


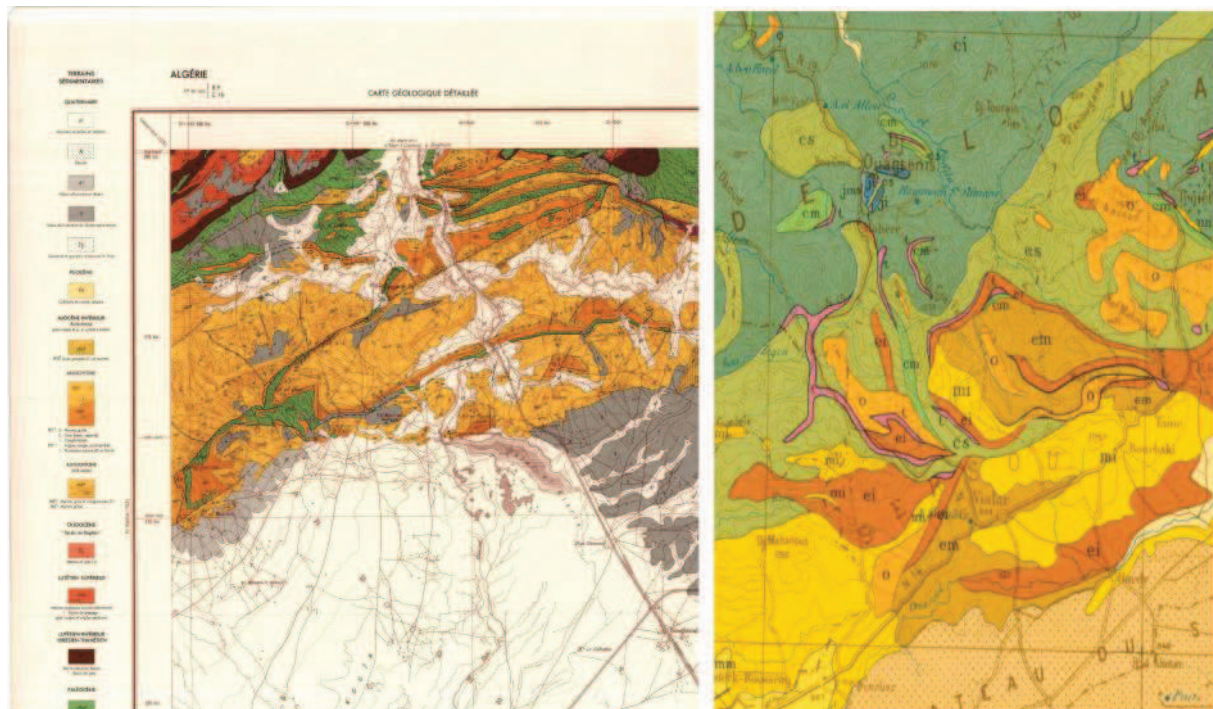
Fig. VI.01 : la carte géologique des hauts plateaux

II.2. La géologie locale:

L'étude géologique s'est appuyée sur des cartes géologiques à l'échelle 1:500.000 et à l'échelle 1:50.000 dans la zone au sud de Boughzoul et de la gare Boughzoul (France. Institut Géographique National, Boughzoul 1:50.000, Paris: IGN, 1967). Les conditions relativement favorables d'observations sur le tronçon ouest du tracé ont permis de donner un aperçu de la situation géologique le long du tracé à concevoir. Dans la partie centrale et est du tronçon, il faut émettre des réserves concernant la structure du sous-sol et ses propriétés géotechniques en raison du manque de renseignements sur la nature du sous-sol.

En générale Le tracé s'étend essentiellement sur des roches cohérentes néogènes ainsi que sur des roches meubles quaternaires. En ce qui concerne les roches néogènes, il s'agit de grès et de roches carbonatées ainsi que de roches sédimentaires à granulations fines telles que les limons et les argiles ; au niveau de Boughzoul, le sous-sol est composé

de sédiments de fine granulation, de roches sédimentaires et de roches évaporétiques (gypse, anhydrite, sel gemme).



Boughzoul

Tissemsilt

Fig.VI.02 : La Carte géologique de la région de projet

Environ la moitié du tracé entre Tissemsilt et Boughzoul se trouve sur des roches cohérentes (grès, roches carbonatées) qui sont caractérisées par un recouvrement faible, voire inexistant, de roches meubles.

Notre projet est de pk15 au pk40 donc dans la partie ouest de trace (Tissemsilt Boughzoul

a. Partie (Tissemsilt Hardy):

Sur le tronçon entre Tissemsilt et Hardy, le tracé de ligne doit passer une arête de montagne qui est formée de grès ainsi que de limons et d'argiles. En raison d'un plissement par endroits très fort, les roches sont inclinées dans des sens assez variables et forment des angles d'incidences variables. Selon les roches qui s'y trouvent, les coupes et entailles de terrain, en particulier, doivent être distinguées d'un point de vue géotechnique.



Lieu : tracé à l'est de Hardy env. au pk 16,2, coupe de versant

Géologie : roches sédimentaires à granulations fines (limons et argiles) de faible rigidité

Fig. VI.03: coupe de versant à l'est de Hardy

Les grès en question sont disposés en strates alternées sur une épaisseur allant de plusieurs décimètres à quelques mètres. Après estimation sur le terrain, beaucoup de ces roches semblent être utilisables comme agrégats pour béton, matériaux de construction et de remblais. Après inspection sur place, l'excavation de la montagne peut se faire au moyen d'explosifs. Dans les zones où se trouvent les roches meubles et altérées ainsi que dans celles à haut degré de décomposition, le détachement au moyen de dents du godet ou de trépan hydrauliques semble du moins en partie faisable.

b. Partie (Hassi Fedoul Sidi Ledjel):

Des roches carbonatées n'ont été trouvées que ponctuellement sur la partie à l'ouest de Hassi Fedoul jusqu'à Sidi Ladjel. Ces roches se trouvent dans un lit de rivière env. au PK 34,8 et ont été dégagées lors de travaux de déblayage pour la construction d'un pipeline. D'après les renseignements fournis par l'observation du fossé du pipeline, ces roches présentes en masse n'ont qu'une rigidité relativement faible (<25 MPa).

L'extraction peut se faire par fraisage, arrachage à la dent ainsi qu'au marteau hydraulique. L'utilisation d'explosifs semble n'être que d'une nécessité accessoire.



Géologie : sur les deux flancs du lit de rivière, roches carbonatées avec couche altérée par l'érosion peu profonde à granulations grossières (graviers à cailloux)

Fig. VI.04: un large lit de rivière peu profond au pk 34,8

II.3. Sismicité:

L'Algérie se situe sur une frontière active de plaques au niveau de la convergence de l'Afrique et de l'Eurasie (Fig. VI.4). Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 6 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Le déplacement rapide des bords de la faille génère alors des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface. Les principales failles actives sont localisées au niveau de la chaîne de montagne nord-africaine (Atlas). Le mouvement relatif des bords de la faille tel qu'il a été enregistré par les sismomètres montre un raccourcissement cohérent avec le mouvement global des plaques.

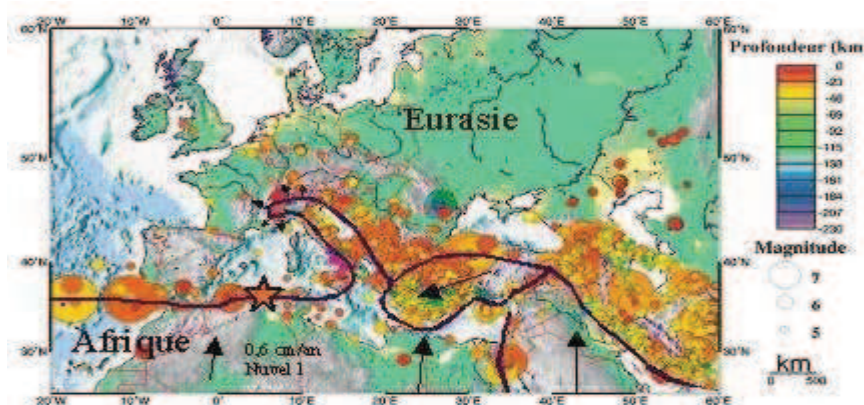


Fig. VI.05: contexte sismotectonique de la collision Afrique Eurasie

II.3.1. L'histoire sismique de l'Algérie:

Compte tenu de sa localisation dans une zone de convergence de plaques, l'Algérie est une région à forte sismicité (Fig. VI.06). Au cours de son histoire, elle a subi plusieurs séismes destructeurs. Parmi les plus notables, on peut citer : 1715, séisme d'Alger, 20000 morts ; 1954 séisme d'Orléans ville (EL Asnam), magnitude 6,7, 1 200 morts, 20000 bâtiments détruits ; 1980 séisme d'El Asnam, magnitude 7,1, 2600 morts.

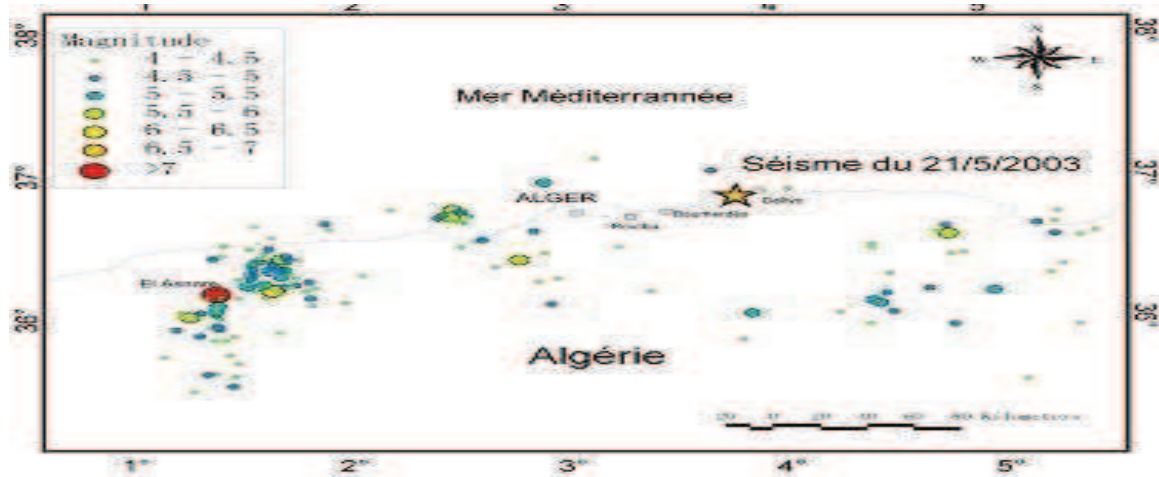


Fig. VI.06: Carte de la sismicité enregistrée en Algérie depuis

II.3.2. sismicité de la zone :

Le tracé Tissemsilt Boughzoul traverse sur tout sa longueur un domaine de terrain classé en deux zone sismique différente (Fig. VI.07) la partie de Tissemsilt est dans la zone II et la partie de Boughezoul dans la zone I.

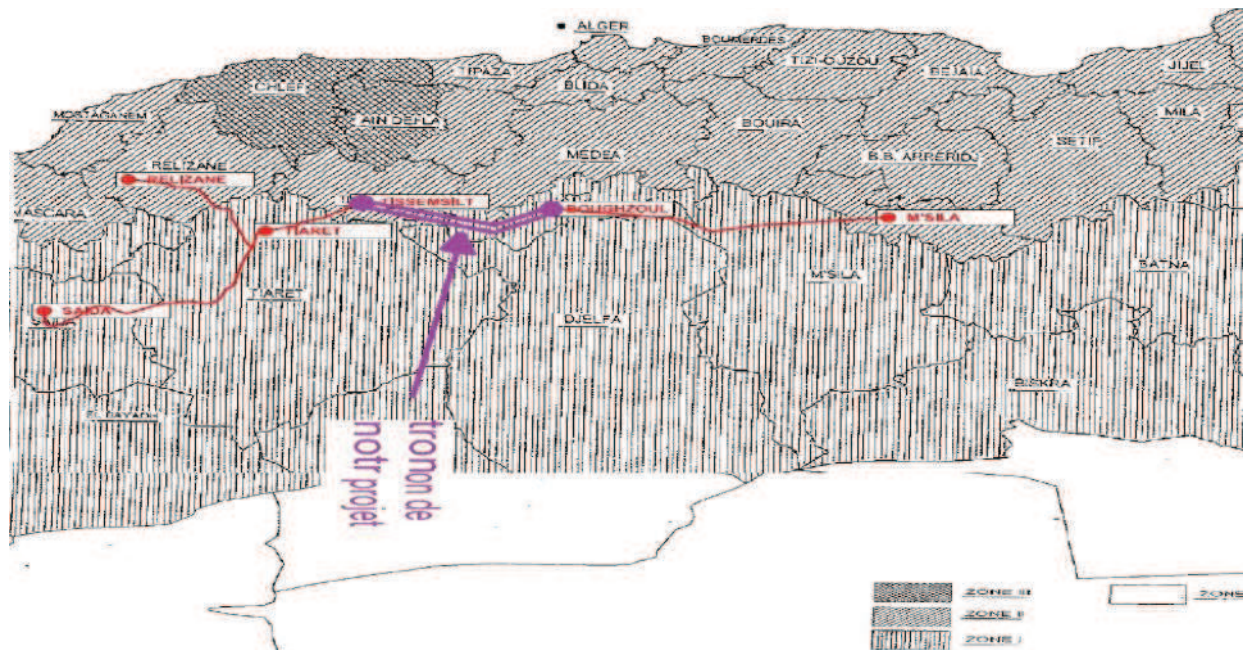


Fig. VI.07 : Fréquence des séismes pour la zone de projet

III. Reconnaissance géotechnique :

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

III.1. Puits de reconnaissance :

Une campagne de 10 puits de reconnaissance pour l'étude de la géotechnique du couloir a été réalisée. Pendant leur exécution, une description visuelle des matériaux affectés, une annotation de la présence d'eau et une prise d'échantillons pour leur analyse en laboratoire ont été effectués.

Nous présentons ci-après un tableau résumant la position des puits et le niveau de prélèvement du matériau

Tableau. VI.1 : implantation et description des puits

puits	pk	Profondeur (m)	description
Pt1	15+000	0,00 – 0,50	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,50 – 0,80	Encroutement calcaire dur, à moyennement dur fracturé, jaunâtre à beige.
		0,80 – 1,70	Calcaire argilo-sableux jaunâtre compacte à la base.
Pt2	17+000	0,00 – 0,50	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,50 – 2,70	Sable argileux fortement carbonatée, plastique, compacte marron à marron beige.
		2,70 – 3,00	Sable fin légèrement argileux, blanchâtre.
Pt3	20+000	0,00 – 0,50	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,50 – 0,80	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage noir.
Pt4	23+500	0,00 – 0,20	Calcaire argileux fortement sableux, jaunâtre à blanchâtre
		0,20 – 0,80	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.

Pt5	25+000	0,00 – 0,30	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,30 – 0,80	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.
Pt6	27+250	0,00 – 0,10	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,10 - 0,90	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.
Pt7	30+500	0,00 – 0,30	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,30 – 0,80	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.
Pt8	33+000	0,00 – 0,70	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,70 – 0,90	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.
Pt9	35+500	0,00 – 0,30	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,30 – 0,80	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.
Pt10	38+500	0,00 – 0,30	Terre végétale formée d'argile limoneuse marron à marron rougeâtre, plastique.
		0,30 – 0,80	Encroutement calcaire, dur à très dur en forme de dalle, marron à marron beige à plage(ou inclusion) noire.

III.2. Essai de laboratoire :

Sur les échantillons provenant des puits, ont été réalisé des essais d'identification (granulométriques, limites d'Atterberg), et le compactage Proctor

III.2.1. Les essais d'identification :

III.2.1.1. Analyse granulométriques :

a. La courbe granulométrique :

Une des premières étapes de la caractérisation d'un sol consiste à évaluer sa composition à partir de sa courbe granulométrique; il s'agit d'un graphique qui indique, pour une dimension donnée d'un grain (portée en abscisse), le pourcentage en poids des grains de dimension inférieure (tamisât, passant) ou supérieure (refus) à d.

La courbe est tracée en coordonnées semi-logarithmiques, de façon à donner une représentation plus précise des particules fines (qui influent énormément sur le comportement des sols).

On obtient les données nécessaires au tracé de cette courbe grâce à l'analyse granulométrique ; elle est obtenue :

- ✓ pour la fraction de sol dont les grains sont $> 80 \mu\text{m}$: par tamisage sur une série de tamis de maille décroissante ;
- ✓ pour la fraction de sol dont les grains sont $< 80 \mu\text{m}$: par un essai de sédimentation (méthode basée sur le temps de sédimentation des particules solides en suspension dans un fluide).

b. Interprétation des courbes :

Soit D_x le diamètre pour lequel le tamisât est de $x\%$ (ex: D_{30} = diamètre du tamis pour lequel on obtient 30 % de passant).

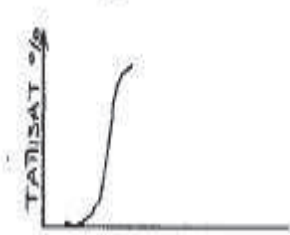
On définit alors les caractéristiques de la courbe granulométrique suivantes :

- Le coefficient de Hazen (ou coefficient d'uniformité) :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ce coefficient permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée, notamment en ce qui concerne les sables.

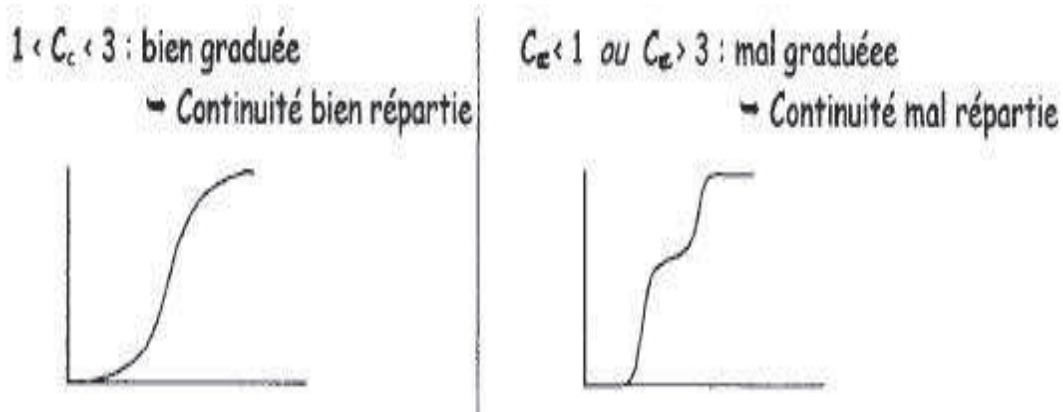
$C_u < 2$: la granulométrie est serrée



$C_u > 2$: la granulométrie est étalée



- le coefficient de courbure $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$



Nous présentons ci-après tableau des analyses granulométriques des puits :

Tableau VI.02 : Analyse granulométrique des puits

puits	Granulométrie Passants (mm)						
	50	20	10	5	0.40	0.08	0.02
Tamis (mm)							
Pt 1	100	92	82	74	45	25	15
Pt 2	100	99	97	91	56	17	09
Pt 3	100	82	58	45	26	14	06
Pt 4	100	82	62	48	24	14	05
Pt 5	-	-	-	-	-	-	-
Pt 6	94	86	63	49	25	13	07
Pt 7	97	83	67	54	32	12	05
Pt 8	100	85	63	46	22	12	03
Pt 9	100	94	83	75	44	20	07
Pt 10	98	86	73	68	47	20	08

Vu le grand nombre important de courbes granulométriques, nous ne présentons ci-après que quelques courbes et on trouve la suite des courbes dans l'annexe :

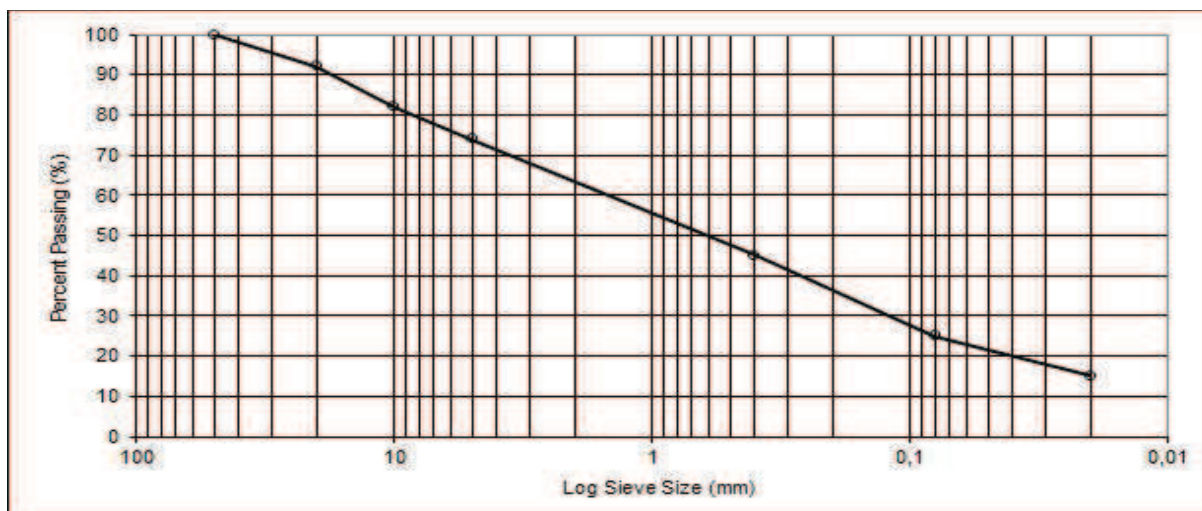


Fig.VI.08 : la Courbe granulométrique de pk 15

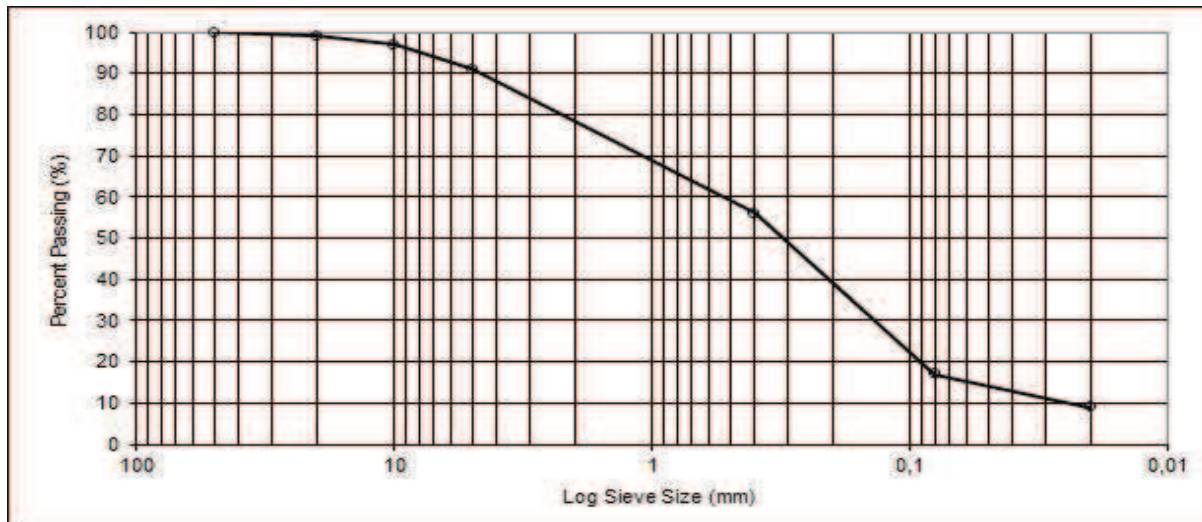


Fig.VI.09 : la Courbe granulométrique de pk 17

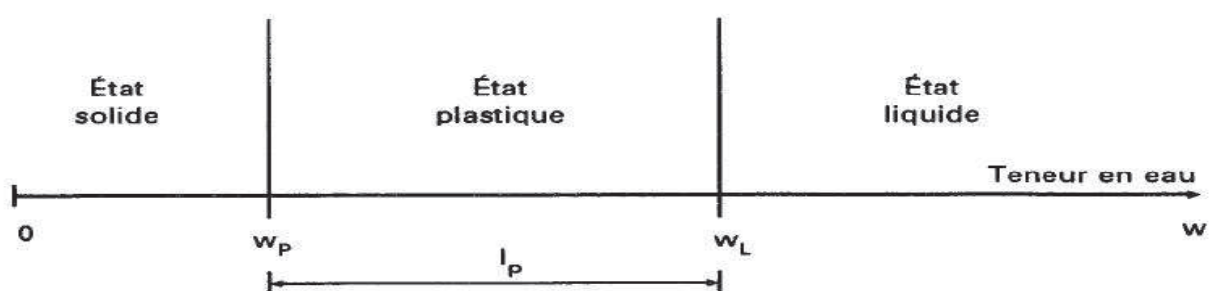
Remarque :

- A la vue des courbes granulométriques des échantillons la majorité des sols rencontrés sont des sables graveleuse faiblement limoneux.
- On trouve les autres courbes granulométriques en annexe.

III.2.1.2. limites d'Atterberg :

On définit les limites de plasticité (W_p) et de liquidité (W_L) qui séparent conventionnellement les deux états de consistance d'un sol :

- **WP** sépare l'état solide de l'état plastique
- **WL** sépare l'état plastique de l'état liquide



Ic : indice de consistance définie par la formule suivante :

$$I_c = \frac{W_L - W_p}{I_p}$$

Où:

W est la teneur en eau du sol dans son état naturel et ne comportant pas d'éléments supérieurs à 400 μm

Dans notre cas, nous avons obtenu des indices de plasticité variant entre <12 %, ce qui montre que ces matériaux est non plastique.

Nous présentons ci-après tableau des limites d'Atterberg des puits :

Tableau VI.03. Limites d'Atterberg des puits

puits	Limites d'Atterberg			
	WL	WP	IP	Ic
Pt 1	20,9	16,07	4,83	3,01
Pt 2	22,54	17,12	3,73	3.8
Pt 3	-	-	-	-
Pt 4	34,0	-	-	-
Pt 5	-	-	-	-
Pt 6	-	-	-	-
Pt 7	-	-	-	-
Pt 8	-	-	-	-
Pt 9	25,00	-	-	-
Pt 10	22,50	-	-	-

III.2.1.3. Essai de bleu de méthylène :

En utilisant la propriété de la molécule de bleu de méthylène de s'adsorber sur la surface des particules .C'est l'essai à la tâche, qui s'est diffusé très rapidement dans le réseau des laboratoires, L'essai à la tâche est couramment utilisé, son avantage est de donner la surface totale des argiles, peut accéder à la surface externe, essai très rapide surtout en contrôle, mais elle est qualitatif pour ce qui est de la nature des argiles

La sensibilité à l'eau de l'argile peut être caractérisé par l'essai de bleu de méthylène qui nous donne la valeur de bleu noté Vb, Si $V_b < 0,1$ le sol est insensible à l'eau. Nous présentons ci-après tableau des valeurs de bleu des puits :

Tableau VI.04 : valeur de bleu des puits

puits	Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Pt5	Pt6	Pt7	Pt8	Pt9	Pt10
VBS (%)	1,11	1,06	0,23	0,72	-	0,98	0,81	0,69	0,62	0,68

Vu les résultats de valeur du bleu on peut dire que on un sol sensible à l'eau

III.2.2. Les essais Proctor :

L'essai PROCTOR est un essai routier, il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de 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 est appelée « optimum PROCTOR ».

Nous présentons ci-après tableau des valeurs de l'essai du Proctor modifier sur les puits :

Tableau VI.05 : résultats de l'essai Proctor sur les puits

puits	Teneur en eau	Poids spécifique γ_d	Densité humide γ_h
	%	t/m ³	t/m ³
Pt 1	14,45	1,33	1,53
Pt 2	8,06	1,76	1,90
Pt 3	-	-	-
Pt 4	10,20	1,70	1,87
Pt 5	-	-	-
Pt 6	-	-	-
Pt 7	-	-	-
Pt 8	-	-	-
Pt 9	-	-	-
Pt 10	-	-	-

III.3. Conditions d'utilisation des sols en Remblais :

L'idéal est de pouvoir réutiliser les terres provenant des déblais, mais ceci doit répondre à certaines conditions.

Les matériaux de remblais seront exempts de :

- Pierre de dimension > 80 mm.
- Matériaux 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.

Note : Généralement le sol déblais est non réutilisable sur les remblais

III.4. Classification de sol (selon les fiches UIC et la norme NFP 11-300) :

La classification élaborée par l'Union internationale des chemins de fer (UIC) a été adoptée pour la classification du sol support le long du tracé. Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi que sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques. Pour arriver à cette classification il faut passer en premier lieu par une classification des sols selon la norme (NFP 11-300).

Ainsi selon les résultats des essais géotechniques obtenues et la norme (NFP 11-300), les sols de la plateforme du projet, sont en grande partie de la classe C avec sous classe C1B5 (Sols Alluvionnaires argilo-graveleux à encroutements calcaires).

Selon la fiche UIC 719R, la classe de qualité du sol de la plate-forme, correspond globalement au QS1 et rarement QS2.

Les tableaux ci-après donnent la classification du sol NF P 11 -300, GTR + UIC, pour tous les puits de reconnaissance réalisés.

Tableau VI.06 : classification de sol sur le tracé

N° Puits	pk	Granulométrie		Limite Ip	Classification GTR et NF P11-300	Classe de qualité du sol
Pt 1	15+000	100	25	4,83	C1B5m	QS1
Pt 2	17+000	100	17	3,73	C1B5m	QS1
Pt 3	20+000	100	14	-	C1B5m	QS1
Pt 4	23+500	100	14	-	C1B5s	QS2
Pt 5	-	-	-	-	-	-
Pt 6	27+250	94	13	-	C1B5s	QS2
Pt 7	30+500	97	12	-	C1B5m	QS1
Pt 8	33+000	100	12	-	C1B5m	QS1
Pt 9	35+500	100	20	-	C1B5m	QS1
Pt 10	38+500	98	20	-	C1B5m	QS1

IV. Conclusion :

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région on est conclu trois chose très importante sont les suivante :

- a. Le sol support est classé en Qs1 classe de faible portance
- b. Le sol excaver est non valable pour l'utilisation sur les remblais.

Dimensionnement

I. Introduction:

Le dimensionnement des structures d'assise des voies ferrées fait l'objet de la fiche UIC-719R. Il dépend de plusieurs facteurs de nature différente. Pour la détermination de l'épaisseur globale de la structure d'assise:

- Le type et l'espacement des traverses ;
- Les caractéristiques du trafic (tonnage supporté, charge de l'essieu, vitesse) ;
- La classe de portance de la plateforme.

II. Dimensionnement des structures d'assise :

Le bon fonctionnement du système (véhicule/voie ballastée/ assise) et notamment l'acceptation des efforts engendrés au (contact rail/roue) suppose la stabilisation et la quasi indéformabilité de l'assise proprement dite.

Sur les lignes nouvelles, ce résultat est obtenu par une conception appropriée de l'assise et une mise en œuvre rigoureuse et précise.

II.1. Les différentes couches constituant l'assise:

- ✓ **La couche de ballast (25 à 50 mm):** Le ballast est un matériau uniforme, ne comportant pas de petits éléments, sa capacité d'amortissement s'accroît si on augmente l'épaisseur de la couche.
- ✓ **La sous-couche:** C'est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plateforme, elle peut être selon la nature de la couche passante mono ou multicouche.
- ✓ **Un géotextile ou géomembrane éventuellement:** Pour éviter la contamination de la sous-couche par les éléments fins de la plateforme ; il faut utiliser des matériaux respectant certaines règles de granularité, ceci est rarement réalisable, surtout lorsque la plateforme contient une grande proportion d'éléments fins. On a recours alors à un géotextile ; Il assure une protection à la surface de la plateforme, lui donnant un comportement homogène. Enfin, lors de sa mise en œuvre, le géotextile réduit l'orniérage de la plateforme et permet la réalisation de sous-couches d'épaisseurs constantes.
- ✓ **La couche intermédiaire** (sur voie existante),
- ✓ **La couche de forme rapportée** (sur voie nouvelle).

II.2.principe de dimensionnement des voies ferrées :

II.2.1.determination de La classe de qualité de sols:

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

- La nature géotechnique du sol, à savoir essentiellement:
 - ✓ Dans le cas des sols meubles, la granularité et, s'il y a lieu, le pourcentage de contenu organique,
 - ✓ Dans le cas des sols rocheux, la dureté et l'altérabilité.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales; ces conditions, pour ce qui concerne l'influence sur la portance des sols, sont réputées bonnes si:
 - ✓ La couche supérieure du sol considéré est hors toute nappe naturelle,
 - ✓ La plateforme n'est pas le siège de percolations naturelles nocives.

On distingue alors, selon les paramètres ci-avant, les quatre classes de qualité de sols, notées QS_i ci-après:

Tableau VII.01 : classe de qualité de sols en fonction des caractéristiques géotechniques

Classe de qualité du sol	Classification géotechnique
Sol impropre QS_0 : ✓ Substitution du matériau ✓ Traitement par un liant géotextile ✓	<ul style="list-style-type: none"> •sols organiques •sols comportant plus de 40% de fines •matériaux solubles (gypse, sel) •matériaux polluants (déchets industriels) •sols minéraux organique
Sols mauvais QS_1 :	<ul style="list-style-type: none"> • Sol comportant plus de 15% de fines • Roches très évolutives craies très faible, marnes, schistes altérés) • Roches évolutives (craies de faible friabilité, schistes non altérés) • Roche tendre ($DS < 6$ et $LA > 33$)
Sols moyens QS_2 :	<ul style="list-style-type: none"> • Sols comportant de 5 à 15% de fines • Sable comportant moins de 5% de fines • Roches moyennement dures ($6 \leq DS \leq 9$ et $30 \leq LA \leq 33$)
Bons sols QS_3 :	<ul style="list-style-type: none"> • Sols comportant moins de 5% de fines • Roche durs ($DS \geq 9$ et $LA \leq 30$)

II.2.2.Classe de portance de plateforme:

La portance d'une plateforme dépend de:

1. la qualité d'un sol constituant le corps de remblai ou du sol en place du fond de déblai

2. la qualité et l'épaisseur de la couche de forme (lorsqu'elle existe).

On distingue en fonction des paramètres ci-dessus, les trois classes de portance des plateformes suivantes:

P_1 : Plateforme mauvaise

P_2 : Plateforme moyenne

P_3 : Plateforme bonne

Le tableau suivant permet la détermination de la classe de portance de la plateforme

Tableau VII.02 : classe de portance de la plateforme

Classe de qualité du sol support	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur min (m)
Qs1	P1	Qs1	-
	P2	Sol fin traité aux liants	0,30
	P2		0,55
	P2	Qs2	0,40
	P3	Qs3	0,50
Qs2	P2	Qs2	-
	P3	Qs3	0,40
Qs3	P3	Qs3	-

III. Application au projet :

III.1. Justification et le choix de la structure d'assise :

Les paramètres à prendre en compte dans le choix de la structure d'assise sont :

- La classe de qualité de la plateforme, qui s'apprécie en fonction
- De la classe de qualité du sol déterminé à partir du tableau N°1 ci-après.
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme et des conditions hydrogéologiques et hydrologiques du site.

- La plate-forme n'est le siège de percolations naturelles nocives transversales, longitudinales ou verticales,
- Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plate-forme et les dispositifs longitudinaux ou transversaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.
- Si l'une au moins de ces conditions n'est pas remplie, les conditions hydrologiques et hydrogéologiques sont réputées mauvaises.
- En présence d'une nappe, cette condition peut être réalisée à l'aide d'une tranchée drainante suffisamment profonde.
- De la nature et de l'épaisseur des couches de forme.

Chaque structure est repérée comme suit :

- ✓ Un premier nombre de 2 chiffres représente l'épaisseur de la sous-couche,
- ✓ Un deuxième nombre de 2 chiffres représente l'épaisseur de la couche de forme.

III.2. Plateforme proposée

Compte tenu de ce qui précède, notamment la classe des qualités du sol support est en majorité QS1, ainsi que les prescriptions données par les UIC-719R. nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P 3 (Bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un type de sol (QS3).

III.2.1. Couche de forme:

A partir des résultats de l'étude géotechnique qui est faite pour notre trace on a conclu que notre sol est de classe QS1 (mauvais sol). Pour augmenter la portance de la plateforme on prévoit une couche de forme de classe de portance P3 composant du sol de classe de qualité QS3.

Alors, d'après le tableau .VII.2 précédent l'épaisseur de la couche de forme est de 0,50 m

III.2.2. Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise :

L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couches est donnée par l'expression suivante :

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

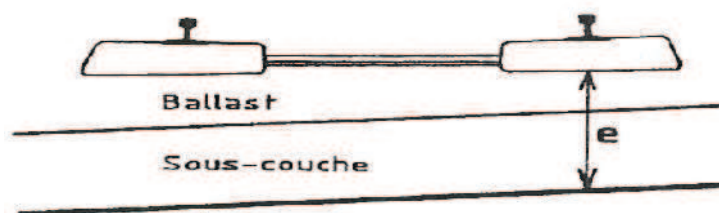


Fig.VII.01 : schéma montre l'épaisseur « e »

L'épaisseur de la couche **d'assise e=épaisseur du ballast+ épaisseur de la sous couche** est dépendante des facteurs suivants:

E: facteur dépend des classes de portance (P1, P2, P3)

a: facteur dépend de l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714)

b: facteur dépend du type de traverses

c: facteur dépend des conditions de travail

d: facteur dépend de la charge maximale d'essieu des véhicules

f: facteur dépend de la vitesse

g: facteur dépend d'installation de géotextiles

Les valeurs des paramètres de dimensionnement sont rappelées ci-après:

✓ **Valeur de « E » :**

E = 0,70 m pour les plateformes de classe de portance P1.

E = 0,55 m pour les plateformes de classe de portance P2.

E = 0,45 m pour les plateformes de classe de portance P3.

✓ **Valeur de « a » :**

a = 0 m pour les groupe UIC 1-2 (ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le groupe UIC).

a = -0,05 m pour les groupe UIC 3 et 4.

a = -0,10 m pour les groupe UIC 5, 6, '7, 8 et 9 avec voyageurs'.

a = -0,15 m pour les groupe UIC '7, 8, 9 sans voyageur'.

✓ **Valeur de « b » :**

b = 0 m pour les traverses bois de longueur 2,60 m.

b = $(2,5-L)/2$ pour les traverses béton de longueur L.

✓ **Valeur de « c » :**

c = 0 m pour un dimensionnement normale.

c = -0,10 m à titre exceptionnel.

c = -0,05 m à titre exceptionnel pour des opérations sur LE de groupe UIC 7-9 SV.

✓ **Valeur de « d » :**

d = 0 m la charge d'essieu des véhicules $\leq 20t$

d = 0,05 m la charge d'essieu des véhicules $\leq 22,5t$

d = 0,12 m la charge d'essieu des véhicules $\leq 25t$.

✓ **Valeur de « f » :**

f = 0 m pour les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plateformes de portance P3 des LGV.

$f = 0,05$ m pour les plateformes de classe de portance P2 des LGV.

$f = 0,10$ m pour les plateformes de classe de portance P1 des LGV.

$g = +$ géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.

$g = 0$ (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3.

III.2.3. Calcul de l'épaisseur du ballast :

On adopte les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R)

- 35 cm pour une vitesse > 200 km/h
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120 et 200 km/h
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80 et 120 km/h
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60 et 80 km/h

III.2.4. Détermination des paramètres de dimensionnement:

- ✓ **$E = 0,45$ m**
- ✓ **$a = - 0,10$ m pour le groupe de ligne UIC 5 (fiche UIC 714 R)**
- ✓ **$b = (2.5 - 2.24) / 2 = 0.13$ m : travers en béton**
- ✓ **$c = 0$: dimensionnement normal**
- ✓ **$d = 0,00$: la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est de 200 KN**
- ✓ **$f = 0$: plate-forme de portance P3 et $v \leq 160$ KN/h.**
- ✓ **$G = 0$: couche de forme est en sol QS3**

Donc $e = 0,48$ m

Pour cette formule, nous avons constaté que l'épaisseur finale sera 0,2 m pour le sous-ballast.

Donc :

Ballast: 30 cm (sous traverse)

Sous-ballast : 20 cm

Couche de forme de type QS3 : de 50 cm compacté 100 % de la densité sèche correspondant à l'optimum Proctor normal.

Épaisseur totale : 100 cm selon le type de sol rencontré

IV. Conclusion :

Le dimensionnement nous a permis de mettre en évidence les épaisseurs des différentes couches devant être présentes pour supporter et diffuser la charge transmise par le matériel roulant. Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur en Algérie.

Assainissement

I. Introduction :

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. Ceci se fait à l'aide des différents ouvrages de drainages (Buses, Dalots,...). Le volet assainissement doit être traité avec précision et dans les normes. L'objectif principal de la présente étude hydrologique est donc la détermination des débits de crues tout le long du nouveau tracé de cette voie ferrée afin d'éviter toute inondation de celle-ci, et de prévoir ainsi l'aménagement hydraulique de protection le plus approprié.

II. Objectifs de l'assainissement et du drainage :

- assurer l'évacuation rapide des eaux pluviales.
- réduction du cout de l'entretien.
- protection de la voie contre l'inondation (la réparation des dégâts nécessite d'arrêter la voie à la circulation pendant les travaux de réparation des dégâts en vue de la difficulté de créer une déviation spontané pour cette voie).
 - Eviter les problèmes d'érosion des éléments de la superstructure de la voie (rail,...) et des talus de remblai et de déblais.
 - Le rabattement des nappes phréatiques

III. LES OUVRAGES HYDRAULIQUES :

L'assainissement des voies comprend l'ensemble des dispositifs à prévoir et à réaliser pour récolter et évacuer toutes les eaux superficielles et les eaux souterraines, c'est à dire :

- l'assèchement de la surface de circulation par des pentes transversale et longitudinale, par des fossés, caniveaux, curettes, rigoles, gondoles, etc...
- les drainages : ouvrages enterrés récoltant et évacuant les eaux souterraines (tranchées drainantes et canalisations drainantes).
- les canalisations : ensemble des ouvrages destinés à l'écoulement des eaux superficielles (conduites, chambre, cheminées, sacs, ...)

IV. Méthodologie à suivre :

a. Exposition et conception :

L'eau est un élément qui peut avoir des effets dégradables sur le projet, car il menace le comportement et la vie de la voie ferrée. Le tracé ferroviaire projeté, perturbe les écoulements naturels d'eau. Il est nécessaire pour cela de ne pas leur faire barrage, et de les évacuer vers un exutoire en dehors de l'emprise de la voie. On devra étudier avant la projection du profil en long, un rétablissement bassin des écoulements : il y a lieu de faire l'étude hydraulique pour définir les relations entre la pluie sur un bassin versant et le débit à l'exécutoire, cette étude va faire appel à des connaissances sur l'hydraulique de la région.

Le rétablissement des écoulements naturels se fait par :

- des ponts
- des ponceau ou dalots
- des buses

On doit calculer ou prévoir le débit de l'écoulement en tenant compte des prévisions des crues, ce débit doit être inférieur à celui de l'ouvrage hydraulique.

En voie ferrée, les ouvrages devront être conçus pour évacuer les plus grandes crues, on n'accepte en effet aucune inondation et on prend en compte généralement pour des projets si important, les crues qui peuvent se produire une fois par siècle (crue centennale).

Les débits prévisibles de crues dépendent de la superficie S , de la pente (P) et des autres caractéristiques du bassin versant drainé telles que le coefficient de ruissellement et le temps de concentration t_c (temps que mettra une goutte d'eau du point le plus éloigné à l'exutoire) ainsi que des précipitations sur ce bassin.

b. Dimensionnement :

Le dimensionnement et la construction de ces ouvrages doit être adéquate. Le projeteur a le devoir de s'assurer que les ouvrages suffiront au passage des hautes eaux, sans provoquer des dégâts sur les talus, ni d'affouillement ou d'érosion là où se concentre l'écoulement.

V. drainage des eaux souterraines :

a. **Nécessité du drainage des eaux souterraines :**

Les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de la nappe phréatique et d'autre part, les eaux d'infiltrations. Leurs effets sont nocifs si ces eaux détrempe la plate-forme, ce qui peut entraîner une baisse considérable de la portance du sol.

Il faut donc veiller à éviter :

- La stagnation sur le fond de forme des eaux d'infiltration à travers la voie ferrée
- La remontée des eaux de la nappe phréatique ou de sa frange capillaire jusqu'au niveau de la fondation.

b. **Protection contre la nappe phréatique :**

La construction d'un chemin de fer modifie la teneur en eau du sol sous-jacent, car les couches d'assise diminuent l'infiltration et l'évaporation.

Si le niveau de la nappe phréatique est proche de la surface, la teneur en eau du sol tend vers un état d'équilibre dont dépend la portance finale.

Lorsque cette dernière est faible, on pourra :

- soit dimensionner les couches d'assise en conséquence.
- soit augmenté les caractéristiques de portance du sol en abaissant le niveau de la nappe phréatique ou en mettant les couches d'assise en remblai.

Le choix de l'une ou l'autre de ces solutions dépend :

- des possibilités de drainage du sol (coefficient de perméabilité).
- de l'importance des problèmes de gel.
- de leurs coûts respectifs

VI. Structure Générale :

Un réseau d'assainissement est constitué de plusieurs éléments, participant à la collecte et l'évacuation des eaux usées et pluviales, vers des points de rejets bien déterminés

a. **Bassin versant :**

C'est la surface totale de la zone susceptible d'alimenter en eau pluviale, d'une façon naturelle, une canalisation en un point considéré.

Elle est définie par la topographie et délimitée soit par une crête soit artificiellement par une canalisation.

b. **Collecteur (canalisation):**

Conduite principale récoltant les eaux d'autres conduites, dites Collecteurs secondaires, recueillant directement les eaux superficielles ou souterraines.

Les collecteurs sont constitués par des tuyaux enterrés alignés, entre les regards avec un diamètre et une pente constante calculés suivant les débits à évacuer selon le principe de l'écoulement libre par gravité.

Ces tuyaux peuvent être soit en amiante ciment pour les petits diamètres, soit en béton pour les gros diamètres.

- Tuyaux circulaires : simple de fabrication et d'exécution, ils sont les plus utilisés.
- Tuyaux ovoïdes : ils sont utilisés pour l'évacuation des grands débits.

c. Cheminée (chambre de visite):

Ouvrage placé sur les canalisations pour contrôler, nettoyer et pour faciliter l'entretien des canalisations.

Pour cette dernière raison, la distance entre deux chambres consécutives ne devrait pas dépasser 100 m.

d. Sacs :

Ouvrage placé sur les canalisations pour permettre l'introduction des eaux superficielles, et sont fréquemment équipés d'un dépotoir, destiné à retenir des déchets solides qui peuvent être entraînés, par les eaux superficielles.

e. Cueillette de loup, grille d'introduction et gueulard :

Ils permettent l'écoulement de l'eau superficielle dans les sacs.

f. Ovoïde :

Lorsque les débits sont importants et entraînent de gros diamètres, la canalisation est remplacée par un ovoïde.

g. Les regards :

Ils sont constitués d'un puits vertical, muni d'un tampon en fonte ou en béton armé, dont le rôle est d'assurer pour le réseau des fonctions de raccordement des conduites, de ventilation et d'entretien entre autres et aussi à résister aux charges roulantes et aux poussées des terres.

VII. Assainissement de la plateforme:

L'assainissement de la plate-forme doit assurer :

- La collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la voie.
- La protection des couches d'assise contre les eaux internes (drainage).
- Le rétablissement des petits écoulements naturels.

a. Conception générale :

Généralement, il suffit de pente transversalement la couche de forme et le sous-ballast en forme de toit (4% - 4%), Symétrique en double voie, dissymétrique en voie unique comme dans notre cas, puis de pente la surface latérale de la plate-forme de 1/1.5 cela dépend du type de sol –ces deux pentes permettent la direction des eaux vers un fossé latéral ou elles y seront recueillies. Le fossé, lui-même est pente longitudinalement pour l'évacuation finale des eaux. Cette évacuation finale peut se faire au niveau des ouvrages hydrauliques, dans une vallée, ou encore dans une dépression de relief quelconque.

N.B : Les fossés en terre doivent porter l'eau à une vitesse limitée afin d'éviter l'érosion, sinon (pour de grandes vitesses) les fossés seront revêtus (en béton).

VIII. hydrologie de la région:

La ligne nouvelle Tissemsilt –Boughzoul d'une longueur de 130 km traverse le grand bassin versant du Chélif .L'oued Chélif prend naissance au niveau de djebel Amour au sud de Tiaret pour suivre le chemin : Tissemsilt-Boughzoul-Berouaghia-Khemis-Chlef-Mostaganem, donc tous les Oued traversés sont soit des affluents du Chélif soit un autre nom de l'oued chélif (Oued Nahr Ouassel; Faich el djedida Oued fedoul; Oued touil)

- ✓ Pluie moyenne journalière $P_j=59$ mm
- ✓ $C_v=0,45$
- ✓ $b=0,37$

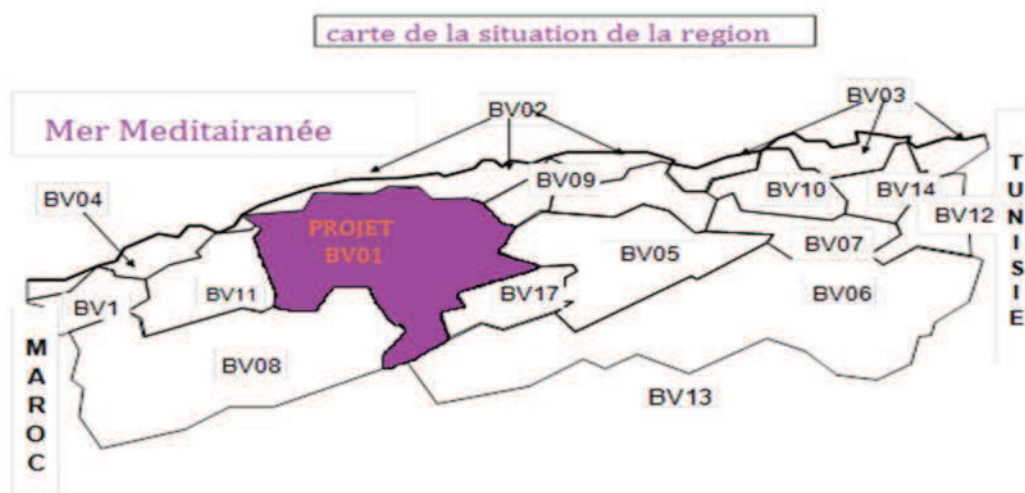


Fig. VIII.01: Carte de situation de la région étudiée

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

Le bassin du Chéliff codé (01) par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), est situé au Centre-Ouest du pays entre les bassins des Côtiers Algérois (02) au Nord, de

l'Isser (09) et Chott Hodna (05) à l'Est, de Zahrez (17) et du Sahara (13) au Sud, des Côtiers Oranais (04), des Hautes Plaines Oranaises (08) et Macta (11) à l'Ouest.

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

VIII.1. Caractéristiques morphologiques des bassins versants:

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

La superficie (S) des bassins, exprimées en km², est déterminée avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major au 1/200 000 et 1/50 000.

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des Oueds traversant la nouvelle voie ferrée sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VIII.01: les données hydrologiques

NBV	pk	S(km ²)	P(km)	Lcour (Km)	Kc	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Δh (m)	penne talweg (%)	Tc (h)	C ruiss
01	15+225	1,447	7,081	2,593	1,23	895	825	860	70	2,70	0,3	0,23
02	15+800	0,529	3,422	0,868	1,03	883	819	851	64	7,37	0,2	0,28
03	17+00	1101,056	247,945	49,507	9,87	1222	793	1007,5	429	0,87	17,7	0,23
04	17+230	1101,056	247,945	49,507	9,87	1222	793	1007,5	429	0,87	17,7	0,23
05	34+800	0,966	4,995	1,044	1,37	820	811	815,5	9	0,86	0,8	0,23
06	35+860	1609,88	209,592	77,19	6,68	1455	800	1127,5	655	0,85	19,1	0,23

IX. Dimensionnement des ouvrages de rétablissement des écoulements:

IX.1. Estimation des débits de crue ou d'apport(Qa):

Le calcul du débit maximum limite, de fréquence donnée, à l'intensité moyenne I de la pluie, et de durée " t" égale au temps de concentration est effectué par une formule donnant un débit de la méthode dite rationnelle et elle est donnée par :

$$Q_a = K \times C \times I \times A$$

Q_a : débit déterminant en m³/s

C : coefficient de ruissellement.

I : intensité de l'averse de durée égale au temps de concentration en mm/h

K = 2.778 : coefficient qui permet de convertir les mm/h en l/s

A : superficie de la surface drainée (bassin versant)

a. Coefficient de ruissellement "c" :

Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisée par rapport à la surface drainée, Sa valeur est obtenue en tenant compte de trois paramètres suivants : la couverture végétale, la forme, la pente et la nature du terrain.

Tableau VIII.02 : les valeurs de coefficient de ruissèlement en fonction de type de sol

Type de sol	Coefficient	Valeurs prises
Accotement (sol legerement permeable)	0.15-0.4	0.4
Talus sol perméable	0.1-0.3	0.3
Terrain naturel	0.05-0.2	0.2

b. Intensité de la pluie :

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

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

Le calcul de la précipitation P_j (%) est obtenu par la formule suivante :

$$P_j (\%) = \frac{P_{moy}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{-\frac{z}{u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}}$$

Pj moy : pluie journalière moyenne (mm).

C_v : Coefficient de variation.

U : variable de gauss.

Ln : log Népérien

La pluie de référence pour le dimensionnement des ouvrages correspond à une durée de pluie (t) en minute et une période de retour de 10 ans(Les buses), 50 ans(les dalots) ,100 ans (des ouvrages).

Soit le tableau suivant qui donne les valeurs du variable de GAUSS en fonction de la fréquence :

Tableau VIII.03 : les valeurs de variable du GAUSS

Fréquence (%)	Période de retour (ans)	Variable de GAUSS(U)
50	2	0.00
20	5	0.841
10	10	1.282
2	50	2.057
1	100	2.327

- **Calcul de l'intensité de l'averse:**

$$Pt (\%) = Pj (\%) \cdot (Tc/24)^b$$

Avec :

Pj : Hauteur de la pluie journalière maximale (mm)

Pt : pluie journalière maximale annuelle.

b: Exposant climatique.

Tc: Temps de concentration (heure).

- **Temps de concentration :**

La durée t de l'averse qui produit le débit maximum Q étant prise égale au temps de concentration.

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

$$T_c = \begin{cases} 0.127\sqrt{A/P}, & \text{lorsque } A < 5\text{km}^2 \\ \frac{0.128\sqrt[3]{AL}}{\sqrt{P}}, & \text{lorsque } 5\text{km}^2 < A < 25\text{km}^2 \\ \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{H}}, & \text{lorsque } 25\text{km}^2 < A < 200\text{km}^2 \end{cases}$$

Où :

T_c : Temps de concentration (heure).

A : Superficie du bassin versant (km^2).

L : Longueur de bassin versant (km).

P : Pente moyenne du bassin versant (m.p.m).

H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

c. Calcul de l'intensité moyenne:

$$I(t) = P(t) / T_c$$

Où : I : Intensité de la pluie (mm/h).

T_c : Temps de concentration (heure).

$P(t)$: Hauteur de la pluie de durée t_c (mm).

Tableau VIII.04 : Résultat de calcul de débit d'apport :

NBV	pk	S(km)	C ruis	T_c (h)	$I(t,100)$ (mm/h)	Q projet (m^3/s)
01	15+225	1,45	0,23	0,31	53,63	4,96
02	15+800	0,53	0,28	0,23	64,85	2,67
03	17+00	1101,06	0,23	17,67	4,03	283,49
04	17+230	1101,06	0,23	17,67	4,03	283,49
05	34+800	0,97	0,23	0,82	28,69	1,77
06	35+860	1609,88	0,23	19,08	3,83	394,52

IX.2. Calcul de débit de saturation (Qs) :

Le calcul du débit est déterminé par la formule de « MANING STRIKLER »

$$Q_s = V \times S_u$$

Avec : $V = K_{st} \cdot I^{1/2} \cdot R^{2/3}$

Kst : coefficient de « MANNING STRIKLER »

I : pente longitudinale de l'ouvrage

Kst : 30 en terre

R_H : Rayon hydraulique

Kst : 40 en buses métalliques

S_t : Section totale de l'ouvrage

Kst : 50 maçonneries

S_u : Section utile de l'ouvrage $b \times H_u$

Kst : 70 bétons (dalots)

H_u : hauteur utile

Kst : 80 bétons (buses préfabriquées).

X. Dimensionnement du réseau de drainage des rampes :

En ce qui concerne l'assainissement des rampes des bordures hautes qui protègent les remblais des eaux de ruissellement sont prévus le long de ces rampes. Les eaux de ruissellement sont acheminées à l'aide des descentes maçonnées à canettes. Les canalisations se font à l'aide de semi buses en directions du fossé principal. Le diamètre de la canalisation est fonction du débit maximum à évacuer, ce dernier est donné par la formule de « MANING-STRIKLER ».

$$Q_s = K_{st} R^{2/3} I^{1/2} S$$

Où:

Q_s: débit maximum

K_{st}: coefficient de rugosité de canalisation.

I: pente de canalisation. (m/m).

S: section transversale de l'écoulement.

R_H: rayon hydraulique ($R_H = S_m/P_m$).

XI. Application à notre projet :

XI.1. Dimensionnement des fossés :

On prévoit des fossés dans les zones en déblais, pour recueillir et évacuer les eaux de ruissellement qui proviennent de la voie et le talus de déblais.

On choisit des fossés de forme trapézoïdale en béton,

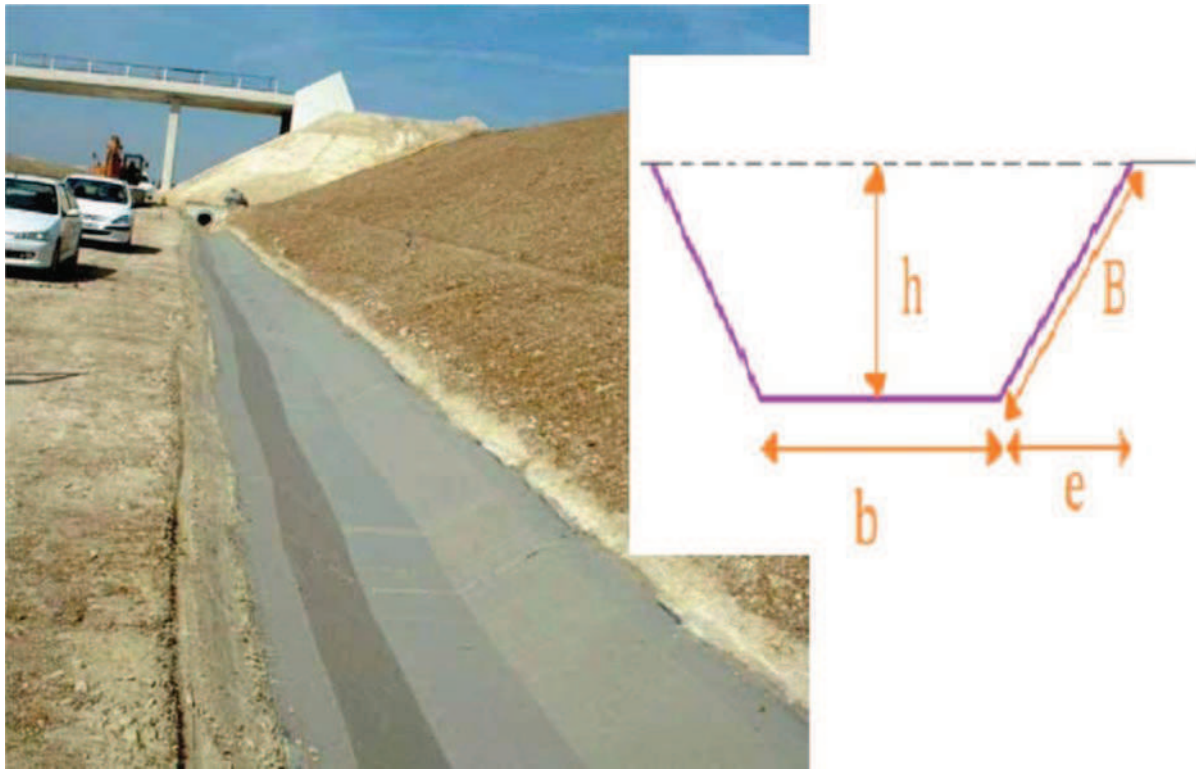


Fig. VIII.2: photo d'un fossé trapézoïdale

Pour la détermination de l'intensité des averses, on a considéré une période de retour de 10 ans.

La pente du talus à ($p=1/n=1/1.5$) d'où la possibilité de calculer le rayon hydraulique en fonction de la hauteur h .

- **Calcul de la surface mouillée :**

$$S_m = bh + 2eh / 2$$

$$\text{Tg} \alpha = h/e = 1/n \quad \text{d'où } e = nh$$

$$S_m = bh + nh^2 = h(b + nh)$$

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

- **Calcul du périmètre mouillé:**

$$P_m = b + 2c$$

D'après PYTAGORE

$$\text{Tg}\alpha = h/e = 1/n \quad \text{d'où } e = nh$$

$$C = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + (hn)^2} = h\sqrt{1 + n^2}$$

Donc

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

$$R = \frac{S_m}{P} = \frac{h(b + nh)}{b + 2h\sqrt{1 + n^2}}$$

$$\text{À la saturation : } Q_{\max} = Q_s = K \cdot I^{1/2} \cdot S_m \cdot R^{3/2}$$

$K=50$ (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier)

I : est la pente de l'ouvrage trouvée à 1,6%

$$Q_s = Q_a = K \cdot I^{1/2} h(0,5 + 1,5h) \cdot \left(\frac{h(0,5 + 1,5h)}{0,5 + 2h\sqrt{1 + 1,5^2}} \right)^{3/2}$$

On prend $b=50$ cm et on calcul la hauteur h par itération :

Le choix $b=50$ cm et $h=50$ cm

XI.2. Dimensionnement des buses :



Fig. VIII.3: photo d'une buse

Pour dimensionner les buses on prend $Q_a = Q_s$

$$Q_a = 2,778 \times C \times I_t \times A$$

$$Q_s = S \cdot K_{st} \cdot R^{3/2} \cdot I^{1/2}$$

- **Calcul de débit de saturation Q_s :**

On a :

$$Q_s = S \cdot K_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \text{et} \quad S_m = \frac{1}{2} \pi R^2$$

(Pour une hauteur de remplissage égale a $0,5\emptyset$)

Rh : rayon hydraulique=R/2

Kst : 80 (pour les buses)

I : la pente de pose qui vérifie la condition de limitation de la vitesse maximale d'écoulement a 4,5 m/s

Pour notre projet on prend I= 1%

$$Q_s = 80 \times \frac{1}{2} \times \pi R^2 \times R^{2/3} \times (0,01)^{1/2}$$

Donc on aura :

$$Q_s = 12,56 \cdot R^{8/3}$$

- **Exemple de calcul :**

On prend le bassin versant de pk 15+675

$$Q_a = 2,67 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Alors} \quad R = 0,560 \text{ m} \quad \text{d'où} \quad \emptyset = 1200 \text{ mm}$$

XI.3. Dimensionnement des dalots :

Les dalots sont constitués par deux murettes verticales au pied droit sur lesquelles repose une dalle ou une série de dalles accolées (on utilise généralement des dalles de 1 m de largeur), les pieds droits sont posés sur une fondation ou radier.

Dans notre projet, les dalots sont en béton.

On fixe la hauteur d'après le profil en long et on calcule la travée nécessaire.

On fixe aussi la hauteur de remplissage a $\emptyset = 0,8h$

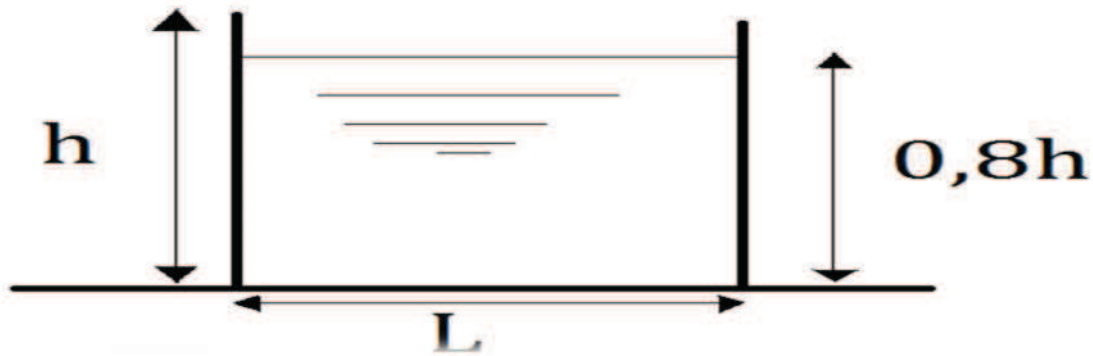


Fig.VIII.4: Schéma d'un dalot

$$S_m = 0,8 \times h$$

$$p_m = 1,6h + L$$

$$R_h = \frac{S_m}{p_m} = \frac{0,8h}{1,6h+L}$$

$$Q_a = Q_s = S \cdot K_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \text{Avec : } K_s=70 \text{ béton (dalot), } I=1\%$$

Tableau VII.4 : tableau réduplicatif des ouvrages hydrauliques de franchissement :

N° BV	Pk	Q projet (m³/s)	Diamètre de buse (mm)	Nb de dalot	b (m)	h (m)	Hu (m)	Q saturation (m³/s)	V adm (m/s)	Description constructive
01	15+550	4,96		1	1,5	1,5	1	5,97	3,98	Dalot
02	15+675	2,67	1500							Buse
03	16+500	283,49		5	3,5	3	2,5	312,23	7,14	OA
04	17+00		6φ1000							Buse
05	34+300	1,77	1000							Buse
06	34+800	394,52		5	4	3,5	3	474,28	7,90	OA

XII. Conclusion :

A cause des grandes intempéries qui caractérisent la région du bassin versant numéro 01(bassin versant de Chleff), on doit trouver mettre un nombre considérable des ouvrages d'évacuation des eaux ce qui va refléter directement sur le cout global du projet.

Profil en travers

I. introduction :

Le profil en travers est une coupe dans le sens transversal perpendiculaire à l'axe de la voie projetée suivant un plan vertical en délimitant toutes les parties de la voie.

- Un projet de voies ferrées comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers. Pour éviter de rapporter sur chacun d'eux les dimensions générales qui se répètent et des détails constructifs communs, on établit tout d'abord un profil unique appelé « profil en travers type » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc...).
- Les profils en travers se rapportent à un point bien défini du tracé et contiennent des indications spécifiques valables en ce point seulement (altitude et forme du terrain, altitude de l'axe, hauteur des différents bords, largeur des talus avec leur pente et ouvrages particuliers).
- La distance entre ces profils varie selon la nature de terrain.
- Le profil en travers est composé ordinairement selon la position de la chaussée par rapport au terrain de deux demis - profil juxtaposé : l'un « en remblai » l'autre « en déblai ».

II. Les éléments du profil en travers :

Le profil en travers comporte plusieurs éléments :

a. Couches d'assise :

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

b. Ballast :

Le Ballast est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure. La couche de "ballast" et le matériau "ballast" ne sont évoqués ici que dans la mesure où ils influent sur la qualité des ouvrages en terre.

c. Sous-couche :

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

- amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- anticontamination entre plateforme et ballast.
- protection contre l'érosion et le gel.
- évacuation des eaux zénithales.

La sous-couche peut être, mono ou multicouche (par exemple : couche "sous ballast", couche de fondation, couche anticontaminante).

d. Ouvrage en terre :

Ensemble des ouvrages constitués par les déblais, les remblais et les profils mixtes.

e. Plateforme :

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plateforme est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

f. Couche de forme :

La partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme généralement pente transversalement.

Les Réseaux considèrent différemment la fonction de la couche de forme (par exemple : stabilisation, substitution, amélioration,...).

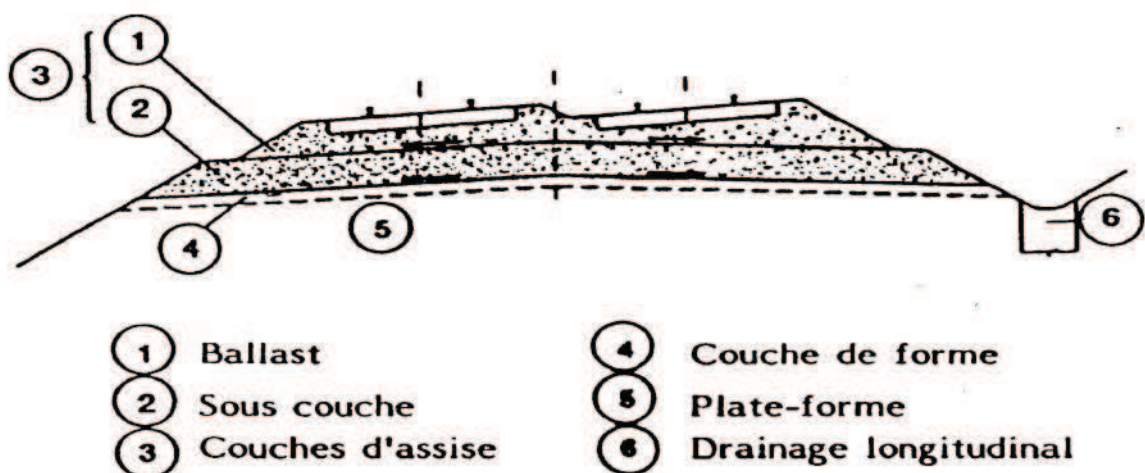


Fig. IX.01 : profil en travers d'une voie unique

g. Emprise :

C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie ; limitée par le domaine Public.

h. Assiette :

C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

i. La voie :

C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.

j. La berme :

Elle 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.

k. Drainage longitudinal :

Les drainages longitudinaux recueillent et évacuent les eaux de ruissellement, d'infiltration ou souterraines. D'une manière générale, on peut distinguer :

- les dispositifs de drainage profonds (drains, collecteurs drainants, collecteurs),
- Les fosses.

III. Ecartement de la voie :

Une voie ferrée est notamment caractérisée par de ses deux files de rail. Cet écartement dicte les dispositions constructives du matériel roulant, du matériel de voie et des ouvrages d'art. Il a été convenu que l'écartement doit se mesurer entre les joues intérieures des deux files de rail à 14mm en dessous du plan de roulement.

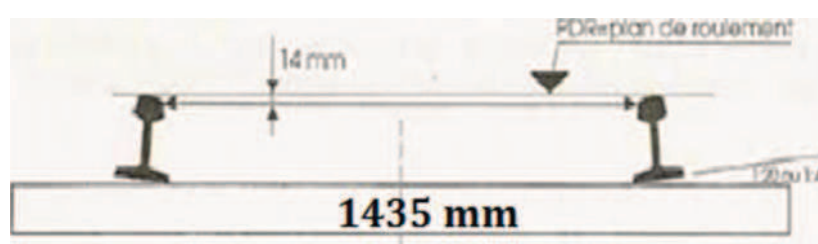


Fig. IX .02: Ecartement le plus utilisés dans le monde

L'écartement le plus répandu dans le monde est l'écartement normal de 1435 mm. Cet écartement, d'origine anglaise, remonte à l'époque du grand essor de la traction à vapeur. La plupart des grands réseaux européens ont adopté l'écartement normal. Mais celui-ci n'est de pas unique. De grands réseaux d'Amérique du sud et d'Asie utilisent l'écartement ibérique de 1668 mm. La voie étroite de 1067 mm (écartement dit du

« Cap » et également d'origine anglaise) équipe certains réseaux d'Afrique et d'Asie. L'écartement peut donc être très différent d'un réseau à l'autre en fonction de leurs caractéristiques.

Tableau IX.01: les différents écartements utilisés au monde

Désignation	Ecartement (mm)	Utilisée en	% du réseau mondial
Ecartement large VL	1676	Argentine, Chili, Inde	4.8
	1668	Espagne, Portugal	1.3
	1600	Irlande, Australie, Brésil	1.3
	1524	ex-URSS, Finlande, Mongolie	11.6
Ecartement normal VN	1435	Algérie, Egypte, Maroc, Tunisie Europe (sauf URSS, Espagne, Portugal, Irlande et Finlande), Australie, USA, Canada, Mexique, Cuba, Argentine, Paraguay, Pérou, Uruguay, Venezuela, Afghanistan, Chine, Japon, Corée, Pakistan, Iran, Irak, Liban, Arabie Saoudite, Syrie, Turquie,	62.8
Ecartement étroit VE	1067	Australie, Nouvelle Zélande, Costa Rica, Honduras, Equateur, Nicaragua, Taiwan, Indonésie, Japon, Philippines, Afrique équatorial, Afrique du Sud, Angola, Kenya, Soudan, Zimbabwe, Zambie, Zaïre	7.7
	1000	Autriche, France, Grèce, Yougoslavie, Suisse, Espagne, Portugal, URSS, Porto Rico, Chili, Argentine, Brésil, Bolivie, Inde, Malaisie, Birmanie, Cambodge,	8.6
	914	Thaïlande, Irak, Ethiopie, Madagascar, Tanzanie,	0.6
	726	Ouganda, Afrique équatoriale	0.5
	Divers	Irlande, Guatemala, Honduras, Panama, El Salvador, Colombie Roumanie, Inde, Népal, Pakistan, Mozambique	0.8

a. Choix de l'écartement :

De nombreuses considérations interviennent lors du choix d'un écartement pour un réseau.

- Ce choix peut être dicté par la volonté d'employer un écartement standard, afin de faciliter les interconnexions entre les différents réseaux et d'éviter ainsi des opérations délicates à l'interface de deux standards différents.
- D'autre part, en cas de tracé accidenté en plan et en élévation, la voie étroite offre l'avantage de s'inscrire à moindres cout d'investissement-exploitation dans la topographie en raison de ses résistances à l'avancement plus faible qu'une voie à écartement normal (VN). En effet, ces résistances découlent d'une charge par essieu relativement basse, d'un diamètre de roue et d'un empatement des bogies et des véhicules faibles et de résistances locales en peu importantes.
- Du point de vue strictement économique, le choix de l'écartement visera à minimiser le prix de revient de la tonne-km ou du voyageur-km. En effet, celui-ci peut sensiblement varier en fonction de l'écartement.
- En considérant les frais totaux, on peut déterminer à partir de quel tonnage transporté il devient intéressant d'utiliser une voie normale plutôt qu'une voie étroite.
- Notons encore que le choix d'un écartement peut également résulter de l'historique du réseau, de l'origine du matériel utilisé, d'impératifs liés à la défense nationale ou de considérations politiques diverses.

IV. Etablissement du profil en travers type :

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

a. Éléments de superstructure :

- la distance entre les axes des deux voies
- l'épaisseur du ballast
- La longueur des butées du ballast
- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
- Le type de Travers utilisé.
- Epaisseur de la couche de ballast.
- La valeur du devers maximale en courbe

b. Éléments d'infrastructure :

- Les épaisseurs et la nomination de chaque couche
- Les pentes de chaque couche

- la pente latérale de la plate-forme
- c. **Éléments du talus :**
 - la pente de chaque talus
 - Les ouvrages de consolidations éventuelles
- d. **Éléments d'assainissement :**
 - Type et dimension du fossé ou des drains

Deux types de profils en travers se rencontrer :

- **Profils homogènes :** ce sont des profils complètement en remblais ou déblai
- **Profils hétérogènes ou profils mixte :** ce sont des profils partiellement en remblai et partiellement en déblai.

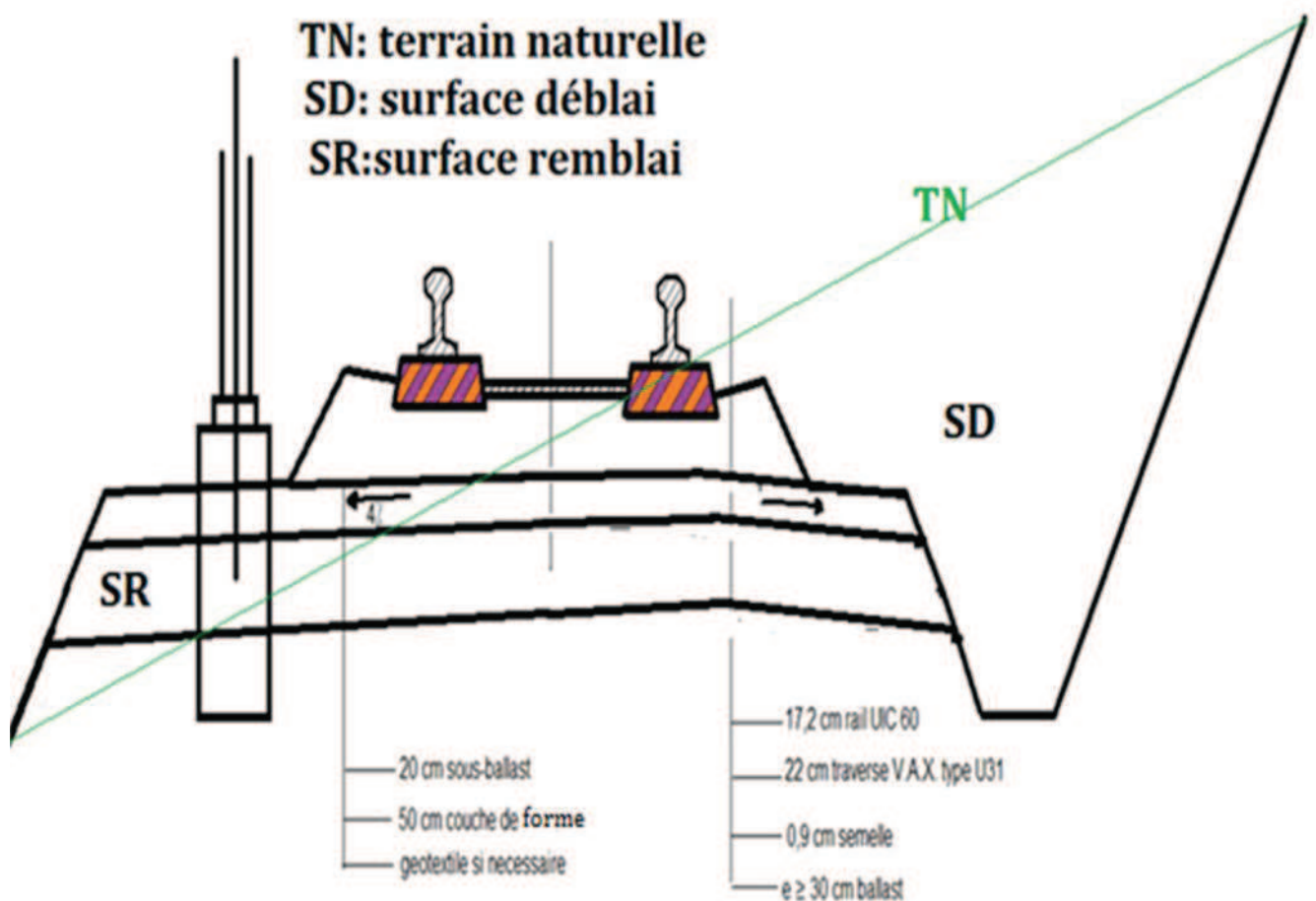


Fig. IX.03 : exemple de profil en travers type

V. le terrassement:

La réalisation d'une voie nécessite la mise en œuvre de quantités parfois très importantes de matériaux de plateforme, avant même la construction de la voie, pour cela il est nécessaire de tenir compte de cet aspect dès le stade de l'étude du tracé en veillant les plus faible volumes de terrassement possibles et un équilibre du mouvement de terres (déblai, remblai).

La finalisation d'un projet de voie ferrée passe nécessairement par une optimisation du profil en long permettant d'atteindre ces objectives trois phases :

- Etablissement d'un projet de profil en long et sont essentielles dans cette démarche de profil en travers avec représentation des différentes familles de sols rencontrés et identifié l'ors de la reconnaissance géotechnique.
- Evaluation des volumes de ressources en matériaux disponibles et étude des conditions de leur réutilisation en fonction des besoins du projet (remblai, déblai, couche de forme).
- Etude de mouvement des terres permettant une utilisation optimale des ressources disponibles en matériaux avec localisation des emprunts ou dépôts éventuels.

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils ont pour objectif fondamental 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. Cette modification s'effectue soit par apport de terre sur le sol du terrain naturel qui lui suivra le support : remblai, soit par excavation des terres existantes au-dessous du niveau de la ligne rouge : déblai. Les deux opérations seront réalisées après défrichage. L'ensemble de ces deux opérations constitue les TERRASSEMENTS.

On désigne par mot terrassement, l'ensemble des opérations qui consistent à creuser et à transporter les terres et destinées à modifier la forme du terrain. On appelle déblai, l'opération d'enlèvement des terres pour niveler ou abaisser le sol.

On appelle remblai, la mise en place des terres pour édifier un massif ou combler une cavité de forme donnée.

On appelle emprise des terrassements, la surface du terrain naturel occupée par les

remblais et les déblais. En chaque point du plan le terrain naturel et le terrain définitif sont définis en altitude par leur côte. La hauteur du remblai ou du déblai est la différence entre ces deux côtes, cette différence représente la côte de la ligne rouge.

Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle (les cubatures des terrassements).

V.1. définition des cubatures :

Les cubatures de terrassement présente l'évolution des quantités de terre (volume) à déblayer et cette à remblayer dans le but d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet.

La cubature des terrassements est calculée après définition du terrain naturel et du projet par un tracé en plan, un profil en long et des profils en travers.

La cubature des matériaux de la voie est réalisée en fonction de la « coupe transversal » de la voie après dimensionnement de la voie



Fig. IX.4 : opération de terrassement

Les profils en long et les profils 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.

Le calcul des cubatures a pour objectif la détermination des quantités des différents matériaux :

- structure de la plateforme (déblai/remblai)

- structure de la voie ferrée



Fig. IX.5 : engin de terrassement

Le volume compris entre la ligne du projet (sous corps de chaussée) et la ligne du terrain naturel (après décapage) constituent les cubatures.

Avant de calculer le volume des terres compris dans une butte de terre en déblai, ou dans une cavité de remblai il faut déterminer au préalable les surface des différents profile en travers.

V.2. méthode de calcul des cubatures :

Les cubatures sont Les calculs effectués pour avoir les volumes des terrassements existants dans notre projet. Il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes remblai-déblai qui simplifie le calcul. Parmi lesquelles nous citerons :

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

Le travail consiste à calculer les surfaces SD et SR pour chaque profil en travers, en suite on les soustrait pour trouver la section pour notre projet

On utilise la méthode SARRAUS, c'est une méthode simple qui se résume dans le calcul des volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs

V.3. 1.Méthode de la moyenne des aires :

En utilisant la formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs :

$$V = \frac{h}{6} \times (S_1 + S_2 + 4 S)$$

Ou

h, **S1, S2 et S** désignant respectivement :

- Hauteur entre deux profils.
- Hauteur des deux profils en travers P1 et P2
- Surface à mi-distances des profils.

Adoptons la figure ci-dessous présentant les profils en long d'un tracé donné :

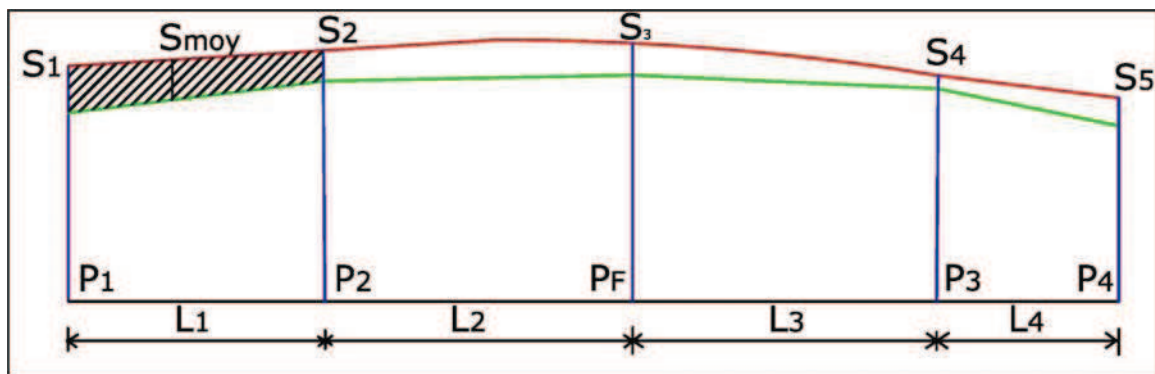


Fig.IX.06 surface moyenne

Le volume compris entre les deux profils en travers P1 et P2 de section S1 et S2 sera égale a :

$$V = \frac{L_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4 S_{moy})$$

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions Smoy et $\frac{S_1+S_2}{2}$

Donc les volumes seront :

$$\text{Entre P1 et P2} \Rightarrow V_1 = \frac{L_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

$$\text{Entre P1 et Pf} \Rightarrow V_2 = \frac{L_2}{2} \times (S_2 + S_3)$$

$$\text{Entre Pf et P3} \Rightarrow V_3 = \frac{L_3}{2} \times (S_3 + S_4)$$

$$\text{Entre P3 et P4} \Rightarrow V_4 = \frac{L_4}{2} \times (S_4 + S_5)$$

En additionnant membre à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

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.

Remarque :

- Pour le calcul métrique de la superstructure de la voie, les quantités sont indiquées au niveau du devis quantitatif et estimatif.
- Le calcul automatique des cubatures est fait par logiciel COVADIS 9.1, les résultats obtenus sont joints dans l'annexe.

V.3. Les résultats de calcul des cubatures :

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait avec logiciel COVADIS 9.1.

Tableau IX.02 : résultat de calcul de cubature

désignation	Volumes (m ³)
Remblai	1 640 122 .074
Déblai	316 467.741
Décapage de TN	177 719.254

VI. conclusion :

Dans notre projet la plupart de la ligne rouge est au-dessus de terrain naturel c.-à-d. la majorité de notre tracé est un remblai sauf dans des zones de hautes altitude on doit procéder à un déblayage pour limiter la pente sur le profil en long.

Les ouvrages d'art et les ouvrages en terre

I. Introduction:

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

- Ponts rail
- Ponts routiers
- Passages inférieur (pont cadre)
- Les ouvrages hydrauliques (buse, dalot)
- Tunnel ferroviaire

II. Les ponts :

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

La voie portée peut être :

- Une voie routière (pont-route)
- Piétonne (passerelle)
- Ferroviaire (pont-rail)

Dans tous les cas, le choix de type d'ouvrage dépend des contraintes imposées, ces conditions sont deux sortes :

- Donnée naturelles : écoulement des eaux, nature de sol, etc.
- Exigence technique : portée, programme de charge, gabarit, etc.

Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- ✓ La voie portée, ou l'obstacle franchi
- ✓ Programme de charge
- ✓ Gabarit
- ✓ adaptation architectural a la région

III. les croisements avec une route :

En général, le problème de croisement doit prendre en considération la nature et le débit de la voie. L'analyse au cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale doit être faire.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- passage supérieur : si la vitesse de train est importante ≥ 100 km/h et si la topographie ne le permet pas.



Fig.X.01 : passage supérieur d'un chemin de fer

- Passage à niveau : pour les routes de faible débit surtout.

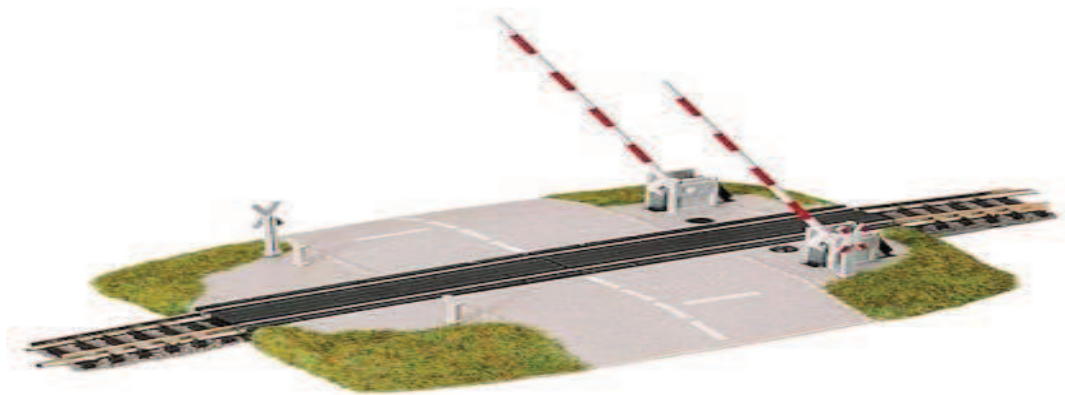


Fig.X.02 : passage à niveau d'un chemin de fer avec une route

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



Fig.X.03 : passage inférieur d'un chemin de fer

En ce qui concerne notre projet, la vitesse du train étant de 160 km/h donc on évitera les passages à niveau.

IV. Liste des ouvrages d'art sur notre tracé :

Le tableau suivant résume l'ensemble des ouvrages sur notre tracé

Tableau X.01 : liste des ouvrages d'art

situation	Type d'ouvrage	Infrastructure existant	observations
15+830	Passage supérieur	RN	
16+500	Ouvrage d'art		Franchissement d'un oued
17+022	Pont rail	route	
21+600	Pont rail	Piste	
23+250	Passage supérieur	Piste	
25+917	Passage supérieur	Piste	
27+160	Passage supérieur	Piste	
29 +150	Passage supérieur	Piste	
32+875	Passage supérieur	Piste	
34+800	Ouvrage d'art		Franchissement d'un oued
35+075	Passage supérieur	Piste	

V. Les ouvrages en terre :

Les recommandations et les prescriptions en usage dans les divers réseaux ferroviaire concernant les terrassements proprement dits (étude d'exécution des ouvrages en terre) font appel aux techniques mises au point dans le domaine des travaux publics.

Bien étendu, l'étude et le contrôle d'exécution des ouvrages en terre ferroviaires doivent être conduits d'une façon particulièrement stricte.

V.1. talus en remblais:

Pour la protection des talus de remblais résultant du contact avec les eaux superficielles, nous préconisons l'exécution de protections de ces talus. Plusieurs solutions seront proposées: Pêrres, Gabions, Plantations d'arbres, engazonnement. Ces protections seront prévues principalement dans les zones de forte présence d'eaux: acces des ouvrages hydrauliques, proximité des zones inondables, ..

V.1.talus en déblai:

Pour la stabilisation des talus et pentes il y a plusieurs méthodes classiques ainsi que des nouvelles technologies pour stabiliser les pentes et les talus selon le type de sol, la durée de vie de projet et le financement. Plusieurs solutions existent dans le monde :

a. Mur en gabions :

C'est un type de mur-poids qui assure la stabilité du système mur/sol par son poids propre. Il est composé d'éléments indépendants, appelés cellules du gabion, dont la juxtaposition permet de construire un mur. La cellule est une caisse ou cage en grillage métallique galvanisé, remplie de matériaux de grandes dimensions, tel que les galets, les cailloux, et les graviers.

Les cailloux doivent provenir de roches inaltérables.

Ils seront utilisés pour :

- La protection de berges, ils doivent assurer la protection contre l'érosion,
- comme soutènement de faible hauteur, ils doivent être stables en reprenant les poussées exercées à l'amont.
- les gabions destinés à la protection des berges comportent une semelle de fondation, constituée par des gabions plats et déformables capables de s'adapter à une déformation du sol support, On choisit ce type de soutènement car il présente plusieurs avantages, notamment la facilité de réalisation, la rapidité du procédé, et l'adaptation à une diversité de forme du mur.

On obtient ainsi un parement travaillant comme un mur-poids souple, s'adaptant à des déformations importantes, et perméable.



Fig.X.04 : mur de soutènement en gabio

a. Pêrrés maçonnés:

Il s'agit d'un revêtement des talus soit:

- avec des pierres de type brut, posé sur une couche améliorée et jointé avec du mortier dosé à 350 kg.



Fig.X.05 : pêrrés maçonnés dans un talus

- une couche de 14 à 20 cm de béton maigre
- pose d'éléments préfabriqués jointifs creux ,stabilisés par de la végétation

b. Végétalisation :

La végétalisation consiste en la mise en place d'une couverture de terre végétale sur les ouvrages en terre et puis à son ensemencement et à son éventuelle plantation.

Les objectifs de cette opération sont d'éviter le lessivage des fines, le ravinement et la détérioration des talus par leur exposition prolongée aux intempéries, cette méthode permet d'améliorer l'environnement en intégrant les ouvrages en terre dans le contexte végétal.

Cette protection doit être efficace le plus rapidement possible et être effective pendant tout le cycle de vie de l'ouvrage. L'épaisseur de terre végétale à épandre sur les surfaces de talus de déblais et remblais est de 10 cm avec une tolérance de + ou - 5 cm suivant la normale au talus.



Fig.X.06 : Végétation des Talus

c. Enrochements :

Ce sont des ouvrages de protection par blocs rocheux des pieds de talus, des rampants et des berges contre l'érosion liée aux écoulements. Ces ouvrages doivent protéger les bases de remblai en zones inondables contre les actions agressives des crues.



Fig.X.07 : enrochement des pieds des talus

VI. Conclusion :

- pour la protection des pieds des talus de remblais contre l'érosion nous préconisons un système d'enrochement et des Pêrès maçonnés
- pour la stabilisation des talus on recommande des banquettes
- la végétation sera mise en place pour la protection des petits talus
- dans les zones très évasées qui sont inondées en période de crues, le niveau général des eaux reste bas, nous avons prévu en plus des ouvrages hydrauliques (buses, dalot...)
- une protection des talus par une combinaison de gabions en bas de remblai et en perré maçonné sera mise sur toute la hauteur du talus.

La Signalisation ferroviaire

I. Introduction :

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

II. Notions :

Quelques notions à connaître

- l'agent de conduite est appelé mécanicien. Cette appellation reste inchangée depuis l'époque de la vapeur.
- le régime de marche est la distinction entre la marche normale des trains et la marche en manœuvre
- l'aiguillage est appelé aiguille. Le mot aiguillage désigne l'action de l'aiguilleur : donner une direction au train, c'est l'aiguiller.
- le signal est un élément transmettant des ordres ou des informations relatives à la protection des circulations.
- la cible où sont affichés les feux de couleur s'appelle un panneau lumineux (ou plus simplement un panneau).
- les mots cocarde et aile désignent les cibles colorées des signaux mécaniques.
- la cible pour indication auxiliaire, écrite ou en pictogramme, est appelée pancarte ou tableau, respectivement si elle est sous forme de plaque métallique simple ou de boîtier rétro-éclairé.

A savoir aussi :

- un élément en amont du train est un élément dont le train s'éloigne, et qui est donc derrière le train ;
- un élément en aval du train est un élément dont le train s'approche, et qui est donc devant le train.

III. Les composantes de la signalisation :

III.1. les signaux et les plaques:

Les signaux mécaniques étant en cours de disparition la distinction technique traditionnelle entre signaux mécaniques et électriques n'a plus réellement d'usage, il existe au plan fonctionnel deux types de signaux. :

- Les signaux de protection et de cantonnement
- Les signaux de limitation des vitesses

Qui peuvent présenter deux états :

- Ouvert ou effacé,
- Fermé ou présenté,

Et qui quand ils sont fermés ou présentés, présentent :

- Soit une indication d'annonce
- Soit une indication d'exécution

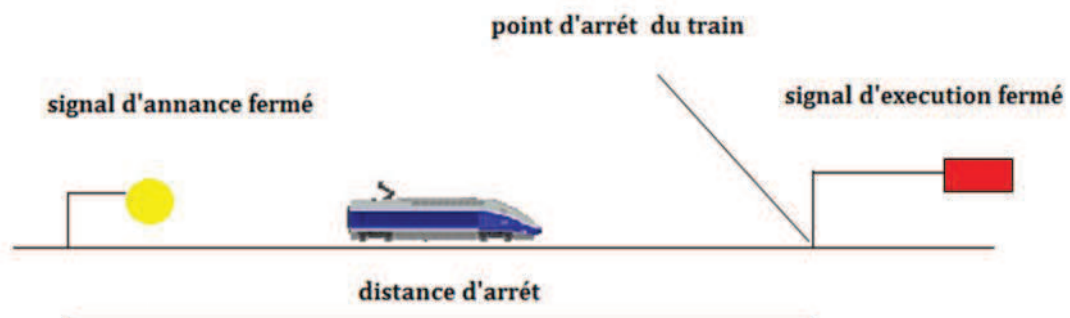


Fig. XI.02 : signal de protection ou de de cantonnement

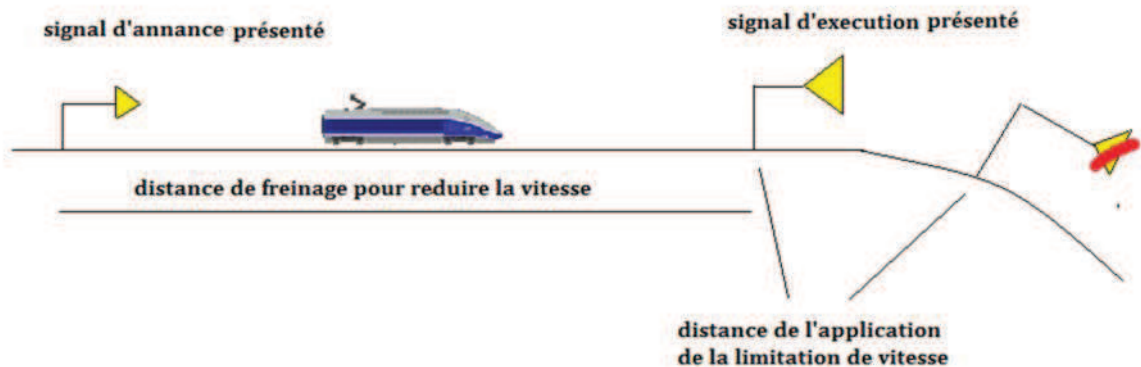


Fig. XI.03 : signal de limitation de vitesse

Il existe aussi des signaux indicateurs de direction dont les fonctions sont très différentes selon les pays :

IV. Objectif de la signalisation:

La signalisation ferroviaire est un moyen de donner des ordres au conducteur d'un véhicule et a pour objectif d'éviter :

- les risques inhérents à la circulation ferroviaire :
 - ✓ le « nez à nez », quand deux trains se retrouvent face à face sur la même voie.
 - ✓ le « rattrapage », quand le train suiveur rattrape celui qui le précède.
 - ✓ la « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.
- les risques de déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux).
- les risques inhérents aux passages à niveau, intersections avec le réseau routier.

Le risque de nez-à-nez est pris en charge par les **enclenchements** de sens.

Le risque de rattrapage est pris en charge par le **cantonement**.

Le risque de prise en écharpe est pris en charge par les **enclenchements internes** au poste d'aiguillage (enclenchement d'itinéraires, enclenchement de transit...).

Les risques de déraillement sont pris en charge par les limitations de vitesse, des systèmes de surveillance des chargements et de la température des boîtes d'essieux.

Les risques aux passages à niveau sont pris en charge par des dispositifs d'annonce des trains.

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.

V. Différentes fonctions des signaux:

Les signaux sont appelés à remplir les rôles et les fonctions suivantes :

a. 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.

b. Signaux à distance :

- Signal annonceur : précède un signal d'arrêt.
- Signal d'arrêt différé : l'équivalent du signal annonceur, utilisé en block manuel.

VI. Signalisation classique ou latérale :

La signalisation classique est constituée de signaux implantés (ou présentés) le long de la voie (elle est ainsi également appelée signalisation latérale). Elle peut être implantée sur des poteaux, des potences, des portiques.

Une signalisation mobile et/ou temporaire (chantier par exemple), peut venir compléter la signalisation fixe permanente.

La signalisation comporte différents type de signaux :

- signaux lumineux ;

- signaux mécaniques (en voie de disparition) ;
- signaux à main/mobiles (lampes, drapeaux) ;
- signaux acoustiques (pétards, coups de klaxon).

Le respect des signaux est impératif, condition *sine qua non* de la sécurité.

VII. Signalisation en cabine :

Avec l'avènement des trains à grande vitesse, la signalisation latérale ne permettait plus la circulation en toute sécurité, car au-delà 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. On peut même combiner les deux, c'est-à-dire un système de signalisation en cabine et une signalisation latérale au cas où le premier défaille, ainsi que pour les convois dont le poste de conduite n'est pas équipé du module d'affichage ad hoc.

La **signalisation en cabine** ou **de cabine** consiste à afficher les informations habituellement données par la signalisation latérale directement en cabine. Ceci est devenu nécessaire avec l'avènement des trains à grande vitesse, ouvrant des vitesses commerciales très élevées: le temps de présence d'un signal dans le champ de vision du conducteur est considéré comme insuffisant, aux vitesses supérieures à 160 km/h, pour avoir l'assurance qu'il soit vu et correctement interprété.

a. Principe :

La signalisation en cabine indique au conducteur la vitesse limite qu'il ne doit pas dépasser et annonce les réductions de vitesse à effectuer (jusque 0 km/h si l'arrêt est nécessaire); suivant le système le conducteur sera également averti d'une zone où le(s) pantographe(s) doit (vent) être abaissé(s), où toute demande de courant doit être suspendue, etc.

Tous les systèmes de signalisation en cabine effectuent en même temps un contrôle de la vitesse.

Une signalisation latérale peut être installée en plus de la signalisation en cabine, soit pour pallier les éventuelles défaillances de la signalisation en cabine, soit pour

permettre à des convois non équipés de circuler sur le tronçon. Plusieurs systèmes de signalisation en cabine peuvent également être installés sur un même tronçon

VIII. Genre et étalon de signalisation :

Les signaux sont implantés soit à gauche de la voie concernée sur des mats ou parfois au sol, soit au-dessus de la voie sur des potences. Cependant il peut arriver qu'exceptionnellement, les signaux soient implantés à droite de la voie, dans le cas par exemple d'I.P.C.S. (Installations Permanentes de Contre-sens), ou quand l'installation à gauche n'est pas possible faute de place.

a. Les signaux peuvent être :

- mécaniques : sous forme de cocardes ou d'ailes mobiles ; Ou
- lumineux : sous forme de panneaux lumineux.
- simples : deux aspects possibles ; Ou
- multiples : au moins trois aspects possibles.

b. Les signaux peuvent afficher :

- l'aspect fermé : l'aspect (le plus) restrictif du signal ; ou
- un aspect ouvert : le ou un des aspects permissifs du signal.

Note : certain signaux peuvent afficher des aspects combinés

c. Les différentes formes de signaux :

Un signal mécanique simple se présente sous la forme d'une cocarde ou d'une aile de couleur mobile.

- fermé, il présente l'aile étendue horizontalement, ou bien la cocarde dans un plan perpendiculaire à la voie (c.-à-d. visible).
- ouvert, il présente l'aile rabattue en oblique ou verticalement, ou bien la cocarde dans un plan parallèle à la voie (c.-à-d. effacée).

Un signal mécanique multiple peut afficher plusieurs cocardes en même temps ; c'est la plus restrictive qui doit être observée.

Un signal lumineux est constitué d'un panneau noir avec une bordure blanche, sur lequel peuvent être affichés des feux de couleur.

Si des aspects combinables sont affichés en même temps, ils doivent être pris en compte en tant qu'aspect combiné.

d. Les pancartes et tableaux :

Les tableaux indicateurs donnent des informations ou des ordres ne concernant pas la protection des circulations. Ils concernent les limitations de vitesse, les indications de direction, les indications propres aux marches de manœuvre, et beaucoup d'autres indications spécifiques. Les tableaux peuvent être :

- fixes : toujours visibles ; ou
- effaçables : pouvant être masqués. Et dans ce cas :
- mécaniques ; ou
- lumineux.

e. Les blocks :

Le block est un système permettant de superviser l'entrée des trains sur une voie séparant deux établissements.

L'envoi d'un train sur un block et sa réception par un établissement se font par l'intermédiaire de postes à relais, où se trouvent les commandes relatives aux blocks.

Sur les lignes peu fréquentées, on utilise le block manuel (BM) ; L'entrée sur une voie en BM est réglementée par un signal de block ouvert manuellement par un agent-circulation.

Sur les lignes à moyenne fréquentation, on utilise le block automatique à permissivité restreinte (BAPR), qui est un système d'espacement par signaux en partie ou totalement automatiques.

Sur les grandes lignes, on utilise le block automatique lumineux (BAL), qui a remplacé le block automatique mécanique (BAM), qui est un système d'espacement par signaux automatiques permissifs, c.-à-d. pouvant être passés à l'état fermé, sous certaines conditions.

Les lignes à voie multiple sont habituellement divisées en cantons, ce qui permet

d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant.

IX. Les différentes marches des trains :

En circulation ferroviaire, il existe 4 types de marche:

La **marche à vue** impose à un conducteur de s'avancer avec prudence, compte tenu de la partie de voie qu'il aperçoit devant lui, de manière à pouvoir s'arrêter avant une queue de train, un signal d'arrêt ou un obstacle. En outre, il ne doit pas dépasser la vitesse de 30 Km/h.

L'obligation de **marcher en manœuvre** impose au conducteur de s'avancer avec prudence, sans dépasser la vitesse de 30 km/h et en se tenant prêt à obéir aux signaux qu'il pourrait rencontrer et d'obéir à toute injonction d'un agent de manœuvre.

Lorsque le conducteur est en tête du mouvement ou refoule un véhicule, la vitesse doit être réglée en tenant compte du nombre de véhicules de la circulation, du freinage réalisé éventuellement réduit au seul freinage de l'engin moteur et du profil de la voie pour être en mesure de s'arrêter au point indiqué ou si nécessaire dans la partie de voie libre visible.

La marche en manœuvre est en général commandée par le panneau G.

La **marche avec prudence** impose à un conducteur de limiter sa vitesse compte tenu du motif qui lui a été indiqué.

Exemple : passage à niveau en raté d'ouverture.

Lorsqu'un train n'est ni en marche à vue, ni en marche en manœuvre et ni en marche prudente, il est en **marche normale**; la vitesse limite du train dépend de la section de ligne concernée, de la vitesse limite des différents éléments du convoi ainsi que de leur capacité de freinage combinée.

X. 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.

XI. Visibilité des signaux :

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite

a. Visibilité des signaux hauts :

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2,42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou à 10 m du plan de front des tampons.

b. Visibilité des signaux bas :

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au-dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles

XII. Conclusion :

Avec l'apparition des outils informatiques de plus en plus performante, le domaine de la signalisation ferroviaire s'est beaucoup développé ces dernières années, contribuant ainsi avec une grande part dans la diminution des accidents et la facilité de circulation du matériel roulant.

Les appareils de voies

I. Introduction :

Les appareils de voie sont des dispositifs typiquement ferroviaires qui assurent toute la souplesse de l'exploitation. Selon les types et les combinaisons utilisées,

Les fonctions principales des appareils de voie sont les suivantes :

- A un itinéraire de se scinder en 2 (rarement 3) itinéraires différents ;
- A un itinéraire de traverser un autre itinéraire ;
- A un itinéraire de traverser un autre itinéraire ou de s'y raccorder.

Les autres appareils de voie sont divisés en deux grandes parties :

- Les appareils spéciaux : dérailleurs, séparateurs voie normale/ voie métrique par exemple
- Les appareils de dilatation pour permettre le glissement longitudinal des rails dans les zones de respiration des LRS,

Tout nouveau système de transport guidé ne pourra être réellement opérationnel qu'après mise au point de dispositifs offrant des possibilités d'exploitation équivalentes à celles des appareils de voie.



Fig.XII.01 : photo d'un appareil de voie

II. Les différents types des appareils de voies :

Les éléments constitutifs importants des types des appareils de voie sont les suivants :

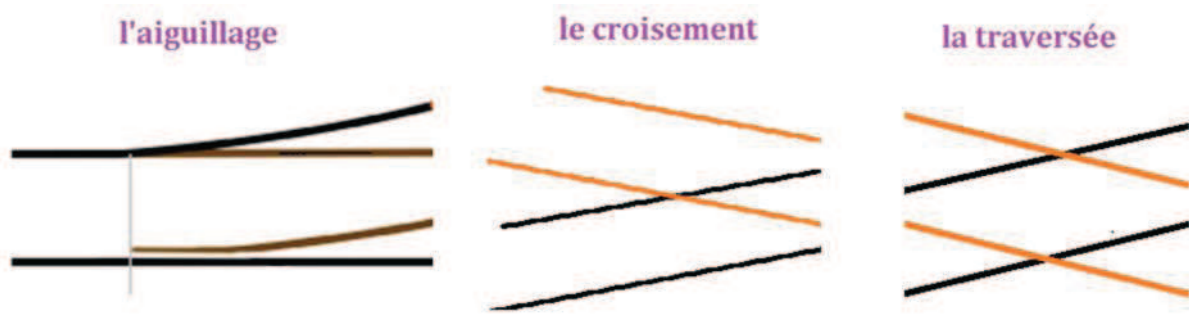


Fig. XII.02 : constitution de base des appareils de voie

Il n'existe que deux type de base d'appareil de voie :

a. **Le branchement** : assure le dédoublement de l'itinéraire (voire la fig.XII.03)

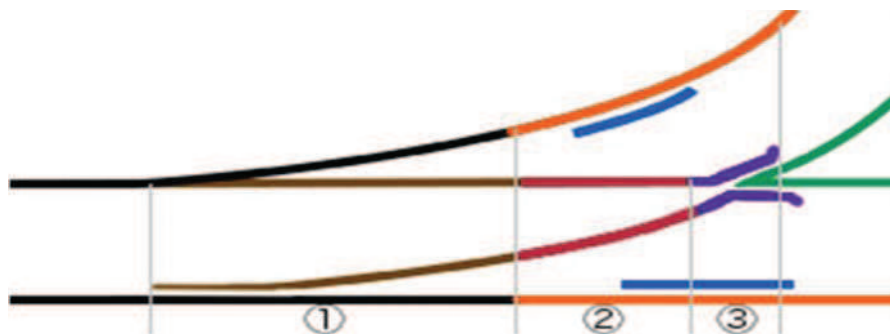


Fig. XII.03: schématisation d'un branchement

Pour un appareil de voie de type branchement simple on distingue trois parties :

1. la partie aiguillage qui comprend les aiguilles mobiles et les contre-aiguilles,
2. la partie intermédiaire qui est assimilable à de la voie courante
3. la partie croisement qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails.

b. **La traversée** : permet le croisement des itinéraires (voire la fig.XII.04)

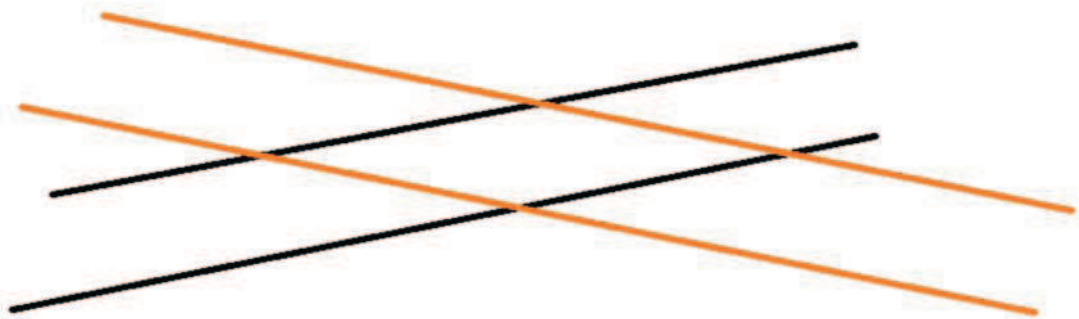


Fig. XII.04: schématisation d'une traversée

A partir de ces éléments de base on peut obtenir les autres appareils de voies

c. Traversée-jonction :

La traversée jonction simple ou ordinaire est un appareil de voie composé d'une traversée proprement dite, de deux croisements et de voie intermédiaires qui les relient. Les croisements sont identiques à ceux utilisés dans les branchements. Ce sont utilisés généralement dans des voies à vitesse élevée.

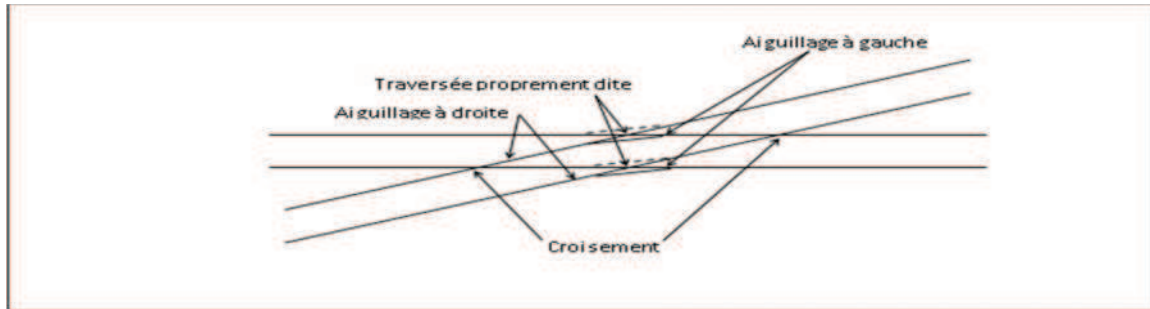


Fig. XII.05: schématisation d'une traversée-jonction

d. Liaison de croisement-communication :

La communication ou la liaison de deux branchements est composée de deux branchements (généralement de même type) dont les voies déviées se rejoignent. On l'utilise pour relier deux voies parallèles ou non d'un même itinéraire.

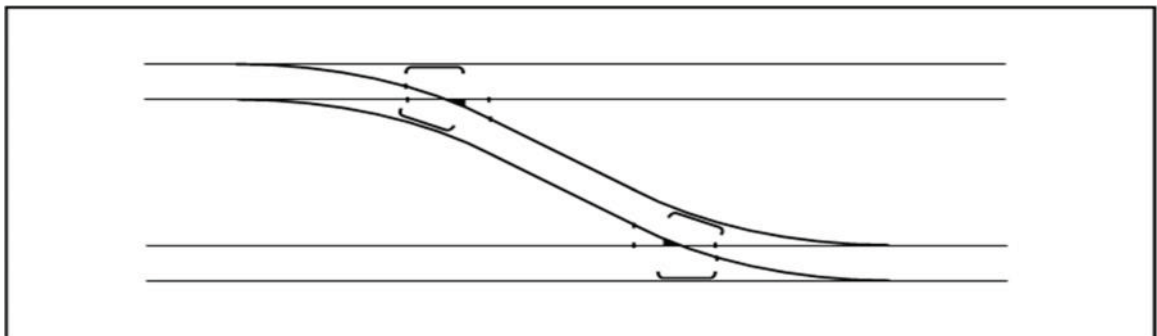


Fig. XII.06: schématisation d'une liaison de croisement-communication

e. Bifurcation :

Combinaison de deux branchements et d'une traversée permettant à partir de deux itinéraires principaux le départ de deux itinéraires divergents.

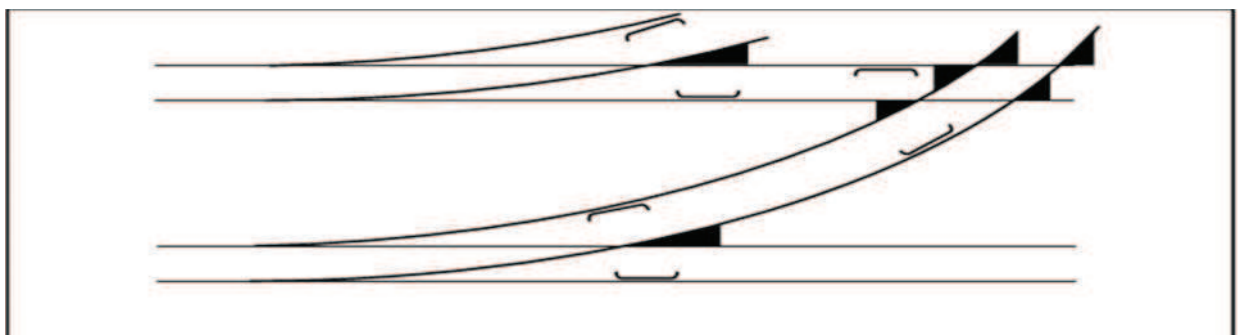


Fig. XII.07: schématisation d'une bifurcation

f. Brettelle-communication croisée :

La communication croisée est formée par deux communications qui se traversent mutuellement et n'est utilisée qu'à une vitesse réduite de 40 km

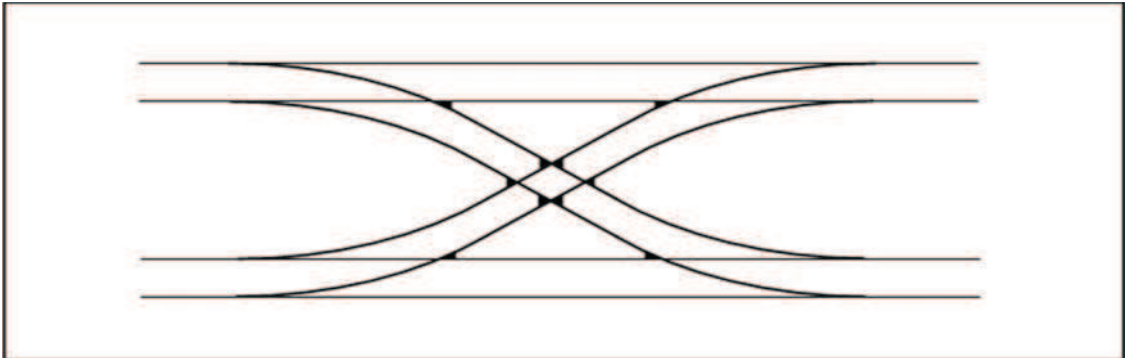


Fig. XII.08: schématisation d'une brettelle-communication croisée

On trouve aussi autre type des appareils appelés appareils de voie par extension :

a. Appareil de dilatation :

Sont destinés à absorber les mouvements de dilatation des rails en extrémité de LRS ou la ou les contrainte ou déplacements ne peuvent pas être gérés par la voie, c'est notamment le cas aux abords les ouvrages d'art possédants de grande longueurs dilatable.



Fig. XII.09 : appareil de dilatation

b. Appareil dérailleur :

Ces appareil est placé dans les zone de risque de déraillement des trains de grand vitesse.

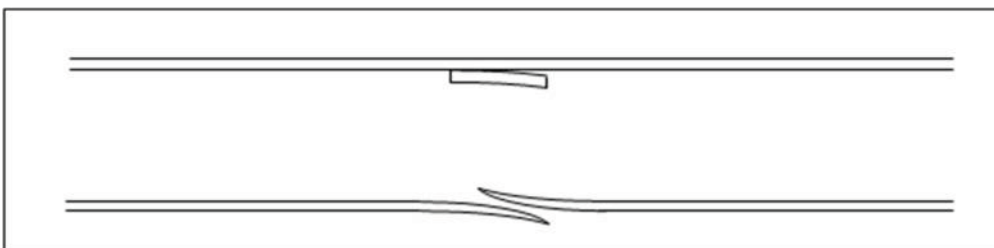


Fig. XII.10 : schéma d'un appareil dérailleur

III. étude de l'appareil de voie :

Du point de vue de l'exploitation, un appareil de voie doit :

- Etre franchissable, dans les voie principale, sans effets dynamique ni chocs exagérée.

La vitesse de franchissement de l'appareil de voie devrait être, en voie direct, égale à celle de la voie courante. En voie déviée, la vitesse de franchissement devrait être celle qui est imposée par la dynamique des convois qui empruntent la déviation, dynamique elle-même imposée par la cinématique des circulations et par le programme d'exploitation.

Le confort de l'utilisateur doit également être assuré lors de franchissement de l'appareil de voie ; les accélérations transversales et les chocs doivent être inférieurs aux valeurs admissibles.

- Permettre, dans les voies secondaires ou de service, de réaliser de liaisons et des tête de faisceaux d'encombrement aussi réduit que possible pour obtenir des longueurs utiles maximales. Les tracés doivent être conçus de façon à limiter les effets dynamique, à empêcher les enchevêtrements des trompons et à respecter, s'il y a lieu, les prescriptions relatives au dévers tolérable et à sa variation.

La conception générale et constructive d'un appareil de voie (AV), doit être telle qu'il puisse être placé en alignement, ou cintré de façon à s'inscrire dans des courbe circulaire (avec ou sans dévers) et dans des raccordements a courbe progressive, sans qu'il soit, en principe, nécessaire de recourir à des dispositions constructives particulières.

Dans notre cas d'étude on est utilisé que les branchements donc on va présenter en détail le branchement

III.1.le branchement :

a. composants d'un branchement :

La figure ci-dessous représente les principaux éléments d'un branchement ;leurs fonctions sont décrite ci-dessous :

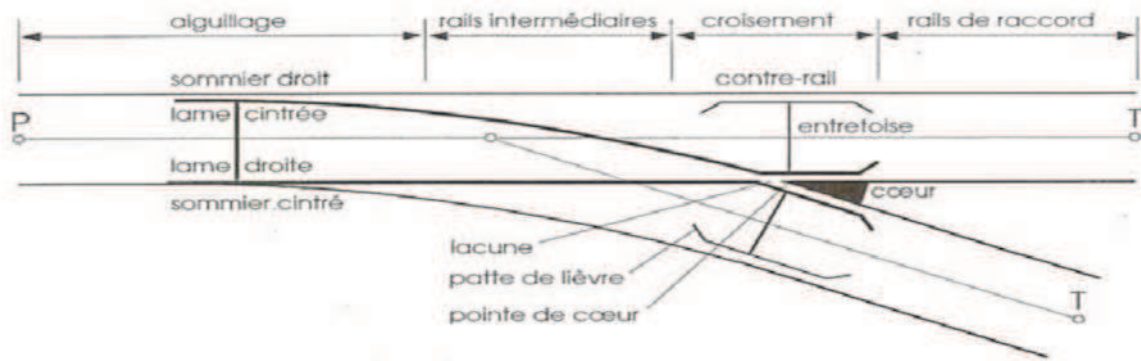


Fig. XII.11 : schéma détaillé d'un branchement

1. L'aiguillage :

- **Le sommier** : ou « contre-rail » est le rail fixe contre lequel s'appuient les lames de l'aiguille.
- **Lame d'aiguille** : ou plus simplement « aiguille » est la section de rail mobile qui permet de dédoubler les fils de roulement et ainsi de modifier la course des véhicules.

Les anciens appareils de voie étaient munis de lames articulées (géométrie dite ancienne). Ils ne satisfont plus aux exigences de l'exploitation et occasionnent d'important frais d'entretien, depuis longtemps on pose des AV à lames flexibles.

Remarque : un branchement simple possède deux sommiers contre lesquels s'appuient alternativement les deux aiguilles. Ces dernières sont reliées entre elles par des triangles d'écartement et un système de manœuvre /calage /verrouillage qui les empêchent de bouger lors de passage d'un train.

2. Le croisement : le croisement est l'ensemble constitué par un cœur avec deux contre-rails reliés entre eux par des entretroises de liaisons et deux rails extérieurs

- **Le cœur** : est constitué d'une pointe et des pattes de lièvres qui assurent le soutien de la roue lors de passage de la lacune créée par les ornières de passage des boudins des roues (fig. XII.11) une roue roulant de A vers B est supportée :

De a à b par la patte de lièvre uniquement

De b à c par la patte de lièvre et la pointe du cœur,

Dés c par la pointe du cœur puis le rail.

Suite à la conicité de son bandage, la roue circulant de a à b roule sur un diamètre qui diminue. Elle tend donc à s'abaisser, ce qui exige qu'en b la pointe du cœur soit abaissée de 6 mm par rapport au plan de roulement.

Le type de cœur, doit être cintré (Fig.XII.13), Influence sensiblement la qualité de roulement sur la voie déviée ainsi que le prix de l'AV. C'est ainsi qu'on utilise en général des cœurs cintrés pour les voie principale et notamment lorsque l'AV doit être posé en courbe alors que les cœurs droits sont surtout utilisés dans les têtes de faisceaux ou les vitesses de circulation sont relativement faibles.

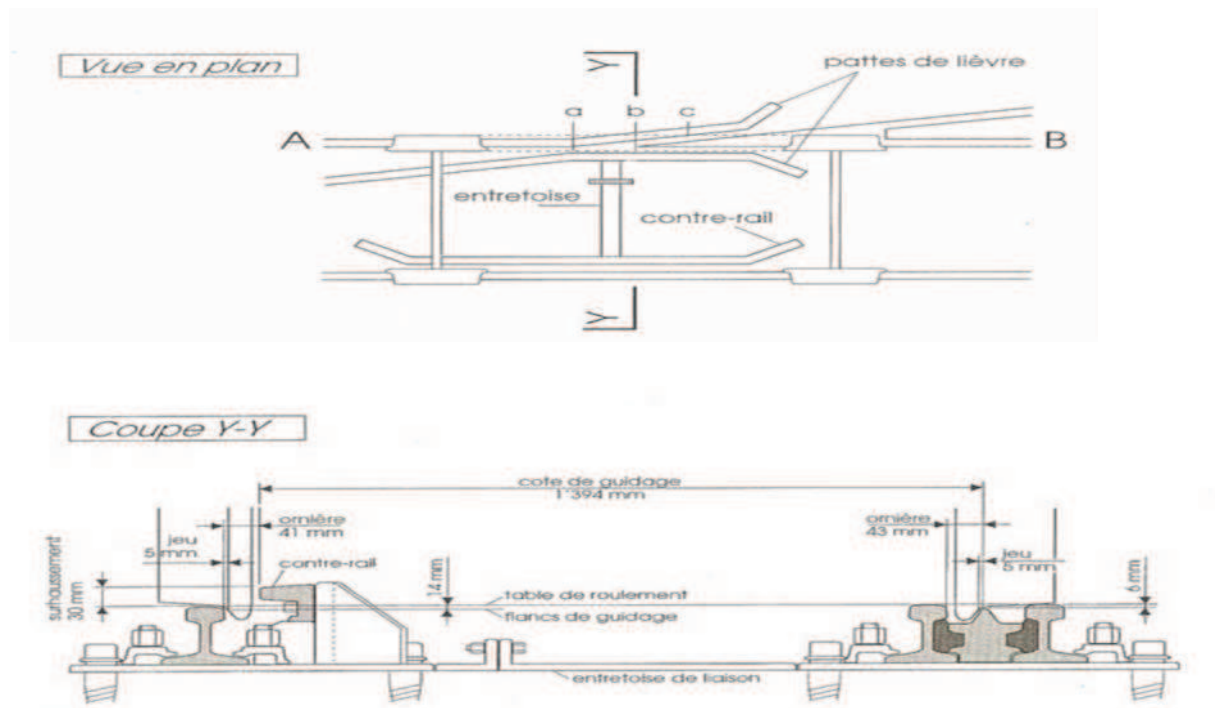


Fig. XII.12 : schéma d'un croisement dans un branchement

- **Le contre-rail** : c'est un rail de 3 à 10 m de long qui est placé en face de cœur, légèrement rehaussé par rapport au plan de roulement. En assurant le guidage de la roue lors de son passage dans la lacune, il évite que l'autre roue ne percute la pointe du cœur et fasse ainsi dérailler le véhicule.
- **L'entretroise** : elle sert à maintenir une distance correcte nommée « cote de guidage » (Fig. XII.12) entre le contre-rail et le point du cœur.

1.1. Géométrie d'un branchement :

La géométrie en plan d'un aiguillage est principalement déterminée par le rayon de courbure, l'angle de déviation, l'écartement et la cote de protection de l'aiguillage ouverte.

Nous allons examiner ci-après l'influence de chacun de ces paramètres.

a. Rayon de courbure :

Le rayon est déterminé par le choix de la vitesse en voie déviée et de l'insuffisance de devers admise. Celle-ci ne dépasse généralement pas 100 mm dans l'aiguillage même.

Pour une même ouverture au talon de l'aiguille, la longueur de l'aiguille est fixée par le choix du rayon.

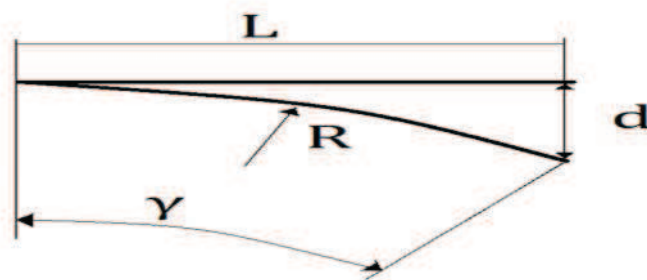


Fig. XII.13 : Longueur de l'aiguille

$$\text{On a } d = R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

En première approximation, on peut écrire $L \approx \sqrt{2Rd}$

b. Angle de déviation :

Une aiguille construite selon un cercle parfait comme dessiné sur la figure précédente comprendrait une partie très fine et d'inertie faible très longue, ce qui la rendrait fragile et aurait une influence très défavorable sur l'ornière. Par exemple, pour un rayon de 500 m l'épaisseur de 10 mm ne serait atteinte que 2 mètres au-delà de la pointe. Aussi raccourcit-on la partie fragile soit en remplaçant la première partie du cercle par une tangente, soit en prenant un tracé circulaire sécant.

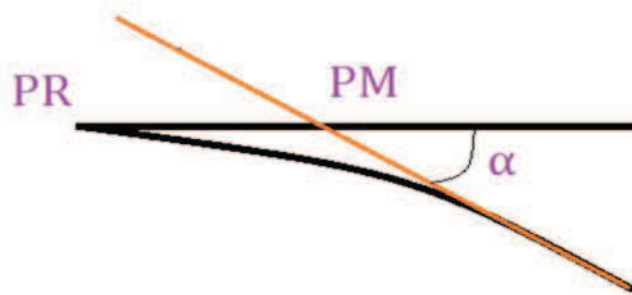


Fig. XII.14 : schéma de l'angle de déviation

La voie déviée peut se trouver à droite ou à gauche de la voie directe lorsqu' 'on parcourt le branchement depuis la pointe. L'appareil est alors désigné par branchement droite, respectivement gauche.

c. Vitesse admissible à la déviation :

Les relations fixant la géométrie de la voie courante sont également applicables à la géométrie des appareils de voies. Toutefois, des réductions des vitesses de franchissement sont opérées pour tenir compte de l'absence de courbe de raccordement, voire de dévers.

Les vitesses de franchissement des (AV) et leur géométrie donc définies en fonction de la dynamique des convois, compte tenu du confort des passagers (limite de l'accélération transversale non compensées et du choc consécutif au changement instantané de courbe), l'usure du matériel ,etc..

Comme nous disant dans le chapitre trace en plan on admît les valeurs limites suivante pour l'accélération non compensée $a_{nc} = 0,9 \text{ m/s}^2$

$$\text{Et le choc } \psi \text{ max} = \frac{da_{nc}}{dt} = 1 \text{ m/s}^3$$

1^{er} Condition : accélération transversale non compensée

$$V_R = \sqrt{\frac{R}{11,8} \times (d + 153 \cdot a_{nc})} \text{ Avec } a_{nc} = 0,9 \text{ m/s}^2 \text{ et } d=0 \text{ (dans les (AV))}$$

$$V_R \leq 3,4\sqrt{R}$$

2^{ème} Condition : choc

On peut montrer que : $\psi = a_{nc} \frac{V_R}{3,6 E}$ avec E c'est l'empattement standard d'une voiture de voyageur, On a finalement : $V_R \leq 9,5\sqrt[3]{R}$

On utilise ces deux formules, il est donc possible de déterminer la vitesse maximum de franchissement, en déviation, des (AV) posés dans leur forme fondamentale sans dévers. Le tableau suivant donne cette vitesse pour tous les rayons de courbure des AV utilisés.

Tableau XII.01 : les valeurs des vitesses maximum en fonction des rayons

Rayon (m)	V_R (km/h)	a_{nc} (m/s ²)	Ψ (m/s ³)
185	40	0,67	0,39
300	55	0,78	0,63
500	65	0,65	0,62
900	95	0,77	1,08
1600	115	0,64	1,08

Les appareils de voie le plus souvent comme nous dit posée sans dévers, donc I maximum, on comprend immédiatement que c'est la vitesse de franchissement en déviation qui déterminera le rayon et, donc, la géométrie des branchements.

Le rayon étant connu, l'écartement de voie fixé, l'angle en sortie d'appareil en est utilisé pour dénommer ce dernier, soit par la valeur naturelle de cette tangente, soit par l'inverse de cette valeur.

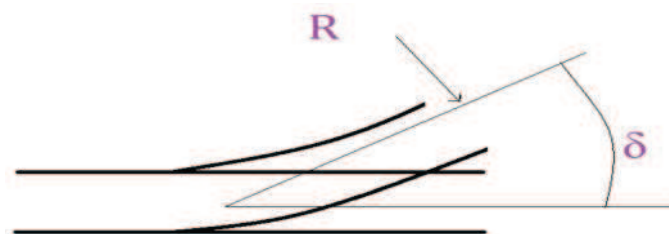


Fig. XII.15 : schéma montre les paramètres d'identification d'un branchement

Tableau XII.02 : Les différents types de branchement avec son emploi

Domaine d'emploi du branchement	Vitesse Km/h	Type de branchement
<ul style="list-style-type: none"> • Dans le réseau des zones industrielles. • Dans le réseau d'embranchement Particulier 	30	140- 1/6tg (0,167)
<ul style="list-style-type: none"> • Dans les faisceaux de classement, remisage, voie de nettoyage et toutes les voies de manœuvre 	40	190- 1/7 tg (0,143) 190- 1/9 tg (0,111)
<ul style="list-style-type: none"> • Comme branchement d'entrée et de sortie de voies de quais les trains de voyageurs. • Dans le faisceau de transfert de la gare de marchandises • Dans la voie de circulation des trains marchandises 	50	300- 1/9 tg (0,111)
<ul style="list-style-type: none"> • Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai par les trains de banlieue ou de voyageurs. • Dans les communications des voies de ligne • Dans la bifurcation d'une voie de ligne Comme branchements d'entrée et de sortie des gares. 	70	500- 1 /12 (0,083)

Note :

Pour notre projet, il est prévu les appareils de voies suivants :

Au niveau de la gare de Colonel Boughara :

- **UIC 60 500 1/12** : ce type d'appareils assure une vitesse de roulement maximale de 70 km/h et il est posé pour relier la voie principale à la voie secondaire.
- **UIC 60 190- 1/9**: ce type d'appareils assure une vitesse de roulement maximale de 40 km/h et il est posé pour relier la voie secondaire à le heurtoir.

La figure suivante montre la géométrie ces appareils de voies

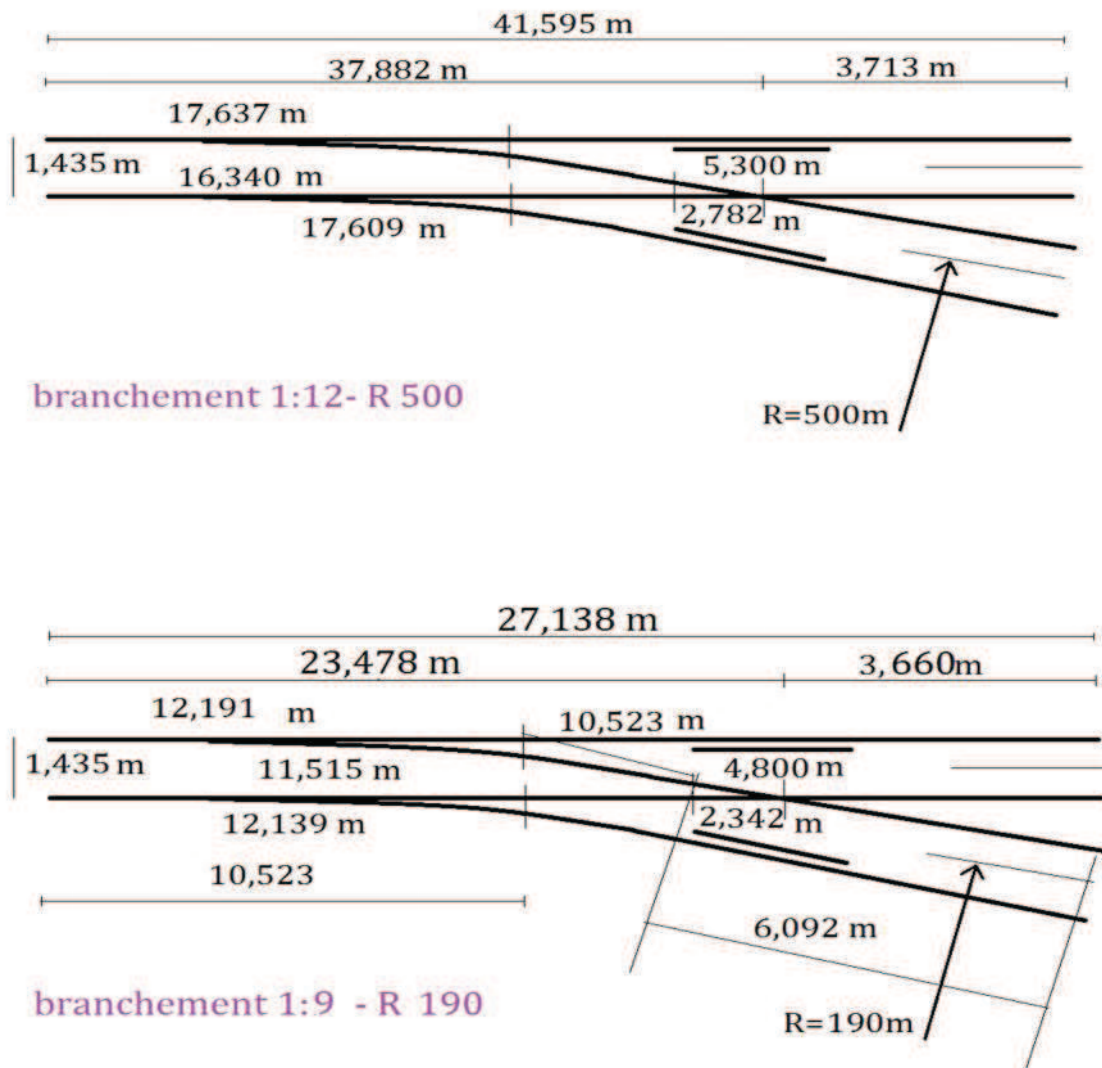


Fig. XII.16 : schéma des appareils de voie utilisé

IV. Conclusion :

Les appareils de voies sont des dispositifs ferroviaires très importants dont dépend la bonne circulation des trains. Vu la vitesse à laquelle ils sont circulés et la forte charge dont ils sont l'objet, leur dimensionnement et leur mise en œuvre demande une attention particulière.

Conception de la Gare

I. introduction :

Les gares ont progressivement acquis une importance historique, sociologique et esthétique qui dépasse largement leur simple fonction technique. Elles sont à l'image des chemins de fer un des éléments caractéristiques du développement industriel et de l'urbanisation du XIX^e siècle. Les gares ferroviaires sont apparues en Angleterre durant les années 1820, puis en France, et finalement dans les autres pays touchés par l'industrialisation, dont les colonies. Devenues purement fonctionnelles et victimes d'une relative perte d'identité au cours des années 1950, les gares connaissent un renouveau architectural depuis, en partie grâce à l'apparition des trains à grande vitesse au début des années 1980 et au développement de la desserte ferroviaire péri-urbaine.

À l'origine de la création des chemins de fer, les premières gares furent appelées « embarcadères » (lieu d'embarquement) par analogie avec la voie d'eau, ou parfois « débarcadères ». Le terme « gare », venu de la voie fluviale, désignait sur les lignes à voie unique, les points dotés d'une voie d'évitement (de garage) destinée à permettre le croisement des trains.

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

- Permettre la montée ou la descente des voyageurs,
- le chargement et le déchargement des marchandises ;

II. Conception générale des gares:

II.1. Plan de masse d'une gare :

Le concepteur de la gare est appelé à établir un plan de masse en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse:

- a. Catégorie de la gare :** C'est en fonction de cet élément que l'on peut déterminer son rôle et ses constituants.
- b. Son trafic :** C'est par lui, que l'on estime et on évalue l'importance de la gare pour l'aménager d'une façon convenable.
- c. Son emplacement :** Généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

II.2. Considérations générales :

Une gare moderne doit remplir son rôle dans un climat satisfaisant et avec un service convenable et agréable, pour cela, plusieurs agents peuvent intervenir pour évaluer la qualité du service.

a. La rapidité du travail :

C'est le facteur primordial intervenant dans la comparaison globale avec ses concurrents.

b. La sécurité :

Le transport fait appel à des véhicules lourds dont il faut écarter le public en dehors des espaces aménagés pour l'accès, on doit séparer matériellement entre le cheminement du public et ceux des véhicules, ce qui oblige à recourir aux croisements à niveaux différents.

Toutes les aires destinées aux voyageurs ou marchandises doivent porter le souci de sécurité sur l'ensemble de la gare.

c. Rupture de charge des voyageurs :

Il occasionne dans le voyage un temps mort qu'il faut s'acharner à réduire en simplifiant les parcours et les formalités.

d. Politique commerciale :

L'aspect commercial subit la concurrence des autres modes de transport, le transport commercial doit chercher la meilleure rentabilité par la meilleure productivité, le rôle des installations de transit reste déterminant, la satisfaction des usagers sera d'autant plus complète que les opérations fastidieuses du transit se déroulent dans un cadre :

- Simple : sans risque d'erreur
- Propre : ensemble sanitaire adéquat.
- Agréable : qualité de l'architecture, éclairage, accès facile, aire de stationnement, positionnement.
- Souplesse évolutive:

II.3. Installations de base d'une gare :

Selon le type de la gare et sa catégorie, on peut y trouver :

- Bâtiment de voyageurs
- Quais d'embarquement et de débarquement
- Hangar destiné à recevoir et stocker les marchandises
- Hangar de maintenance des voies
- Atelier d'entretien des véhicules

- Chantier de permutation
- Réseau de voie
- Les heurtoirs
- Autre éléments (passerelles, signalisation, sécurité, etc.)

II.4. Gares voyageurs :

Les gares, souvent perçues principalement comme des bâtiments, sont en fait des ensembles fonctionnels plus larges, conçus 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 variés.

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

Les gares principales situées dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les divers modes de transport urbains (bus, tramway, métro) ; on les appelle alors pôles d'échanges. Elles voient passer quotidiennement un nombre considérable de personnes, tant voyageurs que chalands venant fréquenter les nombreux commerces qui s'y sont souvent installés. Dans certains pays, elles sont gérées par des sociétés distinctes, souvent filiales, des entreprises ferroviaires.

On distinguera deux types de gares de voyageurs :

a. 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 arrivées.

b. Les gares de passage :

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 d'accueil des voyageurs peuvent aussi se trouver sous les quais

- **Abords :**

Les abords des gares, qu'ils en fassent partie (certains parvis) ou non comme de nombreuses places de gares par exemple, sont le premier élément fonctionnel de la gare. Ils facilitent le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode et vice-versa. On y trouve donc :

- ✓ des parcs de stationnements pour les utilisateurs de voitures particulières, appelés dans certains cas parc relais,
- ✓ des gares routières,
- ✓ des stations de taxis,
- ✓ des stations de tramway ou de métro dans des villes de taille importante,
- ✓ des parkings à vélos...

L'intégration de ces diverses fonctions aboutit à la conception d'un pôle d'échanges ou pôle intermodal.

II.4.1 Bâtiment voyageurs :

Dans les bâtiments de gares, il y a lieu de distinguer deux sortes de bâtiments :

a. Les bâtiments à voyageurs (B.V) :

Dans lesquels une partie au moins des locaux est accessible à la clientèle « voyageurs ». Ces bâtiments permettent notamment aux voyageurs de passer de la voie publique vers les quais à voyageurs.

b. Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :

Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des colis, bureaux, etc.

II.4.1 Equipements de la gare à voyageurs:

a. Quais :

Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement des voyageurs. Les quais peuvent être bas ou hauts. Le long des quais surélevés, lesquels se rencontrent le plus souvent sur les lignes électrifiées, des marches d'accès sont établies tous les 25 mètres afin de permettre au personnel se trouvant dans les voies de s'échapper sans difficulté à l'arrivée des trains. Les quais doivent présenter une surface bien régulière et unie, non glissante et légèrement.

1. Auvents et abris :

Dans le but de protéger les voyageurs des intempéries, on prévoit des auvents dans les gares importantes et des abris dans les gares intermédiaires.

b. Traversées et couloirs sous voies :

b-1. Les traversées de voies : sont construits entre deux quais de façon à permettre la traversée des voyageurs et éventuellement des véhicules de service.

b-2) Les couloirs sous voies (passages sous terrain) : sont construits dans les gares importantes (plusieurs quais) et dans les gares situées sur les lignes électrifiées.

c. Halte ferroviaire :

Les haltes sont des points d'arrêt dépourvus de bâtiment voyageurs et de présence permanente de personnel ; les infrastructures ferroviaires y sont généralement très réduites. L'arrêt peut être matérialisé par une simple pancarte ou un petit abri, voire une aubette pour quelques voyageurs. Sur certaines lignes, il peut y avoir un chef de halte mais ce cas reste rare. Le plan de voie se limite souvent à la simple voie directe. Cependant il peut y avoir un évitement ou une voie de garage en particulier pour les trains de service.

On peut distinguer deux grands types de haltes :

- les haltes rurales correspondant en général à des points d'arrêt à fréquentations très réduites dans des zones à faible densité de population ; cette catégorie comprend aussi les cas d'anciennes gares désaffectées, qui deviennent de facto des haltes ;
- les haltes périurbaines : dans ce cas, le choix de ne pas accompagner le point d'arrêt de personnel résulte d'une approche économique. La fréquentation attendue du point d'arrêt étant essentiellement une clientèle, qui nécessite peu d'information et dispose d'abonnements.

II.5. Gare marchandises :

Aux débuts du chemin de fer, les gares de marchandises assuraient la totalité du traitement du trafic de marchandises. Elles étaient dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opérait le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires). Le trafic, assuré essentiellement selon le principe du wagon isolé, passait par le relais des **gares de triage**.

Au XXI^e siècle, la plus grande partie du trafic ne se traite plus dans les cours de débord, souvent tombées en désuétude, parfois, notamment dans les banlieues des grandes villes, transformées en aires de stationnement. Les marchandises, aujourd'hui nommées

« fret », sont transportées en trains-blocs ou trains entiers ou en transport combiné, de moins en moins souvent en wagon isolé (peu rentable) et se traitent pour l'essentiel :

- soit dans des embranchements particuliers qui relient directement les installations industrielles (usines, mines, carrières, entrepôts...) au réseau ferré principal (trains entiers ou wagon isolé) ;
- soit dans des chantiers multimodaux, dans lesquels sont manutentionnés les conteneurs et caisses mobiles utilisés dans le transport combiné rail/route ;
- soit dans les installations portuaires (voies ferrées desservant directement les quais maritimes ou fluviaux) (combiné).

a.Embranchements particuliers :

Ces embranchements sont de plus en plus très intégrés dans la logistique des entreprises clientes du chemin de fer, et à ce titre appelées, en France, « installations terminales embranchées ». Elles peuvent englober diverses installations de manutention destinées à faciliter le transfert des marchandises : grues à portiques, bandes transporteuses, silos, etc. Les voies ferrées elles-mêmes peuvent dans certains cas représenter des longueurs considérables.

b.Embranchements portuaires :

Les embranchements portuaires sont l'ensemble des voies marchandises qui arrivent jusqu'aux quais dans les ports de commerce. Les marchandises transportées dans les wagons peuvent ainsi être transbordée dans les navires et réciproquement. Ces transbordements font souvent appel à des grues. Dans les grands ports, les embranchements peuvent représenter des longueurs de voies très importantes.

Un autre type d'embranchement portuaire est celui des ports de pêche. Les wagons réfrigérés sont alors chargés le plus souvent à la main ou à l'aide de chariots élévateurs pour être transportés rapidement sur les marchés.

II.5.1 les éléments de la gare de marchandises:

a. Halle à marchandise :

Une halle à marchandise est un bâtiment utilisé pour le stockage des marchandises ainsi que le chargement et déchargement dans les trains.

b. Triage :

Un cas particulier est celui des gares de triage, dont la fonction est d'assurer la recombinaison des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

c. 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 franchissent les extrémités.

En règle générale, les heurtoirs doivent être précédés, à 10 m. de distance, par des patins de freinage, qui après chaque déplacement doivent être remis en place.

Il existe deux principaux types de heurtoirs :

- ✓ les heurtoirs fixes ;
- ✓ les heurtoirs patinant, petit et grand modèle.

II.6.les gare 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 d'une collision.

II.7. Réseau de voie :

Selon l'importance des gares, le nombre de voies de chaque réseau est variable, chaque voie à sa fonction spécifique, mais elle peut éventuellement servir pour une autre, à condition que celle-ci n'ait pas de priorité sur la fonction spécifique.

Le tableau suivant indique la composition des réseaux selon leurs destinations.

Tableau XIII.01 : la composition des réseaux selon leurs destinations

Réseau de voies	Voies composant le réseau
Destiné au transport de voyageurs	Voie principale Voie de déplacement Voie de gare
Destiné aux ateliers d'entretien des véhicules	Voie de liaison Voie d'entretien
Destiné à l'aire d'approvisionnement en carburant	Voie d'approvisionnement
Destiné au service de la maintenance de la voie	Voie d'acheminement vers le hangar de maintenance Voie de hangar

Le tracé de réseau d'une gare et sa signalisation ne peuvent se faire qu'en analysant avec précision tous mouvements et manœuvres comprises qui comportent l'exploitation de la gare aux jours de pointe de trafic.

Grâce à une telle analyse, il est possible de proportionner les moyens aux besoins de signalisation moderne qui coûtent cher, et est donc économiquement intéressant de limiter non seulement le nombre des voies, mais celui des liaisons à ce qui est indispensable.

La modernisation d'une gare se traduit maintenant, en général par des simplifications dans le schéma des voies, car, on supprime les temps perdus en attente d'information des itinéraires.

II.7.1 Marge de glissement à l'aval des signaux :

a. Définition de la marge de glissement :

C'est le tronçon de voie situé au prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge, qui, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation.

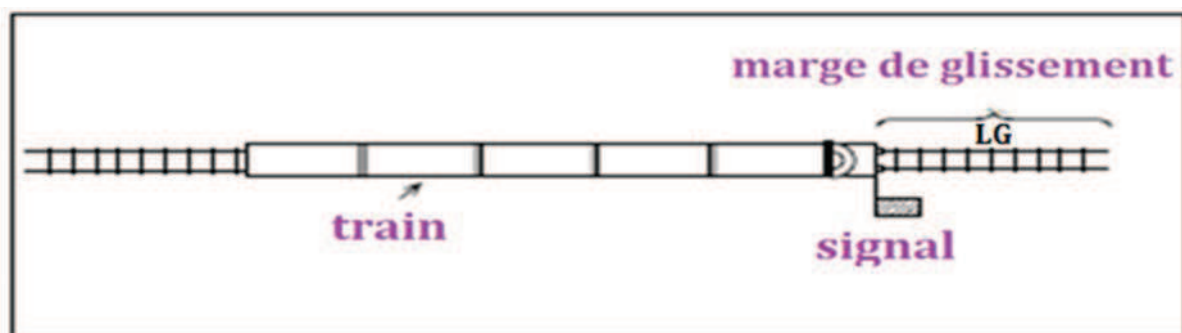


Fig. XIII.01 : Schématisation de la marge de glissement

Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsqu'un train n'a pas pu s'arrêter avant cette marge, faute de freinage ou rails glissants.

Sa longueur LG est donnée par :

1. $50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

LG = 200 m pour $V \geq 60$ km/h

LG = 100 m pour $40 \text{ km/h} \leq V \leq 60 \text{ km/h}$

LG = 50 m pour $V < 40$ km/h.

Donc : $50 \leq LG \leq 200\text{m}$

2. $LG = 50 \text{ m}$: à l'aval des signaux de blocs

Une réduction de la longueur prescrite est admissible sur la ligne ou l'on circule à faible vitesse ou dans des conditions d'exploitation très simples.

Note: Lorsqu'on ne peut pas réaliser cette marge, on doit systématiquement réduire la vitesse d'entrée avant le signal.

II.7.1 La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire est suffisante qui permet au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines.

Le garage franc : de part et d'autre de la voie de stationnement, il marque la partie de voie à occuper par les véhicules garés.

L'entraxe entre la voie directe et le garage franc sur la voie déviée du branchement est de 4 m.

La longueur utile est donnée par le règlement comme suit :

$$LU = LG + LS + LT + LA + LC$$

LU : Longueur utile

LG : Longueur de glissement

LS : Longueur de sécurité

LT : Longueur maximale de train

LA : marge de tolérance d'arrêt

LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle

Note :

La longueur de glissement LG est fonction de la vitesse d'accès aux appareils de voie, elle est aussi fonction de la variation moyenne de la pente sur 2.000 m avant le premier appareil de voie :

$$LG = 200 \pm x \quad \text{pour } V \geq 60 \text{ km/h}$$

$$LG = 100 \pm x \quad \text{pour } 40 \leq V \leq 60 \text{ km/h}$$

$$LG = 50 \pm x \quad \text{pour } V < 40 \text{ km/h}$$

x : c'est l'augmentation de 10 % (pour chaque unité de la pente (1‰) des 200 m, 100 m ou de 50 m,

Dans le cas d'une pente, la valeur maximale $LG_{MAX} = 300 \text{ m}$.

Dans le cas des rampes, x c'est la diminution de 5 % des 200 m ,100 m, ou de 50 m pour chaque unité de la rampe (1‰), la valeur minimale LG MIN = 50 m.

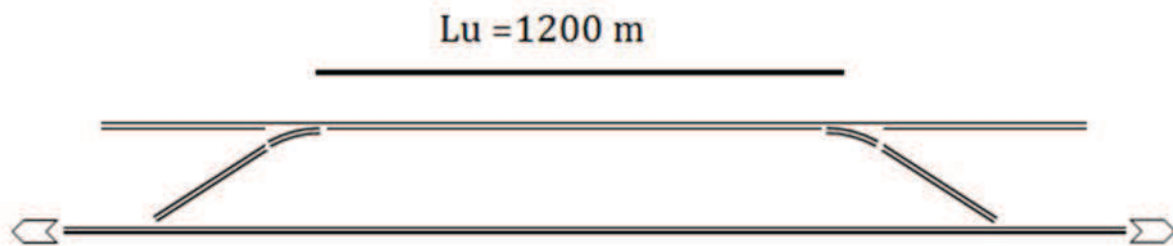


Fig. XIII.02 : schéma de la Longueur utile

III. Application au projet :

III.1. Conception de la gare de Colonel Bougara :

La gare de colonel Boughara situé au pk 20 entre Boughzoul et Tissemsilt sur notre tronçons d'étude c'est un gare de voyageur a une emprise de 1,5 km sur 0,5 km elle constituer d'un bâtiment de voyageur avec des parkings des taxis et des bus. Avec un réseau de voie constituer de 3 voies entre ces voie on place deux quais avec ces toitures entre ces deux quais on fait une passerelle pour permettre de passer à l'autre côté sans le franchissement de la voie (fig.XIII.03).

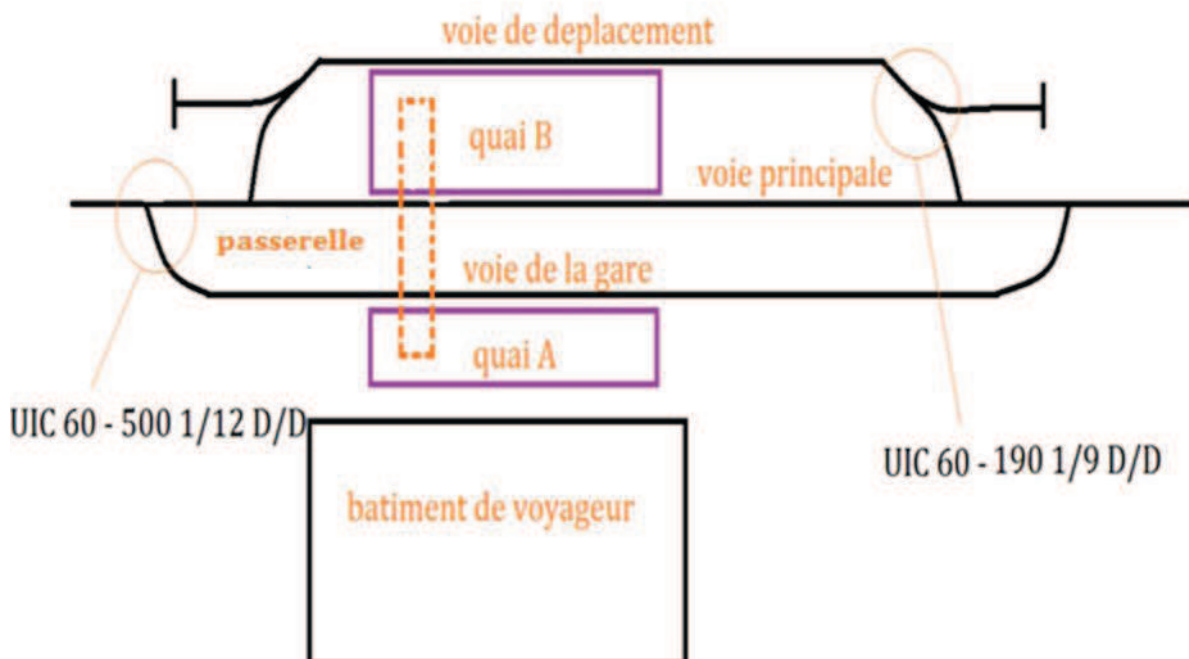


Fig. XIII.03 : Plan de masse de la gare Colonel Boughara

III.1.1 Réseaux de voie :

La gare de Boughara est destinée pour le transport des voyageurs alors on à 3 voies sur la gare comme montre le plan de masse.

1. Voie principale
2. Voie de la gare
3. Voie de déplacement

a. Calcul de longueur utile :

LG : Longueur de glissement (200) pas de déclivité

LS : Longueur de sécurité (LS=10 m)

LT : Longueur maximale d'un train (LT=800 m)

LA : Marge de tolérance d'arrêt LA = 10 m

LC : Tronçon d'isolation pour le système de contrôle LC = 6 m.

Ce qui donne : $LU = LG + 826$ en (m)

La longueur utile L'SNTF demande pour notre gare une longueur utile $LU = 1200$ m

b. Les appareils de voie utilisée :

On utilise un seul type des appareils de voie (le branchement) Pour le dédoublement de la voie on est besoin d'une vitesse de franchissement considérable (70 km/h) donc on est choisis l'appareil de voie UIC 60- 500 1 /12 $tg(0,083)$, et on utilise UIC -190 1/9 $tg(0,111)$ pour la déviation vers le heurtoir on utilise cette type car le franchissement dans cette voie avec une faible vitesse (40 km/h).

Remarque :

- D'après les normes de la SNTF concernant les appareils de voie : la distance séparant deux appareils de voie (tangente exclue) $L_{min} = 0,1 V$ et la longueur minimale est de $L_{min} = 16$ m.
- Pour notre cas on prend une longueur de 60 m
- Sous les appareils de voie, vue les charges dynamiques importantes, il est recommandé d'utiliser des traverses en bois de chêne.
- Bois de chêne

- ✓ Résistance à la compression 1500 N/cm²
- ✓ Résistance à l'arrachement des tirefonds 06 à 7.104 N

c. Les quais : selon le plan de masse de la gare on utilise 2 quais de l'un est pour les passagers déplacements (changement le train) et l'autre pour le bâtiment de voyageur. On détermine les largeurs de quai en fonction du nombre de voyageur et la hauteur est en fonction de la géométrie de la voie, les quais est équipé par des abris (toitures) pour les voyageur contre l'intempérie et les rayon soleil.

- **Largueur de quai :**

La largeur du quai est donnée par la formule suivante :

$$B_{\min} = (1,5 \times N_{\max} + S) / L$$

L : longueur du plus long train.

S : surface prise par le BV sur le quai.

N max : nombre de voyageurs sur le quai = 80% des places du train au départ.

Pour SNTF

L : Largeurs du quai.

Quai intermédiaire $B > 6$ m

Quai extérieur $B \geq 6$ m

On prend donc $B = 6$ m (bâtiment voyageurs) et $B = 8$ m (pour la voie de passager)

- **Longueur des quais :**

Pour les normes de SNTF les longueurs des quais sont entre 300 et 350 m en prends pour notre cas $L = 300$ m à cause du faible trafic des passagers

- **Hauteur des quais :**

Quai bas $h = 35$ cm

Quai mi- haut $h = 55$ cm

Quai haut $76 \leq h \leq 100$ cm

On prend $h = 55$ cm

- **Les toitures (arbis) sur les quais :**

- ✓ **Largeur de la toiture :**

Quai intermédiaire de 8 m de largeur = 7 m

Quai intermédiaire de 6 m de largeur = 5 m

Quai extérieur de 6 m largeur = 5.5 m

On prend 7 m pour cette largeur de 8 m de quai et 5 m pour le quai de 6 m

- **Entre -axe des quais :**

e normal > 11.3

e minimal > 9.3 (Normes SNTF)

On prend e = 15,3 m

Hauteur libre : H= 3.10 m

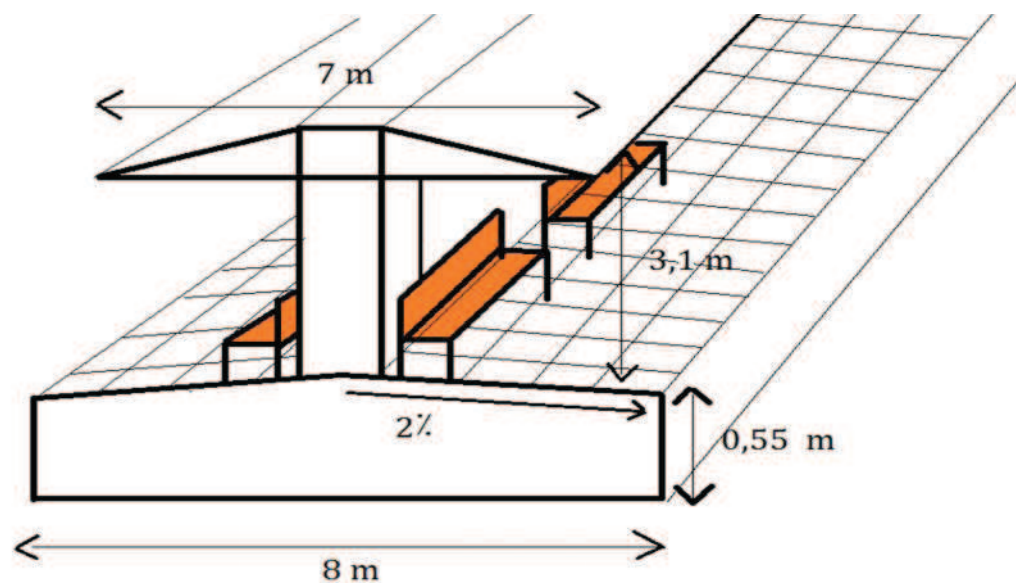


Fig. XIII.04: Dessin montre les dimensions de quai et leur équipement

La passerelle : Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai

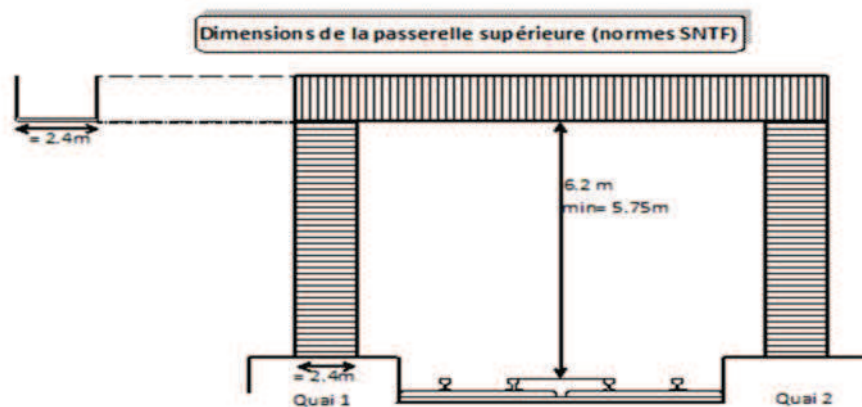


Fig. XIII.05: coupe transversale de la passerelle

- **Assainissement longitudinal :**

Il se fait grâce à des conduites disposées et pentes longitudinalement et enterrées, elles servent à assainir l'eau vers un point d'évacuation finale, généralement ces conduites sont percées sur leurs faces supérieures.

- **Assainissement transversal :**

Tous les quais sont pentés transversalement de (2%) vers les voies de circulation, la plate-forme de la voie est pente de sa part de (2%), l'eau est captée dans des conduites percées et enterrées pour assainir longitudinalement.

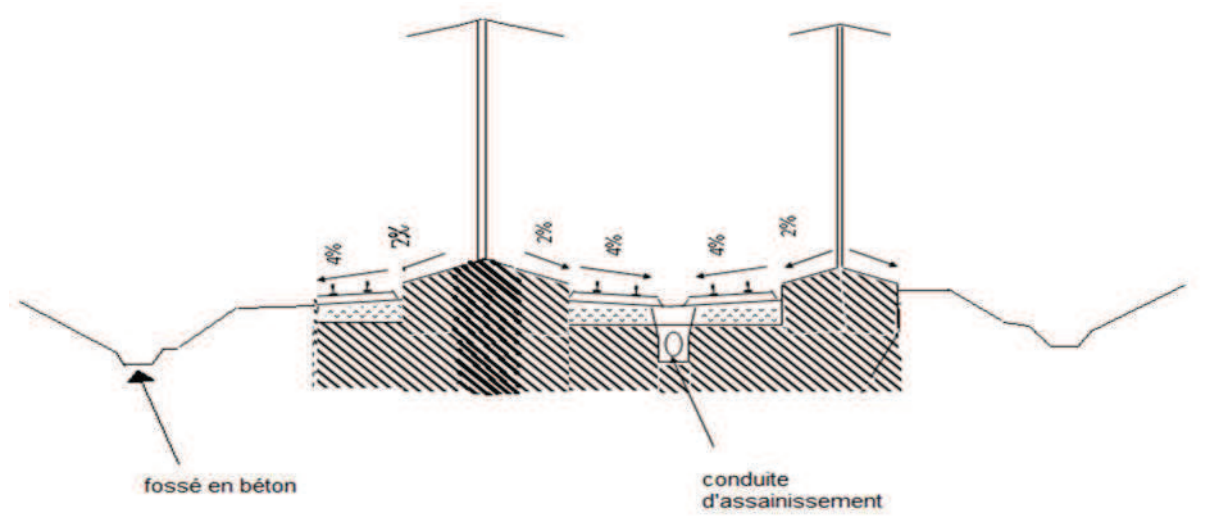


Fig.XIII.07: assainissements de la gare

IV. Conclusion :

A l'implantation de la gare on choisit un terrain plat pour minimiser le cout de terrassement de la vaste emprise de la gare.

Impact sur l'environnement

I. introduction

Un impact sur l'environnement peut être défini comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante environnementale pris dans son sens large, c'est à dire englobant les aspects physiques, biologiques et humains, en comparaison avec la situation prévalant avant la réalisation de l'activité humaine en question.

La notion d'impact a deux dimensions principales: la grandeur et l'importance. Il faut également distinguer les impacts potentiels des impacts réels:

- Impact potentiel: impact estimé d'après la nature et l'envergure du projet en fonction de la connaissance et de la valeur attribuée à une composante du milieu.
- Impact réel: impact sur l'environnement validé dans le cadre du suivi environnemental.

L'évaluation des impacts sur l'environnement permet d'identifier les modifications anticipées sur le milieu par la réalisation du projet. Les impacts sont liés à l'implantation et à l'exploitation des équipements (pré-construction, construction, exploitation et entretien).

L'évaluation des impacts s'applique à l'espace occupé par l'équipement en question. L'importance de l'impact est obtenue à l'aide de différents indicateurs, soit la sensibilité, l'intensité et l'étendue. L'importance relative de l'impact est obtenue en combinant l'importance avec la durée pendant laquelle l'impact se manifesterá.

Ce projet est assujéti à l'évaluation des impacts sur l'environnement afin d'assurer son intégration dans le milieu récepteur et de réduire ses répercussions environnementales.

Le présent chapitre est constitué de l'étude d'impact sur l'environnement du projet de la desserte ferroviaire à voie unique électrifiée BOUGHZOUL_TISSEMSILT et comporte la description de l'état initial et l'identification des différentes contraintes et sensibilités, et l'identification des impacts.

La consistance de ce rapport portera sur la mise en contexte du projet et le développement des chapitres de:

- La description des milieux physiques, humains, biologiques, et du paysage traversé
- La description des composantes du projet qui sont: le tracé en plan, les échangeurs, les ouvrages d'art et le profil en travers type
- L'analyse des impacts environnementaux : leurs activités, leurs sources, et leurs évaluations.
- Et une conclusion résumant les impacts et des Activités génératrices des impacts appréhendés, les Sources d'impacts et valeur environnementales des éléments du milieu, et Évaluation des impacts environnementaux
- Et enfin, une conclusion qui résume toutes les contraintes identifiées et recensées.

II. Mise en Contexte du projet :

Le programme de développement du réseau ferroviaire de la Wilaya de tissemsilt et la wilaya de média, consiste à connecter la nouvelle ville de bougezoul et tissemsilt par une ligne ferroviaire a une voie électrifier pour assurer l'échange et la fluidité du voyageur et les étudiants externe et inter. L'évolution de trafic, généré par le développement et l'augmentation de l'attraction touristique.

La consistance de ce projet sur plan national, fait de lui un projet de priorité.

Ce dernier, en combinaison avec d'autres aménagements prévus.

III. Identification et évaluation des impacts:

a. Identification des sources d'impact :

L'identification des sources d'impact doit être faite pour le projet allant de sa phase de pré-construction, de construction à la phase d'exploitation.

b. Identification des impacts :

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour réaliser l'évaluation des impacts. Ces méthodes sont basées sur une approche scientifique multi disciplinaire objective. La méthode des matrices permet de croiser les différents éléments du milieu avec les différentes sources d'impact déterminer ainsi des liens de cause à effet.

Les impacts sont caractérisés en impacts négatifs et positifs, impacts directs et indirects, impacts permanents et temporaires. Il existe aussi des impacts inévitables ou irréversibles.

La méthode matricielle permet une lecture synthétique des impacts.

L'évaluation des impacts repose sur des critères tels que la sensibilité du milieu, l'intensité, l'étendue (régionale, locale ou ponctuelle), la durée (longue moyenne courte). Pour assurer une meilleure appréhension de l'étude d'impact; ceux-ci seront, dans la mesure du possible, cartographiés selon l'échelle disponible pour la réalisation de l'inventaire.

Une évaluation qualitative en termes d'importance (impact mineur, moyen ou majeur) et une autre quantitative en termes de longueur traversée ou de superficie touchée pour chaque composante environnementale seront réalisées.

L'importance repose sur la mise en relation de trois indicateurs, soit la sensibilité environnementale des éléments du milieu, l'intensité et l'étendue de l'impact anticipé sur ces mêmes éléments du milieu.

IV. Aspects juridiques et institutionnels :

Avec une activité économique effervescente, une urbanisation intense, des milieux naturels fragiles et face à des problèmes d'environnement qui touchent particulièrement la qualité des eaux, l'environnement ne cesse de prendre une ampleur inégalée et de se manifester à diverses échelles territoriales.

Face à cette situation, une refonte institutionnelle et législative a été initiée depuis quelques années dans un objectif de protection de protection des ressources en eau, de leur planification intégrée et décentralisée et de développement durable.

La politique nationale de préservation de l'environnement s'insère d'une part dans un cadre législatif et normatif actuellement en cours de mis en oeuvre et d'autre part dans le processus de mise en place de projets de développement respectueux des conventions internationales ratifiées par l'Algérie des procédures établies par les bailleurs de fonds et dans le cadre de la mise à niveau générale de l'Algérie en marge de la mondialisation et de l'ouverture des frontières.

L'étude d'impact sur l'environnement permet d'évaluer les effets directs ou indirects, à court, moyen et long terme des différents projets d'activités, de travaux, d'aménagements ou d'ouvrages industriels agricoles ou commerciaux sur l'environnement et de proposer des mesures pour supprimer, atténuer ou compenser les impacts négatifs.

a. Cadre institutionnel :

Le département de l'environnement, au sein du ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement, est responsable de la coordination des activités de gestion de l'environnement.

A côté de ce département de l'environnement, certains ministères techniques et offices disposent aujourd'hui de services ou de cellules spécialisés en matière d'environnement. Ces ministères sont les suivants:

Ministère de l'énergie et des mines,

Ministère des ressources en eau

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement;

Ministère des transports; Ministère des travaux publics;

Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime; Ministère de la santé;

Ministère de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies ; Ministère de l'intérieur;

Ministère du tourisme et de l'Artisanat, chargé de l'artisanat;

Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification

Certains offices rattachés aux ministères jouent un rôle important dans la protection de l'environnement.

Au niveau régional, des conseils régionaux et provinciaux de l'environnement ont été constitués notamment dans les régions économiques

b. Cadre juridique :

La législation algérienne en matière de protection de l'environnement est abondante, témoigne de l'intérêt porté très tôt à la protection des ressources naturelles du pays.

Les différentes lois qui s'appliquent dans le contexte de ce projet ferroviaire sont énumérées ci-dessous:

La loi n°83-03, du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement

La loi n°87-03 du 27 janvier 1987, relative à l'aménagement du territoire

La loi n°90-25 du 18 novembre 1990, portant orientation foncière

La loi n°90-29 du 1er décembre 1990, relative à l'aménagement et à l'urbanisme

La loi n°03-10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

La loi n°01-20 du 12 décembre 2001, relative à l'aménagement et au développement durable du territoire

La loi n°02-02 du 05 février 2002, relative à la protection et à la valorisation du littoral

V. Conventions internationales :

S'agissant de l'apport de l'Algérie à la protection de l'environnement au niveau international, il faut souligner que ce dernier affiche une ferme volonté politique de coopération en vue de protéger et gérer l'environnement et participe activement à l'oeuvre de codification du droit international de l'environnement.

En ce qui concerne l'arsenal conventionnel environnemental liant l'Algérie, .Il s'agit notamment des conventions suivantes:

- ✓ Convention internationale pour la prévention de la pollution de la mer par les hydrocarbures;
- ✓ Convention internationale sur l'intervention en haute mer en cas d'accident entraînant ou pouvant entraîner une pollution par les hydrocarbures;
- ✓ Convention relative aux zones humides d'importance internationale;
- ✓ Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel;
- ✓ Convention relative à la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage;
- ✓ Convention sur la protection de la couche d'ozone;
- ✓ Convention sur les changements climatiques;
- ✓ Convention sur la diversité biologique.

L'Algérie est partie contractante, sont traduits en textes réglementaires et publiés au Journal Officiel :

- Décret Présidentiel 96-04 du 10 juin 1996, portant Ratification de la Convention des Nations Unies pour la Lutte contre la Désertification.
- Décret Présidentiel 85-111 du 07 mai 1985 portant sur l'adhésion de l'Algérie à l'Organisation Internationale de Lutte Biologique contre les animaux et les plantes nuisibles (OILB).
- Décret Présidentiel 85-112 du 07 mai 1985 portant sur l'adhésion de l'Algérie à la Convention Internationale pour la Protection des Végétaux. Cette convention a nouvellement intégré les OGM dans les préoccupations phytosanitaires.
- Décret 82-439 du 11 décembre 1982 portant sur l'adhésion de l'Algérie à la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats de la sauvagine, signée à Ramsar, Iran, le 02 février 1971
- Décret 82-498 du 25 décembre 1982 portant sur l'adhésion de l'Algérie à la Convention sur le commerce international des espèces, de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, signée à Washington le 3 mars 1973
- Décret 82-440 du 11 décembre 1982 portant sur la ratification de la Convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles, signée à Alger le 15 septembre 1968
- Décret Présidentiel 98-125 du 18 avril 1998 portant adhésion à la Convention pour l'établissement de l'organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes, amendée le 21 septembre 1988.

Tout d'abord l'Algérie a signé et ratifié la Convention sur la Diversité Biologique (le décret présidentiel n° 95-163 du 7 Moharrem 1416 correspondant au 6 juin 1995 portant ratification de la convention sur la diversité biologique signée à Rio de Janeiro le 5 juin 1992) et la Convention pour la Lutte contre la Désertification (le décret présidentiel n°96-52 du 22 janvier 1996 portant adhésion de l'Algérie à la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification et en particulier en Afrique adoptée à Paris le 17 juin 1994).

Par ailleurs, l'Algérie a signé le Protocole de Cartagena sur la Prévention des risques biotechnologiques en mai 2000 et l'a ratifié, le 8 juin 2004, sur décret présidentiel 04-170. Elle est présente par le biais de son représentant officiel de la Convention sur la Diversité Biologique, dans le Comité Intergouvernemental du Protocole de Cartagena (ICCP) et dans les réunions du Protocole dans le cadre de la Conférence des Parties COP-MOP 1 (février 2003, Kuala Lumpur) et COP-MOP 2 (mai 2005, Montréal).

VI. Monuments classes :

Monuments, Sites et Zones classes dans la Province de Tissemsilt :

Tissemsilt recèle d'innombrables sites et monuments hérités des ancêtres berbères : sarcophages, sépultures préhistoriques et inscriptions libyques à Makmen El Djemel et à Aïn Sfa. Ayant été envahie par les Romains, elle compte également de nombreuses ruines datant de cette époque. Parmi ces vestiges, il est recensé les fûts de colonnes et les chapiteaux corinthiens de Sidi Smail, les sépultures de Kerbet Nhas, les poteries et épitaphes de Ksar Roum, les silos et le mausolée d'El Kouassem et le fameux site de Columnata , avec ses restes de thermes, ses fragments de colonnes, ses chapiteaux, sa nécropole à sarcophages en pierre et fosses creusées dans le roc, et d'autres sites non moins importants appartenant à la période islamique, tels que les vestiges des princes Toudjinites à Toukel,

le site d'Aïn Sfa et s'agit d'une grotte rocheuse dont les parois sont recouvertes de gravures rupestres représentant plusieurs thèmes retraçant l'activité humaine, la flore et la faune de la région ainsi que des écritures en ocre rouge en tiffinagh et en caractères libyco-berbères. Ce site remonte à la période néolithique.

- ✓ Le site d'Aïn Tokria, dénommé par les Romains Columnata. Il s'agit d'une partie des fortifications érigées par les Romains. De ce site, il ne subsiste que quelques éléments architectoniques et des nécropoles.

Selon des études faites autour de cet espace archéologique, il ressort aujourd'hui que l'on observe un cimetière extra-muros érigé sur une terrasse de quatre escaliers. Le site est proprement entouré d'amandiers et de vestiges.

- ✓ le site de Taza, une des citadelles élevées par l'émir Abdelkader en 1838.

Le site est composé d'une citadelle avec un rempart extérieur de soixante-neuf mètres de long et trente-trois mètres de large et de bastions.

VII. Impacts du projet sur l'environnement et mesures d'atténuation Et / ou de compensation :

Les impacts du projet seront analysés en distinguant successivement

- les impacts temporaires: directs et indirects,
- les impacts permanents: directs et indirects.

Définition :

a. Impact temporaire

Impact lié à la phase de réalisation des travaux qui, par conséquent, s'atténue progressivement jusqu'à disparaître. Une partie indépendante sera consacrée aux impacts temporaires dans ce document de manière à bien les séparer des impacts de la phase d'exploitation.

b. Impact permanent

Impact durable que le projet doit s'efforcer d'éliminer, de réduire ou, à défaut, de compenser lorsqu'il est négatif. En effet il existe également des impacts positifs du projet, ceux-ci seront également décrits.

c. Impact direct

Effet directement attribuable aux travaux et aux aménagements projetés.

d. Impact indirect

Effet généralement différé dans le temps, l'espace, ou qui résulte d'interventions ou d'aménagements destinés à prolonger ou corriger les conséquences directement imputables à la réalisation des travaux.

e. Mesure (de suppression, de réduction ou de compensation)

Tout dispositif, action ou organisation, dont l'objectif est de supprimer, réduire ou compenser un impact négatif du projet

VIII. Les impacts temporaires du projet et les mesures d'atténuation et / ou de compensation :

Présentation :

Lors des travaux envisagés, des nuisances temporaires peuvent apparaître en particulier pour les riverains, le milieu physique, la ressource en eau et le milieu naturel. Il est important d'appréhender au mieux ces effets provoqués par les travaux afin de prévoir les mesures de réduction, de suppression ou de compensations adaptées.

Les travaux se déroulent selon l'ordre suivant:

- 1-Terrassement et ouvrage d'art,
- 2-Pose et armement des poteaux caténaire par camions, génie civil des quais,
- 3-Chemin de câbles et déroulage de câbles et début de signalisation,
- 4-Pose de la voie par train travaux,
- 5-Déroulage de la caténaire,
- 6-Signalisation et finitions.

Les préconisations destinées à supprimer, réduire ou compenser les impacts temporaires en phase chantier sont listées ci-après. Elles seront également stipulées dans les cahiers des charges destinés aux entreprises chargées de la réalisation des travaux. Ces dernière sauront à en respecter les objectifs, qui sont de réduire la nuisance des travaux sur l'environnement.

IX. Impacts sur les milieux écologiques, la faune et la flore :

a. Impacts sur les milieux écologiques :

Impacts sur les milieux écologiques. Le projet traverse ou à voisine plusieurs zones bénéficiant de dispositifs d'inventaires ou de protection. Plusieurs de ces zones sont des zones humides et classées comme sites Ramsar d'importance nationale et internationale pour la biodiversité et plus particulièrement pour les Oiseaux d'eau (le lac du bougezoul,).

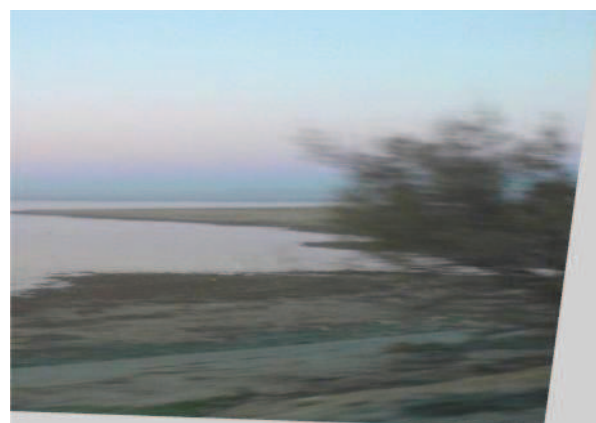
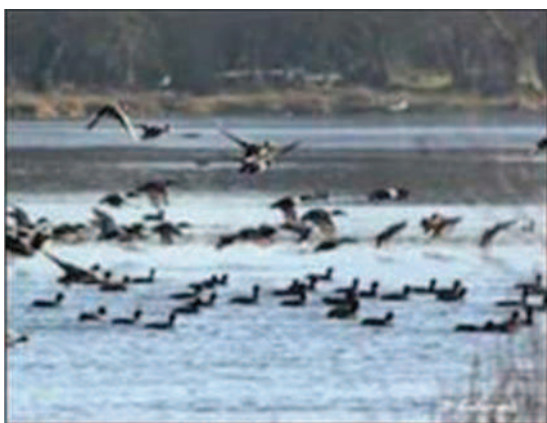


Fig.XIV.01 : photo du lac de Bougezoul

D'autres sites sont classés au niveau national comme des sites d'intérêt biologique et écologique tel qu'Oued nehr ouassel, oued touil, oued ouerk.

Ces zones humides à eaux douces ou limniques, saumâtres ou salées sont colonisées par une biodiversité floristique très remarquable dont les diverses espèces participent à la mise en place de plusieurs types d'écosystèmes naturels.

L'ensemble de ces espèces et plus particulièrement l'avifaune sauvage sédentaire et migratrice, riche en espèces en démiques, rares et menacées, montre l'importance nationale et internationale de ces types de biotopes et habitats en termes de biodiversité faunistique qui s'ajoute à la large diversité biologique de la flore et de ses structures de végétation.

Les milieux les plus originaux où domine l'ensemble des espèces sus-citées et leurs structures devégétation dynamiques sont ainsi que la subéraie (forêt de chêne liège).

Les travaux de construction de la LGV entraîneront donc la destruction de l'habitat de la faune (nids) et peuvent également entraîner la destruction des animaux en hibernation sites d'hibernation, terriers, gîtes...etc.).



Fig.XIV.02 : photo du lac de Boughzoul

b. Impacts sur la flore et la végétation :

La LGV tissemsilt-boughezoul aura des impacts négatifs sur la flore et la végétation (défrichements, perturbations et fragmentations de biotopes et d'habitats...) tant

naturelles (milieux terrestres, zones humides, tourbières) qu'artificielles (reboisements, périmètres irrigués...).

Toutefois, ces perturbations et risques de dysfonctionnements ou encore les pertes de biotopes et d'habitats ou leur fragmentation au niveau des milieux écologiques et de leur biodiversité (flore, faune, écosystèmes naturels et artificiels, paysages...) seront plus marqués pour les espèces endémiques, rares et menacées ou encore remarquables et vulnérables.



Fig.XIV.03 : photo végétation dans la région de Tissemsilt

c. Impacts sur la faune sauvage :

Les impacts négatifs sur la faune seront relativement atténués comparativement à ceux relatifs à la flore et à la végétation (mobilité de la faune, impacts linéaires circonscrits...)

Toutefois, la maîtrise des risques de pertes d'habitats et de biotopes et de fragmentation des milieux doit préserver l'intégrité et l'unicité des écosystèmes et de leurs dynamiques ainsi que celles de la biodiversité faunistique, tant au cours des travaux que suite à la réalisation des différents ouvrages (voies ferrées, ouvrages d'art ...).

Les perturbations des habitats et des biotopes ainsi que les impacts concernant la biodiversité faunistique seront plus accusées au niveau des zones humides (oued ouerk, oued touil, oued ouerd, oued nehr ouassel et essentiellement le lac de bougezoul...).

Il est à noter que l'étude d'impact n'a pas prévu de passage à faune pour trois raisons:

- ☐ Ces passages ne peuvent pas jouer leur rôle en absence de leurs équivalents au niveau de la route et du chemin de fer.
- ☐ Le passage de la faune peut être assuré par les grands ouvrages hydrauliques prévus dans les milieux humides qui sont concernés par les mouvements de la faune.
- ☐ En cas de non gardiennage permanent, Ces passages peuvent constituer une cible des braconniers.

Les ouvrages de rétablissement de pistes pourront être empruntés par la faune.

d. Mesures d'atténuation :

Les mesures d'atténuation et/ou de compensation à prendre sont:

La protection de la faune en interdisant en phase travaux de couper les arbres pendant la période de nidification des oiseaux sensibles

Les reboisements à base de plants de chêne liège qui est une essence naturelle. Cette opération doit veiller à un bon choix de sites à planter et à la très bonne qualité des plants issus des pépinières qui, en principe doivent être certifiés..

Les superficies à planter en chêne liège doivent être au moins égales à celles défrichées et ce, si on est sûr d'assurer la réussite totale de l'opération

Cependant, et d'après les expériences dans le domaine, les taux d'échec variables nécessitent de planter des superficies en chêne liège beaucoup plus étendues afin d'aboutir au moins aux densités de la situation correspondant à la réalisation des travaux de la LGV.

Il est même possible de participer aux activités de régénération naturelle de chêne liège (par celles clôturées).

Les reboisements à base d'essences exotiques (Eucalyptus sp.pl., Pins et Acacia à tanin) permettant de remplacer les superficies des plantations artificielles actuelles à base des dites essences forestières.

Les essences à retenir selon les types de milieux écologiques sont les suivantes:

- Eucalyptus camaldulensis (substrats siliceux)
- Eucalyptus gomphocephala (substrats carbonatés)
- Pinus pinaster atlantica (milieux sableux)
- Pinus pinea (substrats sableux, grésocalcaires)

Lors de la réalisation des travaux, les dispositions les plus appropriées qui limitent au maximum les perturbations et les dysfonctionnements des zones humides dont essentiellement les sites d'intérêt biologique et écologique et les Sites Ramsar (mesures d'atténuation des impacts négatifs).

L'éventuelle participation et la réalisation d'infrastructures appropriées [Centres d'éducation à l'environnement avec tous les équipements nécessaires et matériels destinés à cet objectif (matériel scientifique, technique, pédagogique)] au niveau de sites bien choisis (mesures multi-objectifs).

Cependant, il faut préciser que les activités à entreprendre par le maître d'ouvrage de la LGV en matière de plantations, de reboisements, de régénération naturelle du chêne liège, d'activités au niveau des zones humides de très grande importance pour la biodiversité doivent être entreprises en étroite collaboration avec le Département de tutelle (Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification) et qui est en même temps le Point Focal de la Convention Ramsar.

Quant aux zones humides, elles sont traitées avec une attention particulière par le Maître d'Ouvrage dès la conception du tracé pour minimiser au maximum les impacts:

- Franchir les zones humides en viaducs pour conserver une grande transparence vis-à-vis de l'hydraulique et des déplacements de la faune;
- Rétablir les voies de communication et des ouvrages hydrauliques pour permettre à la petite faune terrestre de franchir la voie.

Ces mesures vont permettre de réduire significativement l'impact de la LGV sur les zones humides et la faune.

- A la fin des chantiers, les zones humides seront complètement reconstituées dans leurs états d'origine.

Ces opérations seront menées en étroite collaboration avec les représentants du Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. Un responsable sera désigné dans chacune des deux Directions Régionales des Eaux et Forêts concernées afin de coordonner la surveillance des zones sensibles.

X. Impacts sur les ressources en eau et mesures d'atténuation y afférentes :

Les principales incidences du chantier de génie civil sur la ressource en eau souterraine concernent, de la même manière que pour les eaux superficielles, ses aspects quantitatifs et qualitatifs.

Aspects quantitatifs : les travaux de terrassement liés à la construction de la LGV génèrent, pour le franchissement des reliefs, d'importants déblais risquant d'intercepter un niveau aquifère. En fonction de l'importance et de l'usage de la nappe ainsi interceptée, les conséquences des perturbations de son fonctionnement hydrodynamique sont variables, elles peuvent être dommageables si la nappe sert à l'alimentation en eau potable.

Aspects qualitatifs : le décapage des couches superficielles de terrain lié au

terrassement de la plate-forme ferroviaire augmente fortement la vulnérabilité des nappes phréatiques par suppression des niveaux qui les protégeaient des pollutions de surface ou retardaient leur infiltration. Ce risque est plus fort lorsque les aquifères concernés sont exploités pour l'alimentation en eau potable.

Pour prendre en compte les risques de dégradation de la ressource en eau souterraine et superficielle lors des chantiers, une série de mesures a été prise. Elles concernent :

- La limitation des hauteurs des remblais de la LGV permettra de limiter les phénomènes de tassements de terrain susceptibles de modifier les conditions d'écoulement des nappes phréatiques identifiées dans la zone d'étude
- des actions concernant l'écoulement des eaux superficielles : les ouvrages hydrauliques seront dimensionnés de manière à ne pas modifier le cours normal de l'oued ;
- des actions visant spécifiquement la protection des captages d'eau potable : le tracé ne recoupe aucun périmètre de protection de captages pour l'alimentation en eau potable.

En outre, plusieurs mesures d'atténuation sont à prévoir sur le chantier pour préserver la qualité et le fonctionnement hydrodynamique des eaux souterraines et superficielles :

- Aucune installation de chantier potentiellement polluante ne sera mise en place dans les zones hydrogéologiquement sensibles ;
- Mise au point d'un plan de circulations de chantier excluant le stationnement et l'entretien du matériel, l'approvisionnement et le stockage des carburants et huiles, dans les zones sensibles ;
- Stockage des produits polluants sur des aires étanches, abritées de la pluie et en dehors des zones sensibles ;
- Mise en place d'une collecte efficace des eaux de ruissellement du chantier et rejet après décantation des matières en suspension ;

- Kit de dépollution placé dans les véhicules de chantier ;
- Signalétique de chantier prescrivant les interdictions en matière d'entretien et d'approvisionnement des engins en zones sensibles ;
- Mise en place d'un plan d'alerte et de secours pour les risques de pollution accidentelle en chantier ;
- Suivre les mesures relatives à la gestion des eaux usées et des déchets en phase des travaux ;
- Contrôle et suivi de la mise en place et du respect des mesures (Plan Assurance Environnement).

XI. Impacts sur l'agriculture:

Il est incontestable que l'agriculture est une activité économique principale et inépuisable. De ce fait elle doit se faire octroyer un grand intérêt.

a. Les impacts :

L'ensemble des impacts sur l'agriculture peut se regrouper en trois éléments qui sont :

- L'effet de la substitution du sol à vocation agricole, et la diminution des superficies exploitées.
- L'effet de coupure, entraînant la destruction d'une tranche de la parcelle agricole, et difficultés de travail et de circulation par des allongements de parcours (rupture de cheminements).
- L'effet de modification du régime agricole.

b. Les remèdes :

Les mesures visant à remédier à ces préjudices sont classées en deux catégories :

b-1. Mesures préventives :

Devant intervenir en amont, lors des choix du tracé et la détermination des caractéristiques du projet, sinon on aura recours aux mesures curatives.

b-2. Mesures curatives :

Comprenant la restriction des exploitations et des mesures techniques allant du rétablissement des réseaux existants à la remise en état des terrains agricoles.

XII. L'impact sur les habitants :

a. La destruction :

Les projets des chemins de fer nécessitent parfois, la destruction de certaines habitations et le déplacement des populations du lieu de leur vie ou de travail, et leur réinstallation par la suite ailleurs, ce qui peut provoquer un bouleversement sur le plan économique et culturel de la vie des individus affectés.

a-1. Les impacts de destruction concernent :

- Les populations situées sur l'emprise du projet, et qui seront obligés de se déplacer.
- Les populations situées au périmètre d'accueil.

a-2. Ces impacts sont d'ordre :

- Economique : modification des systèmes de production.
- Socioculturel : désorganisation des communautés, et modification culturelle.
- Naturel : modification dans l'exploitation des ressources naturelles.

b. Les bruits :

b-1. Les impacts :

La ligne ferroviaire au voisinage d'habitation a des conséquences sur santé humaine suite à la gêne due au bruit pouvant se manifester de plusieurs façons :

- Perte de sommeil.
- La fatigue
- Baisse de l'acuité auditive.

b-2. Les remèdes :

- Eviter les zones de grandes densités d'habitation en agissant en amont sur la configuration du tracé.
- Mettre des protections entre cette source de bruit et les récepteurs.
- Agir sur les façades des bâtiments concernés.
- La protection entre la source et le récepteur consiste à interposer un obstacle entre les voies de circulation et les habitations situées à proximité.

- Dans le cas d'immeubles de grande hauteur, ces dispositifs sont incapables de protéger les étages supérieurs.

XIII. Conclusion :

Le projet a une taille modérée certes, mais vu sa localisation dans une région très sensible à l'environnement et les incidences environnementales difficilement maîtrisables ; nous recommandons aux autorités concernées de mettre un accent particulier sur l'évaluation des conditions environnementales menée pendant les visites par la mise en oeuvre des mesures appropriées afin d'atténuer les impacts négatifs sur l'environnement. L'objectif principal à atteindre est celui d'intégrer l'équipement dans le paysage qu'il traverse avec le minimum de nuisances économiques, environnementales et écologiques.

Devis quantitatif et estimatif

I. La gare de Colonel Boughara:

Bordereau des prix et des quantités				
Désignations des travaux	unité	quantité	Prix unit	montant
Installation de chantier et amenée du matériel pose de la voie	F	1	20 421 149.17	20 421 149.17
Replieiment	F	1	3 603 732.20	3 603 732.20
Etude d'exécution	F	1	4 314 627.84	4 314 627.84
Ballastage voie nouvelle	M ³	9500	4 164.45	39 562 275.00
Fourniture des traverses bi-bloc	U	4110	6 087.27	25 018 679.70
Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	300	106 863.83	32 059 149.00
Fourniture des attaches pour rails UIC 60	U	16 450	419.54	6 901 433.00
Pose de la voie	M	2470	5 898.17	14 568 479.90
Fourniture d'un branchement simple UIC 60-300-1:9	U	2	12 624 805.23	25 249 610.46
Pose d'un appareil de voie simple UIC 60-300-1:9	U	2	294 065.89	588 131.78
Fourniture d'un branchement simple UIC 60-500-1:12	U	4	15 431 555.66	61 726 222.64
Pose d'un appareil de voie simple UIC 60-500-1:12	U	4	318 306.30	1 273 225.20
Traverses de Garage Franc	U	12	423 842.64	5 086 111.68
Coupe de rail	U	36	853.90	30 740.40
Soudage Aluminothermique	U	222	20 562.74	4 564 928.28
Traverses de voie	M ²	30	15 075.61	452 268.30
Heurtoir	U	2	718 228.05	1 436 456.10

Quais				
désignation	unité	quantité	Prix unit	montant
Gros béton dosé à 200 kg/m ³ de C.P.A 325 de 0,40 m	M ³	4620	4806.00	22203720.00
F/P d'éléments en " L " préfabriqués pour murs de quais	ML	2148	18000.00	38664000.00
F/P de revêtement en pavés	M ²	1001.4	4350.00	4356090.00

TOTAL GARE DE COLONEL BOUGHARA

312 081 030.06

II. Trace : section TISSEMSILT-BOUGHEZOUL de PK 15 au PK 40 :

désignation	unité	quantité	Prix unit	Montant (DA)
Installation de chantier et amenée du matériel pose de la voie	F	1	123 110 024.7	123 110 024.7
Replieement	F	1	51 295 665,00	51 295 665,00
TERRASSEMENT				
Décapage sur 0.3 m	M ³	177 719.254	550.00	97 745 589.7
remblai	M ³	1 640 122.074	800.00	1 312 097 659
Déblai	M ³	316 467.741	1000.00	316 467 741
Sous-total				1 638 310 990
COUCHE D'ASSISE				
Ballast	M ³	46 409.38	4 164.45	193 269 542.5
sous ballast	M ³	41 790.951	3200.00	133 731 043.2
Couche de forme	M ³	118 501.241	2800.00	331 803 474.8
Sous-total				658 804 060
SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE				
Fourniture des traverses bi-bloc	U	41 844	6087.27	254 715 725.9
Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	3017	106863.83	322408175.11
Pose de la voie	M	25117	5898.17	148 144 335.9
Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	167 512	419.54	70 277 984.48
Soudage Aluminiothermique	U	1398	29562.74	41 328 710.52
Sous-total				836874931.9
OUVRAGE D'ART				
Pont rail	M ²	1200	80 000.00	64 000 000.00
Passage supérieur	M ²	735	60 000.00	44 100 000.00
Sous-total				108 100 000.00
OUVRAGES DE DRAINAGE				
buses	ML	24	25 000.00	600 000.00
dalots	M ²	70.5	40 000.00	2 820 000.00
fossés	ML	5000	2 200.00	11 000 000.00
Sous-total				11 882 000

Total du tracé	3253971982 DA
-----------------------	----------------------

III. Total du projet :

Total du projet	3566053012 DA
------------------------	----------------------

Conclusion générale

Le programme de la relance économique qui a pour objet le développement durable du pays, donne une place importante et un grand intérêt au domaine des travaux publics, et cela en s'intéressant à l'amélioration et l'aménagement d'infrastructures de qualité, qui permettent d'offrir les meilleurs services pour les utilisateurs des voies ferrées et les autoroutes, et qui répondent à l'offre et à la demande en matière de transport.

Sachant que notre pays souffre énormément des problèmes de trafic, ce programme vient donc pour donner un nouveau souffle à notre économie, en aménageant et en réalisant divers projets importants dans le domaine des travaux publics.

Un de ces projets d'aménagement, est la réalisation de la voie ferrée qui relie la ville de Boughzoul et la ville de Tissemsilt, qui est elle-même considérée comme une grande infrastructure contribuant au développement de notre économie.

Pour notre étude nous avons respecté toutes les normes U.I.C qu'on ne peut pas négliger en évitant les contraintes rencontrées sur le terrain et on a pris en considération, le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'économie et l'environnement. Ce projet de voie ferrée nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nos connaissances acquises durant les cinq années de notre formation, mais aussi de mieux appréhender notre avenir dans le monde professionnel.

Annexe N01 : AXE EN PLAN

COVADIS - LISTING DE L'AXE EN PLAN DU PROJET Description

Eléments d'axe		Longueur (m)	Abscisse	X	Y
			0.0000	404365.0221	3936525.8733
Alignement droit		325.0798			
Gisement	113.8865				
			325.0798	404682.3988	3936455.5249
Clothoïde		99.9984			
Paramètre	447.2100				
			425.0782	404779.8412	3936433.0728
Arc de cercle		942.9865			
X Centre	404298.3606				
Y Centre	3934491.8937				
Rayon	2000.0000				
			1368.0647	405609.0242	3936002.5759
Clothoïde		99.9984			
Paramètre	-447.2100				
			1468.0631	405683.4524	3935935.7960
Alignement droit		1504.3617			
Gisement	147.0858				
			2972.4247	406794.7601	3934921.8437
Clothoïde		99.9984			
Paramètre	-447.2100				
			3072.4231	406869.1883	3934855.0638
Arc de cercle		641.5511			
X Centre	408179.8519				
Y Centre	3936365.7460				
Rayon	2000.0000				
			3713.9742	407412.3659	3934518.8662
Clothoïde		99.9984			
Paramètre	447.2100				
			3813.9726	407505.3325	3934482.0378
Alignement droit		4737.3803			
Gisement	123.4815				
			8551.3529	411924.0946	3932774.0232
Clothoïde		64.0000			
Paramètre	800.0000				
			8615.3529	411983.7655	3932750.8850
Arc de cercle		1420.2949			
X Centre	408348.5373				
Y Centre	3923435.0321				
Rayon	10000.0000				
			10035.6479	413265.8435	3932142.5059
Clothoïde		64.0000			
Paramètre	-800.0000				

Éléments d'axe		Longueur (m)	Abscisse	X	Y
			10099.6479	413321.5040	3932110.9164
Alignement droit		8490.8772			
Gisement	132.9308				
			18590.5251	420701.5145	3927912.0546
Clothoïde		64.0006			
Paramètre	438.1800				
			18654.5256	420757.0287	3927880.2080
Arc de cercle		1234.6400			
X Centre	419245.7565				
Y Centre	3925288.6725				
Rayon	3000.0000				
			19889.1657	421667.5274	3927059.2729
Clothoïde		64.0006			
Paramètre	-438.1800				
			19953.1662	421704.9320	3927007.3409
Alignement droit		5163.6717			
Gisement	160.4888				
			25116.8379	424707.8958	3922806.6608
Longueur totale		25116.8379			

Annexe N02 : PROFIL EN LONG

COVADIS - LISTING DU PROFIL EN LONG DU PROJET Description						
Caractéristiques	Long. 2D (m)	Long. 3D (m)	S = Abscisse	Z projet (m)	(X, Y) en plan	Z TN (m)
			15000.000	814.630	404365.02, 3936525.87	814.003
Pente = -1.339 %	832.073	832.147				
			15832.073	803.486	405162.21, 3936295.71	798.030
Arc de cercle	415.383	415.396				
Rayon = 15000.0000						
S bas = 16033.067						
Z bas = 802.141						
			16247.455	803.675	405515.60, 3936078.82	797.053
Rampe = 1.430 %	3058.388	3058.701				
			19305.843	847.416	407964.12, 3934304.70	847.324
Arc de cercle	214.510	214.517				
Rayon = -15000.0000						
			19520.353	848.950	408164.20, 3934227.36	846.969
Alignement horizontal	6715.158	6715.158				
			26235.511	848.950	414308.76, 3931549.22	844.011
Arc de cercle	184.487	184.490				
Rayon = -20000.0000						
			26419.998	848.099	414469.11, 3931457.98	843.106
Pente = -0.922 %	1114.637	1114.684				
			27534.635	837.817	415437.92, 3930906.78	834.273
Arc de cercle	159.781	159.784				
Rayon = 25000.0000						
			27694.416	836.854	415576.80, 3930827.77	833.126
Pente = -0.283 %	6047.751	6047.776				
			33742.167	819.719	420832.08, 3927834.96	817.757
Arc de cercle	167.648	167.648				
Rayon = 30000.0000						
S bas = 33827.167						
Z bas = 819.599						
			33909.815	819.713	420971.82, 3927742.38	817.313
Rampe = 0.276 %	2299.562	2299.571				
			36209.377	826.048	422435.49, 3925985.41	819.910
Arc de cercle	188.242	188.242				
Rayon = -30000.0000						
S haut = 36292.377						
Z haut = 826.162						
			36397.619	825.976	422544.96, 3925832.27	818.318
Pente = -0.352 %	3719.219	3719.242				
			40116.838	812.886	424707.90, 3922806.66	810.380
Longueur totale	25116.838					

Annexe N03 : Géologie et géotechnique

Les courbes granulométriques :

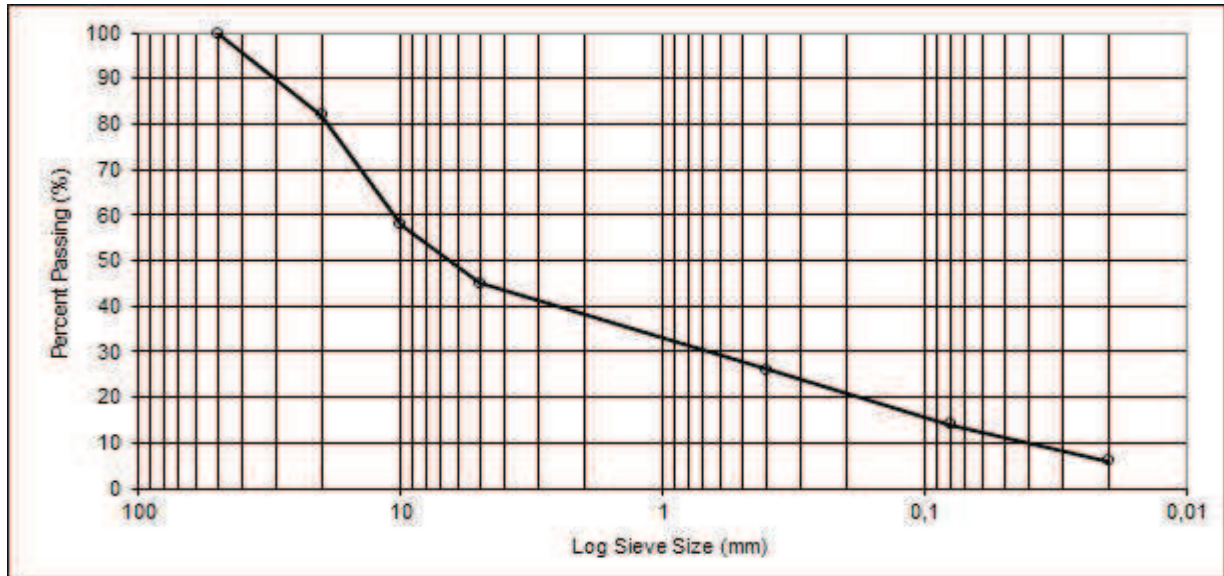


Fig.01 : la Courbe granulométrique (puits 03)

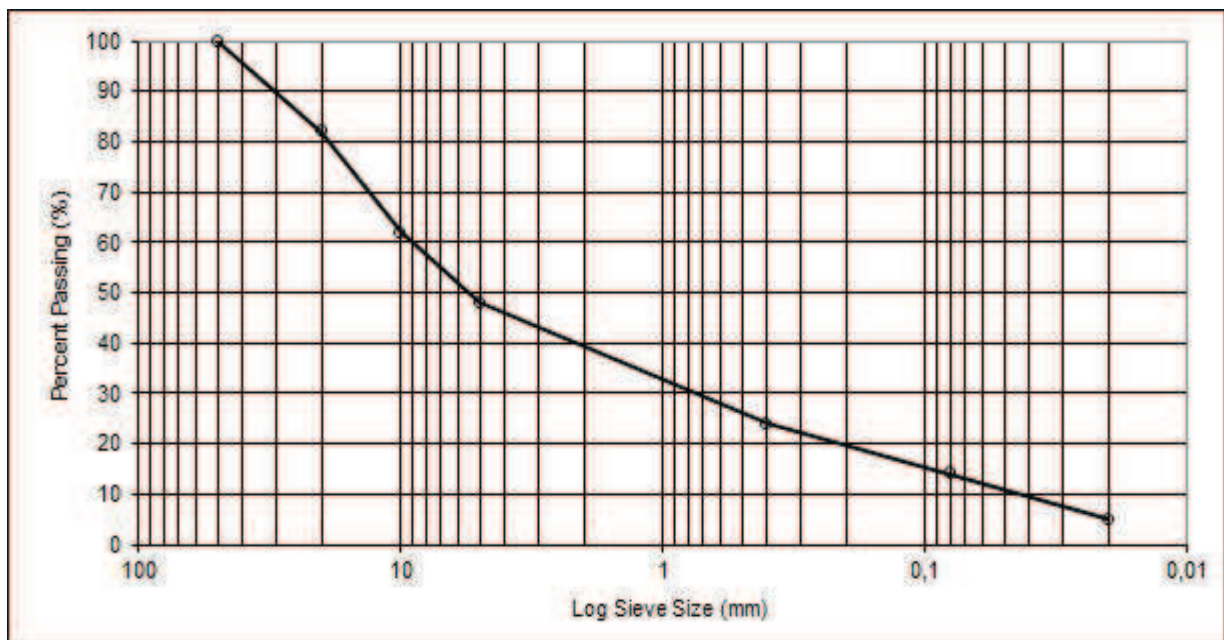


Fig.02 : la Courbe granulométrique de (puits 04)

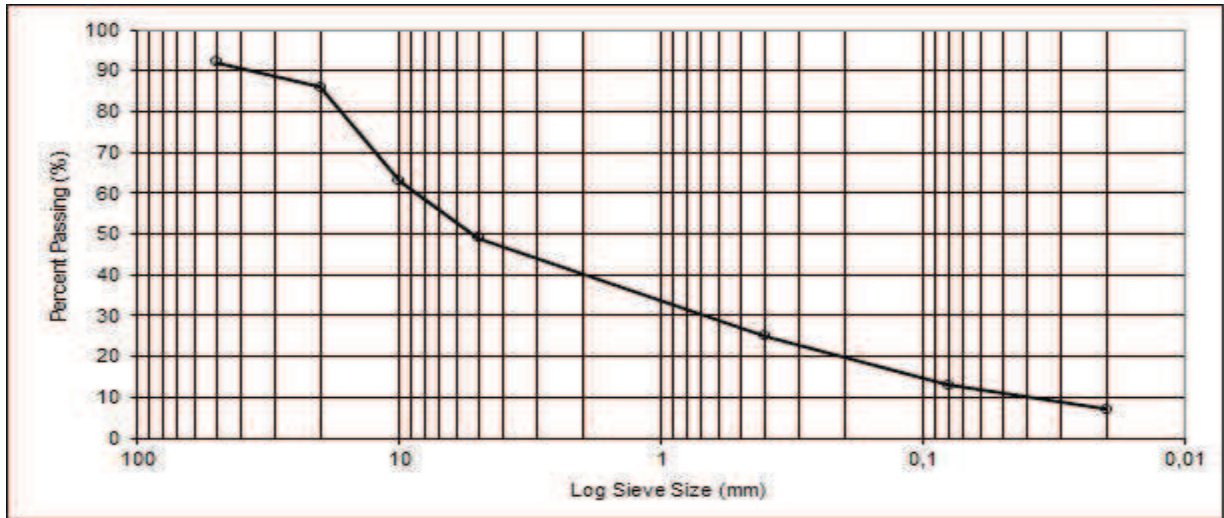


Fig.03 : la Courbe granulométrique de (puits 06)

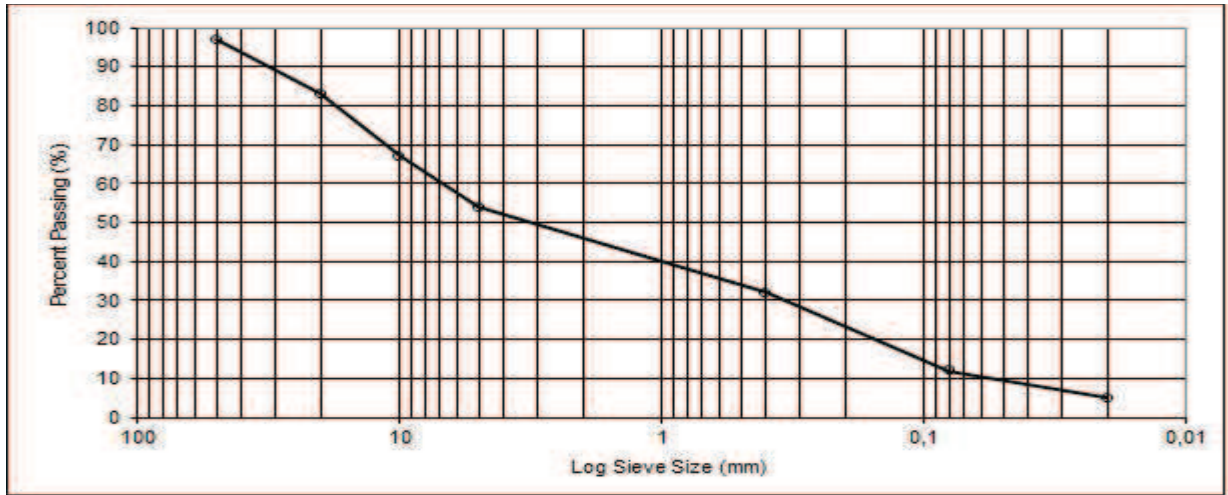


Fig.04 : la Courbe granulométrique de (puits 07)

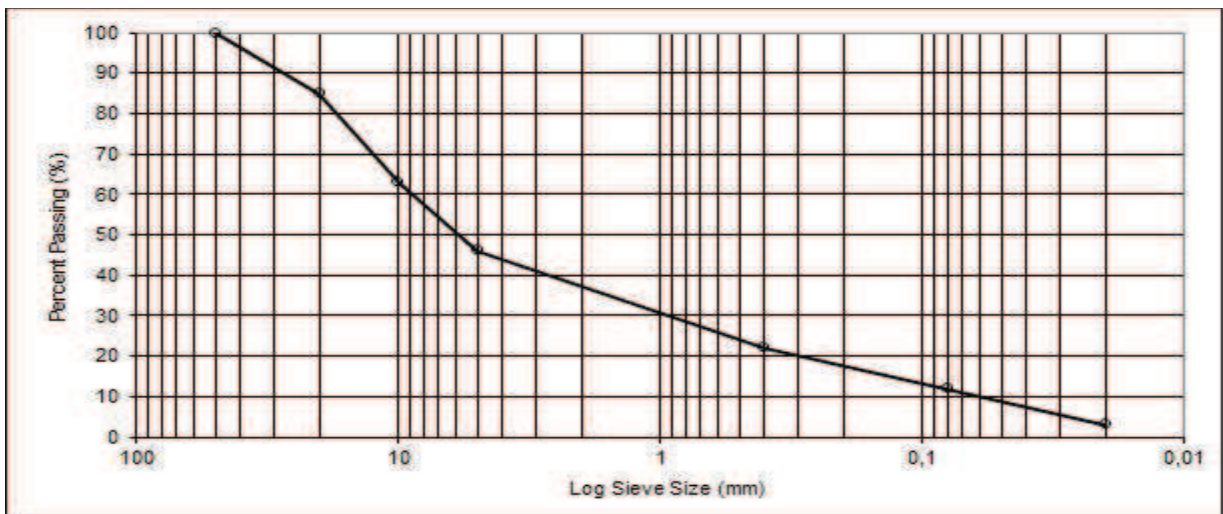


Fig.05 : la Courbe granulométrique de (puits 08)

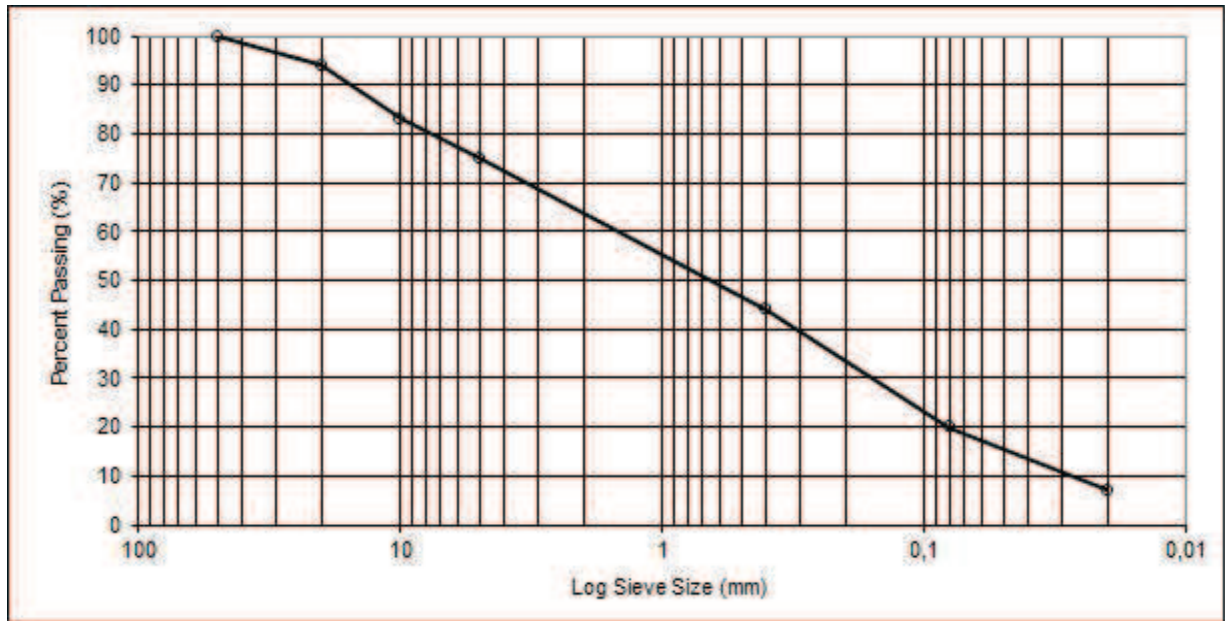


Fig.06 : la Courbe granulométrique de (puits 09)

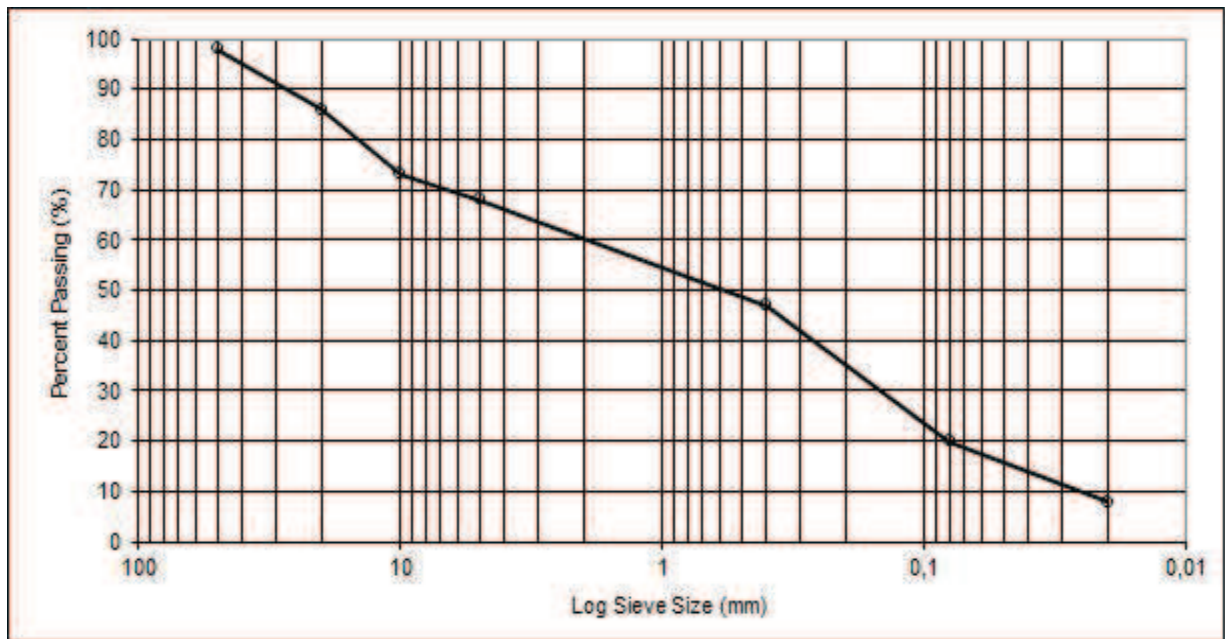


Fig.07 : la Courbe granulométrique de (puits 10)

Annexe N 04 : quantité des matériaux

COVADIS - RECAPITULATIF GLOBAL DES MATERIAUX - AXE01

Nom du matériau	Quantité
Sous ballast	41790.95 m ³
Ballast	46417.82 m ³
Couche de forme	118501.24 m ³

BIBLIOGRAPHIE

- ✓ LA VOIE FERREE (JEAN ALIAS), 2^{ème} édition –Paris 1984
- ✓ CODE UIC (Union International Des Chemin De Fer)
- ✓ Référentiel française pour les voies ≤ 220 km/h
- ✓ LES CHEMIN DE FER (Pierre Weil)
- ✓ Cours de chemin de fer (école de pont et chaussée)

Documents de base

- ✓ Documents de normalisation (SNTF)
- ✓ Fiche technique de la ligne Boughzoul-Tissemsilt
- ✓ Thèses d'ingénieur (voie ferrées) ENSTP.
- ✓ Cours de voie ferrée ENSTP.

Institutions consultées

- ✓ SETI-RAIL (Société d'Etudes Techniques et De l'Ingénierie Du Rail)