

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn-Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil



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

Option : Voies et ouvrages d'art

Présenté par:

HABIB MOHAMED

LADJAL ABDELDJALIL

Sujet du mémoire

Étude d'un tronçon de la liaison ferroviaire Tissemsilt
– Bouguara avec stabilisation de talus rocheux

Soutenu publiquement, le 20/06/2024, devant le jury composé de :

M.SERBAH BOUMEDIENE

Président

M.BEKKI HADJ

Rapporteur

M.RADIM GHELAMALLAH

Co-rapporteur

M^{me} DRAOUI AICHA

Examineur

M^{lle} RENNAK ZOHRA

Examineur

M^{me} KHAROUBI LAMIA

Examineur

PROMOTION : 2023/2024

Remerciements

Avant tout nous remercions ALLAH le tout puissant et Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de la rédaction de ce mémoire.

Nous remercions notre encadrant Monsieur BEKKI LHadj et notre Co-encadrant Monsieur RADIM Ghelamallah pour Leur encadrement, leurs conseils avisés et leur soutien constant tout au long de ce projet, leur expertise et leur disponibilité ont été essentielles pour mener à bien cette recherche.

Nous tenons aussi à remercier monsieur SERBAH Boumediene le président du jury, et les membres du jury *M^{elle}* RENNAK Z , *M^{me}* DRAOUI A , et *M^{me}* MIMOUNI L pour l'honneur qu'ils nous ont fait, en examinant ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à nos enseignants de l'université IBN KHALDOUN en particulier monsieur BENFARHAT Rabiaa et monsieur TLIDJI Youcef.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos amies pour leur soutien et leurs encouragements, et un grand merci de notre promo VOA 2024.

HABIB mohamed et LADJAL abdeldjalil

Résumé

Le chemin de fer est un moyen de transport qui a été créé pour répondre aux besoins publics et à l'isolement des zones et au confort des citoyens: Il a une influence considérable sur la circulation et la répartition des produits, ce qui aide à soulager la pression sur les routes les routes fortement sollicitées. A cet effet, le gouvernement algérien a lancé des projets de grande envergure pour couvrir les hauts plateaux ainsi que le sud algérien, notre travail consiste à réaliser une étude technique du tracé ferroviaire du tronçon reliant la wilaya de Tissemsilt et la ville Bougara à une distance de 4 km avec la stabilisation des talus rocheux.

La détermination des caractéristiques techniques appropriées a été basé sur les critères proposés par la compagnie nationale de transport ferroviaire et les systèmes mondiaux les plus avancés.

Mots clés: Chemins de fer, tracé ferroviaire, conception, stabilisation de talus, covadis

Abstract:

The railway is a means of transport that was created to meet public needs and isolation of areas and the comfort of citizens. It has a considerable influence on the movement and distribution of goods, which helps relieve the pressure on heavy roads. Thus, the Algerian government has launched major projects to serve the areas of the highlands and southern Algeria, our work is to carry out a technical study of the railway trajectory of the section connecting Tissemsilt and Bougara at a distance of 4 km with the stabilization of rocky torrents. The determination of appropriate technical characteristics was based on the criteria proposed by the national railway company and the world's most advanced systems.

Keywords: Railways, railway alignment, design, slope stabilization, covadis

ملخص

السكة الحديدية هي إحدى وسائل النقل التي تم إنشاؤها لتلبية الإحتياجات العامة وفك العزلة عن المناطق وراحة المواطنين, ولها دور كبير في تداول وتوزيع السلع والمنتجات مما يساعد على تخفيف الضغط على طرق الوزن الثقيل

ونظراً لأهمية هذا المشروع في منطقة الهضاب العليا, سيتمثل عملنا في دراسة تقنية لمقطع لخط السكة الحديدية الرابط بين تيسمسيلت وبوغارة على مسافة 4 كم مع استقرار المنحدرات الصخرية

تحديد الخصائص التقنية الملائمة سيتم بناءً على المعايير المقترحة من طرف الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية والأنظمة العالمية الأكثر تطوراً

الكلمات المفتاحية : السكة الحديدية , خط السكة الحديدية , التصميم , استقرار المنحدرات , كوفاديس

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents pour leur soutien inestimable et leur amour.

À mon frère mon bras droit **HASSAN** et à mes sœurs pour leur soutien constant, leurs encouragements et leur amour, Merci de toujours croire en moi et de m'inspirer chaque jour.

À mes professeurs pour leurs conseils et leur aide précieuse.

À mes amis et collègues pour leurs encouragements. Et à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

MOHAMED

Dédicaces

À ma mère, dont les prières ont été le fil conducteur de ce chapitre de ma vie, et à mon père, dont le soutien inébranlable m'a permis d'atteindre cette étape.

À mes frères Mohammed et Yassine, et à mes sœurs Douaa et Wafaa, que Dieu les bénisse dans leur vie.

À la fille, qui a été la lumière et le phare durant cette période de ma vie, qui a su me reconforter dans les moments de tristesse et partager mes joies, que Dieu la préserve pour moi.

À tous mes amis, spécialement AHMED , AKRAM , AMINE , AYOUB et MOHAMMED, ainsi qu'à toute la promotion 2024, et tout particulièrement la promotion de VOA 2024.

ABDELDJALIL

Table des matières

Liste des figures	XIV
Liste des tables	XVIII
Chapitre 1: Généralités sur les voies ferrées	1
1.1 Introduction :	1
1.2 Définition de chemin de fer :	1
1.3 Historique de chemin de fer dans le monde :	2
1.4 La révolution industrielle et la machine à vapeur :	3
1.5 Chemin de fer en Algérie :	4
1.6 Parc à matériel :	5
1.7 L'Union internationale des chemins de fer :	6
1.7.1 Présentation de l'UIC :	6
1.7.2 Classification des lignes d'UIC :	6
1.8 Réseau ferroviaire National actuel :	7
1.9 Conclusion :	7
Chapitre 2: Présentation de projet	8
2.1 Introduction :	8
2.2 Présentation de la ville de Tissemsilt :	8
2.2.1 Situation géographique :	8
2.2.2 Situation démographique :	9
2.3 Présentation du projet :	9
2.3.1 Consistance des Travaux :	9
2.3.2 Objectifs du projet :	10

2.3.3	Les intervenants dans le projet :	10
2.3.4	Données du projet :	11
2.4	Tronçon étudié :[1]	13
2.5	Description du Tracé :	14
2.6	Tronçon du PK 04+000 au PK 08+200 :[1]	14
2.7	Conclusion :	15
Chapitre 3: Tracé en plan		16
3.1	introduction :	16
3.2	Les éléments qui composent le tracé en plan :	16
3.2.1	Les alignements droits :	16
3.2.2	Arcs de cercles (Courbes circulaires) :	17
3.2.3	Courbe de raccordement progressif :	17
3.3	Courbe et conditions de raccordement :	17
3.3.1	La clothoïde :	17
3.3.2	Conditions de raccordement :	19
3.4	Paramètres de sécurité et de confort :	19
3.5	le dévers :	19
3.6	Le dévers théorique :	20
3.7	Le dévers pratique (normale) :	21
3.8	L'insuffisance de dévers :	22
3.9	L'excès de dévers :	22
3.10	Coefficient de dévers :	23
3.11	Longueur minimum des éléments de trace :	23
3.12	Rayon minimum de l'alignement circulaire :	23
3.13	Raccordement de dévers :	24
3.13.1	Raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire: . . .	24
3.13.2	Raccordement entre courbe et contre courbe de rayons différents: . . .	24
3.14	Gauchissement et variation du dévers :	25
3.15	Application au projet :	25

3.16 Conclusion :	27
Chapitre 4: profil en long	28
4.1 Introduction :	28
4.2 Eléments géométriques du profil en long :	28
4.3 La Déclivité :	29
4.4 Longueur minimale des éléments du profil en long :	30
4.5 Raccordement en profil en long :	30
4.6 Coordination profil en long-tracé en plan :	31
4.7 Conclusion:	32
Chapitre 5: Profil en travers et calcule des cubatures	33
5.1 Introduction :	33
5.2 Profil en travers courant :	33
5.3 Profil en travers type :	33
5.4 Élément du profil en travers :	34
5.4.1 Élément du Profil en travers type :	34
5.4.2 Élément du Profil en travers courant :	35
5.5 Profil type de notre projet :	36
5.6 Calcul des cubatures :	37
5.6.1 Méthode de calcul :	37
5.7 Conclusion :	37
Chapitre 6: l'infrastructure ferroviare	38
6.1 Introduction :	38
6.2 Les différentes couches d'assises :	38
6.2.1 Ballast :	38
6.2.2 Caractéristique du ballast :	39
6.2.3 La sous-couche :	40
6.2.4 La couche de forme :	41
6.3 dimensionnement des couches d'assises :	41
6.3.1 Classification de la plate-forme :	41

6.3.2	Classe de qualité du sol selon L'UIC :	42
6.3.3	Classes de portance de plateforme :	43
6.4	Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise:	44
6.5	Application au projet :	46
6.5.1	Contexte géologique régional :	47
6.6	Conclusion :	47
Chapitre 7: la superstructure ferroviare		48
7.1	Introduction :	48
7.1.1	Catégories de la voie :	48
7.2	Caractéristique de la voie à étudier :	48
7.3	Le rail :	49
7.3.1	Rail DC (double champignon) :	50
7.3.2	Rail a patin (Vignole) :	50
7.3.3	Rail à gorge :	51
7.3.4	Ecartement des rails :	52
7.4	Les longs rails soudés (LRS) :	53
7.4.1	Soudage par forgeage électrique :	53
7.4.2	Différents avantages et inconvénient des LRS :	57
7.5	La traverse :	58
7.5.1	Traverse en bois :	58
7.5.2	Traverses métalliques :	59
7.5.3	Traverses en béton :	60
7.5.4	Traverses bibloc :	61
7.5.5	Traverses monobloc :	62
7.5.6	Rôle des traverses :	63
7.6	Les Attache :	63
7.6.1	Types d'attaches :	63
7.6.2	L'attache NABLA :	64
7.7	Les appareils de voie :	65

7.7.1	Les éléments constitutifs d'un appareil de voie :	66
7.7.2	Les Appareils de voie :	66
7.7.3	Caractéristiques de la superstructure ferroviaire :	67
7.8	Conclusion :	67
Chapitre 8: Etude hydrologique et hydraulique		68
8.1	Introduction :	68
8.1.1	La région étudiée :	68
8.1.2	Aperçu du projet	68
8.1.3	Données pluviométriques :	69
8.1.4	Précipitations journalières	70
8.2	Caractéristiques morphologiques des bassins versants:	70
8.2.1	Le temps de concentration t_c :	71
8.2.2	Le coefficient de ruissellement :	72
8.3	Résultats des calculs hydrologiques :	72
8.3.1	Méthodes utilisées :	72
8.3.2	Choix du coefficient de ruissellement :	73
8.4	Résultats des calculs hydrologiques :	73
8.4.1	Calcul des débits de projet :	74
8.5	Etude hydraulique :	75
8.5.1	Méthode de MANNING STRICKLER pour le dimensionnement des dalots :	75
8.6	Résultat du dimensionnement des ouvrages hydrauliques à projeter :	76
8.7	Assainissement longitudinal :	76
8.7.1	Les critères de conception et de dimensionnement du système d'assainissement :	77
8.8	Descent d'eau sur des talus :	78
8.9	Conclusion :	79

Chapitre 9: Confortement des talus de la zone de déblais rocheux compris entre le PK 05+600 au PK 07+100

	80
9.1 Introduction :	80
9.1.1 L'importance du confortement des talus rocheux dans les projets d'infrastructure :	80
9.2 Objectifs de ce chapitre :	81
9.3 Contexte et Justification :	81
9.3.1 Description des talus rocheux et des problématiques liées à leur stabilité :	81
9.3.2 Les Raisons pour lesquelles le confortement des talus rocheux est nécessaire :	81
9.4 Etude des talus :	82
9.4.1 Méthodes d'analyse des talus rocheux :	82
9.4.2 Principaux facteurs influençant la stabilité des talus :	82
9.5 Solutions de Confortement	84
9.5.1 Présentation des différentes techniques de confortement des talus rocheux selon l'UIC 719 R:	84
9.6 Études de Cas :	91
9.6.1 Introduction :	91
9.6.2 Nature des travaux :	91
9.6.3 Elements de conception de L'APD et du dossier d'exécution :	91
9.6.4 Extrait du rapport geotechnique établie par SETIRAIL pour les zones de déblais :	92
9.6.5 Clauses contractuelles regissant les travaux de déblais rocheux:	92
9.7 Les techniques de confortement mise en oeuvre :	93
9.7.1 L'écran de gabion du PK 05+600 au PK 06+100 :	93
9.7.2 La zone d'application de cette méthode :	94
9.7.3 Les motifs de choix :	96
9.7.4 Le béton projeté avec cloutage du PK 06+100 au PK 06+600 :	97

9.7.5	La zone d'application de cette méthode :	97
9.7.6	Le clouage (les tirants d'ancrage):	98
9.7.7	calcul de stabilité :	98
9.7.8	Le fillets de protection du PK 06+600 au PK 07+100 :	103
9.7.9	La zone d'application de cette méthode :	103
9.8	Conclusion :	105
Appendices		109

Liste des figures

1.1	sketch pour le premier wagon de william jessup (source:book of The Movable School Goes to the Negro Farmer).	3
1.2	Le premier Railway Coach (source:wikipédia).	3
1.3	Locomotive Trevithick, 1802(source:wikipédia).	4
1.4	Locomotive Stephenson Planet 1832(source:wikipédia).	4
1.5	un train engagé sur le pont des cascades a tlemcen 1905(source: SNTF).	5
1.6	un train de la SNTF circulant dans la campagne algerienne(source: SNTF).	5
1.7	Carte Du Réseau Ferroviaire Algérien(source: SNTF).	5
2.1	Localisation geographique de la ligne de projet(source:SNTF).	9
2.2	les différents intervenants dans le projet (source:SNTF).	10
2.3	La traverses.	12
2.4	Image satellite du tronçon étudié.	14
3.1	Eléments du tracé en plan.	17
3.2	Le dévers	20
3.3	Dévers théorique.	21
3.4	raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire.	24
3.5	Raccordement entre courbe et contre courbe de rayons différents.	25
4.1	Eléments géométriques du profil en long	29
4.2	Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF).	30
4.3	Schéma du raccordement circulaire.	31

5.1	Profil en travers type (source : scientific figure on ResearchGate. Available from: https://rb.gy/t0wzgs).	35
5.2	profil en travers courant.	36
6.1	les differentes couche d'assises.	38
6.2	Les épaisseurs des différentes couches d'assise.	46
7.1	Répartition des charges roues.	49
7.2	Rail double chompignon on voie.	50
7.3	Rail double chompignon.	50
7.4	Rail a patin (vignole).	51
7.5	Rail à gorge.	51
7.6	Le rail UIC 60.	52
7.7	Les caractéristiques géométriques du profilé UIC60.	52
7.8	L'écartement entre les rails.	53
7.9	Soudure électrique.	54
7.10	Préchauffeur HFP de rails à haut débit pour le soudage Alumino-thermique. . .	55
7.11	Mise en feu.	56
7.12	Soudage.	56
7.13	Tranchage du rail.	57
7.14	Meulage du rail.	57
7.15	Traverse en bois.	59
7.16	Traverse métalliques.	60
7.17	Traverses en béton.	61
7.18	Traverse bi-bloc.	62
7.19	Traverse monobloc.	62
7.20	L'Attache NABLA.	64
7.21	Les différents appareils de voie.	65
7.22	Branchement et ses éléments constitutifs.	66
8.1	carte des bassins versants au nord de l'Algérie.	69

8.2	les bassins versant de la zone d'étude délimité avec Autocad.	70
8.3	la nouvelle fossé dimensionné	78
8.4	Descent d'eau sur des talus.	79
9.1	Exemple de Merlon de terre avec chambre d'éboulis(source:UIC 719R).	84
9.2	Exemple d'écrans en gabions(source:UIC 719 R).	85
9.3	Exemple d'écrans sur pente(source:UIC 719 R).	86
9.4	recommandations pour le dimensionnement des surlargeurs en pied de talus en vue de la protection contre les chutes de pierres (d'après RITCHIE) (source:UIC 719 R)	87
9.5	Exemple de protection par le béton projeté(source:UIC719 R).	88
9.6	Exemple d'ancrage précontrainte(source UIC 719 R).	89
9.7	Exemple d'ancrage non-précontrainte.	90
9.8	Profil en travers courant PK 05+000 (pente : 3H/2V)	93
9.9	La zone nécessitant une protection en écran de gabion.	94
9.10	chambre d'éboulis d'un écran en gabion.	95
9.11	Exemple d'écran en gabion.	96
9.12	La zone nécessitant une protection par le béton projeté avec clouage.	97
9.13	Représentation schématique d'un tirant	101
9.14	Coupe transversale d'un talus rocheux renforcé par des tirants d'ancrage et béton projeté.	101
9.15	le béton projeté avec cloutage.	102
9.16	La zone nécessitant une protection par le fillet de protection.	103
9.17	Exemple de fillet de protection(source:brgm1983).	104
9.18	Exemple de fillet de protection(source:brgm1983).	105

Liste des tables

3.1	Paramètres de sécurité et de confort.	19
3.2	longueur minimal à respecter (source : fiche SNTF Géométrie).	23
3.3	Paramètres de tracé pour notre projet (source:fiche UIC 703R).	25
3.4	Calcul récapitulatif des éléments géométriques.	27
4.1	Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF).	30
4.2	Valeurs de rayon minimal des raccordements circulaires.	31
5.1	Les Valeurs des déblais et remblais	37
6.1	Les quatres classes de qualite de sols (QSi).	43
6.2	Les classes de qualité du sol et de portance envisagée pour la plate-forme(source:UIC719 R.34).	44
6.3	Tableau des éléments de portance et dimensionnement des plates-formes (source: UIC719 R).	45
6.4	Les épaisseurs des différentes couches.	46
7.1	Caractéristiques de la superstructure ferroviaire.	67
8.1	Caractéristiques statistiques des pluies annuelles (source: ANRH)	70
8.2	Caractéristiques physiques des bassins versants.	71
8.3	valeurs de coefficients de ruissèlement.	72
8.4	valeurs des intensités de pluies (station de Tissemsilt).	74
8.5	valeurs des débits de projet calculés par la méthode rationnelle.	74

8.6	Tableau de dimensionnement des ouvrages de drainage par la méthode de Manning-Strickler.	76
9.1	Les paramètres liés à l'écran éventuel (source: UIC719 R).	87
9.2	Résultats d'analyse par Talren4 pour le déblai du PK 06+000 au PK 07+000. . .	92
9.3	Dimensions des blocs de gabion.	95
9.4	les valeurs des tractions caractéristiques T_c et T_A pour les tirants des plots A et B, ainsi que les valeurs des fluages correspondants, calculés pour des intervalles de 10 à 100 mm.[9]	100

Introduction générale

Le transport ferroviaire est l'un des principaux moteurs de l'économie nationale, il est le seul moyen entre les différents modes de transport capables de supporter le plus grand fardeau pour les transports de marchandises ou de passagers entre toutes les régions et à moindre coût.

Le chemin de fer est le moyen de transport le plus adapté pour les grandes liaisons et les longues distances et est un facteur majeur de soutien à l'intégration économique et commerciale entre les pays, dans le but de créer un environnement propice aux projets de développement et de réduire les coûts de transport de marchandises, de services et de logements.

Grâce à cette importance du transport ferroviaire, reconnue par les gouvernements par leur surveillance directe, ou par le contrôle des processus de développement de ce secteur important par ses services sociaux et économiques importants, le secteur ferroviaire algérien est un véritable moteur de développement. L'objectif consiste à atteindre un équilibre territorial et à renforcer l'économie et le mouvement commercial au sein du pays. Le réseau ferroviaire algérien s'étend actuellement sur une distance de 4 200 kilomètres et devrait atteindre environ 12 500 kilomètres d'ici 2030. Ces développements contribuent à soutenir le développement local et à stimuler le mouvement économique dans les régions reculées, ainsi qu'à faciliter l'exploitation des terres et à promouvoir le tourisme dans le sud. Le projet que nous étudions fait partie du développement du secteur ferroviaire des haut-plateaux Il consiste à l'étude de la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Tissemsilt –Boughezoul à voie unique (sur 139 Kms).

Notre étude consiste en l'optimisation du tracé ferroviaire de la liaison Tissemsilt – Bougara avec la stabilisation des talus rocheux.

Le mémoire est structuré en neuf chapitres : Dans le premier chapitre, on présente des Généralités sur les voies ferrées, Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du projet, La conception du tracé ; Tracé en plan, Profil en long et Profil en travers sont présentés dans les chapitres 3, 4 et 5 respectivement.

Dans le chapitre 6, on présente la superstructure de la voie ferrée tandis que l'infrastructure est présentée dans le chapitre 7.

la partie de l'étude hydrologique et hydraulique dans le chapitre 8, et le dernier chapitre est le confortement des talus de la zone de déblai rocheux compris entre le pk 05+600 au pk 07+100.

En fin, nous terminons notre mémoire par des conclusions sur les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus.

Chapitre 1

Généralites sur les voies ferrées

1.1 Introduction :

Le chemin de fer est un système de transport guidé utilisé pour le transport de personnes et de marchandises. Il se compose d'une infrastructure, de matériel roulant et de procédures d'exploitation qui impliquent souvent l'intervention humaine. L'infrastructure des chemins de fer est appelée voie ferrée. Elle se compose généralement de deux files de rails posés sur des traverses, d'appareils de voie, de passages à niveau, de signalisation et, le cas échéant, d'installations de traction électrique. Le matériel roulant circule communément en convois appelés trains ou rames. Ces convois sont constitués de wagons ou de voitures tractés par des locomotives. Il peut également s'agir de rames autotractées, c'est-à-dire incluant leur propre système de traction.

1.2 Définition de chemin de fer :

Le chemin de fer est un système de transport routier, constituée d'un diaphragme parallèle de barres d'acier fixées sur des éléments transversaux appelés traverses , placées au-dessus d'une couche de gravier(ballast) bien empilé.

Le matériel roulant circule communément en convois appelé trains ou rames. Les convois sont constitués de wagons ou de voitures tractés par des locomotives. Il peut également s'agir de rames autotractées, c'est-à-dire incluant leur propre système de traction. En plus de ses nécessités de base, telles que les bâtiments de gare, les services, l'équipement de signalisation et de communication, l'alimentation électrique, l'équipement de changement de direction et les outils de déplacement et de déplacement nécessaires à l'exploitation et à la sécurité des trains.[4]

1.3 Historique de chemin de fer dans le monde :

La forme la plus ancienne de chemin de fer remonte à 600 av. J.-C. Les Grecs ont creusé des rainures dans les routes pavées de calcaire afin de pouvoir utiliser des véhicules à roues pour faciliter le transport des bateaux à travers le détroit de Corinthe . Les chemins de fer sont connus sur le carreau des mines pour transporter le charbon, de puis les puits d'extraction jusqu'à la voie d'eau.

Cependant, avec la chute de la Grèce aux mains de Rome en 146 av. J.-C., ce premier chemin de fer est tombé en ruine et a disparu pendant plus de 1 400 ans.

Les chemins de fer sont apparus dans le monde moderne au début du XVe siècle lorsque l'Allemagne a commencé à installer des lignes de chemin de fer appelées wagons pour faciliter le transport de calèches ou de calèches vers la campagne. Ces routes remodelées sont constituées de barres de bois sur lesquelles les calèches ou les calèches se déplacent plus facilement que les chemins de terre.

Dans les années soixante-dix du XVIIIe siècle, le fer a remplacé le bois dans les rails et les roues des wagons, qui se sont ensuite développés en lignes de tramway dispersées dans toute l'Europe. En 1789, l'Anglais William Jessup a conçu les premiers wagons à roues à jantes, qui avaient des rainures qui permettaient aux roues de mieux contrôler le chemin de fer, une conception importante qui a été transférée aux locomotives ultérieures.

Bien que l'utilisation des chemins de fer ait utilisé de la fonte jusqu'au XIXe siècle, John Birkenshaw a inventé un matériau plus durable appelé fer forgé en 1820. Le fer forgé a ensuite été utilisé pour les systèmes ferroviaires jusqu'à l'avènement du procédé Bessemer qui a permis la production de fer moins cher à la fin des années soixante du XIXe siècle. , ce qui a conduit à l'expansion rapide des chemins de fer à travers l'Amérique et d'autres pays du monde.

Finalement, le procédé Bessemer a été remplacé par l'utilisation de fours à cuisinière ouverte, ce qui a permis de réduire davantage les coûts et de permettre aux trains de relier la plupart des grandes villes des États-Unis à la fin du XIXe siècle. Une fois les bases posées d'un système ferroviaire avancé, il ne restait plus qu'à concevoir un moyen capable de transporter plus de personnes sur de plus longues distances plus rapidement – ce qui s'est produit pendant la révolution industrielle avec l'invention de la machine à vapeur



Figure 1.1: sketch pour le premier wagon de William Jessup (source:book of The Movable School Goes to the Negro Farmer).

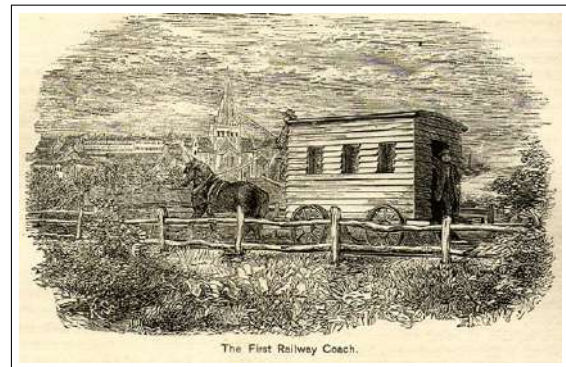


Figure 1.2: Le premier Railway Coach (source:wikipédia).

1.4 La révolution industrielle et la machine à vapeur :

L'invention de la machine à vapeur a joué un rôle crucial dans l'invention des chemins de fer et des trains modernes. En 1803, un homme du nom de Samuel Haffrey décide de financer le développement d'une voiture à vapeur pour remplacer les calèches du tramway. Richard Trevithick (1771-1833) a construit cette véhicule, la première locomotive de tramway à vapeur. Le 22 février 1804, le remorqueur transporta une cargaison de 10 tonnes de fer, 70 hommes et cinq voitures supplémentaires à neuf milles entre les moulins à fer de Ben-ya-Darwin dans la ville de Merthyr Tidville, au Pays de Galles, dans une vallée appelée Abercynnon, avec environ deux heures pour terminer le voyage.

En 1821, l'Anglais Julius Griffith a été la première personne à breveter une locomotive pour le transport de passagers, et en septembre 1825, la Scotton and Darlington Railroad Company a commencé comme le premier chemin de fer à transporter des marchandises et des passagers selon des horaires réguliers en utilisant des locomotives conçues par l'inventeur anglais George Stephenson. Ces nouveaux trains peuvent remorquer six wagons de charbon chargés et 21 wagons de passagers avec 450 passagers sur une distance de 9 milles en une heure environ.

Stephenson est considéré comme l'inventeur de la première locomotive à vapeur de chemin de fer - tandis que l'invention de Trevithick est considérée comme la première locomotive de tramway, une locomotive routière, conçue pour la route et non pour les chemins de fer.

En 1812, Stephenson est devenu le créateur de la machine de mine de charbon et, en 1814, il a construit une locomotive pour le premier chemin de fer de Stockton et Darlington, où il a été nommé ingénieur de la compagnie. Il convainc rapidement les propriétaires d'utiliser la propulsion à vapeur, et construit la première locomotive de la ligne, Mouvement. En 1825, Stephenson s'installe aux chemins de fer de Liverpool et de Manchester, où, avec son fils Robert, il construit la fusée.[11]

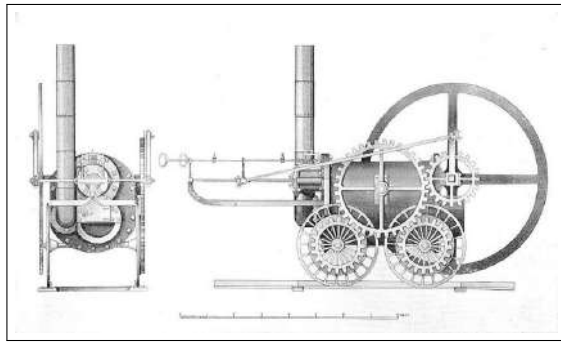


Figure 1.3: Locomotive Trevithick, 1802(source:wikipédia).

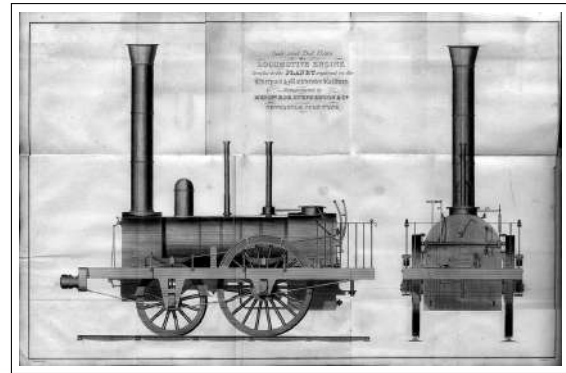


Figure 1.4: Locomotive Stephenson Planet 1832(source:wikipédia).

1.5 Chemin de fer en Algérie :

La mise en place des chemins de fer en Algérie remonte à la fin des années 1850, plus précisément en 1857, pendant la période coloniale française. Au cours de cette période, un programme préliminaire a été proposé pour la construction d'un réseau ferroviaire couvrant une distance de 1 357 kilomètres. Six compagnies ont été créées pour réaliser ce programme : les Compagnies Bône- Guelma (BG), l'Est Algérien (EA), la compagnie des chemins de fer algériens, Paris-Lyon -Méditerranée (PLM), l'Ouest Algérien(OA) et Franco-algérienne [24].

- Le premier chantier débute le 12 décembre 1859, il porte sur la construction de la ligne d'Alger à Blida.
- Le 18 juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelon national pour renforcer les lignes d'intérêt général avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant .
- Entre 1907 et 1946 une troisième campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau.
- En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.
- En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouverts (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.
- En 2015 sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.
- Notre réseau des chemins de fer s'étend sur 4498 km, et couvre 30 wilayas. Il est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises.

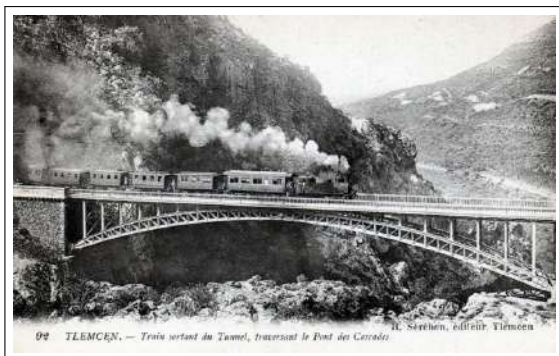


Figure 1.5: un train engagé sur le pont des cascades a tlemcen 1905(source: SNTF).



Figure 1.6: un train de la SNTF circulant dans la compagne algerienne(source: SNTF).

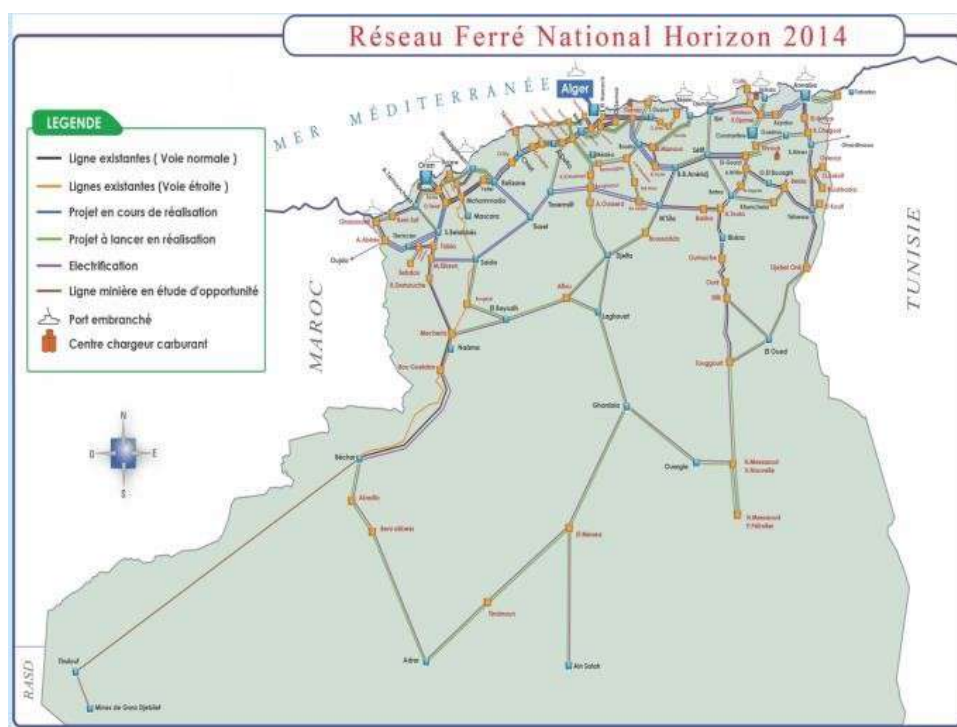


Figure 1.7: Carte Du Réseau Ferroviaire Algérien(source: SNTF).

1.6 Parc à matériel :

- Automotrices Electriques :64
- Voitures Voyageurs :416
- Autorails Diesel :17 item Locomotives Diesel :261
- Locomotives Electriques :14

1.7 L'Union internationale des chemins de fer :

Dans le contexte de la Conférence de Portorose en Italie, le 23 novembre 1921, et de la Conférence internationale de Gênes du 3 mai 1922, l'idée de former une organisation internationale regroupant les compagnies ferroviaires est apparue. Les membres des États ont pris la décision. La mise en place d'une Conférence permanente des administrations ferroviaires afin de rassembler et d'améliorer les conditions d'établissement et d'exploitation des Chemins de fer en vue du trafic international.

La Conférence internationale de création de l'UIC a eu lieu à Paris le 17 octobre 1922. Au moment de sa fondation, l'UIC compte 51 réseaux et compagnies ferroviaires provenant de 29 pays, y compris le Japon et la Chine. Peu de temps après, les Chemins de fer de l'URSS, du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord ont été ajoutés. [2]

1.7.1 Présentation de l'UIC :

- **Siège social** : 16, rue Jean-Rey, 75015 Paris, France.
- **Langues officielles** : allemand, anglais et français.
- **Membres** : L'UIC compte environ 200 membres.
- **Président actuel** : M.Krzysztof Mamiński.
- **Site web** : uic.org.

1.7.2 Classification des lignes d'UIC :

Une classification des lignes a été mise en place par l'Union International des Chemins de fer (UIC) en fonction des charges de trafic supportées par elles et du type de trafic. Le groupe UIC 1 représente des lignes extrêmement chargées, tandis que le groupe UIC 9 est à l'opposé. correspond à des lignes avec une charge très faible.[22]

Les principales lignes du réseau ferré sont divisées en trois catégories principales :

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

1.8 Réseau ferroviaire National actuel :

En Algérie, le secteur du rail a été complètement négligé jusqu'aux années 80, où il a été légèrement revitalisé grâce à la construction de 303 km de lignes nouvelles et au renouvellement de la voie et du ballast sur 800 km.

Suite à la crise sécuritaire en Algérie, les infrastructures ferroviaires et le matériel roulant ont connu une période de stagnation et d'ignorance, ce qui a entraîné une détérioration de leur état.

De nos jours, le domaine ferroviaire est en train de se relancer, grâce à une importante somme allouée au secteur dans le cadre du programme de modernisation de l'infrastructure ferroviaire. Cette mesure est indispensable compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante.

Le réseau ferroviaire en Algérie est composé de 4653 km de voies, dont la longueur utilisée est de 3945 km. Le réseau comprend 3000 ouvrages d'art, 120 tunnels et 200 gares ouvertes au trafic de marchandises et de voyageurs, ainsi que 200 embranchements. Interconnectant les différentes unités et zones industrielles avec les ports majeurs. En 1995, la SNTF compte un total de 15847 employés. [22]

1.9 Conclusion :

À la fin de ce chapitre, il est possible de tirer une conclusion selon laquelle la politique de l'Algérie est légèrement en retard dans le domaine du développement ferroviaire. Il est essentiel de prendre en considération le progrès et l'amélioration des conditions d'investissement et des conditions commerciales, ainsi que les échanges entre les différentes régions du pays, afin de favoriser la promotion du secteur. Les responsables ont réalisé l'importance des infrastructures ferroviaires et l'évolution du pays et reprise des investissements dans ce domaine.

Chapitre 2

Présentation de projet

2.1 Introduction :

Le domaine du transport joue un rôle crucial dans la croissance d'un territoire spécifique et dans l'économie contemporaine car il facilite non seulement les échanges entre les acteurs économiques, mais aussi améliore la circulation des individus en termes de confort et de rapidité d'arrivée et des produits et des services, ainsi que la consolidation des liens d'amitié et de fraternité entre les habitants.

Ce projet permet de rendre la zone de Tissemsilt et ses zones adjacentes accessibles, ainsi que de les relier à d'autres rassemblements dans différentes régions du pays. Cela apportera un confort considérable et une grande valeur pour la mobilité des citoyens, tout en favorisant le développement de la région.

2.2 Présentation de la ville de Tissemsilt :

La ville prit le nom de Vialar lors de la colonisation française, et reprit son ancien nom d'origine berber après l'indépendance de l'Algérie, Tissemsilt est située à 245 km au sud-ouest d'Alger, au niveau de la partie septentrionale du plateau du Sersou, à une altitude de 900 m. [1]

2.2.1 Situation géographique :

La wilaya de Tissemsilt est située au nord de l'équateur entre 30 et 32° de latitudes et 3° de longitude est avec un décalage de 12 minutes par rapport au fuseau horaire universel.

Il s'agit d'un état à caractère agricole et pastoral situé au milieu de Haut-Plateaux dans la partie occidentale de celui-ci. Il se trouve à environ 200 km d'Alger et à 300 km de la capitale de l'ouest d'Alger et d'Oran.

La Wilaya de Tissemsilt est limitée: au nord, par les wilayas de Ain Defla et Chlef a l'est par la wilaya de Médéa a l'ouest, par la wilaya de Relizane a sud-ouest, par la wilaya de Tiaret.[22]

2.2.2 Situation démographique :

La population totale de la wilaya est de 294476 habitants, soit une densité de 94 habitants par Km².

2.3 Présentation du projet :

Le présent projet a pour objet la construction du tronçon Tissemsilt –Boughezoul dans le cadre de la réalisation de la Rocade des Hauts Plateaux et ses interconnexions avec la rocade ferroviaire est-ouest (Oran - Alger - Annaba).

Le tracé constitue une nouvelle liaison ferroviaire entre Tissemsilt et Boughezoul. La longueur est défini comme suit:

Tissemsilt –Boughezoul: PK (-[+165,172]) à PK 129+900, L = 131,065 km. En accord avec les termes du Dossier Technique, la ligne est conçue comme ligne de grande vitesse (LGV) sur voie normale, avec des caractéristiques géométriques selon les standards UIC. La ligne comptera 5 stations :(Tissemsilt, Bougherra, Hassi-F'doul , Sidi-Laadjel et Chahbounia) En plus de neuf stations de transport en commun sur l'ensemble de la ligne . Pour la construction de cette ligne, la construction de plusieurs ouvrages d'art est nécessaire : 2 ponts, 22 ponts ferroviaires et 45 ponts routiers. Les travaux de terrassement nécessitent Transport de plus de 2355569 tonnes de déblais et 4973096 tonnes de remblai.[1]



Figure 2.1: Localisation géographique de la ligne de projet(source:SNTF).

2.3.1 Consistance des Travaux :

- Les travaux comprennent de façon non limitative.
- La réalisation des travaux de terrassements, de la plate forme, des assainissements de la ligne et des gares.
- La fourniture et pose de la voie ferrée.

- La réalisation des ouvrages d’art ferroviaires neufs y compris les travaux de protection de ces ouvrages, la correction des lits d’oueds avec les systèmes de protection et de canalisations des crues et venues d’eau importantes.
- La construction des gares et haltes.
- La réalisation des systèmes de signalisation et télécommunication.
- L’exécution des ouvrages annexés et la réalisation des têtes et murs de soutènement.[1]

2.3.2 Objectifs du projet :

Les objectifs principaux du projet sont :

- Le désenclavement et le développement des hauts plateaux.
- Garantir une liaison rapide entre les agglomérations.
- Améliorer les performances de la voie ferrée.
- Améliorer la compétitivité du transport ferroviaire.
- Ce projet contribuera au progrès économique et offrira une opportunité de modernité aux wilayas impliquées (Tissemsilt - Tiaret - Médéa - Djelfa), y compris les zones les plus éloignées et les plus dépourvues de ressources. [1]

2.3.3 Les intervenants dans le projet :

Entité	Logos	Adresse	Représentant	Coordonnées
Maitre d'Ouvrage :	ANESRIF		15, Bis Rue Colonel Amirouche, Rouiba, Alger, Algérie	Mr Directeur de Projet : CHANDERLI Abedelkader Tél/Fax : 046 57 43 91 projet.bt@anesrif.dz
Entreprise de réalisation :	Groupement GRTB • INFRAFER • E.N.G.C.B • SAPTA • ENGOA • SETIRAIL • ESTEL		06, Rue Bouras Mohamed, Tissemsilt	Mr Directeur de Projet : TALEBI Elyes Tél/Fax : 046 57 48 45 projet.grtb@outlook.com
Maitre d'oeuvre :	Groupement 3S Algérie • SAETI • SETA • SIDEM		Rue Frères Hamidi (en face du siège de la wilaya de Tissemsilt)	Mr Directeur de Projet : OMRI nouridinne Tél/Fax : 046 57 40 17 groupement3s.bt@gmail.com

Figure 2.2: les différents intervenants dans le projet (source:SNTF).

2.3.4 Données du projet :

2.3.4. A Caractéristiques de Base :[1]

- Longueur 132+009 km.
- Caractéristiques géométriques selon les standards UIC.
- Ligne à voie unique posée sur plate-forme une voie.
- Ponts-rails et ponts-route prévus pour double voie.
- Trafic mixte voyageurs et marchandises.
- Traction actuellement diesel.
- Ligne sans passages à niveau.
- Gares de croisement conçues pour garer des trains de 750 m.
- Ligne clôturée de bout en bout.

2.3.4. B Caractéristiques de la Voie :[1]

Ecartement :

La voie normale sera construite à écartement normal $e = 1435$ mm sans sur écartement dans les courbes.

Gabarit :

Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse, c'est-à-dire le gabarit GC de l'UIC (y compris future caténaire en 25 KV).

Charges à l'essieu :

- Pleine voie 20 t.
- Ouvrages d'art 25t.

Vitesses :

- Vitesse maximale 160 km/h.
- Trafic marchandises en plaine et en zone montagneuse: 100 km/h.
- Vitesses de branchement dans les appareils de voie :
 - UIC-60 300-1:9 50 km/h.
 - UIC-60 500-1:12 60 km/h.

Entraxes des voies :

L'entraxe des voies est de 4,20m (sans obstacles dans l'entrevoie), la voie unique étant réalisée à son emplacement définitif; l'axe de la deuxième voie sera placé ultérieurement à 4,20 m de l'axe de la voie unique. L'entraxe des :

- Voies de croisement 5,00/6,50 m.
- Voies en gares voyageurs 5,00 m.
- voies en gares des marchandises 5,00 m.

2.3.4. C Superstructure :[1]

Rails :

En pleine voie et en gares, rail UIC 60 E1.

Traverses :

- Traverses bi-bloc en pleine voie et voies de gare.
- Traverses en bois pour les appareils de voie.
- Traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.

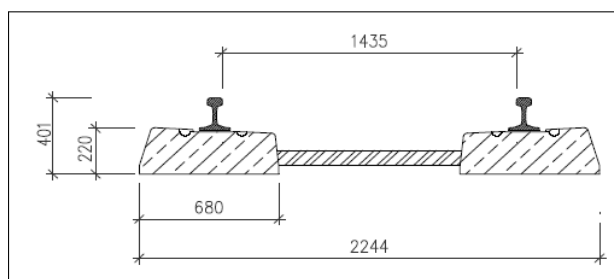


Figure 2.3: La traverses.

Attaches:

Attaches élastiques de type NABLA.

Appareils de voie :

Choisis dans la gamme ci-après:

- UIC-60 300-1:9 50 km/h.
- UIC-60 500-1:12 60 km/h.

2.3.4. D Caractéristiques des Matériaux :[1]

Couche de fondation :

- Limite de liquidité $\leq 35\%$.
- Indice de plasticité $\leq 15\%$.
- Matériau bien classé: coefficient d'uniformité: $D_{60}/D_{10} \geq 15$.
- Proportion en fines inférieur a 75 pour obtenir une cohésion forte: 10 - 15%.
- Conditions de Terzaghi à observer: 4 d15 D15 4 d85.

Le matériau de couche de fondation sera compacté à teneur en eau optimum pour obtenir 90% de la densité sèche optimum.

Sous-ballast :

- Fines
- Limite de liquidité $\leq 25\%$.
- Indice de plasticité $\leq 6\%$.
- Le coefficient d'uniformité pour obtenir une courbe granulométrie pleine : $D_{60}/D_{10} \geq 4$.
- Epaisseur du sous-ballast: $\geq 15\text{cm}$.
- Compactage à sec.

Ballast :

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression $\geq 1200\text{kg}/\text{cm}^2$.
- Maille: 22,4/63 mm.
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles: $\leq 15\%$.

2.4 Tronçon étudié :[1]

Le tronçon étudié dans ce projet de fin d'étude s'étend du PK04+000 et PK08+200. Il se trouve à environ 20 kilomètres de l'est de Tissemsilt, au nord de Hamadia, au sud de Khemisti, à l'est de Tissemsilt et à l'ouest de Tiaret.

Le tronçon commence par la ville de Ain el karma et se termine le début du premier viaduc TT1100.



Figure 2.4: Image satellite du tronçon étudié.

2.5 Description du Tracé :

Le tronçon Tissemsilt - Boughezoul comporte un saut kilométrique entre le PK 130+175 et le PK 138+550.

2.6 Tronçon du PK 04+000 au PK 08+200 :[1]

Au PK 4+000 et au PK 5+031, deux conduites de gaz sont traversées. Au PK 5+000, un abri et un bassin situé dans la zone du tracé doivent être démolis. rde Hardy/Colonel Bougara. Une solution ne comprenant pas de tunnel a été trouvée. Elle requiert cependant un remblai, une coupe et des ponts en enfilade, avec une déclivité de 16 ‰. Deux ponts de 526m sont requis. Un ancien cimetière est situé au-dessous du pont à PK 7+700.

TB1100 PK 7+677 L = 526 m

TB1110 PK 8+356 L = 526 m.

2.7 Conclusion :

Le pays investit actuellement massivement dans la relance de cet important secteur, ce qui permet la libération de plusieurs zones de l'isolement géographique, qui correspond aux caractéristiques du projet soumis et aux objectifs fixés par ANESRIF.

Chapitre 3

Tracé en plan

3.1 introduction :

Le tracé en plan d'une voie ferrée consiste en une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal. Il est généralement composé d'une série d'alignements droits et d'arcs de cercle reliés entre eux par des courbes de transition progressive. Dans le domaine ferroviaire, le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses distinctes :

VR : vitesse des voyageurs.

VL : vitesse des trains lents (marchandises).

La conception géométrique du tracé en plan d'une voie ferrée est délimitée par diverses contraintes physiques et technologiques :

- Le confort des voyageurs et la stabilité des véhicules.
- La capacité de réaliser certain nombre de formes géométrique en génie civil et à la maintenir dans le temps.
- La complexité de l'entretien.

Un trace ferroviaire en plan est constitue de tronçons en alignement et de tronçons de courbes circulaires, entre lesquels il faut généralement intercaler des courbes de raccordement. Ces courbes de raccordement ont une courbure progressive pour permettre de réduire les chocs.

3.2 Les éléments qui composent le tracé en plan :

3.2.1 Les alignements droits :

L'équation de mouvement du train se limitant à un seul degré de liberté, l'alignement droit est le tracé le plus approprié sur le plan technique pour les voies ferrées. En effet, un alignement

droit peut être décrit comme une courbe de rayon infini ($R=\infty$).

3.2.2 Arcs de cercles (Courbes circulaires) :

Dans les régions où la topographie ou le terrain ne permettent pas d'adopter un tracé rectiligne, il est nécessaire de recourir à des courbes de transition circulaires, avec un rayon aussi grand que possible en fonction de la vitesse à laquelle le train parcourt la courbe[22].

3.2.3 Courbe de raccordement progressif :

Cet élément géométrique assure la transition entre un alignement et un arc de cercle en permettant une évolution progressive de la courbure, passant d'un rayon R à la fin de l'alignement à une valeur constante R au début de l'arc de cercle. La clothoïde est utilisée à cet effet en raison de sa variation linéaire de courbure, garantissant ainsi stabilité et confort.

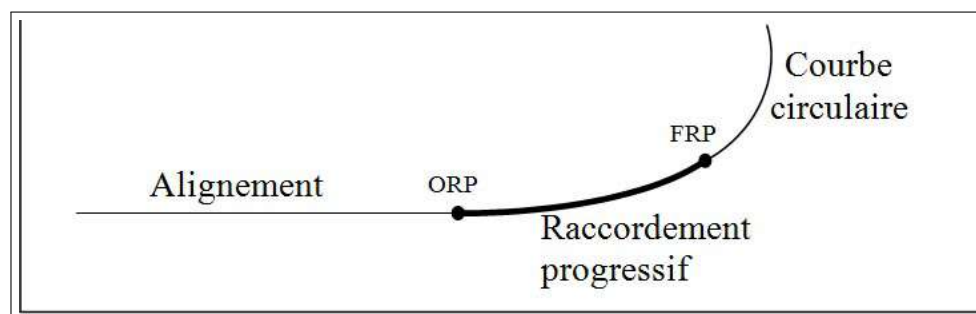


Figure 3.1: Eléments du tracé en plan.

3.3 Courbe et conditions de raccordement :

3.3.1 La clothoïde :

3.3.1.1 Définition de la courbe de raccordement progressif (clothoïde) :

Une courbe de raccordement progressif, aussi appelée clothoïde, est une courbe plane dont la courbure varie de manière continue entre deux points. Elle est utilisée pour raccorder deux tronçons de route ou de voie ferrée ayant des géométries différentes, telles que des rayons de courbure différents ou des pentes différentes.

3.3.1.2 Propriétés mathématiques :

- La courbure de la clothoïde est proportionnelle à l'abscisse curviligne (distance parcourue le long de la courbe).
- La longueur de la clothoïde est infinie.
- Le développement de la clothoïde est une spirale d'Euler.

3.3.1. 3 Avantages :

- La clothoïde permet une transition en douceur entre deux tronçons de route ou de voie ferrée, ce qui améliore la sécurité et le confort de conduite.
- La clothoïde est facile à tracer et à construire.
- La clothoïde peut être utilisée pour raccorder des courbes de rayons différents, ce qui la rend très polyvalente.

3.3.1. 4 Applications dans le domaine ferroviaire :

Les courbes de raccordement progressif sont largement utilisées dans le domaine ferroviaire pour :

- Raccorder des alignements droits et des courbes circulaires.
- Améliorer la sécurité et le confort des passagers en réduisant les chocs et les vibrations.
- Diminuer l'usure des rails et des roues.

3.3.1. 5 Exemples d'applications :

- Raccordement des voies d'entrée et de sortie des gares.
- Raccordement des voies en courbe sur les ponts et les tunnels.
- Raccordement des voies sur les lignes à grande vitesse.

3.3.1. 6 Normes et réglementations :

L'utilisation des courbes de raccordement progressif dans le domaine ferroviaire est régie par des normes et des réglementations internationales. Ces normes définissent les caractéristiques géométriques des clothoïdes, telles que le rayon de courbure minimum et la longueur de raccordement.

3.3.1. 7 Conclusion :

les courbes de raccordement progressif sont un élément essentiel de la conception des infrastructures ferroviaires. Elles permettent d'assurer une transition en douceur entre deux tronçons de voie ferrée, ce qui améliore la sécurité, le confort et la performance du réseau ferroviaire.

3.3.2 Conditions de raccordement :

Le raccordement progressif doit vérifier les conditions suivantes :

3.3.2.1 Conditions de gauchissement :

Cette disposition a pour objectif de garantir une esthétique satisfaisante de la voie, en particulier dans les zones où le dévers varie. Cette condition s'explique par la limitation de la pente relative du bord extérieur de la plateforme déversée par rapport à son axe en profil en long.

3.3.2.2 Conditions de confort optique :

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

3.3.2.3 Conditions de confort dynamique :

Elle assure la stabilité et le confort dynamique et cela par la progression du dévers et de la courbure.

3.4 Paramètres de sécurité et de confort :

Ces paramètres, pour lesquels le respect des valeurs exceptionnelles garantit la sécurité et le confort, On distingue deux types de paramètres :

Table 3.1. Paramètres de sécurité et de confort.

Paramètres relevant de la sécurité	Paramètres relevant le confort
<ul style="list-style-type: none"> • Le rayon de la courbe. • La variation de courbure. • L'insuffisance de devers. • le devers et le taux de variation de devers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exes de devers. • Variation de l'insuffisance de devers. • Longueur des éléments de trace.

3.5 le dévers :

Le dévers est l'inclinaison transversale de la voie ferrée, c'est-à-dire la pente du rail vers l'extérieur d'une courbe. Il est utilisé pour compenser l'effet de la force centrifuge sur les

trains en virage, et ainsi améliorer la sécurité et le confort des passagers.

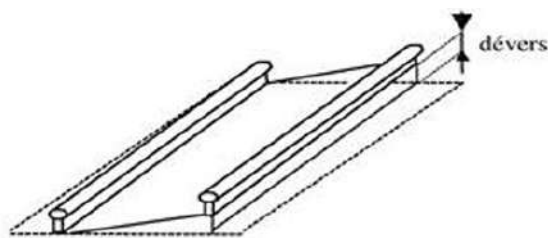


Figure 3.2: Le dévers

3.6 Le dévers théorique :

C'est le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Considérons un train circulant à une vitesse constante V dans une courbe circulaire de rayon R .

Le dévers théorique appelé également dévers d'équilibre noté d_{th} est donné par :

Pour un écartement de voie : $2e = 1,435\text{m}$.

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V^2}{R} \quad (3.1)$$

d_{th} : Le dévers théorique en mm.

V : vitesse du train en Km/h.

R : rayon de la courbe en m.

Démonstration : En a le poids de véhicule (GB) et la force centrifuge (GA)

Pour faire équilibrer la composante GC de la force centrifuge qui tend à rejeter le véhicule vers l'extérieure, nous avons la composante

$$GH = P \sin \alpha \quad (3.2)$$

$$GC = \frac{m v^2 \cos \alpha}{R} \quad (3.3)$$

$$\frac{m v^2 \cos \alpha}{R} = P \sin \alpha$$

Comme : $P = mg$ et l'angle α étant très petit, on peut prendre :

$$\sin \alpha = \tan \alpha = \frac{d_{th}}{e} \text{ et } \cos \alpha = 1$$

Donc

$$\frac{m v^2}{R} = \frac{m g d_{th}}{e} \text{ alors } d_{th} = \frac{e v^2}{g R}$$

Alors

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V^2}{R}$$

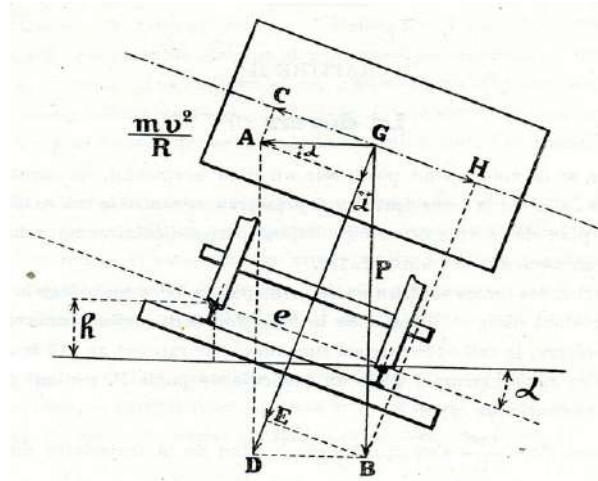


Figure 3.3: Dévers théorique.

3.7 Le dévers pratique (normale) :

La diversité des types de trains (voyageurs et marchandises) et de leurs vitesses respectives ne permet pas l'application d'un dévers théorique unique sur les voies ferrées. Cela nous conduit à la notion du dévers pratique appelé également dévers réel. la mise en œuvre du dévers pratique permet de :

- Éviter la fatigue excessive de la voie : un dévers trop faible pour les circulations rapides conduit à la fatigue de rail extérieur de la courbe. Un dévers excessif pour les circulations lentes conduit à la fatigue de rail intérieur.
- Assurer la sécurité en évitant la sortie des trains de la voie à cause d'un dévers insuffisant pour les vitesses élevées.
- Assurer un confort satisfaisant aux voyageurs.

La formule de dévers pratique s'écrit :

$$d_p = \frac{1000 C}{R} \tag{3.4}$$

d_p : dévers pratique en mm.

R : rayon de la courbe en m.

C : coefficient de dévers (multiple de 15 $C = 15,30,45, \dots$)

$$0,5 C_v < C \leq 0,7 C_v$$

Avec : $C_v = 0,0118V_R^2$

V_R : vitesse du train rapide en Km /h.

Pour la SNCF le dévers pratique, est de 70% du dévers théorique tout en respectant le max de 160mm (exception 180mm) (4)

$$d_p = 0,70 \times d_{th} \quad (3.5)$$

3.8 L'insuffisance de dévers :

L'insuffisance de dévers se caractérise par une inclinaison insuffisante de la voie ferrée par rapport à l'inclinaison théorique nécessaire pour compenser la force centrifuge exercée sur les trains en virage. Ce phénomène résulte d'un compromis entre sécurité, confort et performance économique.

L'insuffisance de dévers noté I est la différence entre le dévers théorique d_{th} et le dévers pratique d_p , Elle est donnée par la formule suivante :

$$I = d_{th} - d_p \quad (3.6)$$

d_{th} : Le dévers théorique en mm.

d_p : dévers pratique en mm.

3.9 L'excès de dévers :

Lorsque le dévers pratique 'dp' est plus grand que le dévers théorique des trains lents (marchandises) il y a donc excès de dévers pour les trains lents.

L'excès de dévers est donné par la formule suivante :

$$I = d_p - d_{thm} \quad (3.7)$$

d_p : dévers pratique.

d_{thm} : dévers théorique des trains de marchandises.

3.10 Coefficient de dévers :

Le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers prescrit et la courbure :

$$C = \frac{R_{min} D_{Rmin}}{1000} \quad (3.8)$$

A la création d'une ligne, le respect d'un coefficient de dévers commun à toutes les courbes conduit à avoir un rapport constant entre courbure et insuffisance de dévers. La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort.[5]

Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante :

$$C = 0,006 V^2 \quad (3.9)$$

3.11 Longueur minimum des éléments de trace :

Pour garantir un roulement fluide et confortable des trains, des longueurs minimales ont été définies pour les différents éléments du tracé. Ces longueurs permettent d'atténuer le roulis des wagons et d'éviter des sollicitations excessives sur les véhicules, tout en facilitant leur maintenance par bourrage et dressage mécanique lourd.

Table 3.2. longueur minimal à respecter (source : fiche SNTF Géométrie).

Valeur minimal normale	V/2
Valeur minimal exceptionnelle	V/3

3.12 Rayon minimum de l'alignement circulaire :

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants.

Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales sans que la valeur d'insuffisance maximale admissible ne soit dépassée. [8]

Donc le rayon minimum se calcule par l'équation suivante :

$$R_{min} = \frac{11,8 \times V^2_{max}}{D_{max} + I} \quad (3.10)$$

3.13 Raccordement de dévers :

3.13.1 Raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire:

Les différents points d'un raccord parabolique peuvent se calculer à l'aide de la formule du raccordement de Nordling. Ce raccordement est une spirale dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul. [3]

La longueur de se raccordement est calculée comme suit :

- Pour un écartement $2e = 1,435m$: $L = 8 \text{ à } 10 V_{max}d$, La valeur obtenue doit satisfaire les conditions suivantes :

$$L \geq 0.4V_{max} \geq 30m$$

$$L < R/4$$

Si exceptionnellement, la réalisation des raccordements paraboliques s'avère impossible, des longueurs plus courtes sont acceptées. Les limites sont :

- Pour une voie avec écartement $2e = 1,435m$: $L = 6 V_{max}d$

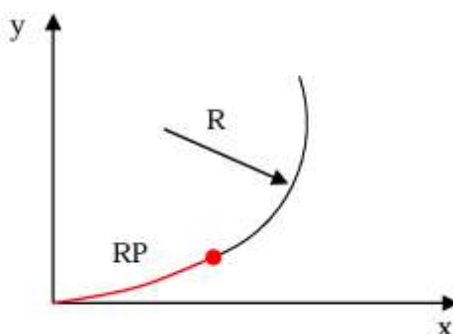


Figure 3.4: raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire.

3.13.2 Raccordement entre courbe et contre courbe de rayons différents:

En voie principale, des courbes de raccordement de longueur normale sont absolument nécessaires. Entre deux raccordements en contresens, il est nécessaire d'intercaler un alignement droit de longueur $L \geq 0.4V_{max} \geq 30m$ [3]

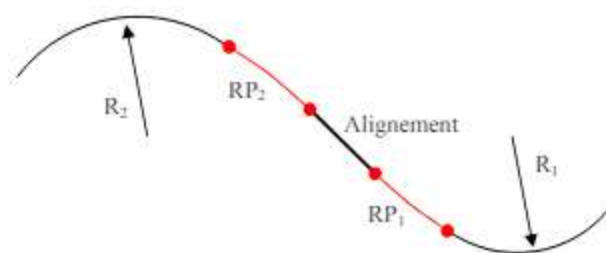


Figure 3.5: Raccordement entre courbe et contre courbe de rayons différents.

3.14 Gauchissement et variation du dévers :

Lors du passage des trains dans les courbes et en présence des dévers, les points de contact des roues des wagons avec le rail ne se trouvent pas sur le même niveau et sous des charges dynamiques à grandes vitesses qui sont répartit inégalement sur les roues, le problème deviendra très dangereux. Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport $(\Delta D/\Delta L)$ exprime cette variation en (mm/m). [22]

3.15 Application au projet :

Notre projet qui relie Tissemsilet a Boguara au PK [04+000] jusqu'au PK [08+159] dans une extension de 4,159 km.

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

On prend un exemple de calcul pour rayon de 9000 m pour juste illustrer les différentes étapes de calcul pour détermination des divers paramètres du tracé en plan.

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

Table 3.3. Paramètres de tracé pour notre projet (source:fiche UIC 703R).

Valeurs	Normales	Maximales)
I (Insuffisance de dévers en mm)	120	150
E (Excès de dévers en mm)	90	110
D (dévers en mm)	150	160
DI/Dt en mm/s	75	90
Dd/Dt en mm/s	35	-

- **Calcul de R_{min} :**

$$R_{min} = \frac{11,8V^2m_{ax}}{D_{max} + I_{max}} \Rightarrow R_{min} \frac{11,8 * 160^2}{160 + 150}$$

alors $R_{min} = 974,45m$

- **calcul de C :**

$$C = 0,006 * V^2$$

N.B Cette valeur doit se rendre à un multiple de 15 le plus proche.

Alors :

$$C = 0,006 * 160^2 = 153,6$$

On prend : $C = 165$

- **calcule le dévers pratique d_p :**

$$d_p = \frac{1000 * C}{R} \Rightarrow \frac{1000 * 165}{9000} = 18,333 \Rightarrow d_p = 18,333mm < 150mm$$

(condition vérifier).

- **Calcul de devers théorique D_{th} :**

Pour train de voyageurs :

$$D_{th} = \frac{11,8 * 160^2}{9000} = 33,56mm$$

Pour train de marchandises :

$$D_{th} = \frac{11,8 * 80^2}{9000} = 8,39mm$$

- **Calcul du l'insuffisante (I) et l'excès de devers (E) :**

$$I = D_{th} - D_p \Rightarrow I = 33,56 - 18,334 = 15,23mm$$

Alors $I = 15,23$ mm inférieur a 120 mm (condition vérifier).

$$E = D_p - D_{th} \Rightarrow 18,334 - 8,39 = 9,94mm$$

Alors $E = 9,94$ mm inférieur a 90 mm (condition vérifier)

- **calcul la longueur de clothoide :**

selon la fiche UIC 703R on a $\frac{dd}{dt} = 35$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{d * v_{max}}{3,6 * L} \leq \frac{dd}{dt} \Rightarrow L \geq \frac{d_p * V_{voy}}{3,6 * \frac{dd}{dt}} \Rightarrow L \geq \frac{157 * 160}{3,6 * 35}$$

donc $L = 200$ m.

- calcul le parametres de clothoide A :

$$A = \sqrt{R * L} = \sqrt{974.45 * 200} \Rightarrow A = 441,46$$

Table 3.4. Calcul récapitulatif des éléments géométriques.

Rayon (m)	d_p	Trains voyageurs 160 km/h		Trains marchandise 100 km/h		$A_i = \sqrt{R_i \cdot l_i}$ (m)
		d_{th}	i	d_{th}	E	
10000	16.5	30.21	13.71	7.55	8,95	457.71
9000	18.33	33.56	15.23	8.39	9.97	457.63
8000	20.63	37.76	17.13	9.44	11.19	457.56
3000	55	100.69	45.69	25.17	29.83	457.73

3.16 Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons commencé l'analyse géométrique du tracé de notre projet. Nous avons pu comprendre et observer les paramètres à respecter dans un tracé en plan conformément aux normes UIC. Nous avons utilisé le logiciel Autocad at Covadis pour réaliser cette étude.

Chapitre 4

profil en long

4.1 Introduction :

Le profil longitudinal est défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Il est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires.[8]

Le niveau de roulement la ligne rouge doit être conçue et tracé en respectant les recommandations et les règles qui assurent la stabilité, la sécurité, le confort et l'évacuation des eaux. Parmi ces conditions :

- Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé.
- Respecter la déclivité maximale qui est de 16 ‰, et de 0‰ au sein des gares.
- Le rayon minimum en profil en long est de $R_{min} = 0,35V^2$.
- Minimiser les quantités de déblai et remblai et les équilibrés.
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long $L_{min} = V/2$.
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

4.2 Eléments géométriques du profil en long :

Pente : tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation.

Rampe : tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation.

Palier : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.

Courbes de raccordement verticales : ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.

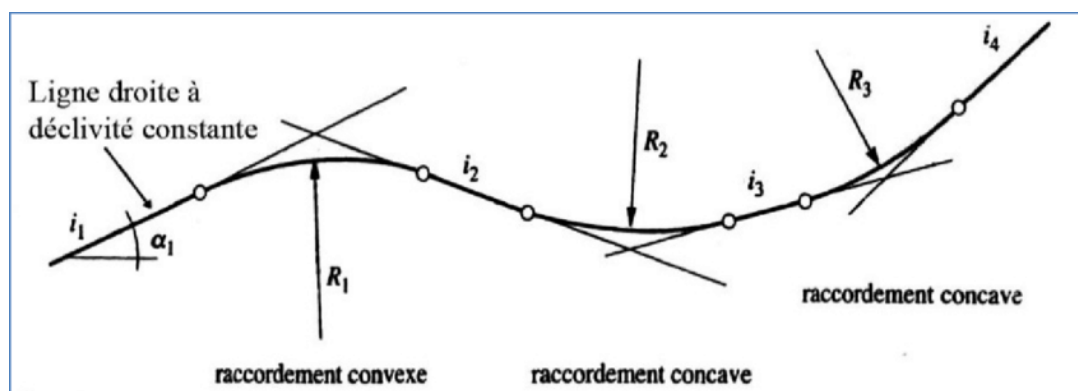


Figure 4.1. Eléments géométriques du profil en long

4.3 La Déclivité :

La déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal, elle est dénommée une pente pour les descentes et une rampe pour les montées. Ces dernières doivent respecter les recommandations exigées par le référentiel du SNTF/RFF IN 0272 en raison de sécurité et de confort dont : [8]

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

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur, comme le montre la figure au dessous :

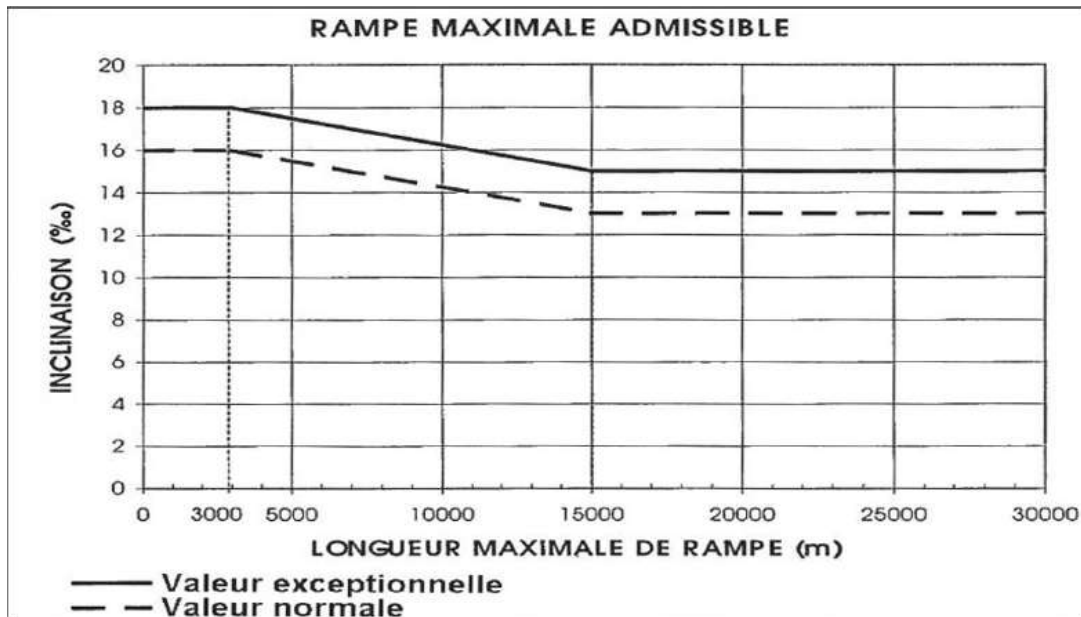


Figure 4.2. Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF).

4.4 Longueur minimale des éléments du profil en long :

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importantes aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails.[8]

Table 4.1. Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF).

Valeur minimal normale	V/2
Valeur minimal exceptionnelle	V/2,5

V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale).

Pour notre projet, la longueur minimale des déclivités est $V/2 = 160/2 = 80m$.

4.5 Raccordement en profil en long :

C'est un arc de cercle qui assure la liaison entre deux déclivités de la ligne rouge, il permet d'assurer le confort et la sécurité des voyageurs en réduisant les accélérations centrifuge due à la vitesse verticale des véhicules. [8] Alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise.

$$R_v = \frac{V_{max}^2}{12,96 * R_V} \leq R_{Vrec} \tag{4.1}$$

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

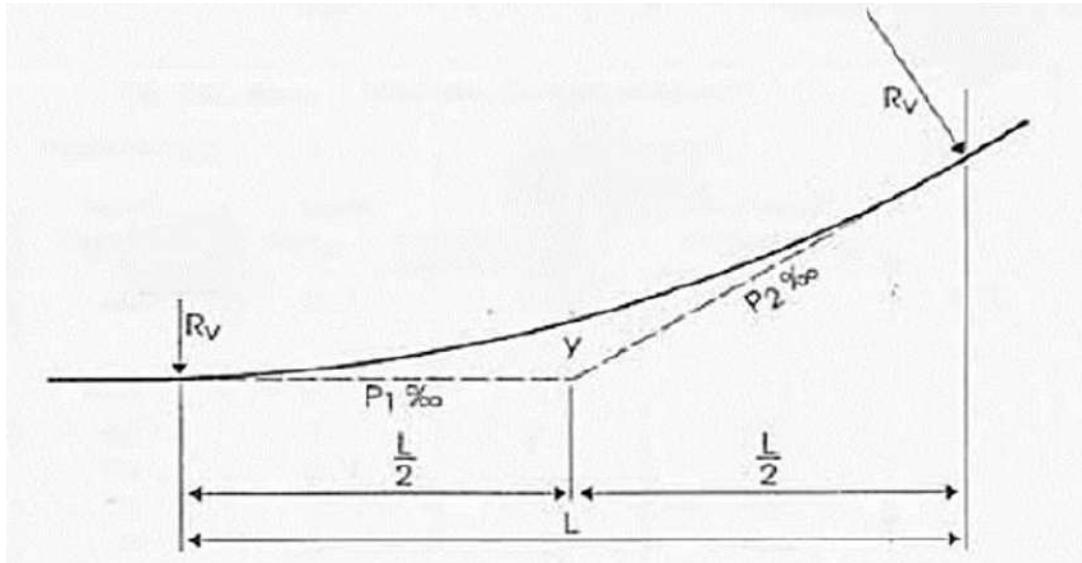


Figure 4.3. Schéma du raccordement circulaire.

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes de raccordement Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter : [23]

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

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

Table 4.2. Valeurs de rayon minimal des raccordements circulaires.

Valeur normale	$0,35V^2$
Valeur exceptionnelle	$0,25V^2$
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 160 km/h	$0,15V^2$

V: Vitesse des trains de voyageurs (maximale).

Pour notre projet $R_{min} = 0,35V^2 = 0,35 * 160^2 = 8960$ m.

4.6 Coordination profil en long-tracé en plan :

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

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

- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

Le respect de ces conditions a pour but de :[14]

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

4.7 Conclusion:

La tâche la plus importante est le profil en long, qui permet d'évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique, où l'importance des terrassements sera évidente, soit sur le plan technique, en observant les déclivités, la coordination entre tracé en plan et profil en long et l'emplacement des gares.

Chapitre 5

Profil en travers et calcule des cubatures

5.1 Introduction :

Le profil en travers est une coupe le long d'un plan vertical perpendiculaire à l'axe de projection de la piste. Un projet ferroviaire implique le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter chaque dimension, nous créons d'abord un profil. Chaque zone est unique, appelée "coupe type" et comprend toutes les dimensions et tous les détails de construction (largeur de la voie, pente de la surface et du remblai, dimensions couches de superstructures, systèmes de drainage, etc.)[23].

5.2 Profil en travers courant :

C'est une pièce essentiel dans les projets, Elle fournit des informations détaillées sur la section transversale de la voie au point kilométrique (PK) spécifié, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet, dévers de la plate-forme et qui servent à calculer les cubatures.

5.3 Profil en travers type :

Le profil en travers type est en effet un profil unique pour chaque zone, regroupant de manière détaillée toutes les dimensions et détails constructifs essentiels tels que les largeurs de voie, les pentes des surfaces et des talus, les dimensions des différentes couches de la superstructure et de l'infrastructure, ainsi que le système d'évacuation des eaux. Ce profil exhaustif permet une vision complète et précise des caractéristiques de la chaussée et des éléments nécessaires à sa construction et à son aménagement.

5.4 Élément du profil en travers :

5.4.1 Élément du Profil en travers type :

5.4.1. 1 Éléments d'infrastructure :

- Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.
- Les pentes de chaque couche.
- L'emplacement des fourreaux électriques (traction).
- La pente latérale de la plate-forme.

5.4.1. 2 Éléments de superstructure :

- La distance entre les axes des voies.
- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
- La longueur des butées du ballast.
- Le type des traverses utilisées.
- La valeur du dévers maximale en courbe.

5.4.1. 3 Éléments du talus :

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

5.4.1. 4 Éléments d'assainissement :

- Le type et dimension du fossé des drains.

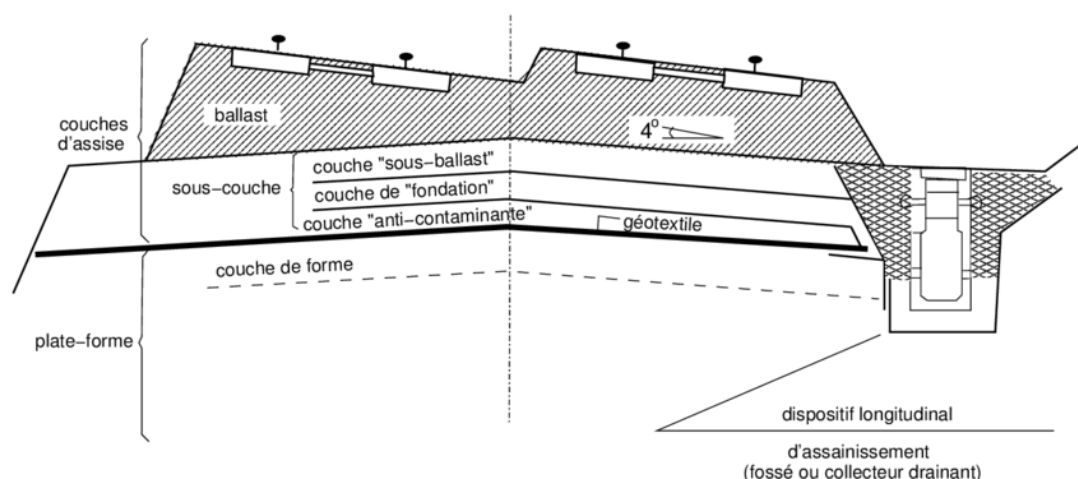


Figure 5.1. Profil en travers type (source : scientific figure on ResearchGate. Available from: <https://rb.gy/t0wzgs>).

5.4.2 Élément du Profil en travers courant :

5.4.2. 1 L'Emprise :

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

5.4.2. 2 Assiette :

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

5.4.2. 3 Plate-forme :

Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.

5.4.2. 4 La voie :

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

5.4.2. 5 La berme :

Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.). Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

5.4.2. 6 Le fossé :

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

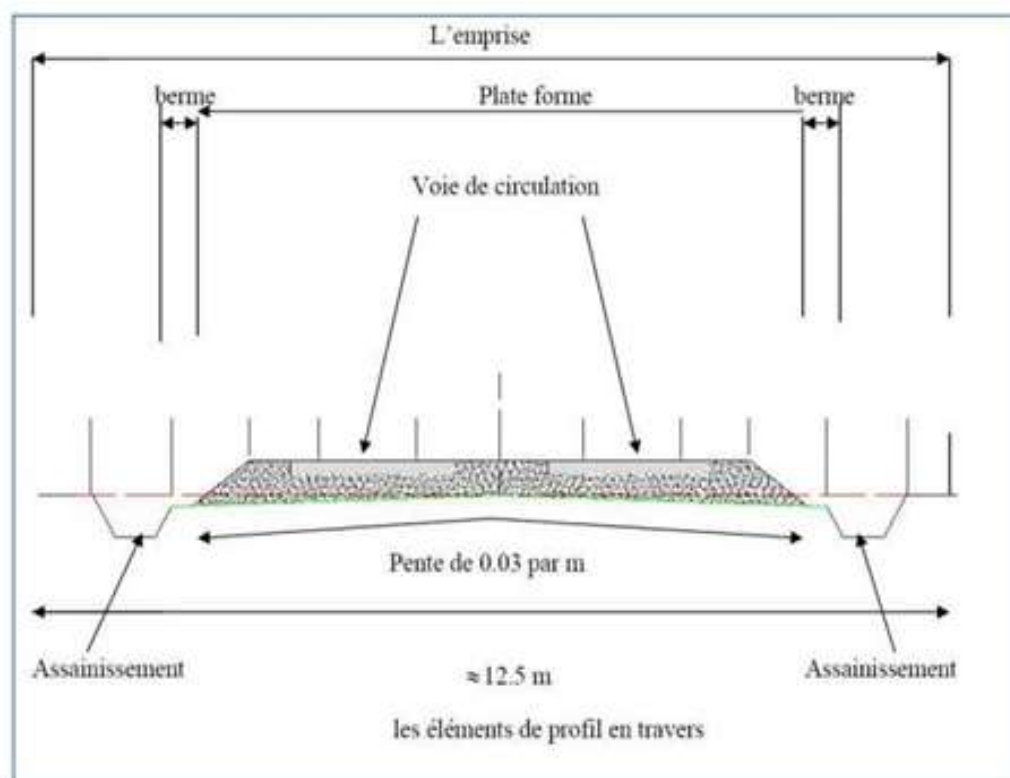


Figure 5.2. profil en travers courant.

5.5 Profil type de notre projet :

Pour notre projet, on a opté pour les sections types exigées par la SNTF :

- Type de ligne : voie unique.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (universel).
- Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- Epaisseur du ballast : 33 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 35 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 35 cm.

Dans les sections d'ouvrage art (passages inférieurs et supérieurs, Ponts Rail.....) les caractéristiques suivantes seront modifiées :

- Pente latérale de la plate-forme : 4%.

- Epaisseur du ballast : 35 cm.

Concernent les gares, il faut tenir en compte les distances entre l'axe et les obstacles ci-après :

- Entraxe des voies en gares de voyageurs : 4.6 m.
- Largeurs de quai : 8 m.

5.6 Calcul des cubatures :

On définit les cubatures de terrassement par le nombre des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme sensiblement rapprocher et sous adjacentes à la ligne rouge de projet.[8]

Les éléments qui permettent le calcul des cubatures sont :

- Les surfaces de remblais ou déblais obtenus par le profil en travers.
- Les distances entre les profils en travers, indiquées sur le profil en long.

5.6.1 Méthode de calcul :

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

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

Table 5.1. Les Valeurs des déblais et remblais

Volume déblais (m ³)	Volume remblais (m ³)
694824.6	530550.9

5.7 Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de déterminé les différents éléments du profil en travers type tels que éléments d'infrastructure, éléments de superstructure, éléments du talus (remblai ou déblai)... etc, ainsi les éléments du profil en travers courant d'une infrastructure ferroviaire tels que la plateforme, assiette, l'emprise, berme... etc, de même de déduire le volume de remblai et de déblai.

Chapitre 6

l'infrastructure ferroviare

6.1 Introduction :

L'infrastructure de la voie est le fondement qui cette voie ferrée est située pour distribuer les charges exercées par les traverses sur le fond de la voie elle est utilisée pour la distribution sur la plateforme, atténuer les vibrations de la superstructure appliquée et contribuer à la fixation longitudinale et latérale. [22]

6.2 Les différentes couches d'assises :

Les couches d'assise jouent un rôle essentiel dans la garantie du bon fonctionnement de la voie ferrée en termes de rigidité, de nivellement et de drainage. La couche de ballast, la sous-couche et le plat-forme sont inclus dans celle-ci.

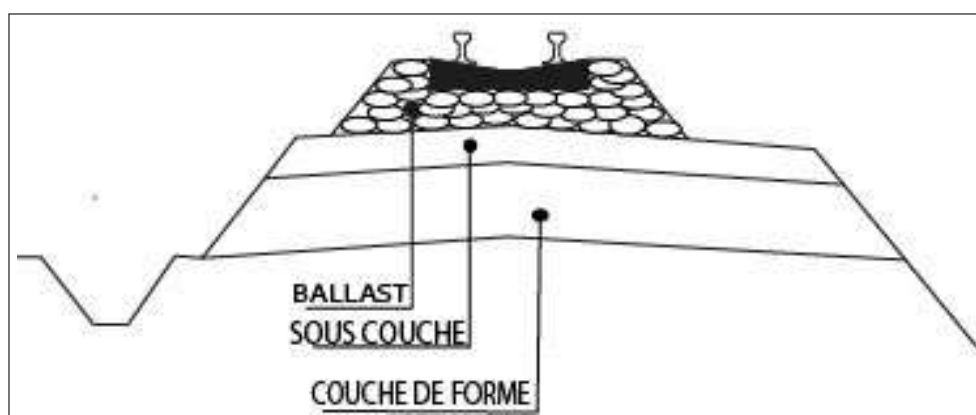


Figure 6.1. les différentes couche d'assises.

6.2.1 Ballast :

Les traverses sont remplies de gros cailloux ou de gravier qui forment le ballast. Il joue différents rôles :

- Le ballast assure la stabilité des traverses et les empêche de se déplacer latéralement.
- Le drainage favorise le débit de l'eau, ce qui empêche l'accumulation d'humidité sous les rails.
- La répartition de la charge consiste à répartir le poids des trains sur le ballast, qui envoie ensuite cette charge vers la couche de base. [6]

6.2.2 Caractéristique du ballast :

A - Caractéristiques physiques :

A - 1 Granulométrie :

Le ballast est composé de pierres massives ou de gravier de diverses dimensions. La taille du ballast est minutieusement sélectionnée afin de garantir une répartition homogène de la charge des rails et d'assurer un bon drainage (on utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF)). [6]

A - 2 Forme de granulats :

Les granulats de ballast possèdent une structure particulière. Les dimensions sont habituellement plus grandes, variant de 31,5 mm à 50 ou 63 mm. Cette dimension convient pour garantir la stabilité et la résistance des chemins de fer. [6]

A - 3 Homogénéité des granulats :

joue un rôle crucial dans le comportement mécanique du ballast. [6]

A - 4 Propriété des granulats :

Il est crucial de maintenir la propreté des granulats afin d'assurer la qualité des matériaux de construction. Il s'agit de la présence d'impuretés comme l'argile. Des tests particuliers permettent d'évaluer la qualité des granulats. [6]

A - 5 Perméabilité :

correspond à son aptitude à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient de pression. [6]

A - 6 Densité :

C'est une propriété importante à considérer. Elle désigne la mesure de la quantité de masse contenue dans un volume donné de ce matériau. [6]

B - Caractéristiques mécaniques :

B - 1 Résistance à l'attrition :

Les matériaux de la couche de ballast sont soumis à des mouvements relatifs en raison des charges concentrées et des vibrations, ce qui entraîne une usure par frottement aux points de contact entre les granulats. On a reproduit ce phénomène en laboratoire sous le nom de Deval ou Micro-Deval sont des essais. L'apparition des fines est due à l'évolution des granulats. L'essai consiste donc à évaluer le nombre d'éléments dont le diamètre est inférieur à 1,60 mm. Ce test est réalisé soit à sec, soit en présence d'eau (MDE). Dans la machine Deval, ces éléments sont générés grâce aux frottements réciproques et aux chocs modérés des granulats d'une prise d'essai. [6]

B - 2 Résistance aux chocs :

Le ballast subit des modifications en raison des contraintes qui lui sont imposées, telles que le frottement des granulats entre eux et les chocs causés par les traverses. [6]

B - 3 La dureté :

Les valeurs de l'essai Deval sont liées à celles de l'essai Los Angeles. Cette relation reflète la dureté globale d'une roche. La valeur de la dureté relative (DRG) est la plus basse des deux valeurs pour le ballast. On obtient successivement les couples de coefficients suivants : (DS – LA) puis (DH – LA). [6]

6.2.3 La sous-couche :

La sous-couche constitue une couche d'ajustement qui est placée entre la couche de ballast et la plateforme. La sous-couche peut avoir une seule ou plusieurs couches. Elle est composée de la couche "sous ballast" en grave propre bien gradué (0/31.5), suivie d'une couche de fondation en cas de mauvais sol, et enfin, si nécessaire, d'une couche anti-contaminatrice complétée par des feuilles de géotextile ou de géomembranet.

Elle a des rôles multiples :

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

A - Constitution de la sous couche :

A - 1 Sous-ballast :

La sous-couche comprend, du haut vers le bas, une couche sous - ballast en grave propre bien graduer (0/31,5mm) ($1 < \text{coeff de courbure} < 3$), puis une couche de fondation dans le cas de mauvais sols, et enfin s'il y a lieu, une couche anti-contaminante en sable complétée par une feuille géotextile ou géo membrane.

A - 2 Couche de fondation :

Il s'agit d'une couche de grave propre, bien contrôlée, compactée à 100% OPN, d'une épaisseur minimale de 15 cm, avec une DRG supérieure à 10. La couche "sous-ballast" est utilisée pour faciliter la circulation des engins de chantier (elle est mise en place à la fin du chantier, lorsque les travaux de terrassement proprement dit sont tous terminés). Si une couche anti-contaminant en sable moyen propre est nécessaire, elle est ajoutée à une feuille de feutre synthétique (Géotextile) d'une épaisseur minimale de 15 cm.

6.2.4 La couche de forme :

La couche supérieure de la plate-forme est équipée d'une pente transversale, dont l'épaisseur varie de 30 à 60 cm en fonction du matériau utilisé.

La couche de forme sera réalisée en utilisant le même matériau que celui utilisé pour le remblai. pour le remblai ou l'amélioration.

Cette couche de forme, située en déblai, est généralement obtenue en compactant à 100% le fond de feuille. On peut également traiter la couche de forme en utilisant des liants.

6.3 dimensionnement des couches d'assises :

Il s'agit de déterminer l'épaisseur minimale du ballast, de la sous-couche et de la couche de forme lors de ce dimensionnement. Il est principalement influencé par trois facteurs, à savoir :

- la classe de portance de la plateforme de terrassement.
- types de lignes (caractéristiques du trafic).
- l'armement de la voie (type de traverses).

6.3.1 Classification de la plate-forme :

La classification des plates-formes est réalisée en utilisant l'UIC (Fiche 719R). Pour classer les plates-formes, il est nécessaire de déterminer d'abord la classe de qualité de chaque sol qui constitue la plate-forme, puis d'évaluer la classe de portance de celle-ci.

6.3.2 Classe de qualité du sol selon L'UIC :

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

- la nature géotechnique du sol à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- 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 de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable)
- la plate-forme n'est pas 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. On distingue, selon que les conditions ci-dessus sont bonnes ou mauvaises et selon les modalités les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après : [17]

Table 6.1. Les quatre classes de qualité de sols (QSi).

QS0	QS1	QS2	QS3
<p>Sols "impropres" à la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.). Pour cette raison, ces sols ne sont pas mentionnés ici lors du dimensionnement des couches d'assise et des couches de forme.</p>	<p>Sols "médiocres" acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié (traitement aux liants, par exemple)</p>	sols moyens	bons sols

6.3.3 Classes de portance de plateforme :

La portance d'une plateforme dépend :

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

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

- P1 : plate-forme médiocre.
- P2 : plate-forme moyenne.
- P3 : plate-forme bonne.[17]

Table 6.2. Les classes de qualité du sol et de portance envisagée pour la plate-forme (source: UIC719 R.34).

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Qualité	Épaisseur minimale : e_r (m)
Qs1	P1	Qs1	-
	P2	Qs2	0.50
	P2	Qs3	0.35
	P3	Qs3	0.50
Qs2	P2	Qs2	-
	P3	Qs3	0.35
Qs3	P3	Qs3	-

6.4 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise:

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

$$e = E + a + b + c + d + f + g \quad (6.1)$$

d'où :

E : classes de portance (P1, P2 ou P3).

a : l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714).

b : le type de traverses.

c : conditions de travail.

d : la charge maximale d'essieu des véhicules.

f : la vitesse.

g : l'installation de géotextiles.

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

Table 6.3. Tableau des éléments de portance et dimensionnement des plates-formes (source: UIC719 R).

E	= 70 cm	- pour les plates-formes de classe de portance PF1
	= 55 cm	- pour les plates-formes de classe de portance PF2
	= 45 cm	- pour les plates-formes de classe de portance PF3
a	= 0	- pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V 160 km/h quel que soit le groupe UIC)
	= -05 cm	- pour les groupes UIC 3 et 4
	= -10 cm	- pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs
	= -15 cm	- pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur
b	= 0	- pour les traverses bois de longueur 2,60 m
	= $(2,50 - L)/2$	- avec L est la longueur des traverses (b en m. L en m, b peut être négatif si $L \geq 2,50$ m)
c	= 0	- pour un dimensionnement normal
	= -10 cm	- à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur"
	= -05 cm	- à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageur"
d	= 0	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
	= +05 cm	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
	= +12 cm	- lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	= 0	- pour toutes les lignes à V 160 km/h et pour les plates-formes de portance PF3 des lignes à grande vitesse.
	= +05 cm	- pour les plates-formes de classe de portance PF2 des lignes à grande vitesse.
	= +10 cm	- pour les plates-formes de classe de portance PF1 des lignes à grande vitesse
g	= + géotextile	- pas de géotextile
	= 0	

6.5 Application au projet :

Basé sur les documents de base du projet Le sol de notre projet est classée en **QS3** " Bon sol " et la classe de portance de la plateforme est de type **P3**.

Les paramètres de dimensionnement de notre projet :

E = 0,45

a = - 0,05 m (groupe de ligne UIC 4).

b = $(2.5 - 2.24)/2 = 0.13$ m : traverses en béton de longueur $L = 2.24$ m.

c = 0,00 m pour voie nouvelle.

d = 0,00 m pour charge pour essieux 200 KN.

f = 0,00 pour une vitesse $V \leq 160Km/h$

g = 0 (QS3).

Donc :

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

e = $0.45 - 0.05 + 0.13 + 0 + 0 + 0 + 0$

e = 0.53

On prend : **e** = 0.55 m

Table 6.4. Les épaisseurs des différentes couches.

Couche	Epaisseur (cm)
Ballast	30
Sous ballast	25
Couche de forme	50

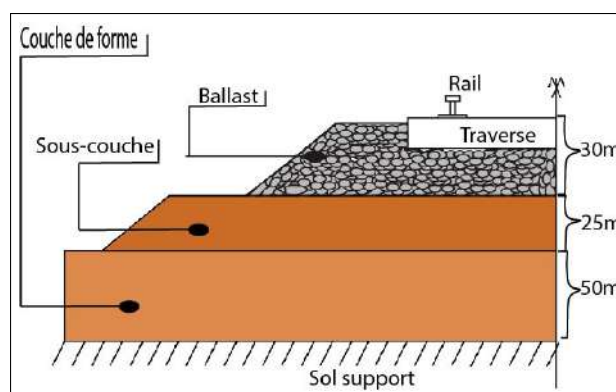


Figure 6.2. Les épaisseurs des différentes couches d'assise.

6.5.1 Contexte géologique régional :

Géologiquement, la région de Tissemsilt se distingue par la succession lithologique suivante :

Mésozoïque :

Il est représenté par les formations suivantes :

Trias : Il est essentiellement formé de gypse, de dolomies, de calcaires, et de marnes. Les importants dépôts de gypses affleurent aux environs des communes de Lardjem et Tamelaht.

Jurassique : Les formations de cet âge affleurent uniquement sur le grand pic de l'Ouersenis et ses alentours. Elles sont constituées de calcaires massifs, de calcaires à silex, de marnes et de marno-calcaires.

Crétacé : Ces affleurements sont largement développés sur le territoire de la wilaya excepté au sud ou ils paraissent sous les dépôts tertiaires. Les formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes, des marno-calcaires, des argilites et des grès quartzifères.

Tertiaire : Il est représenté par :

Paléocène :

Il est constitué essentiellement de marne à intercalations carbonatées.

Eocène :

Il est constitué de calcaires massifs localement dolomitisés, des argiles et de marne affleurant au sud de la région.

Miocène :

Il est constitué d'argiles, marne, grès et conglomérats. Il affleure à l'Est et à l'Ouest du chef de la wilaya.

Quaternaire :

Il est représenté par le plio-quaternaire et est constitué de dépôts caillouteux et alluvionnaires, limons, limons sableux, sables argileux, grès, conglomérats, poudings qui affleurent à l'Est de Khemsti.

6.6 Conclusion :

”Grâce à la conception de l'infrastructure ferroviaire, nous avons pu déterminer les épaisseurs nécessaires des différentes couches pour supporter et répartir la charge transmise par le matériel roulant. Les normes de l'UIC en vigueur en Algérie ont été respectées.”

Chapitre 7

la superstructure ferroviare

7.1 Introduction :

La fonction de la voie est de soutenir et de guider les véhicules ferroviaires, il est essentiel que ses caractéristiques soient solides et rigides. Les éléments qui la composent doivent former un ensemble qui maintient sa position. Pour assurer cela, il est essentiel de définir les caractéristiques de chaque élément de manière conforme aux normes et à ce que l'on souhaite réaliser.

7.1.1 Catégories de la voie :

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune sous-entendant une vitesse maximale et une charge à l'essieu. On distingue ainsi :

les voies principales affectées à la circulation des trains.

les voies de circulation affectées à desserte interne des grands complexes ferroviaires.

les voies de service affectées aux manœuvres, qui peuvent être d'anciennes voies principales déclassées.

les voies de garage sont des voies de service affectées au stationnement du matériel roulant.[22]

7.2 Caractéristique de la voie à étudier :

Le type de rail utilisé :(selon les données du projet)

- LRS type UIC 60 E1 en plein voie, en gare.

Type de traverses :

- Traverses bi-bloc en pleine voie et voies de gare.

- Traverses en bois pour les appareils de voie.

- Traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.[1]

Le support :

- ballast.

Tonnage des essieux à supporter :

- Pleine voie 20 T.

- Ouvrages d'art 25 T.[1]

Les attaches :

- Attaches élastiques de type NABLA.[1]

Les appareils de voie :

- UIC-60 300-1:9 50 km/h.

- UIC-60 500-1:12 60 km/h.[1]

7.3 Le rail :

Le rail est une Poutre de répartition des charges de roues dans le sens vertical, transversal et longitudinal (fig7.1) et sert pour le guidage et maintien de la stabilité de l'essieu, le contact roue-rail-acier ayant les avantages de limiter la résistance à l'avancement par une surface réduite de contact et de faire le transfert des charges à la traverse via le système d'attaches.

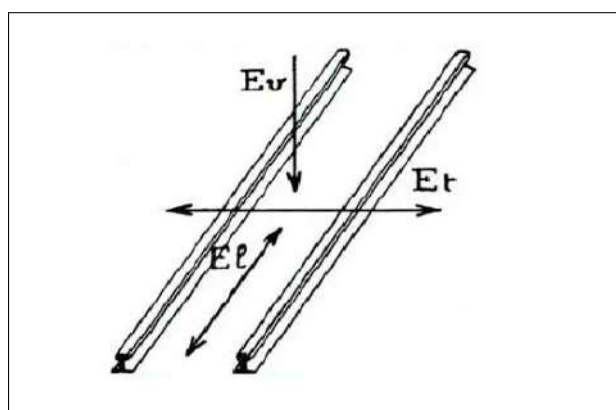


Figure 7.1. Répartition des charges roues.

Les rails sont caractérisés par :

- leur profil.
- la nuance d'acier qui les compose.

Il existe différents profils et nuances de rail, adaptés aux utilisations auxquelles ils sont destinés. La majorité des profils laminés au début du chemin de fer n'ont eu qu'une durée éphémère ; seuls, en effet, le double champignon et le rail Vignole ont été largement utilisés. Il convient d'y ajouter un profil à gorge qui permet de poser les voies en chaussée en particulier dans les ports.

Tous ces profils possèdent en commun les éléments suivants :

- à la partie supérieure le champignon qui supporte les contacts des roues.

- l'âme, partie médiane amincie.
- le patin, partie inférieure.
- les portées d'éclissage, parties inclinées du champignon et du patin qui permettent le serrage des éclisses.
- Le champignon du profil à gorge, comporte en outre, l'équivalent d'un contre-rail qui permet la circulation en chaussée des boudins de roues.

7.3.1 Rail DC (double champignon) :

Le rail à double champignon est caractérisé par une forme symétrique avec champignon supérieur et champignon inférieur (fig7.2 et 7.3). Dans l'idée de ses promoteurs, ce profil pouvait être réutilisé par retournement après usure du champignon supérieur. En fait, cette possibilité s'est révélée vaine du fait de l'encochage rapide du rail dans les coussinets qui le supportent. Par contre, ce profil, facile à laminier, était particulièrement intéressant à l'époque où le fer corroyé était le métal couramment utilisé pour la fabrication des rails.



Figure 7.2. Rail double champignon on voie.

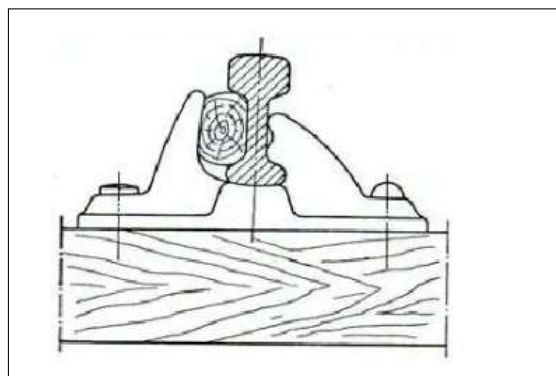


Figure 7.3. Rail double champignon.

7.3.2 Rail a patin (Vignole) :

Ce rail couramment désigné sous le nom de Vignole, se caractérise par une base élargie qui permet une fixation facile sur la traverse. Il évite les nombreux inconvénients du rail à double champignon: fixation dans des coussinets en fonte, encochage du champignon inférieur, difficulté de conservation du dressage. Il est fixé sur les traverses, soit directement, soit par l'intermédiaire de selles métalliques. Sa forme est largement conditionnée par la nécessité d'assemblage des rails entre eux, c'est-à-dire par le problème de l'éclissage, ce qui conduit souvent, dans les raccordements entre champignon et âme, à une forme contradictoire avec une bonne résistance du profil aux efforts. C'est pourquoi la généralisation de l'emploi de rails soudés en grandes longueurs peut être de nature à permettre une modification assez sensible de la forme du rail, en évitant l'impératif posé par l'éclissage, un procédé de fortune permettant une réparation provisoire en cas de rupture.

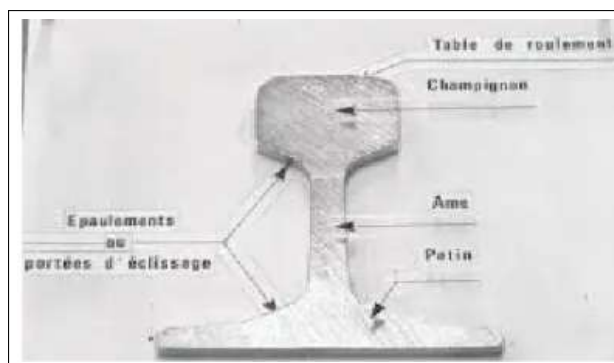


Figure 7.4. Rail a patin (vignole).

7.3.3 Rail à gorge :

Généralement utilisé pour le cas des tramways et les métros légers, leur poids propre est de l'environs de 58,96 kg/ml et leur géométrie est schématisée sur la figure7.5

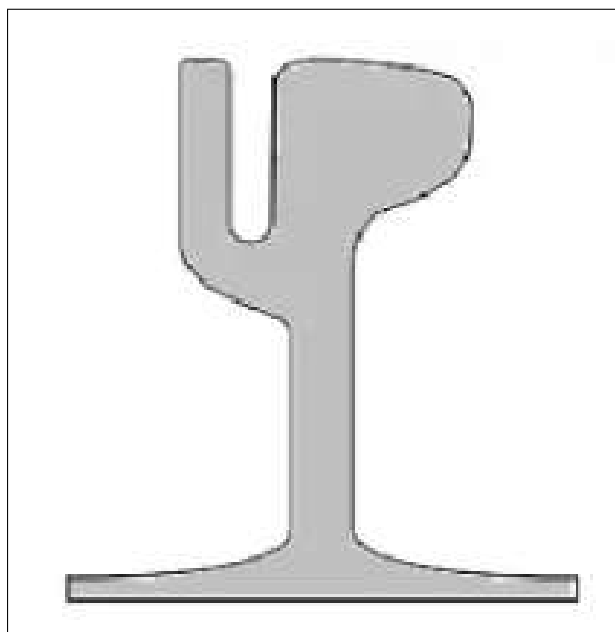


Figure 7.5. Rail à gorge.

Dans le projet que nous étudions, ils ont utilisé Le rail de Vignole type UIC 60 :

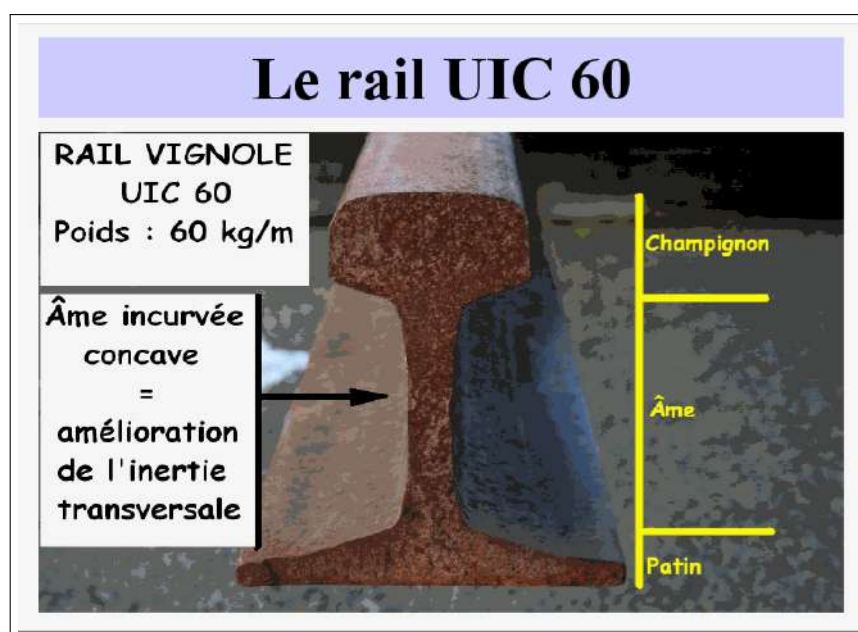


Figure 7.6. Le rail UIC 60.

Les caractéristiques géométriques du profilé UIC 60 sont résumées dans la figure 7.7 :

PROFILÉ UIC 60				
MASSE LINÉIQUE THÉORIQUE	MOMENT D'INERTIE LX	MODULE D'INERTIE IX/V	SECTION	RÉSISTANCE À LA LA TRACTION
60,21 KG/M	3038,3 CM ⁴	335,6 CM ³	76,7 CM ²	880N/MM

Figure 7.7. Les caractéristiques géométriques du profilé UIC60.

7.3.4 Ecartement des rails :

Conformément au règlement UIC l'écartement normale des rails sera comme suit :

- En alignement 1435 mm, avec une erreur de +0 à +2 mm.
- En courbe $80 < R < 150$ m 1434,5 mm, avec une erreur de +0 à +2 mm.
- En courbe $R < 80$ m 1430 mm, avec une erreur de +0 à +2 mm.

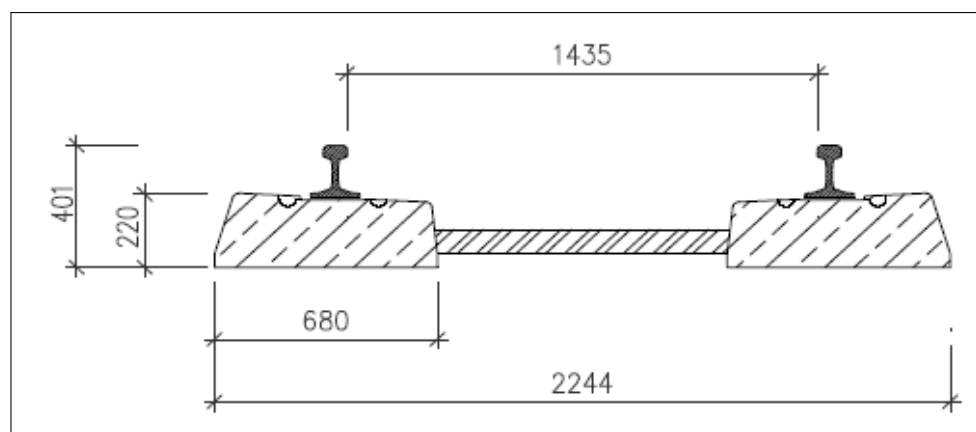


Figure 7.8. L'écartement entre les rails.

7.4 Les longs rails soudés (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. Les barres longues, d'une longueur de 144, 300 ou 400 m selon les pays, sont produites par la soudure de rails élémentaires de respectivement 18, 36 ou 72 m, 75 ou 100 m, 80 ou 100m.

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

7.4.1 Soudage par forgeage électrique :

[22] Il est réalisé à poste fixe ou à l'aide des machines mobiles. Le matériau à rail est chauffé et soudé par courant électrique, aussi le cordon de soudure est réalisé par le matériau que les rails. Ce type de soudage est pratiqué en atelier pour construire des barres longues. **Temps requis** : 3 min/soudure.



Figure 7.9. Soudure électrique.

Procédure :

- Dressage et encastrement des extrémités des rails.
- Brulage des extrémités des rails et réchauffement par le passage du courant.
- Réalisation du joint par refoulement (forgeage)
- Réchauffement supplémentaire avec impulsion de courant, ou refroidissement selon des gradients de température prédéfinis (pour obtenir une structure cristalline optimale).
- Ebavurage mécanique.
- Meulage du joint de soudure.

Avantages :

- Absence de matériau étranger.
- Expulsion des impuretés (oxydes) lors du forgeage.
- Répartition uniforme de la dureté grâce à une zone de réchauffement courte (30-40 mm).
- Procédé de soudage entièrement mécanisé, ce qui résulte un soudage constant et régulier, de bonne qualité et absence de défauts dus à la fatigue ou le manque de concentration du soudeur.

Soudage aluminothermique :

C'est un processus d'oxydation exothermique de l'aluminium avec du fer ou de l'oxyde ferrique. Des additifs supplémentaires et des matériaux d'alliage spécifiques transforment le fer. Ce type de soudage est pratiqué sur site pour le raccord en voie des barres longues ou des appareils de voie, et il ne nécessite que des moyens légers. Les rails à souder sont alignés en laissant un espace précis entre leurs extrémités. Des moules sont ajustés autour du joint entre deux rails le processus récent fait appel à un creuset jetable. Temps requis : 20 min/soudure.[22]

Procédure :

- Préchauffage : avec un brûleur spécialement conçu. Les moules et les abouts des rails sont préchauffés à 2000°C environ pendant un temps précis pour atteindre la température correcte pour le soudage.



Figure 7.10. Préchauffeur HFP de rails à haut débit pour le soudage Alumino-thermique.

Mise en feu : lorsque la température de préchauffage correcte est atteinte, la réaction est amorcée dans le creuset à l'aide d'un tison spécial. L'acier fondu est obtenu par réaction aluminothermique.



Figure 7.11. Mise en feu.

Soudage : au moment adéquat, le bouchon fusible au bas du creuset libère l'acier en fusion dans le moule par le passage prévu.



Figure 7.12. Soudage.

Tranchage du rail : il est réalisé lorsque la soudure a pris et avant qu'elle ne soit refroidie. Le tranchage se fait sur la surface de roulement.



Figure 7.13. Tranchage du rail.

Meulage du rail : Immédiatement après le tranchage, un meulage rapide est effectué sur le rail.



Figure 7.14. Meulage du rail.

La finition des soudures est obligatoire afin d'obtenir une continuité parfaite du profilé de rail et elle consiste à éliminer toute les bavures issues de la soudure aluminothermique et cela demande l'emploi de différent appareilles comme l'ébavureuse hydraulique et la meuleuse de profilé. Les travaux de pose et de soudage sont suspendus lorsque des conditions atmosphériques anormales surviennent, notamment lorsque la température mesurée au rail dépasse + 45°C.

7.4.2 Différents avantages et inconvénient des LRS :

Ils sont d'ordre technique et économique tels que :

- Suppression de l'éclissage boulonné
- Réduction des dépenses d'entretien
- Réduction du nombre d'avaries des rails
- Amélioration du confort

- Réduction de l'usure de la superstructure et des véhicules
- Réduction des dépenses énergétiques de traction 181
- Une mécanisation plus facile de la pose et de la maintenance de la voie.
- Une réduction du bruit et les émissions sonores.
- L'ensemble de ces caractéristiques permet d'obtenir, avec une voie en LRS, des couts de cycle de vie plus faible qu'avec une voie en barres normales.

7.5 La traverse :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails.

Fonction principale :

- Répartir les charges verticales.
- Augmenter la surface d'appui sur le ballast.
- Ancrer la voie transversalement.
- Contribuer à la stabilité du châssis de voie en charge (efforts des véhicules) ou à vide (stabilité LRS).
- Contribuer à la position géométrique des rails: écartement et inclinaison notamment Intégrer l'interface avec les systèmes d'attaches.

7.5.1 Traverse en bois :

(Utilisé dans le projet pour les appareils de voie)

Essences :

- Bois indigène : principalement chêne mais aussi hêtre et pin
- Bois exotique : azobé

Fabrication :

- Abattage, débardage et débitage en traverses blanches.
- Dessiccation, frettage, entaillage et perçage.
- Imprégnation de créosote (remplacée par l'utilisation d'essences de bois exotique).

Avantages :

- Assure une bonne élasticité de la voie.
- Bonne isolation électrique.

Inconvénients :

- Sensibilité aux agents atmosphériques (surtout pour le chêne).
- Résistance latérale peu élevée.
- Coûts d'entretien devenant élevés.
- Utilisation de créosote.

Domaines d'emploi :

- En pose neuve ou en régénération de la voie.
- Zones courtes entre appareils de voie posés sur plancher bois.
- Zones où l'utilisation de traverses béton ne permet pas de dégager le gabarit sans travaux coûteux (tunnel, quais...).
- En maintenance, remplacement de traverses bois (nécessité de conserver un plancher homogène).



Figure 7.15. Traverse en bois.

7.5.2 Traverses métalliques :

Profil laminé en forme de U renversé, embouti aux extrémités pour assurer la résistance latérale de la voie.

Avantages :

- Imputrescible.
- Peu d'entretien.

Inconvénients :

- Traverses légères.
- Difficile à maintenir sur les voies chargées.
- Résistance latérale faible malgré l'utilisation de bèches d'ancrage.
- Corrosion.
- Difficultés pour assurer l'isolement électrique entre les 2 files de rail.



Figure 7.16. Traverse métalliques.

7.5.3 Traverses en béton :**Conception des traverses :**

Capacité à supporter les moments de flexion générés par les charges de roue:

- moment de flexion positif sous rail qui correspond au moment appliqué au droit de l'axe du rail et qui génère une tension au niveau de la partie inférieure de la traverse.

- moment de flexion négatif au centre des traverses monobloc qui correspond au moment appliqué au centre de la traverse et qui génère une tension au niveau de la partie supérieure de la traverse

Avantages :

- Longévité.
- Résistance latérale de la voie importante.

Inconvénients :

- Fragilité aux chocs du béton.
- Risque de corrosion des traverses bi-bloc au niveau des entretoises.
- Risque d'attrition prématurée du ballast : épaisseur de ballast sous traverse plus importante

qu'avec les traverses bois.

- Tenue du nivellement plus délicate dans le cas de plateformes médiocres.



Figure 7.17. Traverses en béton.

7.5.4 Traverses bibloc :

(Utilisé dans le projet en pleine voie et voies de gare et tiroirs et voies de service.) Formées de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse. Il existe deux modèles de blochets : La traverse à blochets de 68 cm, qui a pour dimensions :

- longueur = 2.245 m.
- largeur = 29 cm (à la base des blochets).
- épaisseur = 17 ou 22 cm (dans l'axe de la table).

La traverse à blochets de 84 cm, qui a pour dimensions :

- longueur = 2.415 m.
- largeur = 29 cm (à la base des blochets).
- épaisseur = 22 cm (dans l'axe de la table).



Figure 7.18. Traverse bi-bloc.

7.5.5 Traverses monobloc :

En béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance. L'ancienne génération (modèles V.W, SCOP, . . .), fabriquée jusqu'en 1967, a les caractéristiques suivantes :

- longueur = 2.30 m.
- largeur = 25 cm.
- épaisseur = 14 cm.

La nouvelle génération, fabrications à partir des années 1974 environ, présente les caractéristiques suivantes :

- longueur = 2.50 m
- largeur = 29 cm
- épaisseur = 17 ou 20 cm 3.3



Figure 7.19. Traverse monobloc.

7.5.6 Rôle des traverses :

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

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

7.6 Les Attache :

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 l'empêcher de 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.[20]

7.6.1 Types d'attaches :

Fixation rigide :

- Crampons (utilisés aux USA).
- Tirefonds sur les traverses en bois.
- Crapauds sur traverses métalliques.

Fixation élastique directe :

- Semelle en caoutchouc.
- Lame ressort.
- Griffon.

- Attache Nabla.
- Fastclip.
- Vossloh.

Fixation élastique indirecte :

- Semelle en caoutchouc.
- Selle.
- Lame ressort (Attache Nabla, Fastclip, Vossloh).

7.6.2 L'attache NABLA :

Le système d'origine Nabla a fourni une fixation sûre et fiable sur les voies Tram, LRT, Métro, les Grandes Lignes et les lignes à Grande Vitesse. La forme particulière de la lame Nabla génère un effort d'application dynamique stable sur le rail une fois l'écrou serré. L'attache nabla est constitué par un crapaud (lame-ressort) maintenue par un écrou tirefond vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet de traverse. Le rail repose généralement sur une semelle cannelée en caoutchouc qui joue le rôle d'un amortisseur. Ce type d'attache est le plus répandu au monde, il convient aux longs rails soudés sur traverses en béton.[20]

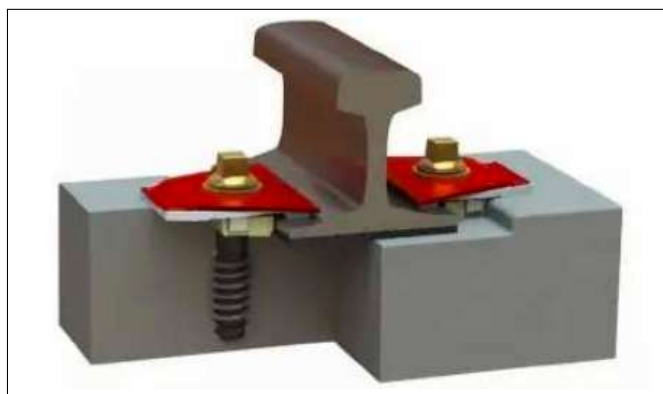


Figure 7.20. L'Attache NABLA.

Rôle d'attache :

L'attache doit remplir les rôles suivants :

- Assurer le serrage du rail sur la traverse avec un effort tel que la résistance au glissement du rail sur la traverse soit largement supérieure à la résistance au déplacement longitudinal de la traverse dans le ballast.
- Cet effort de serrage ne doit pas trop s'affaiblir en présence des effets vibratoires engendrés à l'approche des charges roulantes.

- La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier à un éventuel relâchement du dispositif de fixation.
- Les caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages.
- Le rendement de l'attache (rapport entre l'effort exercé par l'attache sur le rail et l'effort exercé par le dispositif de serrage de l'attache ancré dans la traverse) doit être aussi élevé que possible.
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.

7.7 Les appareils de voie :

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'on désigne sous le terme général d'appareils de voie. Les appareils de voie sont constitués de rails spéciaux (croisement de rails) et d'éléments mobiles (aiguille). Ils permettent le passage d'une voie à une ou plusieurs autres. Les appareils de voie sont des éléments dont les frais d'investissement et de maintenance sont élevés et qui peuvent perturber sensiblement la circulation des véhicules. Ils doivent être disposés et conçus de façon à obtenir un tracé favorable du point de vue de la dynamique. Actuellement, la durée de vie des appareils de voie est d'environ 30 ans (avec traverses en béton). Le type de l'appareil est désigné par la valeur de tangente d'implantation exprimée sous la forme décimale. Pour les véhicules ferroviaires il est donc nécessaire de prévoir des appareils de voie afin de leur permettre de changer de voie. Ceux-ci peuvent être classés en deux groupes[20] :

Groupe 1 (branchement, traversées et traverse jonctions) :

ils permettent aux trains de passer sans discontinuité d'une voie sur une autre. Dans un branchement, les axes de voies se réunissent tandis que dans une traversée, ils se coupent.

Groupe 2 (plaques, ponts ou secteurs tournants et chariots transbordeurs) :

ces appareils permettent de passer d'une voie sur une autre de façon discontinue.

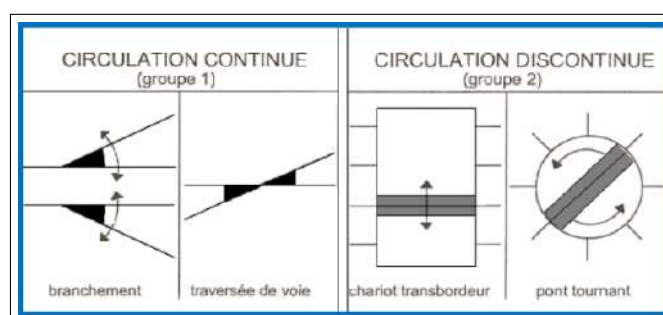


Figure 7.21. Les différents appareils de voie.

Dans le projet que nous étudions seul les branchements du groupe 1 seront utilisés. Les véhicules ferroviaires doivent franchir les branchements sans effets dynamiques et sans chocs.

7.7.1 Les éléments constitutifs d'un appareil de voie :

L'aiguillage :

Partie constituée de rails et de lames usinées et articulées qui assurent la continuité d'un des 2 ou 3 itinéraires divergents à l'origine de la divergence.

Le croisement :

Partie de l'appareil assurant la continuité de deux itinéraires sécants au droit de l'intersection entre files opposées et comprenant un cœur de croisement en acier monobloc ou assemblés, 2 rails extérieurs équipés de 2 contre-rails avec entretoises de liaison.

Organes de commande :

Les organes de commande et de sécurité des appareils de voie sont :

Motorisation :

Un moteur électrique, équipé de tringles rigides, permet le déplacement des 2 lames d'aiguille en fonction de l'itinéraire choisi.

Système de verrouillage :

Pour des raisons de sécurité, les appareils de voie parcourus par des trains rapides sont équipés d'un contrôle électrique de position afin d'immobiliser les lames d'aiguille dans la position choisie sur le rail contre aiguille. Pour éviter le calage de l'aiguille par la neige ou le gel, l'aiguillage est équipé de résistances chauffantes, ou de rampes au gaz propane.

7.7.2 Les Appareils de voie :

Le branchement de deux ou trois voies symétrique ou non : -Communication -Déviation -Les traversées : -La traversée jonction simple -La traversée jonction double -La traversée oblique.

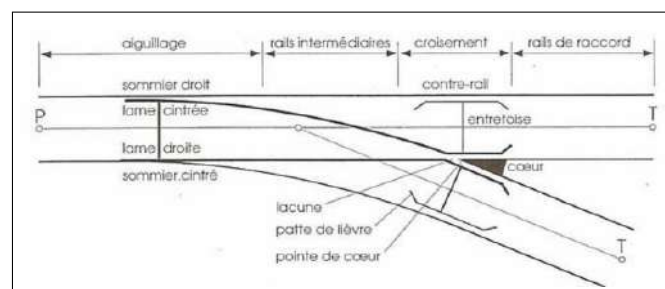


Figure 7.22. Branchement et ses éléments constitutifs.

7.7.3 Caractéristiques de la superstructure ferroviaire :

Table 7.1. Caractéristiques de la superstructure ferroviaire.

Rail Type	Type UIC 60
Ecartement	1,435m
Traverse type	- Traverses bi-bloc en pleine voie et voies de gare. - Traverses en bois pour les appareils de voie. - Traverses bi-bloc pour les tiroirs et voies de service.
Attaches	Attaches élastiques de type NABLA.

7.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu les éléments qui forment la superstructure et pour chaque élément nous avons vu les systèmes existants au niveau mondial et le système utilisé pour notre projet.

Donc dans le tableau précédent en résumé les systèmes de superstructure utilisés pour notre projet.

Chapitre 8

Etude hydrologique et hydraulique

8.1 Introduction :

La création d'une nouvelle ligne perturbe l'écoulement hydraulique. Alors, il faut assurer la continuité des débits des cours d'eau en dimensionnant suffisamment les ouvrages hydrauliques. D'autre part, la protection de la plate-forme nécessite un bon drainage. [14]

Ce chapitre est consacré à l'étude hydraulique et d'assainissement. Elle se concentre sur la conception des installations hydrauliques (ouvrages d'assainissement et de drainage) pour garantir la continuité des débits d'eau et la protection de la plateforme ferroviaire.

8.1.1 La région étudiée :

La nouvelle ligne Tissemsilt –Boughezoul d'une longueur de 130 km traverse le grand bassin versant du Chellif .L'oued Chelif prend naissance au niveau de djebel Amour au sud de Tiaret pour suivre le chemin: Tissemsilt-Boughezoul-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)

- Du pk 0 (Tissemsilt) au pk20 (Colonel Bougara) le tracé traverse une zone relativement accidentée cependant les Oueds et les écoulements sont facile à identifier.

Tissemsilt se trouve à une altitude de 866 m et Boughezoul à 660 m ce qui donne implicitement le sens des écoulements des oueds.

8.1.2 Aperçu du projet

Le tracé de la nouvelle voie ferrée se situe au Nord - Ouest de l'Algérie, (Figure8.1) Cette région se caractérise par un climat méditerranéen avec parfois des averses très importantes qui peuvent conduire à des catastrophes naturelles.

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

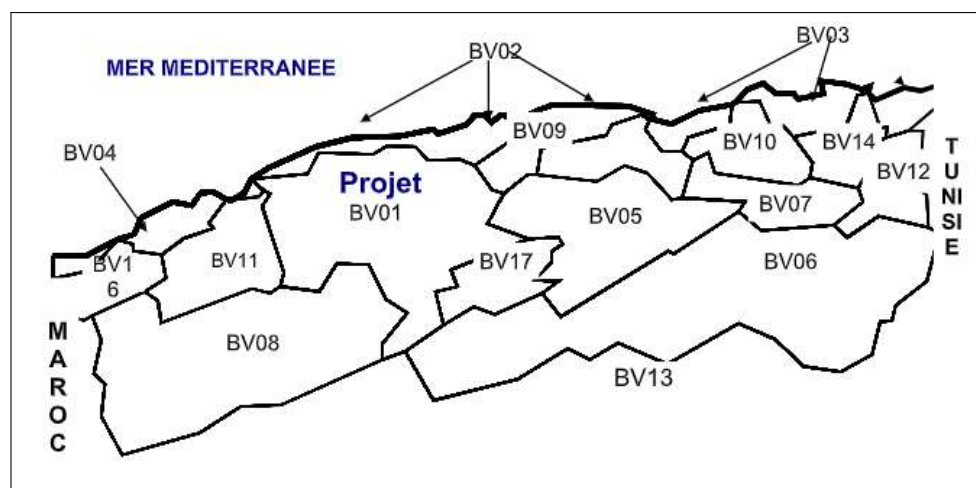


Figure 8.1. carte des bassins versants au nord de l'Algérie.

8.1.3 Données pluviométriques :

Introduction:

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM). Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (TCM).

Dans cette partie on s'intéresse en particulier :

- Aux pluies annuelles des pluies et ses fluctuations temporelles.
- Aux pluies journalières maximales en tant que facteur déclenchant des crues.
- Aux pluies de courtes durées.

Pluies annuelles:

les données pluviométriques de 3 stations appartenant au bassin du Cheliff et proches du tracé ont été exploités et qui caractérisent au mieux la pluviométrie de la région d'étude.

Les paramètres statistiques des pluies annuelles des trois stations calculées à base des données pluviométriques recueillies au niveau de l'ANRH sont résumés dans le tableau suivante :

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 250 et 400 mm d'après la carte des pluies de l'Algérie du Nord de l'ANRH, nous prenons en considération la valeur de **Pmoy = 293.8 mm**

Table 8.1. Caractéristiques statistiques des pluies annuelles (source: ANRH)

Nom de la Station	Période d'observations	Moyenne annuelle (mm)	Écart type (mm)
Tissemsilt	68 ans	271.7	83.1
Hamadia	37 ans	338.6	91.8
Ksar Chellala	29 ans	271.6	87.5
Moyenne générale: 293.8 mm			

8.1.4 Précipitations journalières

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger les différents ouvrages hydrauliques.

En Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent bien à la loi de Gumbel.

8.2 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 km^2 , est déterminée avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major au 1/50 000.

N.B : la délimitation des bassins versants se fait a l'aide du logiciel Global mapper et Autocad.

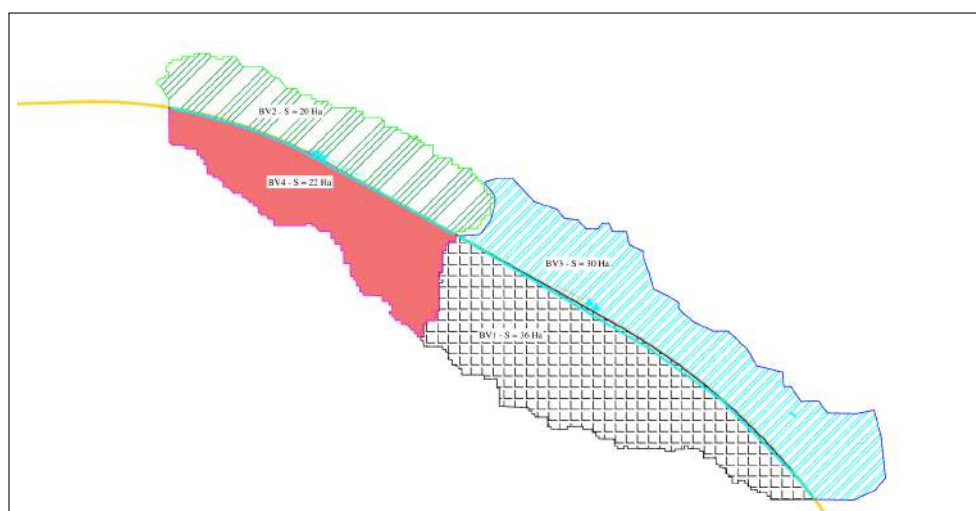


Figure 8.2. les bassins versant de la zone d'étude délimité avec Autocad.

Les caractéristiques des paramètres des bassins versants des Oueds traversant notre projet sont données par le tableau récapitulatif suivante :

Table 8.2. Caractéristiques physiques des bassins versants.

PK des B.V	S (Km ²)	P (Km)	L _w (Km)	K _c	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{moy} (m)	δH(m)	penne talweg (m/m)	T _c (h)	C ₁	V _{ruis}
5+275	1.26	5.15	1.47	1.28	849	838	843.5	11	0.01	1.65	0.55	0.89
7+363	0.14	1.89	0.21	1.41	880	860	870	20	0.10	0.15	0.60	1.36
7+875	0.62	3.61	1.26	1.28	938	840	889	98	0.08	0.36	0.60	3.51

8.2.1 Le temps de concentration t_c :

Les formules de détermination du temps de concentration sont utilisées suivant la superficie du bassin versant :

A - Superficie inférieure à 5 Km² :

Il est calculé par la formule de VENTURA :

$$t_c = 0.127 \sqrt{\frac{S}{P}} \tag{8.1}$$

T_c : Temps de concentration en heure.

S : Surface du bassin versant en km².

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

B - Superficie comprise entre 5 et 25 Km :

T_c est calculé par la formule de PASSINI :

$$t_c = 0.11 \frac{\sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{P}} \tag{8.2}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

C - Superficie comprise entre 25 et 200 km² :

t_c est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad (8.3)$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km^2 .

H = $H_{moy} - H_{min}$ en (m).

8.2.2 Le coefficient de ruissellement :

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau reçu sur elle. Il peut être choisi suivant le tableau ci-après :

Table 8.3. valeurs de coefficients de ruissellement.

Type de chaussée	C	Valeurs prises
Chaussée revêtue en enrobés	0.8 a 0.95	0.95
Accotement ou sol légèrement perméable	0.15 a 0.4	0.4
Talus	0.1 a 0.3	0.3
Terrain naturel	0.05 a 0.2	0.2

8.3 Résultats des calculs hydrologiques :

8.3.1 Méthodes utilisées :

Nous avons le choix entre une multitude de formules pour le calcul du débit de projet, cependant nous optant pour la méthode la plus simple et qui s'adapte le mieux à la région d'étude à savoir la méthode rationnelle.

A - La méthode rationnelle :

Le débit de crue pour les bassins versants de superficie inférieure à $200km^2$ a été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

$$Q = 0.278 * C * I * S \quad (8.4)$$

Avec :

Q : Débit de crue de fréquence déterminée en m^3/s .

C : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

S : Surface du bassin versant (km^2).

B - La méthode de TURAZZA :

Pour les bassins versants dont la superficie dépasse 200km^2 , on a opté pour la méthode de Turazza, les résultats obtenus par cette formule sont relativement plus élevés, et cela par mesure de précaution.

$$Q_{max} = P_{ptc} * S * C / (3.6 * t_c) \quad (8.5)$$

Avec :

Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (en m^3/s).

t_c : temps de concentration du bassin (en heures).

P_{ptc} : pluie de durée t_c et de période de retour voulue en mm.

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S : superficie du BV en Km^2 .

La pluie P_{ptc} peut être calculée par la formule de Montanari :

$$P_{ptc} = 1.13P_{maxj} \left(\frac{t}{24} \right)^b \quad (8.6)$$

Tel que :

P_{maxj} : pluies maximales journalières.

b : paramètre climatique de la station.

8.3.2 Choix du coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

Coefficient C1 : **dépendant de la pente du bassin versant.**

Coefficient C2 : **dépendant de la nature du sol (perméabilité).**

Coefficient C3 : **dépendant de la couverture végétale du bassin versant.**

La connaissance et la détermination de ces paramètres sont indispensables pour la prédétermination des débits de projet nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

En prend la valeur de coefficient de ruissellement **C = 0.5**

8.4 Résultats des calculs hydrologiques :

Méthode utilisée :

Le tronçon concerné par notre étude travers les bassins versants qui est une superficie inférieure à 200 km^2 alors la méthode rationnelle et le meilleur choix.

La méthode rationnelle :

$$Q = 0.278.C.I.S$$

Dans laquelle :

Q : Débit de crue de fréquence déterminée en m^3/s .

C : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).

S : Surface du bassin versant (km^2).

8.4.1 Calcul des débits de projet :

Du pk 5+275 au pk 7+875 :

Les intensités de pluies sont tirées à partir des lois IDF de la station de Tissemsilt (source ANRH).

Table 8.4. valeurs des intensités de pluies (station de Tissemsilt).

N B.V	PK	Tc (h)	I 10 (mm/h)	I 100 (mm/h)
5	5+275	1.65	12.71	18.38
6	7+363	0.15	57.95	83.78
7	7+875	0.36	33.74	48.77

Les résultats de calcul des débits maximum par la méthode rationnelle sont représentés dans le tableau suivante :

Table 8.5. valeurs des débits de projet calculés par la méthode rationnelle.

N B.V	PK	PK	Qr 10 (m3/s)	Qr 100 (m3/s)
5	5+275	1.26	2.45	3.54
6	7+363	0.14	1.35	1.96
7	7+875	0.62	3.49	5.04

8.5 Etude hydraulique :

8.5.1 Méthode de MANNING STRICKLER pour le dimensionnement des dalots :

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale.

Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule de MANNING-STRICKLER

$$Q_s = V.S_u \quad \text{et} \quad V = K_{st}.J^{\frac{1}{2}}.Rh^{\frac{2}{3}} \quad (8.7)$$

d'où :

K_{st} : Coefficient de rugosité.

$K_{st} = 30$ en terre.

$K_{st} = 40$ buses métalliques.

$k_{st} = 50$ maçonneries.

$K_{st} = 70$ bétons (buses et dalots préfabriqués).

J : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

Rh : Rayon hydraulique.

$$Rh = \frac{\text{Surface mouillée}}{\text{Périmètre mouillé}} \quad (8.8)$$

S_t : Section totale de l'ouvrage (m^2).

S_u : Section utile de l'ouvrage $b \times H_u$ (m^2).

b : Largeur de l'ouvrage (m).

H_u : Hauteur utile (m).

Pour $H_t \leq 2.5 \text{ m}$ → hauteur utile = 80 % hauteur totale.

Pour $H_t > 2.5 \text{ m}$ → hauteur utile = hauteur totale - 0.50 m.

Le tirant d'air (différence entre la côte des plus hautes eaux et la côte de l'intraudox) doit être ménagé pour laisser le passage des corps flottant détritiques, branchages, etc... qui peuvent au passage sous un ouvrage hydraulique (pont, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.

Pour un canal rectangulaire (dalot), le dimensionnement consiste à déterminer sa section et la profondeur d'eau tout en évitant les ouvrages profonds en tenant compte des contraintes du projet.

La formule de MANNING-STRICKLER s'écrit alors :

$$Q_{sat} = \mu * k * \left(\frac{b * h}{b + 2 * h} \right)^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad (8.9)$$

où :

b : Largeur du fond (m).

h : Hauteur d'eau (m).

μ : Coefficient de contraction (pris égale à 1).

8.6 Résultat du dimensionnement des ouvrages hydrauliques à projeter :

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés sur cartes au 1/50 000. Nous avons recensé lors de nos visites de reconnaissance plusieurs cours d'eaux importants pour lesquels nous avons projetés des ouvrages de drainage.

Table 8.6. Tableau de dimensionnement des ouvrages de drainage par la méthode de Manning–Strickler.

PK	Q projet (m ³ /s)	Dim Dalot projeté	Tirant d'eau (m)	Pente	Qsat (m ³ /s)	Vadm (m ³ /s)	Description
4+858	5.43	1*(2m*2m)	1.5	0.5	10.56	3.52	Dalot
5+275	3.54	1*(2m*2m)	1.5	0.5	10.56	3.52	Dalot
7+363	1.96	1*(2m*2m)	1.5	0.5	10.56	3.52	Dalot

8.7 Assainissement longitudinal :

Intoduction :

Pour la détermination de l'intensité des averses, on a considéré une période de retour de 10 ans. Ainsi, pendant la grande partie de la vie utile du système de drainage, les débits entrants seront très inférieurs à ceux du dimensionnement.

Ce fait est particulièrement important lorsque les ouvrages hydrauliques sont implantés dans des pentes réduites qui favorisent des phénomènes d'ensablement pouvant avoir de graves conséquences sur la sécurité de l'ouvrage, en particulier s'il s'agit des organes principaux du système.

Pour la définition des critères généraux de conception et de dimensionnement du système d'assainissement, on s'est basé sur les objectifs de sécurité, d'économie et de fonctionnalité de l'ouvrage, alliés aux aspects ci-dessus décrits. Parmi les critères généraux adoptés, les principaux sont :

8.7.1 Les critères de conception et de dimensionnement du système d'assainissement

:

Pour la définition des critères généraux de conception et de dimensionnement du système d'assainissement, on s'est basé sur les objectifs de sécurité, d'économie et de fonctionnalité de l'ouvrage, alliés aux aspects ci-dessus décrits. Parmi les critères généraux adoptés, les principaux sont :

- Le système d'assainissement conduit superficiellement l'eau collectée, lorsque cela est possible.
- Pour des raisons de sécurité et afin d'éviter des phénomènes d'engorgement ou d'obstruction, les organes de drainage qui desservent des zones les plus délicates (zones éventuellement dangereuses en cas de drainage inefficace) sont parfois surdimensionnés.

On a également adopté, pour la conception générale du système de drainage longitudinal, les principes suivants:

- Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme.
- L'écoulement des eaux du drainage longitudinal se fera toujours par gravité, sans avoir recours à des stations de pompage qui impliqueraient des coûts d'investissement initial et d'entretien du système plus chers.
- Dans les zones de déblai de grande hauteur, en vertu de l'inclinaison du terrain adjacent, des fossés de crête permettant d'éviter l'érosion des talus et l'accès des eaux de surface à la plate-forme seront prévus.
- Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.

pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$Q = K_s * A * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Où :

Q : Débit.

A : Superficie de section du dalot.

Ks : Coefficient de rugosité Strickler.

Rh : Rayon hydraulique.

I : Pente.

Les fossés sont divisés en 3 types selon de débit nécessaire :

Type 1 : $Q < 0,5m^3/s$, largeur du lit / profondeur = 0,5 / 0,6 m

Type 2 : $0,5 < Q < 1,0m^3/s$, Largeur du lit / profondeur = 0,7 / 0,7 m

Type 3 : $1,0 < Q < 2,0m^3/s$, largeur du lit / profondeur = 0,8 / 0,9 m

pour garantir un bon écoulement des eaux on a majoré les dimensions du fossé , et la nouvelle dimension est illustré dans la figure ci-après

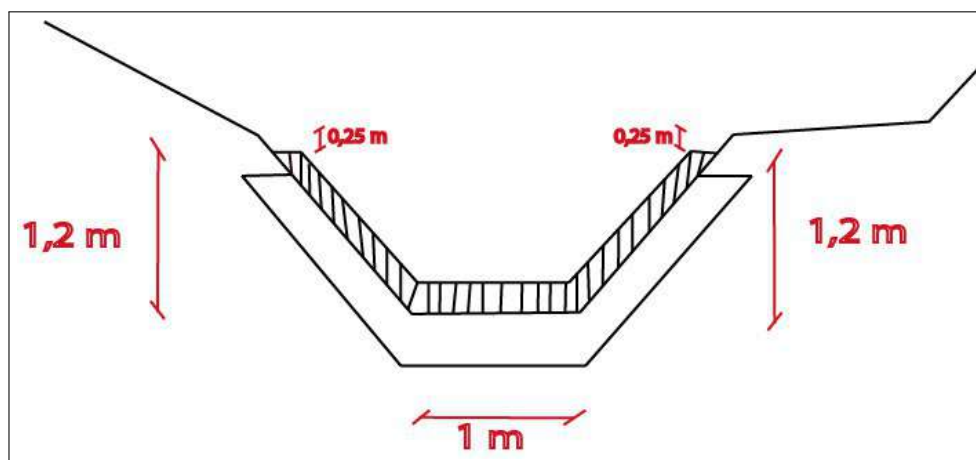


Figure 8.3. la nouvelle fossé dimensionné

8.8 Descent d'eau sur des talus :

Les descentes d'eau sont des ouvrages auto-stables implantés sur les talus, soit de déblai soit de remblai, pour collecter les eaux de crête vers le dispositif de drainage longitudinal situé en pied de talus.

Suivant les débits à écouler et les hauteurs de talus, il existe différents types de familles de descente d'eau:

- les descentes d'eau préfabriquées, emboîtables.
- la descente d'eau lisse en éléments préfabriqués ou en béton armé coulé en place.
- la descente d'eau en escaliers.
- la descente d'eau verticale.

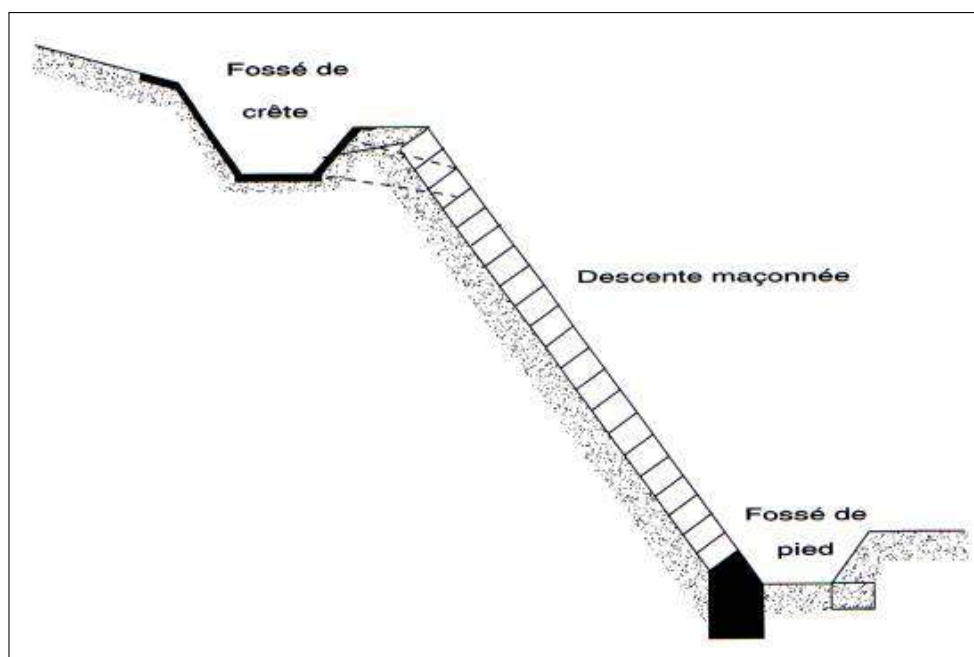


Figure 8.4. Descent d'eau sur des talus.

8.9 Conclusion :

L'étude hydrologique et hydraulique a permis d'analyser les débits d'eau, d'évaluer les risques d'inondation, et de concevoir des infrastructures de drainage adaptées. Les résultats montrent que les solutions proposées, telles que les fossés de drainage et les ponceaux, assurent une gestion efficace des eaux pluviales et souterraines, réduisant ainsi les risques de glissement de terrain et contribuant à la stabilité des talus rocheux. Cette gestion améliorée des eaux garantit la sécurité et la durabilité du tronçon ferroviaire.

Chapitre 9

Confortement des talus de la zone de déblais rocheux compris entre le PK 05+600 au PK 07+100

9.1 Introduction :

Le confortement des talus rocheux vise à renforcer la stabilité des massifs rocheux, ce qui est essentiel pour divers contextes tels que la construction d'infrastructures, l'exploitation minière, l'aménagement de carrières et la prévention des risques naturels. Cette pratique permet d'améliorer la résistance et la sécurité des talus rocheux en utilisant une variété de techniques et mesures de stabilisation adaptées aux caractéristiques spécifiques du site et aux objectifs visés. Parmi les méthodes de confortement des talus rocheux figurent l'installation de systèmes de soutènement tels que des ancrages, des barres d'armature, des filets métalliques, des boulons d'injection ou des écrans en gabions, qui contribuent à assurer la durabilité et la fiabilité des infrastructures construites sur ou à proximité de ces talus.[21]

9.1.1 L'importance du confortement des talus rocheux dans les projets d'infrastructure :

L'importance du confortement des talus rocheux dans les projets d'infrastructure réside dans sa contribution essentielle à la gestion des risques géotechniques et à la sécurité des infrastructures.

- Stabilité des pentes : Le confortement permet de renforcer la stabilité à long terme des talus rocheux, qui sont sujets à l'érosion, aux éboulements et aux glissements de terrain.
- Sécurité publique : Les chutes de pierres et les éboulements représentent un danger pour la circulation routière, ferroviaire ou piétonne à proximité des talus, et le confortement vise à réduire ces risques.
- Intégrité des infrastructures : Les mouvements de terrain peuvent endommager gravement

les routes, voies ferrées, bâtiments et autres ouvrages construits sur ou au pied des talus, et le confortement protège leur intégrité.

- Coûts de maintenance : Sans confortement, les talus instables nécessitent des interventions fréquentes et coûteuses pour réparer les dégâts, et le confortement réduit ces coûts à long terme.
- Durabilité : Le confortement permet de pérenniser la stabilité des talus sur la durée de vie des infrastructures, en tenant compte des facteurs aggravants comme les intempéries, les séismes ou les activités humaines

9.2 Objectifs de ce chapitre :

L'Objectifs de ce chapitre est d'étudier les techniques de confortement et leur application dans un cas concret.

9.3 Contexte et Justification :

9.3.1 Description des talus rocheux et des problématiques liées à leur stabilité :

Les talus rocheux sont des pentes naturelles ou artificielles constituées de roches et de débris rocheux qui peuvent présenter des problématiques de stabilité importantes.

- Zones donnant lieu au risque de détachement et chute de blocs engendrés par la présence de fractures dues à l'explosif,
- Présence des points de ruissellement d'eau emmagasinée dans les alternances marneuses

9.3.2 Les Raisons pour lesquelles le confortement des talus rocheux est nécessaire :

9.3.1 A Glissements de terrain :

les glissements de terrain sont des mouvements de masse de roches ou de sol qui peuvent avoir des Dégâts considérables aux infrastructures, aux habitation...etc

9.3.1 B Chutes de pierres :

les chutes de pierres peuvent également causer des dommages aux infrastructures, véhicules, et personnes. Elles sont particulièrement dangereuses sur les routes et voies ferrées.

9.3.1 C Érosion :

L'érosion des talus rocheux peut

9.3.1 D Les impacts environnementales :

9.3.1 E Le coûts de maintenance :

9.4 Etude des talus :

9.4.1 Méthodes d'analyse des talus rocheux :

Les experts disposent d'un arsenal d'outils et de méthodes sophistiquées. On peut distinguer les méthodes suivantes :

9.4.1 A Analyse géotechnique :

Cette méthode consiste à collecter des données géologiques et géotechniques sur le talus, telles que la lithologie, la structure géologique, la présence de failles ou de joints, les propriétés mécaniques des roches, les conditions hydrogéologiques, etc. Ces données sont ensuite utilisées pour établir un modèle géotechnique du talus, qui permet d'évaluer sa stabilité. [7]

9.4.1 B Analyse cinématique :

Cette méthode se concentre sur l'analyse des mouvements des blocs rocheux présents sur le talus. Elle permet d'identifier les blocs instables et d'évaluer leur risque de chute. Différentes techniques cinématiques peuvent être utilisées, telles que l'analyse stéréographique, la méthode des blocs clés ou la modélisation numérique. [7]

9.4.1 C Analyse numérique :

Cette méthode utilise des modèles numériques pour simuler le comportement du talus sous différentes conditions de sollicitations. Ces modèles permettent d'évaluer la stabilité du talus et d'identifier les zones critiques. Différents types de modèles numériques peuvent être utilisés, tels que la méthode des éléments finis ou la méthode des différences finies. [7]

9.4.1 D Surveillance des talus :

La surveillance des talus rocheux permet de suivre leur évolution dans le temps et de détecter d'éventuels mouvements ou déformations. Différentes techniques de surveillance peuvent être utilisées, telles que le monitoring par des instruments géotechniques (extensomètres, inclinomètres, etc.), la photogrammétrie ou le lidar. [7]

Le choix de la méthode dépend des mécanismes de rupture identifiés et des contraintes du site.

9.4.2 Principaux facteurs influençant la stabilité des talus :

L'instabilité des talus rocheux, est reliée principalement à certains facteurs conditionnant et ceux déclenchant.

9.4.2 A Les facteurs conditionnant :

9.4.2 A - A La lithologie :

Elle représente un facteur conditionnant majeur dans la stabilité du versant aussi bien par la nature des matériaux (qualité géotechnique des roches) que par la structure (direction et pendage des couches, plans de schistosité, etc..) [21]

9.4.2 A - B La pente :

Elle est l'un des facteurs déterminant dans la genèse des glissements de terrain. En effet, pour qu'une rupture puisse se produire sur un versant, il faut qu'il y ait l'intervention de la gravité accompagnée d'un appel au vide. Ce phénomène ne pouvant prendre naissance sur desterrains plats, la prise en compte du degré de pente des versants et des couches est d'une importance capitale. [21]

9.4.2 A - C Le relief :

Par sa composante altimétrique représente aussi l'un des facteurs les plus déterminants dans la genèse des glissements de terrain.

9.4.2 A - D La proximité du réseau de drainage :

Elle est généralement liée au phénomène d'érosion hydrique parmi lesquels on trouve les sapements de berges. Ce phénomène se développe généralement dans les portions des cours d'eau où la vitesse d'écoulement est suffisamment puissante pour éroder la partie basale d'un versant. [21]

9.4.2 B Les facteurs déclenchants :

9.4.2 B - A Les précipitations :

Elle tiennent un rôle direct dans le déclenchement des mouvements de masse, par la diminution de la résistance au cisaillement et en rendant les terrains gorgés d'eau plus plastiques ; ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids. [21]

9.4.2 B - B La sismicité

Elle ne peut déclencher un mouvement de masse qu'à partir d'une magnitude critique d'activation de l'ordre $M = 4$. [21]

9.4.2 B - C Les cours d'eaux et les résurgences :

Ils sont souvent responsables indirectement dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, leur action érosive (ravinement, érosion régressive, etc...) engendre souvent déstabilisation de versants. L'action de l'eau peut être aussi de nature chimique lorsqu'elle entraîne une altération des matériaux par différentes actions comme l'oxydoréduction, l'hydrolyse, l'hydratation, la dissolution. [21]

9.4.2 B - D Le couvert végétal :

Il exerce essentiellement une action phyto stabilisante sur les versants à substrat argileux ou à rocheux développant une couverture d'altération argileuse peu épaisse. Son absence ou sa rareté sur des versants accélère l'effet érosif du ruissellement et des précipitations ; ce qui déclenche les mouvements de masse. [21]

9.5 Solutions de Confortement

9.5.1 Présentation des différentes techniques de confortement des talus rocheux selon l'UIC 719 R:

9.5.1 A Merlon de terre, avec chambre d'éboulis réalisé par terrassement d'une levée de terre :

Les merlons de terre avec chambre d'éboulis sont une solution de protection intéressante contre les chutes de blocs, mais leur faisabilité dépend des contraintes du site. Une étude géotechnique approfondie est nécessaire pour définir leurs caractéristiques optimales. [15]

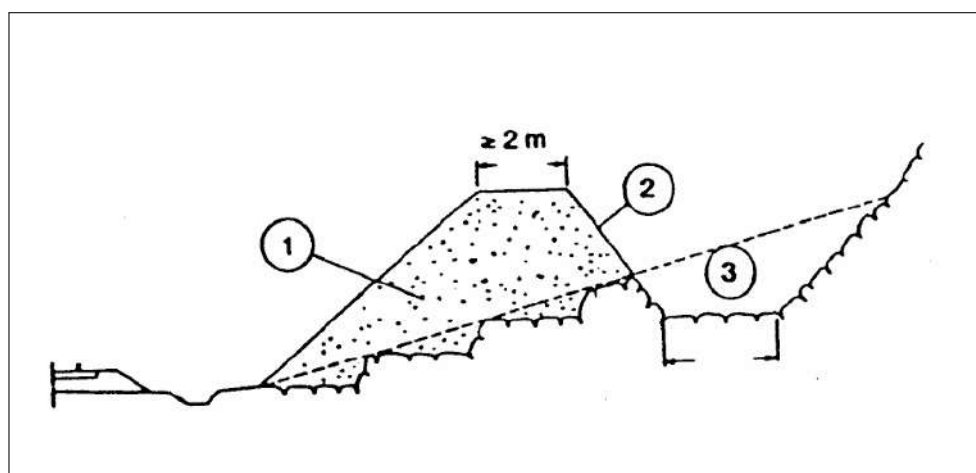


Figure 9.1. Exemple de Merlon de terre avec chambre d'éboulis(source:UIC 719R).

Avec :

- 1 : Merlon de terre.
- 2 : Pente la plus raide possible compatible avec le matériau.
- 3 : Chambre d'éboulis accessible à un engin de terrassement.

Avantages :

- Permettent de protéger efficacement contre les chutes de blocs et éboulements rocheux en amortissant l'impact.
- Utilisent des matériaux locaux comme la terre végétale pour leur construction.
- Offrent une protection durable et nécessitent peu d'entretien une fois en place.

Inconvénients:

- Nécessitent de l'espace pour leur implantation, ce qui peut être problématique dans certains sites exigus.

- Leur efficacité dépend de leur dimensionnement précis en fonction des caractéristiques des éboulements potentiels.
- Leur mise en place peut être complexe sur des terrains en pente ou instables.

9.4.1. B Ecrans en gabions :

les écrans de gabions offrent une solution de protection durable et esthétique contre les chutes de blocs et éboulements rocheux, avec une installation facile et rapide, une résistance à la corrosion, une intégration paysagère facile, et une absorption de bruit efficace. Cependant, les coûts initiaux peuvent être plus élevés que certaines alternatives, et l'installation peut nécessiter l'intervention professionnelle. [13]

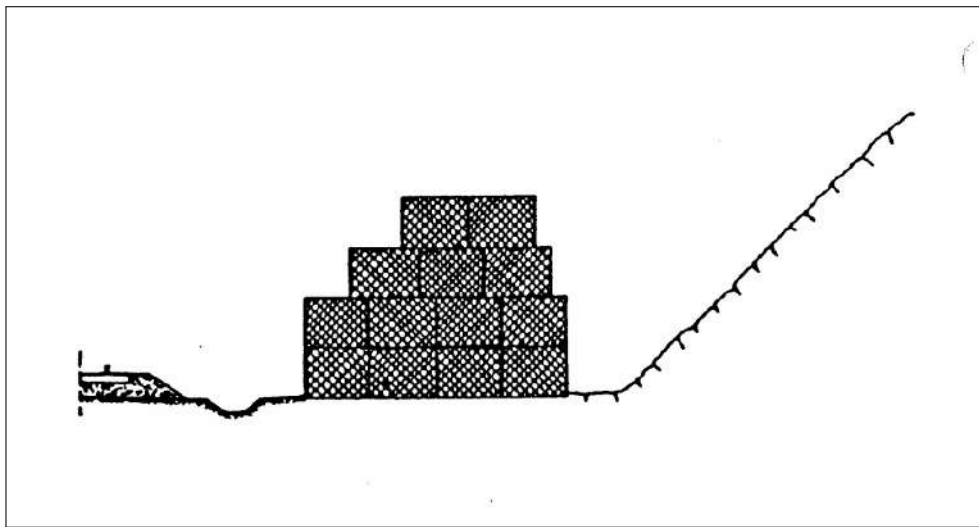


Figure 9.2. Exemple d'écrans en gabions(source:UIC 719 R).

Avantages :

- Installation facile et rapide.
- Très résistant (anticorrosion) et durable.
- Modulable et entièrement recyclable.
- Drainant, parfait pour les murs de soutènement.

Inconvénients :

- Coûts initiaux plus élevés que certaines alternatives.
- Nécessite une sélection soignée des matériaux pour le remplissage.
- La conception personnalisée peut augmenter les coûts.

9.4.1. C Ecrans disposés sur pentes :

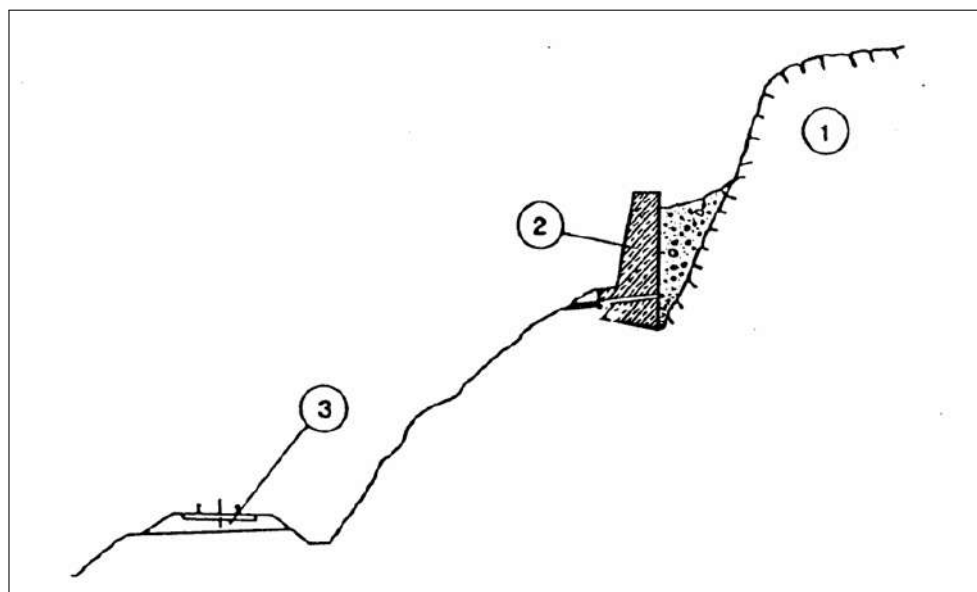


Figure 9.3. Exemple d'écrans sur pente(source:UIC 719 R).

Il y a intérêt à disposer les écrans à l'endroit où les blocs, dans leur trajectoire, sont susceptibles d'avoir une faible énergie cinétique. [17]

9.4.1. D Surlargeur en pied de talus de déblai rocheux (piège à cailloux) :

Cette surlargeur est actuellement en usage pour les talus de déblais rocheux, tant pour ce qui concerne les lignes nouvelles que pour ce qui concerne les travaux sur lignes anciennes comportant des retalutages. RITCHIE [18] a donné à cet égard des recommandations reproduites, mais bien entendu les dispositions sont à adapter à chaque cas particulier (présence éventuelle d'autres bermes sur la pente, nature et évolutivité du massif, etc). [17]

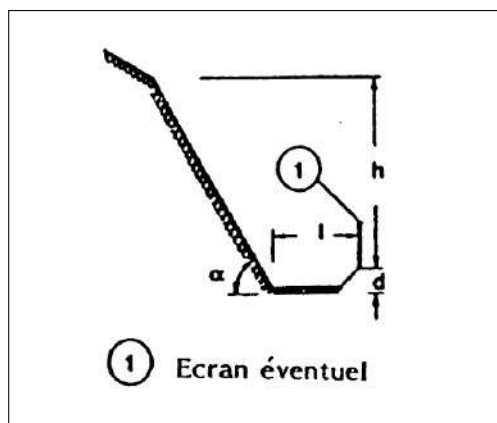


Figure 9.4. recommandations pour le dimensionnement des surlargeurs en pied de talus en vue de la protection contre les chutes de pierres (d'après RITCHIE) (source:UIC 719 R)

Table 9.1. Les paramètres liés à l'écran éventuel (source: UIC719 R).

Inclinaison du talus α (degrés)	Hauteur du talus h (mètres)	Largeur du piège l (mètres)	Profondeur d (mètres)
80 à 90	5-10	3	1
	10-20	5	1.5
	> 20	6.5	1.5
75	5-10	3	1
	10-20	5	1.5
	20-35	6.5	2
	> 35	8	2
65	5-10	3	1.5
	10-20	5	2
	20-35	6.5	2 (1)
	> 35	8	3 (1)
55	0-10	3	1
	10-20	5	1.5 (1)
	> 20	5	2 (1)
45	0-10	3	1
	10-20	5	1.5 (1)
	> 20	5	2 (1)

9.4.1. E Protection par le béton projeté :

Ce procédé peut être utilisé lorsque la roche ne comporte pas de fraction argileuse notable. L'enduit doit être armé (grillage, treillis soudé, etc) et fixé à la paroi par des épingles scellées ou des boulons d'ancrage. Le béton est projeté en plusieurs passes jusqu'à une épaisseur minimale de 0.05m environ sur les points les plus saillants de la paroi. En cas d'infiltration d'eau, il convient de veiller tout particulièrement à l'écoulement de celle-ci, en raison notamment du risque d'éclatement du au gel. [17]

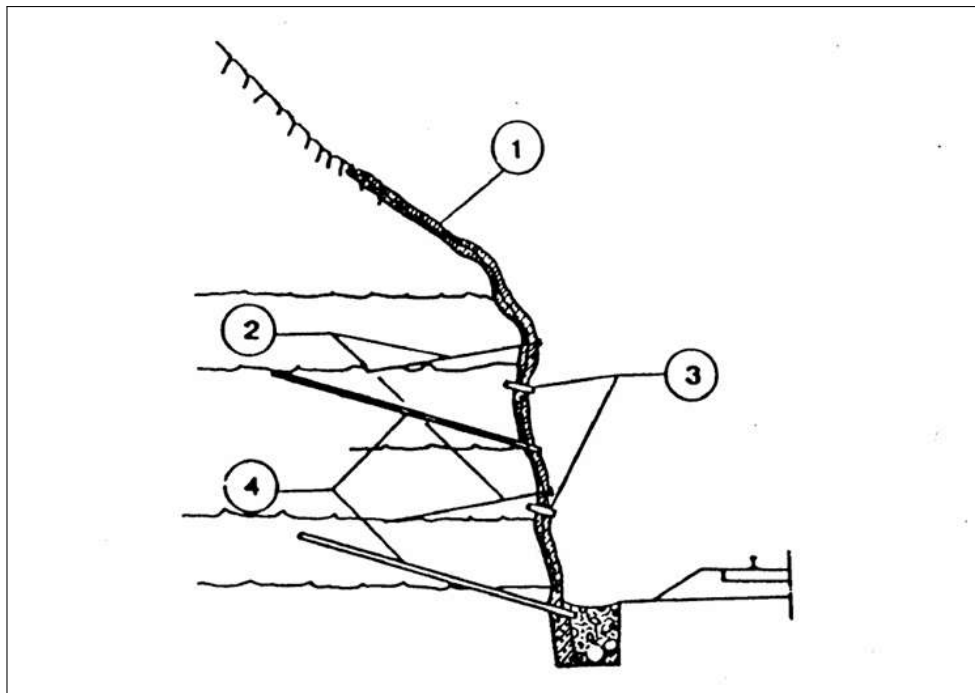


Figure 9.5. Exemple de protection par le béton projeté(source:UIC719 R).

Avec :

- 1 : Béton projeté.
- 2 : Ancrages.
- 3 : Barbacanes.
- 4 : Drains subhorizontaux.

Avantages :

- Le béton projeté adhère bien au support et forme une couche protectrice solide contre les chutes de pierres.
- Le béton projeté a une bonne résistance en compression et à la pénétration d'eau sous pression, ce qui le rend durable.
- La projection du béton se fait de manière circulaire pour homogénéiser le mélange et maîtriser l'épaisseur de la couche.

Inconvénients :

- Le support doit être peu friable et stable pour assurer une bonne adhérence du béton projeté.
- L'obtention d'éprouvettes représentatives pour les essais est difficile avec le béton projeté accéléré.

- Le choix du bon matériel et l'expertise des opérateurs sont essentiels pour une projection de qualité.

9.4.1. F L'ancrage précontrainte :

Ce procédé nécessite une bonne connaissance du massif dans lequel scellement AB est réalisé.

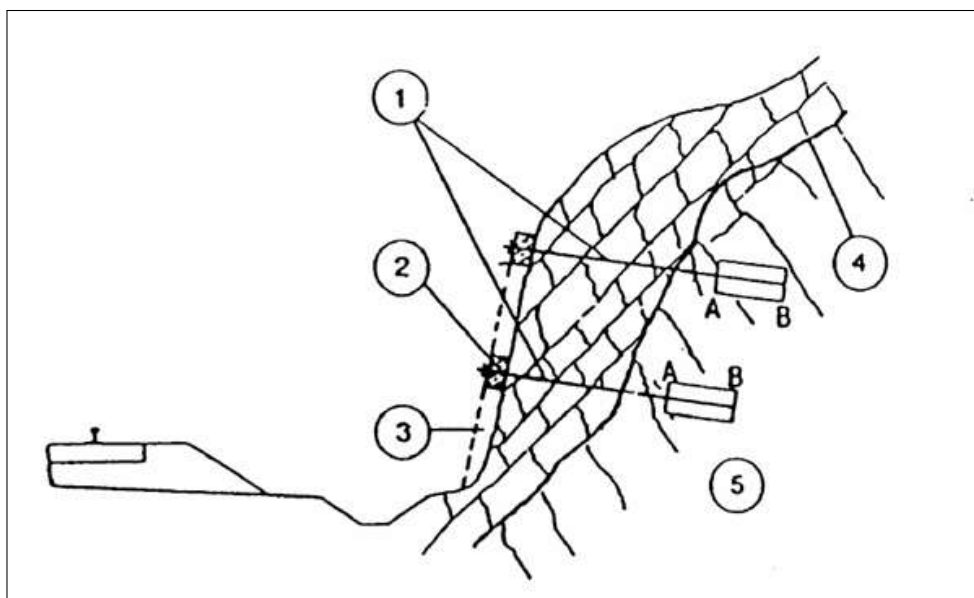


Figure 9.6. Exemple d'ancrage précontrainte(source UIC 719 R).

Avec :

- 1 : Tirant injecté.
- 2 : Poutre de répartition de l'effort.
- 3 : Support éventuel.
- 4 : Surface de rupture profonde.
- 5 : Surface saine.

Avantages :

- Les ancrages précontraints améliorent significativement la résistance du talus rocheux en équilibrant les forces du terrain. Ils évitent ainsi les glissements de terrain.
- Il contribue à diminuer les déplacements horizontaux des talus après le confortement, ce qui est essentiel pour assurer la sécurité des infrastructures et des personnes. [21]
- En réduisant l'amplitude des instabilités et en assurant la stabilité des talus contre la chute de pierres et blocs, l'ancrage précontraint améliore le confort de conduite en toutes conditions météorologiques[21]

Inconvénients :

- Après le confortement par ancrage précontraint, il peut y avoir une légère augmentation des déplacements verticaux dans certains cas, ce qui nécessite une attention particulière pour maintenir la stabilité[21]
- Le comportement mécanique des massifs rocheux renforcés par des barres d'ancrage passif est complexe, nécessitant une analyse approfondie pour garantir l'efficacité du confortement. [25]
- L'augmentation du niveau de la nappe phréatique peut entraîner une augmentation des déplacements horizontaux et verticaux, ce qui peut affecter la stabilité des talus rocheux [21]

9.4.1. F L'ancrage non précontrainte :

l'ancrage non précontraint est une solution intéressante pour stabiliser des talus rocheux de hauteur modérée, de par sa simplicité et son coût réduit. Cependant, il présente des performances mécaniques et une durabilité limitées par rapport à la précontrainte, nécessitant un dimensionnement adapté et un suivi régulier. [7]

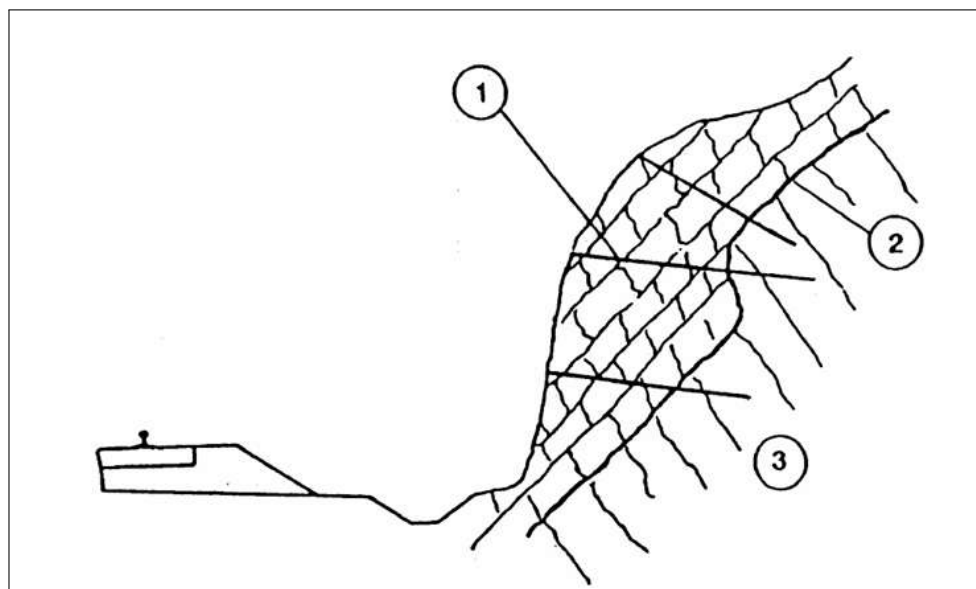


Figure 9.7. Exemple d'ancrage non-précontrainte.

- 1 :** Ancrage passif.
- 2 :** Surface de rupture profonde.
- 3 :** Roche saine.

Avantages :

- Simplicité de mise en œuvre et coût réduit par rapport à la précontrainte.[7]
- Pas besoin de vérins hydrauliques et de têtes d'ancrage spécifiques.
- Risque de corrosion des ancrages limité car ils sont noyés dans le béton.[7]

Inconvénients :

- Résistance mécanique et durabilité inférieures à la précontrainte.
- Risque de relaxation des ancrages dans le temps, nécessitant un suivi régulier. [7]
- Moins adapté pour les talus de grande hauteur ou soumis à des charges importantes.[7]

9.6 Études de Cas :

9.6.1 Introduction :

L'an deux mille vingt deux et le dix du mois de février a 9H, une inspection de la zone de déblai rocheux entre le Pk 05+600 et le Pk 07+100 a eu lieu par le géotechnicien de l'organisme de contrôle et suivi 3S sus cité, et après la constatation et l'analyse de l'état de fait, un rapport technique en conséquence est élaboré, dont la teneur se présente ci-après.[16]

9.6.2 Nature des travaux :

Réalisation des travaux de déblai de l'emprise ferroviaire exécutés dans une zone de déblai rocheux (**grés mi-dur avec intercalation de marne sur certains profils**) allant jusqu'à 25 m de hauteur avec bernes intermédiaires d'une Pente de talus compris entre 1H/1V 3H/2V, mais les profils en travers courant sont conçus avec un talus de 67% de pente.

- Zones donnant lieu au risque de détachement et chute de blocs engendrés par la présence de fractures dues à l'explosif.
- Présence des points de ruissellement d'eau emmagasinée dans les alternances marneuses.

9.6.3 Elements de conception de L'APD et du dossier d'exécution :

Pente des talus :

l'étude de stabilité des talus des zones de déblai a conduit a adopter un talus de 2H/1V afin d'assurer un coefficient de sécurité $F_s > 1.5$

Aussi l'étude prévoit une berme de 3 m ayant une pente suffisante vers le pied de talus afin de retenir les éboulements venant de l'érosion des surfaces des talus.

9.6.4 Extrait du rapport geotechnique etablie par SETIRAIL pour les zones de déblais :

Déblais PK 06+000 au PK 07+000 :

L'analyse de ce déblai comportant trois variantes de pentes donne les résultats suivants :

Table 9.2. Résultats d'analyse par Talren4 pour le déblai du PK 06+000 au PK 07+000.

Analyse	F.S recom- mandé	PENTE 3H/2V AVEC BERME DE 3M	PENTE 2H/1V AVEC BERME DE 3M
long terme	1.5	1.39	1.52
court terme	1.3	1.27	1.38
pseudo-statique	1.0	1.03	1.07

9.6.5 Clauses contractuelles regissant les travaux de déblais rocheux:

Extrait du CPS-STG (Page 67) :

ARTICLE 3.2 AUTRES MATERIAUX - DEBLAIS – REMBLAIS

3.2.1 DEBLAIS :

Les talus destinés à rester exposés de façon définitive ou à être recouverts de terres végétales, doivent être soigneusement réglés ou gradés, au bulldozer, à la main ou suivant toute autre méthode, au choix de l'Entrepreneur. Le réglage des talus à respecter sont indiqués aux plans.

Extrait du définition des prix (Page 22)

PRIX 1105-A DEBLAIS ROCHEUX NON RIPPABLES OU AVEC EMPLOI D'EXPLOSIF, PRÉDÉCOUPAGE, POUR LA MISE EN REMBLAI

- Le réglage et le dressage des talus et des risbermes intermédiaires éventuelles avec leur fossé longitudinal d'assainissement s'il y a lieu .
- le réglage et le dressage des talus et risbermes de pied de talus au fond des tranchées avec fossé de plate-forme.

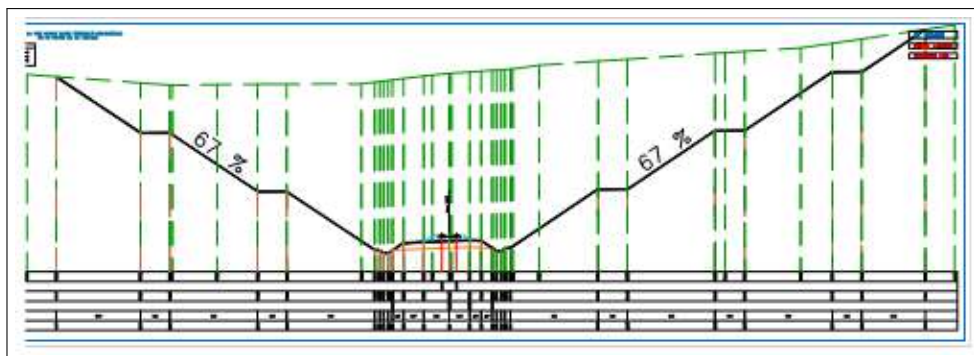


Figure 9.8. Profil en travers courant PK 05+000 (pente : 3H/2V)

A la lumière de ce constat, il est nécessaire de mettre en conformité les travaux de déblai au clauses du marché en vigueur d'une part et la mise a niveau du système d'assainissement et de drainage des eaux pluviales déjà mise en œuvre d'autre part.

9.7 Les techniques de confortement mise en oeuvre :

En divisant la zone de déblai rocheux en trois parties distinctes, il est possible d'appliquer des solutions de confortement adaptées aux conditions locales de chaque section.

Section 1 : Du PK 05+600 au PK 06+100 : confortement par les écran de gabion.

Section 2 : Du PK 06+100 au PK 06+600 : confortement par le béton projeté avec clouage.

Section 3 : Du PK 06+600 au PK 07+100 : confortement par les fillets de protection.

9.7.1 L'écran de gabion du PK 05+600 au PK 06+100 :

La mise en oeuvre de cette technique exige un certain espace à coté de la voie ferrée pour garantir une installation stable et durable, cela peut poser des défit dans les zones ou l'espace est reistreint.

9.7.2 La zone d'application de cette méthode :



Figure 9.9. La zone nécessitant une protection en écran de gabion.

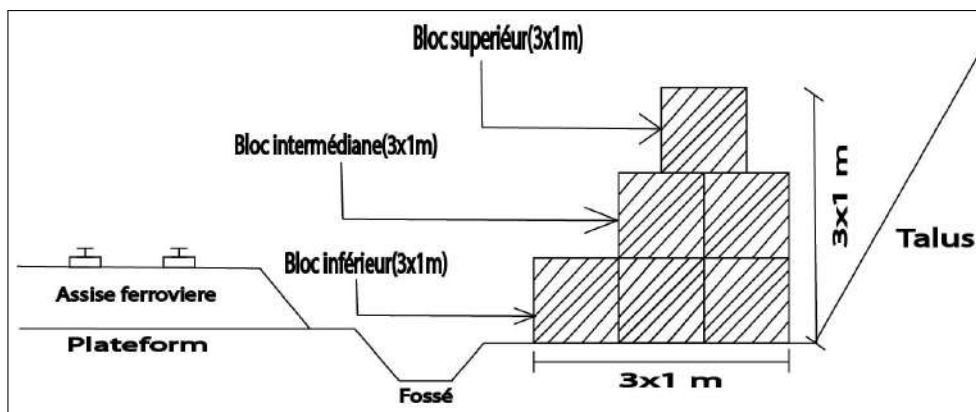


Figure 9.10. chambre d'éboulis d'un écran en gabion.

9.8.1 A Analyse des dimensions et de la structure :

Table 9.3. Dimensions des blocs de gabion.

Élément	Largeur (m)	Hauteur (m)
Bloc inférieur	3	1
Bloc intermédiaire	3	1
Bloc supérieur	3	1

9.8.1 B Structure globale :

- La structure est constituée de trois niveaux.
- la hauteur totale de l'écran de gabion est de 3 mètres.
- la base de l'écran de gabion a une largeur de 3 mètres ce qui permet une bonne stabilité.
- chaque niveau supérieur est réduit, créant un effet pyramidal inversé.

9.8.1 C Considérations supplémentaires :

Fondations :

Une large base nécessite des fondations bien préparées pour éviter l'affaissement. Cela peut inclure le compactage du sol et l'ajout d'une couche de matériau de fondation pour stabiliser les gabions.

Drainage :

Assurer un bon drainage à l'aide d'une pente vers le fossé bétonné autour des gabions pour éviter l'accumulation d'eau, ce qui pourrait affecter leur stabilité à long terme.

9.7.3 Les motifs de choix :

- Les écrans de gabions sont très efficaces pour absorber et dissiper l'énergie des pierres en chute. Ils servent de barrière physique qui arrête ou ralentit les pierres.
- Les gabions peuvent résister à des conditions météorologiques extrêmes et à l'érosion.
- Les gabions offrent une apparence naturelle qui peut être plus esthétique que des solutions artificielles comme le béton.
- les gabions peuvent être facilement réparés en remplaçant les parties endommagées, ce qui réduit les coûts et les perturbations par rapport à d'autres types de structures.



Figure 9.11. Exemple d'écran en gabion.

9.7.4 Le béton projeté avec cloutage du PK 06+100 au PK 06+600 :

9.7.5 La zone d'application de cette méthode :



Figure 9.12. La zone nécessitant une protection par le béton projeté avec cloutage.

9.8.3 A Définition :

le béton projeté est associé aux faces rocheuses boulonnées et recouvertes de treillis et pour lesquelles un risque d'altération est à craindre dans le temps. Le béton projeté est constitué d'un mélange comprenant des agrégats supérieurs à 10 mm (à ne pas confondre avec un gunitage qui est une projection de mortier efficace seulement en provisoire ou en réparation d'ouvrage),

d'une épaisseur minimum de 10 cm sur pointes de rocher. Un drainage par barbacanes, ou simplement un trou réalisé a posteriori, est à exécuter.[12]

9.8.3 B Mode d'exécution :

La solution de projection par voie sèche avec ajout de l'eau à la lance, est recommandée. Cette projection se fait sur une surface saine, exempte de débris rocheux ou autres. Elle s'exécute sur une zone traitée antérieurement avec des boulons et du treillis, en deux couches une première servant à rétablir une surface uniforme, la deuxième servant à protéger le treillis et à réaliser ainsi un voile mince armé. L'application devra se faire par une main d'oeuvre spécialisée. Si le béton est produit sur place, un contrôle du mélange et de ses caractéristiques est à prévoir.

Nota: ces précautions sont obligatoires, car une mauvaise réalisation du béton projeté entraîne relativement souvent des désordres (chute de panneaux projetés, dégradation très rapide par suite du surdosage en adjuvant et en ciment, etc...). [12]

9.7.6 Le clouage (les tirants d'ancrage):

Le clouage est une technique de construction utilisée pour améliorer la stabilité d'un massif de sol ou de roche par la mise en place d'éléments de renforcement (Clous).

Les clous, appelés aussi ancrages passif, sont constitués par des armatures en acier scellées dans le terrain par injection de coulis de ciment. Ils mobilisent des forces de frottement sur la totalité de leur longueur, ce qui contribue à améliorer les conditions de stabilité. [19]

9.8.4 A Mode d'exécution :

La réalisation s'effectue en 3 phases :

- forage du trou (diamètre de 64 à 140mm) à l'aide de foreuse utilisant des techniques de forage différentes selon les types de sols rencontrés.
- Mise en place d'armature, équipée de centreurs et d'une canule d'injection.
- Scellement de l'armature au terrain par injection de coulis de ciment. [19]

9.7.7 calcul de stabilité :

La vérification de stabilité des massifs rocheux nécessite un calcul de coefficient de sécurité

$$F_s = \frac{C * L + \gamma * H * L * \cos(\beta) * \tan \phi}{\gamma * H * L * \sin(\beta)} \quad (9.1)$$

Supposons les données suivantes :

-Hauteur du talus (H) : 4 m

-Angle de la pente (β) : 45°

-Poids volumique du sol (γ) : 18 kN/m³

-Cohésion (c) : 5 kN/m² (sol sans cohésion)

-Angle de frottement interne (ϕ):25°

-Longueur de la section (L) : 10 m

$$F_s = \frac{5 * 10 + 18 * 4 * 10 * \cos(45) * \tan(25)}{18 * 4 * 10 * \sin(45)}$$

$F_s = 0.56 < 1.5 \implies$ Le coefficient de sécurité est insuffisant, donc des tirants d'ancrage sont nécessaires.

Ajout de tirants d'ancrage :

Pour augmenter le coefficient de sécurité, des tirants d'ancrage peuvent être ajoutés. Ces tirants ajoutent une force supplémentaire de stabilisation.

Calcul de la force de stabilisation nécessaire :

Pour obtenir un coefficient de sécurité de 1.5, la force de stabilisation nécessaire est calculée comme suit :

$$\Delta F = F_s * F_m - F_s 1$$

d'ou :

Fs : force stabilisatrice.

Fm : force motrice.

ΔF : la force de glissement.

Alors :

$$\Delta F = 509 * 1.5 - 287 \longrightarrow \Delta F = 476KN$$

Puisque la force de glissement ΔF est une force motrice dans le sens du glissement, nous devons la convertir en une force axiale dans le sens du tirant. Alors :

$$T_A = \frac{\Delta F}{\tan(25)} = \frac{476}{\tan(25)} = 1022KN$$

Avec :

T_A = l'effort de traction de service.

Détermination de T_G : [10]

$$T_A \leq 0.60T_L$$

T_L : la force de traction correspondant à la limite élastique de l'armature du tirant.

$$T_L \geq \frac{1022}{0.6} \longrightarrow T_L = 1703KN$$

On prend le type du tirant dont les caractéristiques suivantes :

Tirant type **A3**.

Section d'armatures : 940mm² (**10T13**)

Nombre de tirants nécessaires :

Table 9.4. les valeurs des tractions caractéristiques T_c et T_A pour les tirants des plots A et B, ainsi que les valeurs des fluages correspondants, calculés pour des intervalles de 10 à 100 mm.[9]

Tirant	T_c (kN)	f_{TC} (mm)	T_A (kN)	f_{TA} (mm)	T_L (kN)	T_L/T_A
A_1	1050	0.4	930	0.3	1200	1.30
A_2	850	0.4	760	0.3	1100	1.45
A_3	850	0.5	750	0.3	1200	1.60
A_4	850	0.5	760	0.4	1030	1.35
B_1	600	0.5	530	0.3	800	1.50
B_2	700	0.6	620	0.5	900	1.45
B_3	850	0.6	760	0.5	1100	1.45

Chaque tirant d'ancrage a une capacité de charge de 750 kN, le nombre de tirants nécessaires (N) est :

$$n = \frac{\text{Force de traction limite élastique}}{\text{capacité de charge de chaque tirant}}$$

$$n = \frac{1703}{750} \Rightarrow n = 2.3$$

Comme on ne peut pas installer une fraction de tirant, on arrondit à 3 tirant pour chaque section de 10 m. **3*(13T10)**.

l'espacement entre les tirants est de 1.7 m dans le sens horizontale et vertical.

Calcul de la longueur scellée L_s :

$$T_L = \pi * D_s * L_s * q_s \Rightarrow L_s = \frac{T_L}{\pi * D_s * q_s}$$

$$D_s = \alpha * D_d$$

Avec :

T_L : traction limite du tirant ou du micropieu isolé.

D_s : diamètre moyen du bulbe de scellement.

q_s : frottement latéral unitaire limite s'exerçant le long de la surface latérale du bulbe. $q_s = 0.4$ MPa (Marne)

D_d : Diamètre de forage.(100 mm)

α :coefficient majorateur. $\alpha(\text{Marne}) = 1.8$

$$D_s = 1.8 * 100 = 180\text{mm}$$

Alors :

$$L_s = \frac{750}{3.14 * 0.18 * 400} \Rightarrow L_s = 3.3m$$

$$L_{total} : L_s + L_{libre} \Rightarrow L_t = 3.3 + 3,6 = 6.9m$$

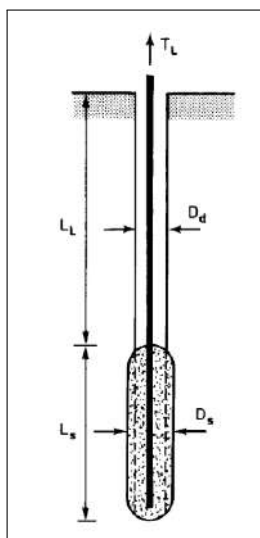


Figure 9.13. Représentation schématique d'un tirant

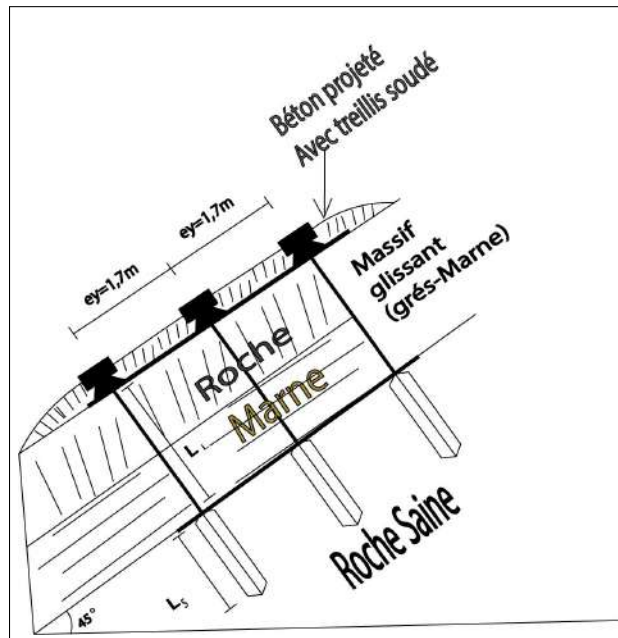


Figure 9.14. Coupe transversale d'un talus rocheux renforcé par des tirants d'ancrage et béton projeté.



Figure 9.15. le béton projeté avec cloutage.

9.7.8 Le fillets de protection du PK 06+600 au PK 07+100 :

9.7.9 La zone d'application de cette méthode :



Figure 9.16. La zone nécessitant une protection par le fillet de protection.

9.8.4 A Définition :

Il s'agit d'un grillage ancré au sommet du talus rocheux et qui pend le long du talus. Les panneaux de grillage sont élingués en pied de talus. Son objectif est de canaliser la chute de blocs afin de les faire tomber en dehors de la chaussée. [12]

9.8.4 B Mode d'exécution :

Il est mis en place depuis le haut du talus. Les ancrages sont réalisés en premier, à l'aide de barres d'acier TOR \varnothing 10 mm (crayons) scellés au mortier. Le grillage est déroulé à partir de ces points. Les panneaux sont ensuite élingués les uns aux autres. [12]

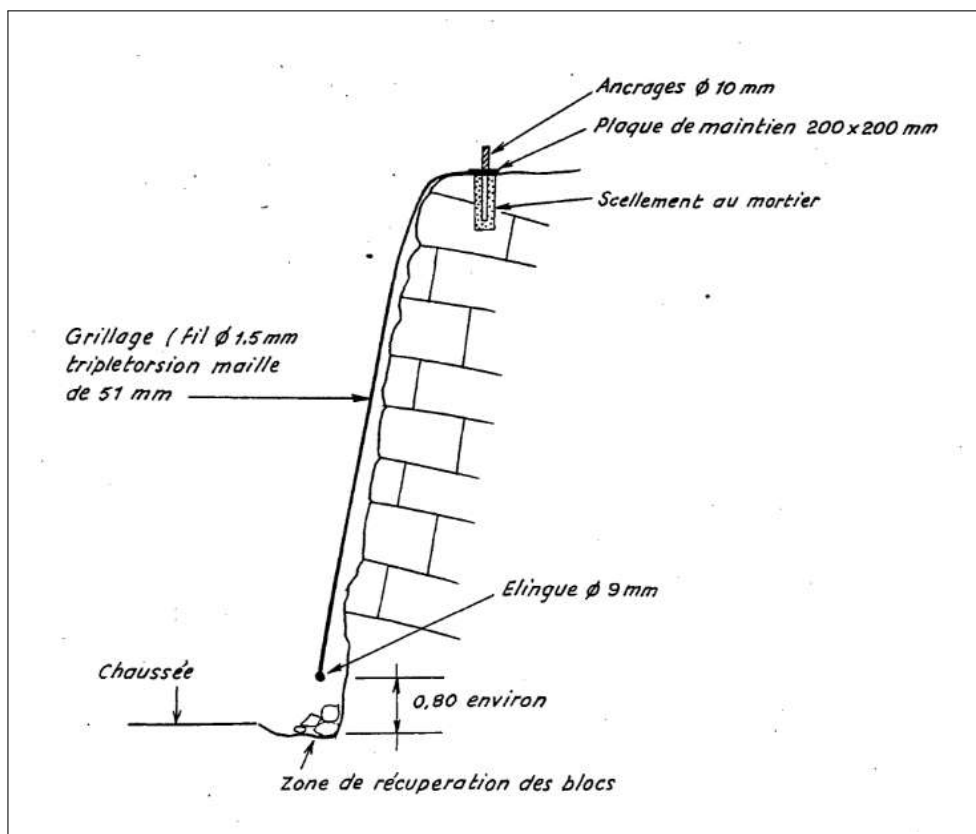


Figure 9.17. Exemple de fillet de protection(source:brgm1983).



Figure 9.18. Exemple de fillet de protection(source:brgm1983).

Un devis quantitatif estimatif des travaux de confortement est élaboré et ci-joint dans la list des annexes.

9.8 Conclusion :

La stabilisation des talus rocheux est essentielle pour prévenir les glissements de terrain et assurer la sécurité des infrastructures. Les principales méthodes utilisées incluent les écrans de gabions, le béton projeté avec tirants d'ancrage, et les filets de protection. Les écrans de gabions retiennent les débris, le béton projeté avec des tirants d'ancrage stabilise et renforce la pente, tandis que les filets de protection empêchent les chutes de pierres. Une combinaison de ces méthodes permet de garantir une stabilité optimale et de sécuriser les zones environnantes.

Conclusions générales

En retraçant l’historique des chemins de fer, nous avons saisi l’évolution des techniques et des normes qui ont façonné le développement de cette infrastructure essentielle.

La présentation de notre projet a mis en lumière les choix stratégiques et les étapes méthodologiques nécessaires à la conception et à la réalisation d’un tel ouvrage.

L’étude détaillée de ce tronçon de la liaison ferroviaire Tissemsilt - Bouguara avec stabilisation des talus rocheux nous a permis de comprendre et de maîtriser les multiples aspects techniques et environnementaux inhérents à un projet ferroviaire d’envergure.

Le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers ont été élaborés avec précision, permettant une modélisation exacte des besoins en matériaux et en main-d’œuvre, notamment par le calcul des cubatures.

Nous avons ensuite détaillé les aspects structurels, en distinguant la structure d’assise et la superstructure ferroviaire. Ces éléments sont cruciaux pour garantir la stabilité et la durabilité de la voie, assurant ainsi la sécurité et le confort des usagers.

L’étude hydrologique et hydraulique a été primordiale pour prévenir les risques liés à l’eau, tels que les inondations ou l’érosion, en proposant des solutions adaptées pour la gestion des eaux de ruissellement et des crues.

Enfin, la stabilisation des talus rocheux sur une distance de 1,5 km dans la zone de déblai a été abordée avec une attention particulière. Nous avons proposé des techniques de confortement adaptées, visant à prévenir les glissements de terrain et à assurer la pérennité de l’infrastructure.

En conclusion, cette étude a mis en évidence la complexité et la nécessité d’une approche intégrée et multidisciplinaire pour la réalisation d’un projet ferroviaire. Chaque étape, de la conception à la réalisation, a été abordée avec rigueur et précision, garantissant ainsi un ouvrage fiable et durable, répondant aux exigences de sécurité et de performance. Les solutions techniques proposées, notamment pour la stabilisation des talus rocheux, constituent une réponse adaptée aux défis géotechniques rencontrés, contribuant à la réussite globale du projet.

Références

- [1] Données de projet voie ferré tissemsilt bougezoul anesrif.
- [2] Union internationale des chemin de fer.
- [3] BARKA ABSAKINE ABDELRASSOUL and MBAINAISSEM SAMBIM DANBE. Etude de la ligne ferroviaire bouchegouf–el khroub. 2016.
- [4] HAJEM ALWADI and JOSEPH SENDAWI. "railway - chemin de fer", <https://arab-ency.com.sy/ency/details/6456/11/>.
- [5] SIHEM AMMOURI and CHAHINEZE MALKI. Etude de la nouvelle ligne ferroviaire laghouat-ghardaia (ligne à voie unique à vitesse 220km/h). tronçon: By pass 1 (pk0-pk18) à partir de pk89+ 470 de la ligne principale avec aménagement de la gare de hassi rmel. Master's thesis, Université Mouloud Mammeri, 2023.
- [6] K ARAB and H BOUZIANE. Caractérisation géotechnique des granulats de la région de sétif en vue de leur utilisation comme matériau de ballast. *Mémoire ingénieur, université FERHAT ABBAS de SETIF*, 2009.
- [7] AMINE BOUDRAA, SAID KERROUM, and HAMZA Encadreur KEBAB. *Etude de stabilité des talus rocheux Cas de la pénétrante autoroutière Djendjen-El-Eulma*. PhD thesis, Université de Jijel, 2019.
- [8] OUGUENOUN HAMZA BOUZEBODJA, MANAL et. Ligne ferroviaire el affroun–tipaza: Etude en apd du tronçon el affroun-bourkika avec aménagement d'une gare . université mouloud mammeri tizi ouzou, 2022.
- [9] M. Bustamante, F. Delmas, and J. Lacour. Comportement des tirants précontraints dans une argile plastique. *Behaviour of prestressed anchors in plastic clay*, 1981.
- [10] M. Bustamante and L. Logeais. Nouveautés en matière de tirants d'ancrage, 3^e édition des recommandations du bureau securitas, ta 85. In *Conférence ITBTP*, Paris.
- [11] MARIE BEUZEVILLE BYLES. "historique de chemin de fer", <https://shorturl.at/0wkel>.
- [12] Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Talus et versants rocheux sur certains secteurs le long des c.d.464,39 et 104 dans le departement du doubs, 83-sgn-347-frc , <https://infoterre.brgm.fr/rapports/83-sgn-347-frc.pdf>. Technical report, 1983.

- [13] Guide des Travaux. Installer un mur en gabion dans son jardin, <https://guidedestravaux.com/mur-en-gabion-avantages-inconvenients-utilite/>, s.d. Consulté le 22 mai 2024.
- [14] SAMIR DJELLOULI and MOHAMED DJOUBER. Mémoire de master . étude et dimensionnement d'un tronçon ferroviaire à trafic mixte , projet de la nouvelle ligne ferroviaire saïda-tiaret du pk 109+ 425 au pk 119+ 450 . université ibn khaldoun de tiaret., 2020.
- [15] L EFFENDIANTZ, P GUILLEMIN, L ROCHET, M PAYANY, and others . Livre Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux. Number ALEABOUL. 2004.
- [16] RADIM GHELAMALLAH. Rapport technique de constat sur etat des lieux (zone de déblai rocheux entre le pk 05+600 au pk 07+100). Technical report, 3S, 2022.
- [17] Tous les membres de l'UIC. ouvrages en terre et couche d'assise ferroviaires,nouvelle edition de la fiche n719, 1994.
- [18] RITCHIE Arthur M. Evaluation of rockfall and its control,highway research record,vol. 17, 1963.
- [19] Moducal. Ancrage - clouage,<https://moducal.nc/nos-prestations/ancrage/clouage/>, 2024. Accessed: 12-06-2024.
- [20] M.MEGUELLATI ABDE RAHIM. Mémoire de master . étude en apd de la nouvelle ligne ferroviaire a double voies électrifiées affroun-tipaza du pk 30+000 au pk 38+000 . universite ferhat abbas setif., 2019.
- [21] MOUCHIRA RAMDANI. Mémoire de master . étude de confortement d'un talus rocheux contre la chute de pierres sur la rn 80 du pk 66+ 800 au pk 67+ 300, wilaya de guelma . université 08 mai 1945 de guelma. 2023.
- [22] MOKHTARIA SAADAoui and FATIHA ZEBoudj. Mémoire de master . étude d'un tronçon de la ligne ferroviaire tissemsilt bougezoul . université ibn khaldoun de tiaret., 2020.
- [23] LYnda SAIM and TAHAR SID ALI. Mémoire de master . étude du tracé de la voie ferrée thénia tizi ouzou tronçon thénia naciria du pk 0+ 000 au pk 26+ 200 . université mouloud mammeri tizi ouzou., 2022.
- [24] ABDELHAMID YELLOU. Mémoire de master . suivi de la réalisation du contournement ferroviaire de la ville de biskra sur 18.8km . université mohamed khider-biskra, 2022.
- [25] FELLA ZENATI. Mémoire de magister . contribution a l'étude du comportement mécanique des massifs rocheux renforcés par ancrage passif . université larbi-tébessi. tebessa, 2007.

Annexes

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DES TRAVAUX :

N° DES PRIX	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	UNITE	Prix Unitaire	Quantité	Montant
LOT : 02 - TERRASSEMENTS GENERAUX					
1101	Décapage de terre végétale	M2	260.000	100 000.00	26 000 000.00
1102	Déblais en terrain meuble mis en remblai	M3	260.000	228 946.00	9 525 960.00
1112	Mis en remblai de terrain meuble issu de lieux d'emprunt	M3	435.000	103 247.80	44 912 793.00
1120	Couche de fondation	M3	1 400.000	24 080.00	33 712 000.00
1121	Sous ballast	M3	3 200.000	24 080.00	77 056 000.00
SOUS TOTAL (01)					241 206 753.00
LOT : 04 -DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS					
1232	Déblai des fossés, perrés maçonnés des fossés et fixation des talus	M	6 000.000	3 000.00	18 000 000.00
1233	Fossé revêtu en béton armé	M	22 000.000	6 000.00	132 000 000.00
1234	Semi tuyaux pour bermes	M	7 000.000	500.00	3 500 000.00
SOUS TOTAL (02)					153 500 000.00
04.03 - BUSES ET DALOTS					
1243	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1000 mm	M	35 000.000	100	3 500 000.00
1244	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500 mm	M	35 000.000	150	5 250 000.00
1245	Dalot en béton armé type 1, section de tuyaux en béton armé diamètre 2000 mm	M3	40 000.000	120	4 800 000.00
1247	Dalot en béton armé type 3; coupe transversale 3,0 X 3,0m	M3	40 000.000	80	3 200 000.00
1248	Dalot en béton armé type 4; coupe transversale 4,0 X 3,0m	M3	40 000.000	60	2 400 000.00
1249	Dalot en béton armé type 5; coupe transversale 5,0 X 3,5m	M3	40 000.000	60	2 400 000.00
1239N	Chemisage en béton armé des buses	M3	25 000.000	300	7 500 000.00
1240N	Plus value pour bétonnage en milieu agressif (dosage 350 KG/M3)	M3	951.040	140	133 145.60
1253N	Badigeonnage au flint kot des surface enterrée des ouvrages de drainage	M2	350.000	500	175 000.00
1259N	Remblais technique GNT	M3	2 900.000	1500	4 350 000.00
1260N	Béton armé pour têtes des buses	M3	25 000.000	120	3 000 000.00
SOUS TOTAL (03)					36 708 145.60
LOT : 05 -TRAVAUX VOIE					
2004	Ballastage voie nouvelle	M3	4 164.450	17000	70 795 650.00
2005	Fourniture des traverses bi-bloc	U	6 087.270	9500	57 829 065.00
2007	Fourniture des rails NEUFS UIC 60(60,34 Kg/m)	Tonne	106 863.830	750	80 147 872.50
2008	Fourniture des attaches pour rails UIC 60	U	419.540	40000	16 781 600.00
2009	Pose de la voie	ML	5 898.170	6020	35 506 983.40

2020	Anticheminants	U	856.300	950	813 485.00
2101	Borne Kilométrique	U	7 831.330	6	46 987.98
2102	Poteau hectométrique	U	6 040.030	54	326 161.62
2103	Borne repère	U	5 702.370	83	473 296.71
2104	Coupe de rail	U	853.900	10	8 539.00
2105	Soudage Aluminothermique	U	20 562.740	64	1 316 015.36
2110	Poteaux de déclivité	U	1 835.360	4	7 341.44
2106N	Soudage électrique du rail	U	17 969.740	300	5 390 922.00
SOUS TOTAL (04)					269 443 920.01

TOTAL GENERAL EN HT : **834 021 994.15 DA**

ESTIMATION DES TRAVAUX DE PROTECTION DES TALUS

(DEBLAI ROCHEUX DU PK 5+800 AU PK 07+200)

N°	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	UNITE	Prix Unitaire	Quantité	Montant
01	Stabilisation des talus par la projection par voie humide de deux couches de béton BCN: CPJ-CEM II/A 32,5 - F - B 25 - 5/15 - E: 2a - BA - P 18-305, de 10 cm d'épaisseur totale.	M2	4 000	10000	40 000 000.00
02	Ancrage permanent d'un écran au terrain, via perforation de l'écran et du terrain, avec tubage de 133 mm de diamètre extérieur , avec une inclinaison de 30° par rapport au plan horizontal, allant jusqu'à 17,5 m de longueur, formé de 3 câbles composés de cordons tressés en acier, graissés et gainés dans un tube en PE; injection sous pression via le système d'injection globale unitaire (IGU), de lait de ciment CEM I 42,5N , avec un rapport eau/ciment de 0,4 , dosage au poids; pour recevoir la tête d'un ancrage permanent.	ML	10 000	5000	50 000 000.00
03	Tête d'ancrage permanent, pour 3 câbles tressés en acier, de 0,6" (15,2 mm) de diamètre nominal, constituée de plaque de répartition de 250x250x25 mm, cale triangulaire de friction d'acier, protection externe avec capuchon en plastique de 160 mm de diamètre, joints de néoprène et visserie.	U	16 000	800	12 800 000.00
	Tension d'ancrages multifilaires permanents, durant une journée de travail.	J	95 000	100	9 500 000.00
					112 300 000.00

TOTAL GENERAL EN HT : **133 637 000.00 DA**

N°	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	UNITE	Prix Unitaire	Quantité	Montant
01	Filet en acier galvanisé à maille losange. Conçu pour éviter le glissement en surface ou en profondeur des talus y compris ancrage et potence.	M2	10000	9000	90 000 000.00
02	Construction de gabion avec cage en acier galvanise pour chambre d'eboulis (curage compris dans la période de l'entretien)	M3	4500	5000	22 500 000.00
					112 500 000.00

TOTAL GENERAL EN HT :: **133 875 000.00 DA**

Axe En Plan

Nom du dessin profil en long=PTV.dwg
 Nom de l'axe axe-pk3-7 - Axe 01
 Table associée TER 160
 Date du listing 29/03/2024 à 17:58:45

Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 162.76gr	300.417	2400.000	393447.370	3942167.622
Clothoïde 1	Paramètre 352.144	68.892	2700.417	393613.250	3941917.154
Arc 1	Rayon 1800.000 m	1767.780	2769.309	393651.655	3941859.961
	Centre X 395133.083 m				
	Centre Y 3942882.395 m				
Clothoïde 2	Paramètre -352.144	68.892	4537.089	395160.802	3941082.609
Droite 2	Gisement 97.80gr	354.156	4605.981	395229.666	3941084.548
Clothoïde 3	Paramètre -307.139	62.889	4960.137	395583.611	3941096.777
Arc 2	Rayon -1500.000 m	751.494	5023.026	395646.475	3941098.509
	Centre X 395666.835 m				
	Centre Y 3939598.648 m				
Clothoïde 4	Paramètre 307.139	62.889	5774.521	396369.360	3940923.962
Droite 3	Gisement 132.36gr	969.785	5837.410	396424.508	3940893.735
Clothoïde 5	Paramètre -381.100	72.618	6807.195	397271.645	3940421.675
Arc 3	Rayon -2000.000 m	774.388	6879.813	397334.864	3940385.944
	Centre X 396329.773 m				
	Centre Y 3938656.842 m				
Clothoïde 6	Paramètre 381.100	72.618	7654.201	397913.354	3939878.428
Droite 4	Gisement 159.33gr	432.451	7726.820	397957.009	3939820.398
			8159.271	398214.888	3939473.249
Longueur totale de l'axe 5759.271 mètre(s)					

Profil En Long Projet

Nom du dessin profil en long=PTV.dwg
 Nom de l'axe axe-pk3-7 - Axe 01
 Table associée TER 160
 Date du listing 29/03/2024 à 17:58:45

Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente -1.58 %	66.770	2798.003	860.801
Parabole 1	Rayon 10000.000 m	318.000	2864.774	859.746
	Sommet Absc. 3022.774 m			
	Sommet Alt. 858.497 m			
Pente 2	Pente 1.60 %	835.845	3182.774	859.777
Parabole 2	Rayon -20000.000 m	420.000	4018.619	873.151
	Sommet Absc. 4338.619 m			
	Sommet Alt. 875.711 m			
Pente 3	Pente -0.50 %	237.143	4438.619	875.461
Parabole 3	Rayon 10000.000 m	210.000	4675.762	874.275
	Sommet Absc. 4725.762 m			
	Sommet Alt. 874.150 m			
Pente 4	Pente 1.60 %	840.144	4885.762	875.430
Parabole 4	Rayon -20000.000 m	640.000	5725.906	888.873
	Sommet Absc. 6045.906 m			
	Sommet Alt. 891.432 m			
Pente 5	Pente -1.60 %	1793.365	6365.906	888.872
			8159.271	860.179
Longueur totale de l'axe 5759.271 mètre(s)				
Longueur développée totale de l'axe 5361.785 mètre(s)				

Profils En Travers

Nom du dessin profil en long=PTV.dwg
 Nom de l'axe axe-pk3-7 - Axe 01
 Table associée TER 160
 Date du listing 29/03/2024 à 17:58:45

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers		Pente long.
									Gauche	Droite	
P01	2400.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393447.370	3942167.622	0 mm	0 mm	0.00
P02	2425.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393461.174	3942146.779	0 mm	0 mm	0.00
P03	2450.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393474.978	3942125.935	0 mm	0 mm	0.00
P04	2475.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393488.783	3942105.092	0 mm	0 mm	0.00
P05	2500.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393502.587	3942084.248	0 mm	0 mm	0.00
P06	2525.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393516.391	3942063.405	0 mm	0 mm	0.00
P07	2550.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393530.195	3942042.562	0 mm	0 mm	0.00
P08	2575.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393543.999	3942021.718	0 mm	0 mm	0.00
P09	2600.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393557.803	3942000.875	0 mm	0 mm	0.00
P10	2625.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393571.607	3941980.032	0 mm	0 mm	0.00
P11	2650.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393585.412	3941959.188	0 mm	0 mm	0.00
P12	2675.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393599.216	3941938.345	0 mm	0 mm	0.00
P13	2700.000	Droite 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393613.020	3941917.502	0 mm	0 mm	0.00
P14	2700.417	Clothoïde 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.76	393613.250	3941917.154	0 mm	0 mm	0.00
P15	2725.000	Clothoïde 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.61	393626.841	3941896.669	0 mm	0 mm	0.00
P16	2750.000	Clothoïde 1	Aucun	Aucun	Aucun	262.13	393640.765	3941875.906	0 mm	0 mm	0.00
P17	2769.309	Arc 1	Aucun	Aucun	Aucun	261.54	393651.655	3941859.961	0 mm	0 mm	0.00
P18	2775.000	Arc 1	Aucun	853.799	Aucun	261.34	393654.895	3941855.282	0 mm	0 mm	0.00
P19	2800.000	Arc 1	Pente 1	854.512	860.769	260.46	393669.303	3941834.852			-1.58
P20	2825.000	Arc 1	Pente 1	853.382	860.374	259.57	393683.992	3941814.623			-1.58
P21	2850.000	Arc 1	Pente 1	853.009	859.979	258.69	393698.962	3941794.601			-1.58
P22	2875.000	Arc 1	Parabole 1	853.115	859.589	257.80	393714.208	3941774.788			-1.48
P23	2900.000	Arc 1	Parabole 1	853.155	859.251	256.92	393729.728	3941755.189			-1.23
P24	2925.000	Arc 1	Parabole 1	853.104	858.975	256.04	393745.518	3941735.807			-0.98
P25	2950.000	Arc 1	Parabole 1	853.220	858.762	255.15	393761.576	3941716.646			-0.73
P26	2975.000	Arc 1	Parabole 1	853.516	858.611	254.27	393777.899	3941697.711			-0.48
P27	3000.000	Arc 1	Parabole 1	853.964	858.523	253.38	393794.483	3941679.004			-0.23
P28	3025.000	Arc 1	Parabole 1	855.332	858.498	252.50	393811.326	3941660.529			0.02
P29	3050.000	Arc 1	Parabole 1	856.575	858.534	251.61	393828.423	3941642.289			0.27
P30	3075.000	Arc 1	Parabole 1	858.552	858.634	250.73	393845.772	3941624.289			0.52
P31	3100.000	Arc 1	Parabole 1	860.497	858.796	249.85	393863.369	3941606.532			0.77
P32	3125.000	Arc 1	Parabole 1	862.313	859.020	248.96	393881.211	3941589.021			1.02
P33	3150.000	Arc 1	Parabole 1	864.104	859.307	248.08	393899.295	3941571.759			1.27
P34	3175.000	Arc 1	Parabole 1	865.559	859.656	247.19	393917.617	3941554.750			1.52
P35	3200.000	Arc 1	Pente 2	866.998	860.053	246.31	393936.173	3941537.997			1.60
P36	3225.000	Arc 1	Pente 2	868.282	860.453	245.43	393954.960	3941521.503			1.60
P37	3250.000	Arc 1	Pente 2	869.551	860.853	244.54	393973.974	3941505.272			1.60
P38	3275.000	Arc 1	Pente 2	870.555	861.253	243.66	393993.212	3941489.307			1.60
P39	3300.000	Arc 1	Pente 2	871.563	861.653	242.77	394012.670	3941473.610			1.60
P40	3325.000	Arc 1	Pente 2	872.976	862.053	241.89	394032.344	3941458.185			1.60
P41	3350.000	Arc 1	Pente 2	874.386	862.453	241.00	394052.230	3941443.035			1.60
P42	3375.000	Arc 1	Pente 2	875.617	862.853	240.12	394072.325	3941428.163			1.60
P43	3400.000	Arc 1	Pente 2	876.401	863.253	239.24	394092.624	3941413.571			1.60
P44	3425.000	Arc 1	Pente 2	874.027	863.653	238.35	394113.124	3941399.262			1.60
P45	3450.000	Arc 1	Pente 2	871.662	864.053	237.47	394133.821	3941385.239			1.60
P46	3475.000	Arc 1	Pente 2	869.632	864.453	236.58	394154.710	3941371.506			1.60
P47	3500.000	Arc 1	Pente 2	867.622	864.853	235.70	394175.789	3941358.063			1.60
P48	3525.000	Arc 1	Pente 2	865.745	865.253	234.81	394197.052	3941344.915			1.60

P49	3550.000	Arc 1	Pente 2	863.877	865.653	233.93	394218.495	3941332.063			1.60
P50	3575.000	Arc 1	Pente 2	862.307	866.053	233.05	394240.115	3941319.510			1.60
P51	3600.000	Arc 1	Pente 2	860.754	866.453	232.16	394261.907	3941307.259			1.60
P52	3625.000	Arc 1	Pente 2	860.050	866.853	231.28	394283.867	3941295.312			1.60
P53	3650.000	Arc 1	Pente 2	859.864	867.253	230.39	394305.991	3941283.671			1.60
P54	3675.000	Arc 1	Pente 2	860.037	867.653	229.51	394328.275	3941272.338			1.60
P55	3700.000	Arc 1	Pente 2	860.203	868.053	228.63	394350.714	3941261.316			1.60
P56	3725.000	Arc 1	Pente 2	860.210	868.453	227.74	394373.304	3941250.606			1.60
P57	3750.000	Arc 1	Pente 2	860.211	868.853	226.86	394396.040	3941240.211			1.60
P58	3775.000	Arc 1	Pente 2	860.328	869.253	225.97	394418.918	3941230.133			1.60
P59	3800.000	Arc 1	Pente 2	860.447	869.653	225.09	394441.935	3941220.374			1.60
P60	3825.000	Arc 1	Pente 2	860.948	870.053	224.20	394465.084	3941210.935			1.60
P61	3850.000	Arc 1	Pente 2	861.444	870.453	223.32	394488.362	3941201.819			1.60
P62	3875.000	Arc 1	Pente 2	862.099	870.853	222.44	394511.765	3941193.027			1.60
P63	3900.000	Arc 1	Pente 2	862.740	871.253	221.55	394535.288	3941184.561			1.60
P64	3925.000	Arc 1	Pente 2	863.357	871.653	220.67	394558.926	3941176.422			1.60
P65	3950.000	Arc 1	Pente 2	863.941	872.053	219.78	394582.674	3941168.613			1.60
P66	3975.000	Arc 1	Pente 2	864.615	872.453	218.90	394606.529	3941161.134			1.60
P67	4000.000	Arc 1	Pente 2	865.265	872.853	218.02	394630.486	3941153.987			1.60
P68	4025.000	Arc 1	Parabole 2	866.015	873.252	217.13	394654.539	3941147.173			1.57
P69	4050.000	Arc 1	Parabole 2	866.719	873.628	216.25	394678.685	3941140.694			1.44
P70	4075.000	Arc 1	Parabole 2	867.996	873.974	215.36	394702.918	3941134.551			1.32
P71	4100.000	Arc 1	Parabole 2	869.244	874.287	214.48	394727.234	3941128.746			1.19
P72	4125.000	Arc 1	Parabole 2	870.227	874.570	213.59	394751.629	3941123.278			1.07
P73	4150.000	Arc 1	Parabole 2	869.882	874.821	212.71	394776.097	3941118.150			0.94
P74	4175.000	Arc 1	Parabole 2	870.851	875.042	211.83	394800.634	3941113.362			0.82
P75	4200.000	Arc 1	Parabole 2	871.447	875.231	210.94	394825.235	3941108.916			0.69
P76	4225.000	Arc 1	Parabole 2	871.733	875.388	210.06	394849.896	3941104.811			0.57
P77	4250.000	Arc 1	Parabole 2	871.959	875.515	209.17	394874.611	3941101.049			0.44
P78	4275.000	Arc 1	Parabole 2	871.541	875.610	208.29	394899.376	3941097.632			0.32
P79	4300.000	Arc 1	Parabole 2	871.115	875.674	207.40	394924.186	3941094.558			0.19
P80	4325.000	Arc 1	Parabole 2	870.851	875.706	206.52	394949.037	3941091.829			0.07
P81	4350.000	Arc 1	Parabole 2	870.575	875.708	205.64	394973.923	3941089.446			-0.06
P82	4375.000	Arc 1	Parabole 2	870.694	875.678	204.75	394998.839	3941087.408			-0.18
P83	4400.000	Arc 1	Parabole 2	871.042	875.617	203.87	395023.782	3941085.717			-0.31
P84	4425.000	Arc 1	Parabole 2	871.249	875.524	202.98	395048.746	3941084.372			-0.43
P85	4450.000	Arc 1	Pente 3	871.539	875.404	202.10	395073.725	3941083.374			-0.50
P86	4475.000	Arc 1	Pente 3	872.516	875.279	201.22	395098.717	3941082.723			-0.50
P87	4500.000	Arc 1	Pente 3	873.495	875.154	200.33	395123.715	3941082.420			-0.50
P88	4525.000	Arc 1	Pente 3	873.946	875.029	199.45	395148.714	3941082.463			-0.50
P89	4537.089	Arc 1	Pente 3	874.164	874.969	199.02	395160.802	3941082.609			-0.50
P90	4550.000	Clothoïde 2	Pente 3	874.409	874.904	198.61	395173.711	3941082.851			-0.50
P91	4575.000	Clothoïde 2	Pente 3	874.826	874.779	198.05	395198.702	3941083.518			-0.50
P92	4600.000	Clothoïde 2	Pente 3	875.243	874.654	197.81	395223.689	3941084.342			-0.50
P93	4605.981	Clothoïde 2	Pente 3	875.525	874.624	197.80	395229.666	3941084.548			-0.50
P94	4625.000	Droite 2	Pente 3	876.370	874.529	197.80	395248.674	3941085.205			-0.50
P95	4650.000	Droite 2	Pente 3	876.154	874.404	197.80	395273.659	3941086.068			-0.50
P96	4675.000	Droite 2	Pente 3	875.235	874.279	197.80	395298.644	3941086.931			-0.50
P97	4700.000	Droite 2	Parabole 3	874.293	874.183	197.80	395323.629	3941087.795			-0.26
P98	4725.000	Droite 2	Parabole 3	871.940	874.150	197.80	395348.614	3941088.658			-0.01
P99	4750.000	Droite 2	Parabole 3	869.879	874.180	197.80	395373.599	3941089.521			0.24
P100	4775.000	Droite 2	Parabole 3	867.870	874.271	197.80	395398.584	3941090.384			0.49
P101	4800.000	Droite 2	Parabole 3	865.612	874.426	197.80	395423.569	3941091.248			0.74
P102	4825.000	Droite 2	Parabole 3	865.071	874.643	197.80	395448.554	3941092.111			0.99
P103	4850.000	Droite 2	Parabole 3	865.691	874.922	197.80	395473.540	3941092.974			1.24
P104	4875.000	Droite 2	Parabole 3	866.817	875.264	197.80	395498.525	3941093.837			1.49

P105	4900.000	Droite 2	Pente 4	867.937	875.658	197.80	395523.510	3941094.701			1.60
P106	4925.000	Droite 2	Pente 4	868.305	876.058	197.80	395548.495	3941095.564			1.60
P107	4950.000	Droite 2	Pente 4	868.676	876.458	197.80	395573.480	3941096.427			1.60
P108	4960.137	Clothoïde 3	Pente 4	868.886	876.620	197.80	395583.611	3941096.777			1.60
P109	4975.000	Clothoïde 3	Pente 4	869.150	876.858	197.88	395598.465	3941097.285			1.60
P110	5000.000	Clothoïde 3	Pente 4	869.780	877.258	198.34	395623.454	3941098.042			1.60
P111	5023.026	Arc 2	Pente 4	870.340	877.626	199.14	395646.475	3941098.509			1.60
P112	5025.000	Arc 2	Pente 4	870.408	877.658	199.22	395648.449	3941098.535			1.60
P113	5050.000	Arc 2	Pente 4	870.923	878.058	200.28	395673.448	3941098.633			1.60
P114	5075.000	Arc 2	Pente 4	871.723	878.458	201.34	395698.446	3941098.315			1.60
P115	5100.000	Arc 2	Pente 4	872.796	878.858	202.40	395723.435	3941097.579			1.60
P116	5125.000	Arc 2	Pente 4	873.444	879.258	203.46	395748.408	3941096.428			1.60
P117	5150.000	Arc 2	Pente 4	874.157	879.658	204.52	395773.358	3941094.860			1.60
P118	5175.000	Arc 2	Pente 4	875.493	880.058	205.59	395798.279	3941092.877			1.60
P119	5200.000	Arc 2	Pente 4	876.853	880.458	206.65	395823.164	3941090.479			1.60
P120	5225.000	Arc 2	Pente 4	875.516	880.858	207.71	395848.005	3941087.667			1.60
P121	5250.000	Arc 2	Pente 4	872.601	881.258	208.77	395872.795	3941084.441			1.60
P122	5275.000	Arc 2	Pente 4	874.933	881.658	209.83	395897.529	3941080.802			1.60
P123	5300.000	Arc 2	Pente 4	876.321	882.058	210.89	395922.198	3941076.751			1.60
P124	5325.000	Arc 2	Pente 4	876.603	882.458	211.95	395946.797	3941072.290			1.60
P125	5350.000	Arc 2	Pente 4	877.615	882.858	213.01	395971.317	3941067.419			1.60
P126	5375.000	Arc 2	Pente 4	878.558	883.258	214.07	395995.754	3941062.141			1.60
P127	5400.000	Arc 2	Pente 4	879.244	883.658	215.14	396020.098	3941056.456			1.60
P128	5425.000	Arc 2	Pente 4	880.825	884.058	216.20	396044.345	3941050.366			1.60
P129	5450.000	Arc 2	Pente 4	883.265	884.458	217.26	396068.487	3941043.873			1.60
P130	5475.000	Arc 2	Pente 4	887.648	884.858	218.32	396092.517	3941036.978			1.60
P131	5500.000	Arc 2	Pente 4	889.882	885.258	219.38	396116.429	3941029.684			1.60
P132	5525.000	Arc 2	Pente 4	890.498	885.658	220.44	396140.216	3941021.993			1.60
P133	5550.000	Arc 2	Pente 4	891.073	886.058	221.50	396163.871	3941013.906			1.60
P134	5575.000	Arc 2	Pente 4	891.039	886.458	222.56	396187.389	3941005.425			1.60
P135	5600.000	Arc 2	Pente 4	890.995	886.858	223.62	396210.762	3940996.555			1.60
P136	5625.000	Arc 2	Pente 4	891.099	887.258	224.68	396233.984	3940987.295			1.60
P137	5650.000	Arc 2	Pente 4	891.329	887.658	225.75	396257.048	3940977.650			1.60
P138	5675.000	Arc 2	Pente 4	891.907	888.058	226.81	396279.948	3940967.623			1.60
P139	5700.000	Arc 2	Pente 4	892.515	888.458	227.87	396302.678	3940957.214			1.60
P140	5725.000	Arc 2	Pente 4	892.230	888.858	228.93	396325.232	3940946.429			1.60
P141	5750.000	Arc 2	Parabole 4	893.005	889.243	229.99	396347.602	3940935.269			1.48
P142	5774.521	Arc 2	Parabole 4	893.740	889.591	231.03	396369.360	3940923.962			1.36
P143	5775.000	Clothoïde 4	Parabole 4	893.754	889.598	231.05	396369.784	3940923.738			1.35
P144	5800.000	Clothoïde 4	Parabole 4	895.357	889.921	231.89	396391.784	3940911.864			1.23
P145	5825.000	Clothoïde 4	Parabole 4	895.875	890.213	232.31	396413.665	3940899.773			1.10
P146	5837.410	Clothoïde 4	Parabole 4	896.128	890.346	232.36	396424.508	3940893.735			1.04
P147	5850.000	Droite 3	Parabole 4	896.385	890.473	232.36	396435.505	3940887.606			0.98
P148	5875.000	Droite 3	Parabole 4	897.216	890.702	232.36	396457.344	3940875.437			0.85
P149	5900.000	Droite 3	Parabole 4	898.048	890.900	232.36	396479.182	3940863.268			0.73
P150	5925.000	Droite 3	Parabole 4	898.844	891.067	232.36	396501.020	3940851.099			0.60
P151	5950.000	Droite 3	Parabole 4	899.639	891.203	232.36	396522.858	3940838.930			0.48
P152	5975.000	Droite 3	Parabole 4	900.122	891.307	232.36	396544.697	3940826.760			0.35
P153	6000.000	Droite 3	Parabole 4	900.606	891.380	232.36	396566.535	3940814.591			0.23
P154	6025.000	Droite 3	Parabole 4	900.935	891.422	232.36	396588.373	3940802.422			0.10
P155	6050.000	Droite 3	Parabole 4	901.263	891.432	232.36	396610.212	3940790.253			-0.02
P156	6075.000	Droite 3	Parabole 4	901.135	891.411	232.36	396632.050	3940778.084			-0.15
P157	6100.000	Droite 3	Parabole 4	901.901	891.359	232.36	396653.888	3940765.914			-0.27
P158	6125.000	Droite 3	Parabole 4	902.718	891.276	232.36	396675.726	3940753.745			-0.40
P159	6150.000	Droite 3	Parabole 4	903.534	891.162	232.36	396697.565	3940741.576			-0.52
P160	6175.000	Droite 3	Parabole 4	904.168	891.016	232.36	396719.403	3940729.407			-0.65

P161	6200.000	Droite 3	Parabole 4	904.801	890.839	232.36	396741.241	3940717.238			-0.77
P162	6225.000	Droite 3	Parabole 4	905.235	890.631	232.36	396763.080	3940705.069			-0.90
P163	6250.000	Droite 3	Parabole 4	905.671	890.391	232.36	396784.918	3940692.899			-1.02
P164	6275.000	Droite 3	Parabole 4	906.004	890.120	232.36	396806.756	3940680.730			-1.15
P165	6300.000	Droite 3	Parabole 4	906.325	889.818	232.36	396828.595	3940668.561			-1.27
P166	6325.000	Droite 3	Parabole 4	906.257	889.485	232.36	396850.433	3940656.392			-1.40
P167	6350.000	Droite 3	Parabole 4	906.182	889.121	232.36	396872.271	3940644.223			-1.52
P168	6375.000	Droite 3	Pente 5	906.202	888.727	232.36	396894.109	3940632.053			-1.60
P169	6400.000	Droite 3	Pente 5	906.249	888.327	232.36	396915.948	3940619.884			-1.60
P170	6425.000	Droite 3	Pente 5	905.085	887.927	232.36	396937.786	3940607.715			-1.60
P171	6450.000	Droite 3	Pente 5	903.987	887.527	232.36	396959.624	3940595.546			-1.60
P172	6475.000	Droite 3	Pente 5	902.859	887.127	232.36	396981.463	3940583.377			-1.60
P173	6500.000	Droite 3	Pente 5	901.813	886.727	232.36	397003.301	3940571.207			-1.60
P174	6525.000	Droite 3	Pente 5	899.417	886.327	232.36	397025.139	3940559.038			-1.60
P175	6550.000	Droite 3	Pente 5	899.688	885.927	232.36	397046.977	3940546.869			-1.60
P176	6575.000	Droite 3	Pente 5	899.441	885.527	232.36	397068.816	3940534.700			-1.60
P177	6600.000	Droite 3	Pente 5	898.894	885.127	232.36	397090.654	3940522.531			-1.60
P178	6625.000	Droite 3	Pente 5	898.508	884.727	232.36	397112.492	3940510.361			-1.60
P179	6650.000	Droite 3	Pente 5	897.040	884.327	232.36	397134.331	3940498.192			-1.60
P180	6675.000	Droite 3	Pente 5	895.659	883.927	232.36	397156.169	3940486.023			-1.60
P181	6700.000	Droite 3	Pente 5	893.417	883.527	232.36	397178.007	3940473.854			-1.60
P182	6725.000	Droite 3	Pente 5	890.764	883.127	232.36	397199.845	3940461.685			-1.60
P183	6750.000	Droite 3	Pente 5	887.157	882.727	232.36	397221.684	3940449.516			-1.60
P184	6775.000	Droite 3	Pente 5	885.275	882.327	232.36	397243.522	3940437.346			-1.60
P185	6800.000	Droite 3	Pente 5	884.404	881.927	232.36	397265.360	3940425.177			-1.60
P186	6807.195	Clothoïde 5	Pente 5	884.746	881.812	232.36	397271.645	3940421.675			-1.60
P187	6825.000	Clothoïde 5	Pente 5	885.617	881.527	232.43	397287.195	3940413.002			-1.60
P188	6850.000	Clothoïde 5	Pente 5	886.936	881.127	232.77	397308.993	3940400.760			-1.60
P189	6875.000	Clothoïde 5	Pente 5	887.233	880.727	233.37	397330.699	3940388.358			-1.60
P190	6879.813	Arc 3	Pente 5	887.381	880.650	233.52	397334.864	3940385.944			-1.60
P191	6900.000	Arc 3	Pente 5	887.593	880.327	234.16	397352.265	3940375.711			-1.60
P192	6925.000	Arc 3	Pente 5	887.313	879.927	234.96	397373.670	3940362.796			-1.60
P193	6950.000	Arc 3	Pente 5	886.760	879.527	235.75	397394.912	3940349.615			-1.60
P194	6975.000	Arc 3	Pente 5	886.594	879.127	236.55	397415.988	3940336.168			-1.60
P195	7000.000	Arc 3	Pente 5	886.891	878.727	237.35	397436.894	3940322.460			-1.60
P196	7025.000	Arc 3	Pente 5	886.848	878.327	238.14	397457.628	3940308.491			-1.60
P197	7050.000	Arc 3	Pente 5	885.739	877.927	238.94	397478.185	3940294.264			-1.60
P198	7075.000	Arc 3	Pente 5	883.255	877.527	239.73	397498.562	3940279.782			-1.60
P199	7100.000	Arc 3	Pente 5	882.407	877.127	240.53	397518.757	3940265.045			-1.60
P200	7125.000	Arc 3	Pente 5	880.768	876.727	241.33	397538.766	3940250.058			-1.60
P201	7150.000	Arc 3	Pente 5	877.802	876.327	242.12	397558.586	3940234.821			-1.60
P202	7175.000	Arc 3	Pente 5	873.791	875.927	242.92	397578.215	3940219.338			-1.60
P203	7200.000	Arc 3	Pente 5	874.883	875.527	243.71	397597.648	3940203.611			-1.60
P204	7225.000	Arc 3	Pente 5	872.991	875.127	244.51	397616.883	3940187.642			-1.60
P205	7250.000	Arc 3	Pente 5	870.920	874.727	245.30	397635.917	3940171.434			-1.60
P206	7275.000	Arc 3	Pente 5	869.677	874.327	246.10	397654.747	3940154.989			-1.60
P207	7300.000	Arc 3	Pente 5	866.810	873.927	246.90	397673.369	3940138.311			-1.60
P208	7325.000	Arc 3	Pente 5	863.294	873.527	247.69	397691.782	3940121.400			-1.60
P209	7350.000	Arc 3	Pente 5	866.230	873.127	248.49	397709.982	3940104.261			-1.60
P210	7375.000	Arc 3	Pente 5	866.471	872.727	249.28	397727.967	3940086.896			-1.60
P211	7400.000	Arc 3	Pente 5	867.321	872.327	250.08	397745.733	3940069.307			-1.60
P212	7425.000	Arc 3	Pente 5	868.125	871.927	250.87	397763.278	3940051.498			-1.60
P213	7450.000	Arc 3	Pente 5	869.043	871.527	251.67	397780.598	3940033.471			-1.60
P214	7475.000	Arc 3	Pente 5	867.661	871.127	252.47	397797.692	3940015.228			-1.60
P215	7500.000	Arc 3	Pente 5	867.092	870.727	253.26	397814.557	3939996.774			-1.60
P216	7525.000	Arc 3	Pente 5	867.806	870.327	254.06	397831.190	3939978.110			-1.60

P217	7550.000	Arc 3	Pente 5	867.936	869.927	254.85	397847.588	3939959.239			-1.60
P218	7575.000	Arc 3	Pente 5	868.600	869.527	255.65	397863.749	3939940.165			-1.60
P219	7600.000	Arc 3	Pente 5	866.167	869.127	256.44	397879.670	3939920.891			-1.60
P220	7625.000	Arc 3	Pente 5	862.968	868.727	257.24	397895.349	3939901.419			-1.60
P221	7650.000	Arc 3	Pente 5	860.975	868.327	258.04	397910.784	3939881.752			-1.60
P222	7654.201	Arc 3	Pente 5	860.570	868.260	258.17	397913.354	3939878.428			-1.60
P223	7675.000	Clothoïde 6	Pente 5	858.595	867.927	258.74	397925.980	3939861.901			-1.60
P224	7700.000	Clothoïde 6	Pente 5	856.267	867.527	259.17	397940.998	3939841.915			-1.60
P225	7725.000	Clothoïde 6	Pente 5	852.796	867.127	259.33	397955.923	3939821.859			-1.60
P226	7726.820	Clothoïde 6	Pente 5	852.552	867.098	259.33	397957.009	3939820.398			-1.60
P227	7750.000	Droite 4	Pente 5	849.430	866.727	259.33	397970.831	3939801.790			-1.60
P228	7775.000	Droite 4	Pente 5	844.175	866.327	259.33	397985.739	3939781.722			-1.60
P229	7800.000	Droite 4	Pente 5	840.875	865.927	259.33	398000.647	3939761.653			-1.60
P230	7825.000	Droite 4	Pente 5	838.232	865.527	259.33	398015.555	3939741.584			-1.60
P231	7850.000	Droite 4	Pente 5	839.717	865.127	259.33	398030.463	3939721.516			-1.60
P232	7875.000	Droite 4	Pente 5	840.263	864.727	259.33	398045.371	3939701.447			-1.60
P233	7900.000	Droite 4	Pente 5	842.513	864.327	259.33	398060.279	3939681.378			-1.60
P234	7925.000	Droite 4	Pente 5	844.856	863.927	259.33	398075.187	3939661.310			-1.60
P235	7950.000	Droite 4	Pente 5	845.276	863.527	259.33	398090.095	3939641.241			-1.60
P236	7975.000	Droite 4	Pente 5	844.918	863.127	259.33	398105.003	3939621.172			-1.60
P237	8000.000	Droite 4	Pente 5	844.935	862.727	259.33	398119.911	3939601.103			-1.60
P238	8025.000	Droite 4	Pente 5	845.044	862.327	259.33	398134.819	3939581.035			-1.60
P239	8050.000	Droite 4	Pente 5	845.702	861.927	259.33	398149.727	3939560.966			-1.60
P240	8075.000	Droite 4	Pente 5	845.059	861.527	259.33	398164.635	3939540.897			-1.60
P241	8100.000	Droite 4	Pente 5	843.446	861.127	259.33	398179.543	3939520.829			-1.60
P242	8125.000	Droite 4	Pente 5	841.014	860.727	259.33	398194.451	3939500.760			-1.60
P243	8150.000	Droite 4	Pente 5	842.443	860.327	259.33	398209.359	3939480.691			-1.60
P244	8159.271	Droite 4	Pente 5	843.593	860.179	259.33	398214.888	3939473.249			-1.60

Cubatures Déblai Remblai (Gulden)

Nom du dessin profil en long=PTV.dwg

Nom de l'axe axe-pk3-7 - Axe 01

Table associée TER 160

Date du listing 29/03/2024 à 17:58:45

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P01	2400.000	12.500	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P02	2425.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P03	2450.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P04	2475.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P05	2500.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P06	2525.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P07	2550.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P08	2575.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P09	2600.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P10	2625.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P11	2650.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P12	2675.000	25.000	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P13	2700.000	12.708	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P14	2700.417	12.500	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P15	2725.000	24.792	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P16	2750.000	22.154	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P17	2769.309	12.500	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P18	2775.000	15.346	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
P19	2800.000	25.000	0.00	88.01	0.0	2200.2	0.0	2200.2
P20	2825.000	25.000	0.00	104.21	0.0	2605.5	0.0	4805.7
P21	2850.000	25.000	0.00	110.29	0.0	2756.7	0.0	7562.5
P22	2875.000	25.000	0.00	92.72	0.0	2318.0	0.0	9880.5
P23	2900.000	25.000	0.00	84.21	0.0	2105.0	0.0	11985.5
P24	2925.000	25.000	0.00	77.72	0.0	1942.6	0.0	13928.0
P25	2950.000	25.000	0.00	70.84	0.0	1770.7	0.0	15698.7
P26	2975.000	25.000	0.00	60.96	0.0	1523.7	0.0	17222.4
P27	3000.000	25.000	0.00	51.02	0.0	1275.2	0.0	18497.6
P28	3025.000	25.000	0.00	27.74	0.0	693.2	0.0	19190.8
P29	3050.000	25.000	0.00	11.58	0.0	289.4	0.0	19480.2
P30	3075.000	25.000	15.45	0.00	386.9	0.0	386.9	19480.2
P31	3100.000	25.000	51.85	0.00	1297.4	0.0	1684.3	19480.2
P32	3125.000	25.000	89.52	0.00	2239.4	0.0	3923.8	19480.2
P33	3150.000	25.000	132.55	0.00	3316.1	0.0	7239.9	19480.2
P34	3175.000	25.000	168.06	0.00	4204.6	0.0	11444.6	19480.2
P35	3200.000	25.000	209.20	0.00	5233.3	0.0	16677.8	19480.2
P36	3225.000	25.000	244.34	0.00	6111.6	0.0	22789.4	19480.2
P37	3250.000	25.000	281.41	0.00	7038.1	0.0	29827.5	19480.2
P38	3275.000	25.000	307.44	0.00	7688.8	0.0	37516.2	19480.2
P39	3300.000	25.000	334.55	0.00	8366.0	0.0	45882.2	19480.2
P40	3325.000	25.000	377.21	0.00	9430.6	0.0	55312.8	19480.2
P41	3350.000	25.000	429.19	0.00	10728.1	0.0	66040.9	19480.2
P42	3375.000	25.000	475.28	0.00	11873.4	0.0	77914.3	19480.2
P43	3400.000	25.000	491.28	0.00	12269.0	0.0	90183.3	19480.2
P44	3425.000	25.000	362.47	0.00	9053.9	0.0	99237.2	19480.2
P45	3450.000	25.000	239.07	0.00	5973.2	0.0	105210.4	19480.2
P46	3475.000	25.000	147.11	0.00	3675.9	0.0	108886.3	19480.2
P47	3500.000	25.000	77.84	0.00	1945.2	0.0	110831.5	19480.2
P48	3525.000	25.000	26.98	0.00	674.2	0.0	111505.7	19480.2

P49	3550.000	25.000	0.00	9.36	0.0	234.0	111505.7	19714.2
P50	3575.000	25.000	0.00	35.71	0.0	892.9	111505.7	20607.1
P51	3600.000	25.000	0.00	74.09	0.0	1852.1	111505.7	22459.1
P52	3625.000	25.000	0.00	100.54	0.0	2513.0	111505.7	24972.2
P53	3650.000	25.000	0.00	116.26	0.0	2906.1	111505.7	27878.3
P54	3675.000	25.000	0.00	123.35	0.0	3083.2	111505.7	30961.5
P55	3700.000	25.000	0.00	130.23	0.0	3255.1	111505.7	34216.5
P56	3725.000	25.000	0.00	141.47	0.0	3536.1	111505.7	37752.7
P57	3750.000	25.000	0.00	153.49	0.0	3836.5	111505.7	41589.2
P58	3775.000	25.000	0.00	162.61	0.0	4064.2	111505.7	45653.4
P59	3800.000	25.000	0.00	171.20	0.0	4278.7	111505.7	49932.1
P60	3825.000	25.000	0.00	167.80	0.0	4193.5	111505.7	54125.6
P61	3850.000	25.000	0.00	163.96	0.0	4097.5	111505.7	58223.1
P62	3875.000	25.000	0.00	156.32	0.0	3906.6	111505.7	62129.6
P63	3900.000	25.000	0.00	149.41	0.0	3733.7	111505.7	65863.3
P64	3925.000	25.000	0.00	141.88	0.0	3545.2	111505.7	69408.4
P65	3950.000	25.000	0.00	136.76	0.0	3417.0	111505.7	72825.5
P66	3975.000	25.000	0.00	128.94	0.0	3221.6	111505.7	76047.0
P67	4000.000	25.000	0.00	122.30	0.0	3055.6	111505.7	79102.6
P68	4025.000	25.000	0.00	111.87	0.0	2794.8	111505.7	81897.4
P69	4050.000	25.000	0.00	103.67	0.0	2589.8	111505.7	84487.2
P70	4075.000	25.000	0.00	82.41	0.0	2058.8	111505.7	86546.0
P71	4100.000	25.000	0.00	62.35	0.0	1557.8	111505.7	88103.8
P72	4125.000	25.000	0.00	54.30	0.0	1356.7	111505.7	89460.6
P73	4150.000	25.000	0.00	57.99	0.0	1449.2	111505.7	90909.8
P74	4175.000	25.000	0.00	45.69	0.0	1141.5	111505.7	92051.3
P75	4200.000	25.000	0.00	39.79	0.0	994.3	111505.7	93045.6
P76	4225.000	25.000	0.00	35.94	0.0	898.1	111505.7	93943.7
P77	4250.000	25.000	0.00	33.87	0.0	846.4	111505.7	94790.0
P78	4275.000	25.000	0.00	42.99	0.0	1074.4	111505.7	95864.5
P79	4300.000	25.000	0.00	50.68	0.0	1266.7	111505.7	97131.2
P80	4325.000	25.000	0.00	56.80	0.0	1419.7	111505.7	98550.8
P81	4350.000	25.000	0.00	62.46	0.0	1560.9	111505.7	100111.7
P82	4375.000	25.000	0.00	58.81	0.0	1469.8	111505.7	101581.5
P83	4400.000	25.000	0.00	53.06	0.0	1326.2	111505.7	102907.7
P84	4425.000	25.000	0.00	45.20	0.0	1129.8	111505.7	104037.5
P85	4450.000	25.000	0.00	37.74	0.0	943.3	111505.7	104980.8
P86	4475.000	25.000	0.00	20.31	0.0	507.7	111505.7	105488.5
P87	4500.000	25.000	0.00	7.64	0.0	190.9	111505.7	105679.5
P88	4525.000	18.544	0.27	2.94	5.1	54.5	111510.8	105734.0
P89	4537.089	12.500	1.90	0.52	23.8	6.5	111534.6	105740.5
P90	4550.000	18.956	7.22	0.00	136.9	0.0	111671.5	105740.5
P91	4575.000	25.000	18.05	0.00	451.3	0.0	112122.8	105740.5
P92	4600.000	15.490	29.76	0.00	460.9	0.0	112583.8	105740.5
P93	4605.981	12.500	35.09	0.00	438.7	0.0	113022.4	105740.5
P94	4625.000	22.010	54.40	0.00	1197.3	0.0	114219.7	105740.5
P95	4650.000	25.000	53.40	0.00	1335.0	0.0	115554.7	105740.5
P96	4675.000	25.000	34.45	0.00	861.3	0.0	116416.0	105740.5
P97	4700.000	25.000	16.57	0.00	414.3	0.0	116830.3	105740.5
P98	4725.000	25.000	0.00	14.12	0.0	352.9	116830.3	106093.4
P99	4750.000	25.000	0.00	45.40	0.0	1134.9	116830.3	107228.3
P100	4775.000	25.000	0.00	91.14	0.0	2278.5	116830.3	109506.8
P101	4800.000	25.000	0.00	155.33	0.0	3883.2	116830.3	113390.0
P102	4825.000	25.000	0.00	181.27	0.0	4531.9	116830.3	117921.8
P103	4850.000	25.000	0.00	173.54	0.0	4338.6	116830.3	122260.4
P104	4875.000	25.000	0.00	148.11	0.0	3702.8	116830.3	125963.2

P105	4900.000	25.000	0.00	127.35	0.0	3183.7	116830.3	129146.9
P106	4925.000	25.000	0.00	127.72	0.0	3193.1	116830.3	132340.0
P107	4950.000	17.568	0.00	127.57	0.0	2241.2	116830.3	134581.1
P108	4960.137	12.500	0.00	126.31	0.0	1578.9	116830.3	136160.0
P109	4975.000	19.932	0.00	125.27	0.0	2497.2	116830.3	138657.2
P110	5000.000	24.013	0.00	120.88	0.0	2904.0	116830.3	141561.2
P111	5023.026	12.500	0.00	114.20	0.0	1428.4	116830.3	142989.7
P112	5025.000	13.487	0.00	113.52	0.0	1532.2	116830.3	144521.9
P113	5050.000	25.000	0.00	109.59	0.0	2742.3	116830.3	147264.2
P114	5075.000	25.000	0.00	100.02	0.0	2503.4	116830.3	149767.6
P115	5100.000	25.000	0.00	85.84	0.0	2149.1	116830.3	151916.7
P116	5125.000	25.000	0.00	82.18	0.0	2057.7	116830.3	153974.4
P117	5150.000	25.000	0.00	76.14	0.0	1906.5	116830.3	155880.9
P118	5175.000	25.000	0.00	56.49	0.0	1414.0	116830.3	157294.8
P119	5200.000	25.000	0.00	37.61	0.0	941.3	116830.3	158236.1
P120	5225.000	25.000	0.00	66.04	0.0	1651.7	116830.3	159887.8
P121	5250.000	25.000	0.00	154.59	0.0	3868.5	116830.3	163756.3
P122	5275.000	25.000	0.00	102.21	0.0	2558.3	116830.3	166314.7
P123	5300.000	25.000	0.00	78.33	0.0	1961.0	116830.3	168275.7
P124	5325.000	25.000	0.00	77.23	0.0	1932.7	116830.3	170208.4
P125	5350.000	25.000	0.00	65.99	0.0	1651.2	116830.3	171859.6
P126	5375.000	25.000	0.00	54.62	0.0	1366.4	116830.3	173225.9
P127	5400.000	25.000	0.00	48.43	0.0	1211.4	116830.3	174437.4
P128	5425.000	25.000	0.00	27.93	0.0	698.1	116830.3	175135.5
P129	5450.000	25.000	0.45	3.28	11.2	81.9	116841.5	175217.4
P130	5475.000	25.000	74.43	0.00	1860.6	0.0	118702.1	175217.4
P131	5500.000	25.000	118.09	0.00	2951.6	0.0	121653.7	175217.4
P132	5525.000	25.000	126.74	0.00	3167.2	0.0	124820.8	175217.4
P133	5550.000	25.000	135.38	0.00	3381.6	0.0	128202.4	175217.4
P134	5575.000	25.000	128.33	0.00	3203.9	0.0	131406.4	175217.4
P135	5600.000	25.000	117.35	0.00	2929.1	0.0	134335.4	175217.4
P136	5625.000	25.000	111.06	0.00	2771.2	0.0	137106.7	175217.4
P137	5650.000	25.000	107.16	0.00	2673.5	0.0	139780.1	175217.4
P138	5675.000	25.000	111.67	0.00	2786.5	0.0	142566.7	175217.4
P139	5700.000	25.000	115.64	0.00	2886.4	0.0	145453.0	175217.4
P140	5725.000	25.000	93.55	0.00	2336.3	0.0	147789.3	175217.4
P141	5750.000	24.760	98.64	0.00	2440.9	0.0	150230.3	175217.4
P142	5774.521	12.500	116.29	0.00	1452.5	0.0	151682.8	175217.4
P143	5775.000	12.740	116.79	0.00	1486.8	0.0	153169.6	175217.4
P144	5800.000	25.000	158.22	0.00	3951.8	0.0	157121.4	175217.4
P145	5825.000	18.705	172.90	0.00	3232.7	0.0	160354.1	175217.4
P146	5837.410	12.500	179.87	0.00	2248.3	0.0	162602.4	175217.4
P147	5850.000	18.795	188.09	0.00	3535.2	0.0	166137.6	175217.4
P148	5875.000	25.000	211.65	0.00	5291.1	0.0	171428.7	175217.4
P149	5900.000	25.000	236.52	0.00	5913.1	0.0	177341.8	175217.4
P150	5925.000	25.000	264.37	0.00	6609.2	0.0	183950.9	175217.4
P151	5950.000	25.000	292.61	0.00	7315.2	0.0	191266.1	175217.4
P152	5975.000	25.000	310.53	0.00	7763.3	0.0	199029.4	175217.4
P153	6000.000	25.000	327.80	0.00	8194.9	0.0	207224.3	175217.4
P154	6025.000	25.000	344.55	0.00	8613.8	0.0	215838.1	175217.4
P155	6050.000	25.000	351.43	0.00	8785.7	0.0	224623.8	175217.4
P156	6075.000	25.000	342.69	0.00	8567.2	0.0	233191.1	175217.4
P157	6100.000	25.000	395.04	0.00	9875.9	0.0	243067.0	175217.4
P158	6125.000	25.000	438.75	0.00	10968.8	0.0	254035.8	175217.4
P159	6150.000	25.000	492.86	0.00	12321.5	0.0	266357.3	175217.4
P160	6175.000	25.000	531.89	0.00	13297.3	0.0	279654.7	175217.4

P161	6200.000	25.000	568.91	0.00	14222.8	0.0	293877.4	175217.4
P162	6225.000	25.000	600.85	0.00	15021.1	0.0	308898.5	175217.4
P163	6250.000	25.000	641.48	0.00	16037.1	0.0	324935.7	175217.4
P164	6275.000	25.000	677.31	0.00	16932.7	0.0	341868.4	175217.4
P165	6300.000	25.000	721.61	0.00	18040.3	0.0	359908.7	175217.4
P166	6325.000	25.000	754.52	0.00	18863.1	0.0	378771.8	175217.4
P167	6350.000	25.000	788.18	0.00	19704.5	0.0	398476.3	175217.4
P168	6375.000	25.000	792.83	0.00	19820.8	0.0	418297.0	175217.4
P169	6400.000	25.000	798.00	0.00	19950.1	0.0	438247.1	175217.4
P170	6425.000	25.000	769.16	0.00	19229.0	0.0	457476.1	175217.4
P171	6450.000	25.000	743.39	0.00	18584.8	0.0	476060.9	175217.4
P172	6475.000	25.000	689.81	0.00	17245.2	0.0	493306.1	175217.4
P173	6500.000	25.000	646.95	0.00	16173.8	0.0	509479.9	175217.4
P174	6525.000	25.000	513.78	0.00	12844.6	0.0	522324.5	175217.4
P175	6550.000	25.000	568.49	0.00	14212.4	0.0	536536.8	175217.4
P176	6575.000	25.000	608.19	0.00	15204.6	0.0	551741.5	175217.4
P177	6600.000	25.000	587.27	0.00	14681.8	0.0	566423.3	175217.4
P178	6625.000	25.000	556.11	0.00	13902.7	0.0	580326.0	175217.4
P179	6650.000	25.000	494.85	0.00	12371.4	0.0	592697.4	175217.4
P180	6675.000	25.000	419.89	0.00	10497.3	0.0	603194.7	175217.4
P181	6700.000	25.000	327.83	0.00	8195.8	0.0	611390.5	175217.4
P182	6725.000	25.000	239.09	0.00	5977.1	0.0	617367.7	175217.4
P183	6750.000	25.000	133.29	0.00	3332.4	0.0	620700.0	175217.4
P184	6775.000	25.000	94.44	0.00	2361.0	0.0	623061.0	175217.4
P185	6800.000	16.097	85.55	0.00	1377.2	0.0	624438.2	175217.4
P186	6807.195	12.500	96.05	0.00	1200.7	0.0	625639.0	175217.4
P187	6825.000	21.403	129.71	0.00	2777.8	0.0	628416.8	175217.4
P188	6850.000	25.000	168.09	0.00	4207.1	0.0	632623.9	175217.4
P189	6875.000	14.907	201.31	0.00	3005.6	0.0	635629.5	175217.4
P190	6879.813	12.500	209.38	0.00	2621.9	0.0	638251.4	175217.4
P191	6900.000	22.593	229.02	0.00	5183.0	0.0	643434.3	175217.4
P192	6925.000	25.000	239.99	0.00	6009.5	0.0	649443.8	175217.4
P193	6950.000	25.000	233.33	0.00	5842.4	0.0	655286.2	175217.4
P194	6975.000	25.000	258.04	0.00	6467.9	0.0	661754.0	175217.4
P195	7000.000	25.000	295.53	0.00	7407.1	0.0	669161.2	175217.4
P196	7025.000	25.000	295.42	0.00	7401.3	0.0	676562.4	175217.4
P197	7050.000	25.000	244.11	0.00	6109.1	0.0	682671.5	175217.4
P198	7075.000	25.000	165.94	0.00	4152.6	0.0	686824.1	175217.4
P199	7100.000	25.000	153.23	0.00	3835.1	0.0	690659.2	175217.4
P200	7125.000	25.000	111.25	0.00	2783.5	0.0	693442.8	175217.4
P201	7150.000	25.000	41.16	0.00	1029.0	0.0	694471.8	175217.4
P202	7175.000	25.000	0.00	14.25	0.0	356.1	694471.8	175573.5
P203	7200.000	25.000	12.94	1.35	324.5	33.7	694796.3	175607.2
P204	7225.000	25.000	0.00	14.19	0.0	354.5	694796.3	175961.7
P205	7250.000	25.000	0.00	39.09	0.0	976.6	694796.3	176938.3
P206	7275.000	25.000	0.00	60.07	0.0	1501.2	694796.3	178439.5
P207	7300.000	25.000	0.00	120.86	0.0	3020.9	694796.3	181460.5
P208	7325.000	25.000	0.00	187.56	0.0	4689.7	694796.3	186150.2
P209	7350.000	25.000	0.00	108.94	0.0	2724.5	694796.3	188874.6
P210	7375.000	25.000	0.00	89.68	0.0	2243.6	694796.3	191118.2
P211	7400.000	25.000	0.00	62.75	0.0	1569.8	694796.3	192688.0
P212	7425.000	25.000	0.00	38.55	0.0	964.3	694796.3	193652.3
P213	7450.000	25.000	0.00	22.37	0.0	559.7	694796.3	194212.0
P214	7475.000	25.000	0.00	33.12	0.0	828.4	694796.3	195040.4
P215	7500.000	25.000	0.00	36.41	0.0	910.8	694796.3	195951.2
P216	7525.000	25.000	0.00	18.99	0.0	474.9	694796.3	196426.1

P217	7550.000	25.000	0.00	11.59	0.0	289.8	694796.3	196715.9
P218	7575.000	25.000	1.13	1.51	28.3	37.7	694824.6	196753.6
P219	7600.000	25.000	0.00	25.57	0.0	639.6	694824.6	197393.2
P220	7625.000	25.000	0.00	78.85	0.0	1973.9	694824.6	199367.1
P221	7650.000	14.601	0.00	138.48	0.0	2026.8	694824.6	201393.9
P222	7654.201	12.500	0.00	148.85	0.0	1864.9	694824.6	203258.9
P223	7675.000	22.899	0.00	205.93	0.0	4724.9	694824.6	207983.8
P224	7700.000	25.000	0.00	284.15	0.0	7112.2	694824.6	215095.9
P225	7725.000	13.410	0.00	416.34	0.0	5584.9	694824.6	220680.8
P226	7726.820	12.500	0.00	426.69	0.0	5333.6	694824.6	226014.5
P227	7750.000	24.090	0.00	570.79	0.0	13750.4	694824.6	239764.9
P228	7775.000	25.000	0.00	798.30	0.0	19957.4	694824.6	259722.3
P229	7800.000	25.000	0.00	1021.35	0.0	25533.8	694824.6	285256.1
P230	7825.000	25.000	0.00	1082.20	0.0	27055.1	694824.6	312311.1
P231	7850.000	25.000	0.00	1061.95	0.0	26548.8	694824.6	338859.9
P232	7875.000	25.000	0.00	1002.29	0.0	25057.2	694824.6	363917.2
P233	7900.000	25.000	0.00	827.32	0.0	20682.9	694824.6	384600.1
P234	7925.000	25.000	0.00	696.93	0.0	17423.2	694824.6	402023.3
P235	7950.000	25.000	0.00	646.78	0.0	16169.5	694824.6	418192.8
P236	7975.000	25.000	0.00	630.30	0.0	15757.6	694824.6	433950.4
P237	8000.000	25.000	0.00	604.87	0.0	15121.9	694824.6	449072.3
P238	8025.000	25.000	0.00	560.65	0.0	14016.3	694824.6	463088.6
P239	8050.000	25.000	0.00	487.00	0.0	12174.9	694824.6	475263.5
P240	8075.000	25.000	0.00	494.13	0.0	12353.3	694824.6	487616.8
P241	8100.000	25.000	0.00	578.05	0.0	14451.3	694824.6	502068.0
P242	8125.000	25.000	0.00	668.74	0.0	16718.4	694824.6	518786.4
P243	8150.000	17.136	0.00	553.46	0.0	9483.9	694824.6	528270.3
P244	8159.271	4.636	0.00	491.97	0.0	2280.6	694824.6	530550.9

LES NORMES

NORMES TRAVERSES

- *SPECIFICATION TECHNIQUE D'INTEROPERABILITE : Sous-système INFRASTRUCTURE.*
- *Normes Européennes 13230-1 et 13230-2.*
Traverses en béton :
 - *1 ère partie : Prescriptions générales.*
 - *2eme partie : Traverses monobloc précontraintes.*
 - *4eme partie : Traverses précontraintes pour appareils de voie.*
 - *5eme partie : Eléments spéciaux.*
- *EN 196 : Méthodes d'essai de ciments.*
- *EN 1971 : Ciment. Composition, spécifications et critères de conformité. 1^{ère} partie : ciments courants.*
- *EN 10080 : Aciers pour béton armé. Armatures soudables aux cerces B 500 pour béton armé.*

ATTACHES

- PrEN 13 146-1: 1998 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 1: Determination of longitudinal rail restraint.
- PrEN 13 146-2: 1998 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 2: Determination of torsional resistance.
- PrEN 13 146-4: 1998 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 4: Effect of repeated loading.
- ERRI D 170/RP 5
(sept.1994) (§ 8.4.) Dimensionnement des divers éléments constitutifs de la voie. Normalisation des caractéristiques et des essais d'homologation.
- PrEN 13 146-5: 1998 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 5: Determination of electrical resistance.
- ISO 7888: 1985 Water quality. Determination of electrical conductivity.
- EN 13 146-6: 2002 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 6: Effect of severe environmental conditions.
- ISO 9227: 1997 Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray test.
- PrEN 13 146-7: 1998 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 7: Determination of clamping force.
- PrEN 13481-2 (march.1999) Railway applications- Track-Fastening systems- Part 2: Performance requirements for fastening systems for concrete sleepers.
- PrEN 13146-3: 1998 Railway applications-Track-Test methods for fastening systems- Part 3: Determination of attenuation of impact loads.
- Code UIC 864.50 (1.1.1986) Spécification technique pour la fourniture des semelles à poser sous rails.

RAIL

- **prEN 13674-1** "Railway applications-Track. RAIL Part 1: bottom symmetrical railway rails 46 kg/m and above" de juin 1999.
- **EN ISO 9002 :** systèmes de qualité. Modèle pour L'assurance de la qualité dans la production et dans la pose.
- **ISO 4968 :** Acier. Contrôle macrographique au moyen de photo-impressions par solution sulfurique (méthode Baumann).
- **DIN 50602 :** Inspection microscopique des aciers spéciaux en utilisant des diagrammes standard pour déterminer la teneur en inclusions non métalliques.
- **EN 10003-1 :** Matériels métalliques. Essai de dureté Brinell.
- **ISO 1099 :** Métaux : Essai de fatigue sous charge axiale.
- **EN 10002-1 :** Matériels métalliques: Essai de traction.

- **EN 10163 :** Conditions de livraison relatives à la qualité de surface des plaques, brames et profilés en acier laminés à chaud.
- **BS 6835 :** Méthode pour la détermination de la vitesse de propagation des fissures de fatigue dans les matériels métalliques.

TERRASSEMENT ET GEOTECHNIQUE

NF P 11-300	Exécution des terrassements: Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
NF P 11-301	Exécution des terrassements. Terminologie.
XP P 94-010	Sols : reconnaissance et essais. Glossaire géotechnique. Définitions Notations - Symboles.
XP P 94-011	Description. Identification. Dénomination des sols. Terminologie. Éléments de classification.
NF P 94-040	Sols : reconnaissance et essais. Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu. Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu.
XP P 94-041	Sols : reconnaissance et essais. Identification granulométrique. Méthode de tamisage par voie humide.
NF P 94-047	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un matériau. Méthode par calcination.

NF P 94-048	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en carbonate. Méthode du calcimètre.
NF P 94-049-1	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Partie 1 : méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.
NF P 94-049-2	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Partie 2 : méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants.
NF P 94-050	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Méthode par étuvage (remplace NF P 94-050 , octobre 91).
NF P 94-051	Sols : reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau ..
NF P 94-052-1	Sols : reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Partie 1 : limite de liquidité - Méthode du cône de pénétration.
NF P 94-053	Sols: reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire. Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau
NF P 94-054	Sols: reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols. Méthode du pycnomètre à eau.
NF P 94-055	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un sol. Méthode chimique.
NF P 94-056	Sols : reconnaissance et essais. Analyse granulométrique. Méthode au tamisage à sec après lavage.
NF P 94-057	Sols : reconnaissance et essais. Analyse granulométrique des sols. Méthode par sédimentation.
NF P 94-058	Sols: reconnaissance et essais. Détermination de l'état de décomposition (humidification) des sols organiques. Essai Von Post.

NF P 94-059	Sols : reconnaissance et essais. Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents.
XP P 94-060-1	Sols : reconnaissance et essais. Essai de dessiccation. Partie 1 : détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400 micromètres d'un matériau.
XP P 94-060-2	Sols : reconnaissance et essais. Essai de dessiccation. Partie 2 : détermination effective de la limite de retrait sur un prélèvement non remanié.
NP P 94-061-1	Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place - Partie 1 : Méthode au gammadensimètre à pointe (à transmission directe).
NF P 94-062	Sols : reconnaissance et essais. Mesure de la masse volumique en place - Diagraphie à la double sonde gamma.
NF P 94-064	Sols : reconnaissance et essais. Masse volumique sèche d'un élément de roche. Méthode par pesée hydrostatique.
NF P 94-066	Sols : reconnaissance et essais. Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux.
NF P 94-067	Sols; reconnaissance et essais. Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux.
NF P 94-068	Sols: reconnaissance et essais. Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache.
NF P 94-070	Sols : reconnaissance et essais. Essais à l'appareil triaxial de révolution. Généralités - Définitions.
NF P 94-071-1	Sols: reconnaissance et essais. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte. Partie 1 : cisaillement direct.
NF P 94-071-2	Sols: reconnaissance et essais. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte. Partie 2 : cisaillement alterné.
NF P 94-072	Sols: reconnaissance et essais. Essai scissométrique en laboratoire.
NF P 94-074	Sols: reconnaissance et essais. Essais à l'appareil triaxial de révolution. Appareillage - Préparation des éprouvettes - Essai (UU) non consolidé non drainé - Essai (Cu + U) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle - Essai (CD) consolidé drainé.

NF P 94-077	Sols: reconnaissance et essais. Essai de compression uniaxiale.
NF P 94-078	Sols: reconnaissance et essais. Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat. Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR. (remplace NF P 94-078, décembre 1992).
NF P 94-090-1	Sols : reconnaissance et essais. Essai oedométrique. Partie 1 : essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers.
NF P 94-091	Sols: reconnaissance et essais. Essai de gonflement à l'oedomètre. Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes.
NF P 94-093	Sols: reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal. Essai Proctor modifié (remplace NF P 94-093, décembre 1993).
NF P 94-100	Sols : reconnaissance et essais. Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement.
NF P 94-102-1	Sols : reconnaissance et essais. Sol traité au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, pour utilisation en couche de forme - Partie 1 : Définition- Composition - Classification.
NF P 94-102-2	Sols : reconnaissance et essais. Sol traité au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, pour utilisation en couche de forme - Partie 2 : Méthodologie des études de formulation en laboratoire.
NF P 94-110	Sols: reconnaissance et essais. Essai pressiométrique Ménard.
NF P 94-112	Sols: reconnaissance et essais. Essai scissométrique en place.
NF P 94-113	Sols : reconnaissance et essais. Essai de pénétration statique (remplace NF P 94-113, octobre 1989).
NF P 94-114	Géotechnique. Sols: reconnaissance et essais. Essai de pénétration dynamique type A.
NF P 94-115	Géotechnique. Sols : reconnaissance et essais. Sondage au pénétromètre dynamique type B.
NF P 94-116	Sols: reconnaissance et essais. Essai de pénétration au carottier.

NF P 94-117-1	Déformabilité des plates-formes - Partie 1 : Module de déformation statique à la plaque.
NF P 94-117-2	Déformabilité des plates-formes - Partie 2 : Module sous chargement dynamique à la plaque (essais à la dynaplaque 1 ou à la dynaplaque 2) - Clôture de l'enquête 05/04/2003
NF P 94-119	Sols: reconnaissance et essais. Essai au piézocone.
NF P 94-120	Sols: reconnaissance et essais. Essai de cisaillement au phicomètre.
NF P 94-130	Sols: reconnaissance et essais. Essai de pompage.
NF P 94-131	Sols: reconnaissance et essais. Essai d'eau Lugeon.
NF P 94-132	Sols: reconnaissance et essais. Essai d'eau Lefranc.
NF P 94-157-1	Sols : reconnaissance et essais. Mesures piézométriques. Partie 1 tube ouvert.
NF P 94-157-2	Sols : reconnaissance et essais. Mesures piézométriques. Partie 2 : sonde de mesure de pression interstitielle.
DTU P 94-201	DTU 111 - Sondage des sols de fondation (édition mai 1981).
XP P 94-202	Sols : reconnaissance et essais. Prélèvement des sols et des roches. Méthodologie et procédures.
XP P 94-402	Roches. Glossaire. Définitions - Notations – Symboles
NF P 94 410-1	Roches. Essais pour déterminer les propriétés physiques des roches. Partie 1 : détermination de la teneur en eau
NF P 94 410-2	Roches. Essais pour déterminer les propriétés physiques des roches. Partie 1 : détermination de la masse volumique. Méthodes géométriques et par immersion dans l'eau.
NF P 94 410-3	Roches. Essais pour déterminer les propriétés physiques des roches. Partie 1 : détermination de la porosité
NF P 94 500	Missions géotechniques, Classifications et spécifications
NF P 98 100	Assises de chaussées – Eau pour assises
NF P 98 101	Assises de chaussées – Chaux aérienne calcique pour sols et routes - Spécifications

NF P 98 102	Assises de chaussées – Chaux aérienne calcique pour sols et routes - Essai de réactivité de la chaux vive à l'eau
NF P 98 115	Assises de chaussées – Exécution des corps de chaussées – Constituants – Composition des mélanges et formulation – Exécution et contrôle
NF P 98 230-1	Essais relatifs aux chaussées - Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités - Partie 1 : Fabrication des éprouvettes par vibro-compression
NF P 98 230-2	Essais relatifs aux chaussées - Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités - Partie 2 : Fabrication des éprouvettes de sables ou de sols fins par compression statique
NF P 98 230-3	Essais relatifs aux chaussées - Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités - Partie 3 : Fabrication en laboratoire de mélanges de graves ou de sables pour la confection d'éprouvettes
NF P 98 231-5	Essais relatifs aux chaussées - Comportement au compactage des matériaux autres que traités aux liants hydrocarbonés - Partie 5 : Détermination par auscultation dynamique du délai de maniabilité des graves traitées aux liants hydrauliques
NF P 98 231-6	Essais relatifs aux chaussées - Comportement au compactage des matériaux autres que traités aux liants hydrocarbonés - Partie 6 : Détermination par compactage différé du délai de maniabilité des graves et sables traités aux liants hydrauliques
NF P 98 232-1	Essais relatifs aux chaussées - Détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 1 : Essai de compression simple sur graves
NF P 98 232-2	Essais relatifs aux chaussées - Détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 2 : Essai de traction directe sur sables et graves
NF P 98 232-3	Essais relatifs aux chaussées - Détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 3 : Essai de compression diamétrale sur sables et sols fins
NF P 98 234-2	Essais relatifs aux chaussées - Comportement au gel des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 2 : Essai de gonflement au gel des sols et matériaux granulaires traités ou non de Dmax=20 mm

NF P 98 275-1	Essais relatifs aux chaussées - Détermination du dosage en liant répandu - Partie 1 : Essai in situ de dosage moyen et de régularité transversale
NF P 98 701	Essais relatifs aux chaussées - Centrale de traitement des matériaux - Terminologie et performances
NF P 98 705	Essais relatifs aux chaussées - Compacteurs - Terminologie et spécifications commerciales
NF P 98 711	Essais relatifs aux chaussées - Traitement en place ou retraitement : matériels de préparation des sols et de stockage des liants pulvérulents - Terminologie
NF P 98 712	Essais relatifs aux chaussées - Traitement en place ou retraitement : épandeurs de liants pulvérulents et malaxeurs de sols en place
NF P 98 713	Essais relatifs aux chaussées - Méthodes d'essai des performances des matériels de compactage
NF P 98 736	Matériels pour la construction et l'entretien des routes - Classification des compacteurs
NF P 98 761	Matériels pour la construction et l'entretien des routes - Compacteurs - Evaluation du moment d'excentrique
NF P 98 331	Chaussées et dépendances – Tranchées : ouverture, remblayage, réfection
NF P 18 540	Granulats Définitions, conformité, spécifications
NF P 18 550	Fidélité des méthodes d'essais
NF P 18 551	Prélèvement de matériaux sur stocks
NF P 18 552	Prélèvement de matériaux en cours d'écoulement
NF P 18 553	Préparation d'un échantillon pour essai
NF P 18 554	Mesure des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux
NF P 18 555	Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables
NF P 18 556	Détermination de l'indice de continuité

NF P 18 557	Éléments pour d'identification des granulats
NF P 18 558	Détermination de la masse volumique absolue des fines
NF P 18 559	Mesure de la masse volumique des sables et gravillons dans l'huile de paraffine
NF P 18 560	Granulats Analyse granulométrique par tamisage
NF P 18 561	Mesure du coefficient d'aplatissement
NF P 18 562	Détermination de l'épaisseur moyenne des gravillons
NF P 18 563	Détermination du coefficient d'écoulement des gravillons
NF P 18 564	Détermination du coefficient d'écoulement des sables
NF P 18 565	Détermination de l'indice des vides Rigden
NF P 18 566	Analyse granulométrique, aplatissement et allongement. Essai au vidéogranulomètre
NF P 18 571	Détermination de l'homogénéité des granulats
NF P 18 572	Essai d'usure micro-Deval
NF P 18 573	Essais Los Angeles
NF P 18 574	Essai de fragmentation dynamique
NF P 18 575	Mesure du coefficient de polissage accéléré des gravillons
NF P 18 576	Mesure du coefficient de friabilité des sables
NFP 18 577	Essai Deval
NF P 18 578	Mesure de la rugosité d'une surface, à l'aide du pendule de frottement
NF P 18 579	Essai d'abrasivité et de broyabilité
NF P 18 580	Détermination de la résistance au polissage accéléré des gravillons - Méthode par projection
NF P 18 581	Dosage rapide des sulfates solubles dans l'eau. méthode par spectrophotométrie
NF P 18 582	Détermination de la teneur en soufre total

NF P 18 583	Mesure de la teneur en chlore - méthode par dissolution
NF P 18 584	Granulats Réactivité potentielle de type alcali-silice
NF P 18 586	Mise en évidence de matières organiques par colorimétrie
NF P 18 589	Réactivité potentielle de type alcali silice et alcali silicates test cinétique - méthode chimique
NF P1 8 591	Détermination de la propreté superficielle
NF P 18 592	Essai au bleu de méthylène
NF P 18 593	Sensibilité au gel
NFP 18 594	Résistance à la désagrégation - méthode par cristallisation des sulfates
NF P 18 595	Valeur de bleu de méthylène - méthode turbidimétrique
NF P 18 597	Détermination de la propreté des sables - équivalent de sable à 10% de fines
NF P 18 598	Equivalent de sable
NF EN 333-5	Pourcentage de surfaces cassées dans les gravillons - à paraître
NF EN 13450	Granulats pour ballasts de voies ferrées

Eurocode 7

Cahier des Prescriptions Communes (CPC) - Livret 5.12 - Fascicule II « Grands Terrassements », février 1996 de la SNCF.

Cahier des Prescriptions Communes (CPC) - Livret 5.00 « Organisation de la qualité dans le domaine des Terrassements généraux et de la végétalisation », février 1996 - Spécification Technique n° 590 B, rectifiée n° 1 de mars 1999 de la SNCF.

Notice Générale SNCF - EF 2C 20 n° 4 « Emploi de géosynthétiques », mars 1996

Guide Technique « Réalisation des remblais et des couches de forme » - SETRA-LCPC, septembre 1992

Guide Technique « Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques » SETRA-LCPC, janvier 2000

Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme » SETRA-LCPC, Septembre 1992

Guide Technique « Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques » SETRA-LCPC, janvier 2000

GTS (Guide du Traitement des Sols, du SETRA)

Notice technique « Remblayage des tranchées » (SETRA-LCPC)