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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD d'un Tronçon tramway reliant Zouaghi - Nouvelle ville Ali Mendjeli «CONSTANTINE» du PK15+703 au PK19+186

Présenté par :

BENYOUCEF Chouaib
CHELGHOUM Houssem Eddine

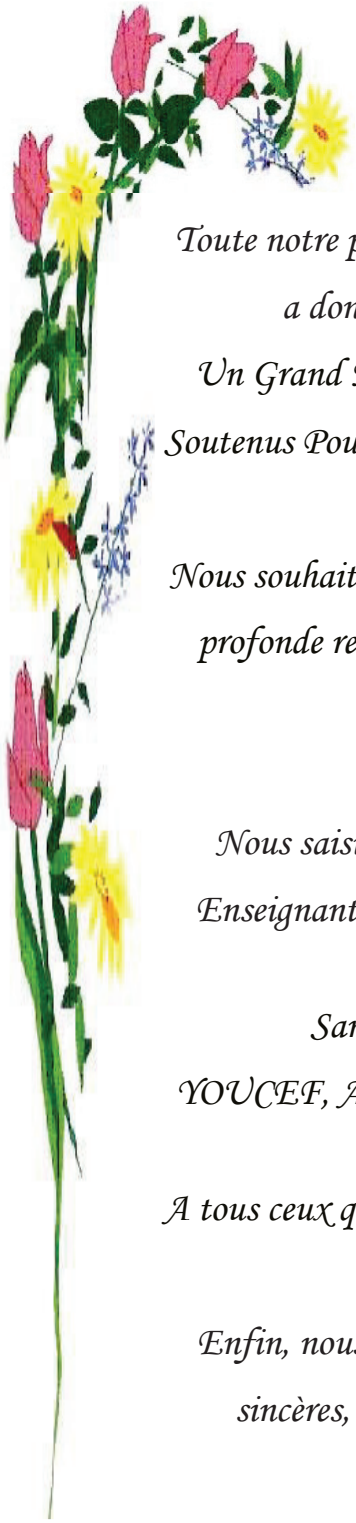
Encadré par :

Mr DERRADJI Ayachi
Mme BENOUMECHIARA Nawel

Promotion 2018 /2019

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم



Remerciements

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Un Grand Mercie S'adresse Particulièrement A Nos Familles Qui Nous Ont Soutenus Pour Réaliser Nos Etudes Et Qui Nous Ont Toujours Encouragés dans Chaque pas vers l'avant.

Nous souhaitons exprimer, tout particulièrement, nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance à notre encadreur MR : DERRADJI AYACHI ET Mme : BENMOUCHIARA de

Nous avoir aidé et orienter dans ce mémoire.

Nous saisissons également cette opportunité pour remercier l'ensemble des Enseignants Et Des Travailleurs De L'ENSTP ainsi le chef de département DIB Mr : FERHAT FEDGHOUCHE.

Sans oublier l'équipe ALSTOM et COSIDER en particulier

YOUCEF, ABD EL GHANI, ABD EL RAHMAN, CHEMSSOU, SAMIR, HANI, KHALED, IMED.

A tous ceux qui ont contribué dans notre formation de près et de loin, depuis, les Premières lettres alphabétiques.

Enfin, nous ne voudrons pas terminer sans remercier également ceux, les plus sincères, adresses à tous les ingénieurs de l'E.N.S.T.P futurs et anciens.

إهداء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لو لا فضل الله علينا أما بعد

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أمي وأبي العزيزين حفظهما الله لي اللذان سهرا وتعبا على تعليمي.

وإلى أفراد أسرتي، سندي في الدنيا ولا أحصي لهم فضل

إلى كل أقاربي وإلى كل الأصدقاء والأحباب من دون استثناء

إلى أساتذتي الكرام وكل رفقاء الدراسة

إلى جميع الأساتذة والمعلمين من التعليم الابتدائي إلى غاية التخرج

إلى جميع طلبة المدرسة الوطنية للأشغال العمومية

وكل من أحبنا وأحببناه في الله

اهدي هذه الرسالة المتواضعة.

Dédicace

Au nom d'Allah le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux

Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir motivé a réalisé ce modeste travail

Ensuite je remercie infiniment mes parents qui se sont donnés, qui ont été toujours à mes côtés par leurs exhortations et encouragements et surtout par leurs prières afin que je puisse arriver à ce stage de formation.

A mes chers frères YAKOUB, BOUBAKER et mon adorable sœur RAYANE.

A mes grands-parents ainsi que qu'à toute la famille.

A mon binôme CHELGHOUM Houssem.

A mes encadrants qui ont été gentils, patients, qui mon soutenu et orienté.

A mes amis :

B.sanfour ; G.ImadeEddine ; B. Raouf ; M.Amir ; B. Jamel ; K. Abdou ; L. Adel ; A.Mohamed ; K.Ahmed fayssal ; B. Youcef ; S. Mohamed ; B. Moussa ; K. Mohamed ; M. Tarek ; A. Ayoub ; B. Limi ; A. Baki.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

A tous mes professeurs du primaire à la dernière année universitaire

En fin à tous ceux qui occupe une place dans mon cœur.

ملخص

هذه المذكرة تشمل دراسة التصميم التفصيلي لجزء من خط الترامواي مزدوج المسار الرابط بين زواغي والمدينة الجديدة علي منجلي بقسنطينة في منطقة حضرية على طول 3,5 كم من النقطة الكيلومترية 15+703 إلى النقطة الكيلومترية 19+186 مع تصميم جسر وواثب ترامواي. استخدمنا برنامج civil 3D (2019) للنمذجة الهندسية للخط مع الامتثال للمعايير UIC و توصيات ALSTOM.

سوف تشمل دراستنا العديد من المهام بما في ذلك تحقيقات الموقع، التعرف على المعايير الهندسية لتصميم الطريق وتطبيقها، اختيار المسار الأمثل مع الأخذ بعين الاعتبار العقبات الموجودة على الأرض، إنشاء تقديري كمي وتقدير الأسعار.

الكلمات المفتاحية: ترامواي، الخط، رسم، المعايير الدولية للسكك الحديدية.

Résumé

Ce mémoire consiste à l'étude avant-projet détaillé d'un tronçon de la ligne de tramway à voie double reliant Zouaghi et la Nouvelle ville Ali-Mendjeli à Constantine dans une zone urbaine sur un linéaire de 3,5 km du PK 15+703 au PK 19+186 avec la conception d'un pont et une Trémie tramway. On a utilisé le logiciel Civil 3D 2019 pour la modélisation de la géométrie du tracé tout en respectant les normes UIC et les recommandations d'ALSTOM.

Notre étude comportera une multitude de tâches dont les investigations du site, la reconnaissance des critères géométriques de la conception du tracé, l'optimisation de ce dernier en tenant compte des obstacles trouvés sur terrain, l'établissement d'un devis quantitatif et estimation des prix.

Mots Clés : Tramway, ligne, Tracé, Normes UIC .

Summary

This dissertation consists of the detailed design of the double tramway line related between Zouaghi and the new city Ali-Mendjeli in Constantine in an urban zone on a 3,5 km linear from PK 15+703 to PK 19+186 with the conception of a bridge and a tram hopper. The Civil 3D 2019 software was used for the geometrical modelling of the tracing while respecting the UIC standards and the ALSTOM recommendations.

Our study will involve a multitude of tasks, including site investigations, recognition of the geometric criteria of the tracing design, optimization of the considered path with taking into account the obstacles found on the site, quantities and price estimation

Keywords : Tramway, line, Tracing, UIC standards.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 GENERALITES

I.1. HISTORIQUE DU TRAMWAY : 2
I.2. HISTORIQUE DU TRAMWAY EN ALGERIE : 2
I.3. PRESENTATION DE LA WILAYA DE CONSTANTINE : 3
I.3.1. Situation géographique : 3
I.3.2. Climat et contexte hydrologique : 3
I.3.3. Contexte géologique : 4
I.3.4. Sismicité : 5
I.4. PRESENTATION DU PROJET : 5

CHAPITRE MASTER : BETON DE FIBRES

I. INTRODUCTION : 8
II. LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES : 8
II.1. Les fibres métalliques : 8
II.2. Les fibres polypropylène : 10
II.3 Les fibres de verre : 11
III.ROLE DES FIBRES DANS LE BETON : 13
IV. AUTRE PROPRIETES DU BETON DE FIBRE : 16
IV.1 Retrait : 16
IV.2 Comportement Au Fluage : 16
V. LES INCOVENIENTS DES FIBRES : 16
VI. CONCLUSION : 17

CHAPITRE 2 ETUDE DE FAISABILITE

II.1.INTRODUCTION : 19
II.2 SITUATION DEMOGRAPHIQUE : 19
II.3. SITUATION SOCIO-ECONOMIQUE : 20
II.3.1 Equipement universitaire : 20
II.3.2 Equipement sportifs et loisirs : 20
II.3.3 Equipement commerciaux : 20
II.4 INVESTIGATION SUR LES MODES DE TRANSPORTS : 20
II.4.1 Bus urbains : 20
II.4.2 Bus interurbain : 21
II.4.3 Bus étudiant : 21

II.4.4 Taxis : 22
II.5 CONCLUSION : 22

CHAPITRE 3 ETUDE GEOMETRIQUE

III.1 TRACE EN PLAN : 23
III.1.1. Introduction : 23
III.1.2 Critères de conception : 23
III.1.2.1 Règles a respecté : 23
III.1.2.2 Les Eléments de voie : 23
III.1.2.2.1 Les alignements droits : 23
III.1.2.2.2 Les courbes circulaires *:* 23
III.1.2.2.3 Les courbes de transition *:* 24
III.1.3 Gabarits : 25
III.1.4 Sur largeurs : 26
III.1.5 Les stations : 26
III.1.5.1 Implantation des stations : 26
III.1.5.2 Distance axe de voie avec le nez de quai : 27
III.1.5.3 Distance entre courbe et la station : 27
III.1.5.4 Longueur de quai : 27
III.1.6 Appareils de voie : 27
III.2 PROFIL EN ELEVATION : 29
III.2.1 Introduction : 29
III.2.2 Constitution d'un profile en élévation 29
III.2.3 Des règles particulières : 30
III.2.4 COMBINAISON DE TRACE EN PLAN PROFIL EN LONG 31
III.3 PROFIL EN TRAVERS : 32
III.3.1 Introduction : 32
III.3.2 Les éléments du profil en travers : 32
III.3.3 Calcul des cubatures : 34

CHAPITRE 4 ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.1. INTRODUCTION : 35
IV.2. OBJECTIF DE L'ETUDE GEOTECHNIQUE : 35
IV.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE : 35
IV.3. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE GEOTECHNIQUE : 36
IV.3.1 Essai in situ : 36

IV.3.2 Essais de laboratoire : 36
IV.4 DESCRIPTION DES MATERIAUX DU TRACE : 37
IV.4.1 Remblai : 37
IV.4.2 Terre végétale : 37
IV.4.3 Marne : 37
IV.4.4 Calcaire lacustre : 38
IV.4.5 Tuf : 38
IV.4.5 Résumée de la réutilisation des matériaux du tracé : 39
IV.6 MATERIAUX ORIGINAIRES DE CARRIERES OU ZONES D'EMPRUNT : 39

CHAPITRE 5 DIMMENSIONEMENT DE LA COUCHE DE FORME ET DE LA PLATEFORME

V.1 DEFINITION ET NATURE DE LA COUCHE DE FORME : 41
V.2 FONCTIONS DE LA COUCHE DE FORME 41
V.2.1 A court terme : 41
V.2.1 A long terme : 41
V.3 CONCEPTION DE LA COUCHE DE FORME : 42
V.4 DIMMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME FERROVIARE : 42
V.4.1 Introduction : 42
V.4.2 Méthode de dimensionnement : 43
V.4.3 Données de projet pour le dimensionnement de la plateforme : 44
V.4.4 Dimensionnement de la dalle de fondation : 44
V.4.4 Dimensionnement de la dalle de calage : 45
V.4.4 La couche de revêtement : 45
V.5 VERIFICATION DE LA PLATEFORME PAR ALIZE32 : 45

CHAPITRE 6 ASSAINISSEMENT

VI.1 INTRODUCTION : 46
VI.2 DRAINAGE DE LA PLATEFORME : 46
VI.2 LES DONNEES CLIMATIQUE : 46
VI.3 CALCUL DE DEBIT MAX : 47
Pluie journalière 47
Temps de concentration 47
La surface de la plateforme A 47
Calcul de l'intensité de l'averse It 48
Coefficient de ruissellement 48
Calcul des débits 48

Le calcul numérique 48
VI.4 DIMMENSIONNEMENT DE TUBE PVC : 49
VI.5 VERFICATION DES CONDITIONS D'AUTO CURAGE : 50

CHAPITRE 7 LES ELEMENTS DE LA COMPOSITION DES VOIES

VII.1INTRODUCTION : 51
VII.2 LES ELEMENTS DE LA COMPOSITION DES VOIES : 51
VII.2.1 Le Rail : 51
VII.2.2 Système d'attache : 53
VII.2.3 Travers : 53
VII.2.4 Les appareils de voie : 54
VII.2.5 Dispositifs de dilatation : 56
VII.2.6 Joints : 56
VII.2.7 Taquet d'arrêt : 57

CHAPITRE 8 OUVRAGES D'ART

VIII.1 TREMIE TRAMWAY : 58
VIII.1.1 INTRODUCTION : 58
VIII.1.2 CONCEPTION ET DESCRIPTION DE L'OUVRAGE : 58
VIII.1.3 DRAINAGE DE LA PLATEFORME A L'INTERIEURE DE LA TREMIE : 63
VIII.1.3 PHASAGE DES TRAVAUX : 64
VIII.2 VIADUC DU PK 16+300 : 68
VIII.2.1 INTRODUCTION : 68
VIII.2.2 CRITERES DE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE : 68
VIII.2.3 DONNEES FONCTIONNELLES : 68
Tracé en Plan 68
Le profil en long 68
Le profil en travers 68
VIII.2.4 CHOIX DE LA CONCEPTION : 69
VIII.2.5 PRE DIMENSIONNEMENT : 69
VIII.2.6 CONCEPTION DE LA CULEE : 71
VIII.2.6.1 Les dimensions des différents constituants de la culée : 71
VIII.2.7 CONCEPTION DE LA PILE : 72
VIII.2.7.1 La pile : 72
VIII.2.7.2 DIMENSIONS DE LA PILE : 72
VIII.2.8 CONCLUSION : 73

CHAPITRE 9 ELECTRIFICATION ET SIGNALISATION

IX.1 ELECTRIFICATION : 74
IX.1.1 INTRODUCTION : 74
IX.1.2 TYPES DE COURANT DE TRACTION : 74
IX.1.3 LA MULTITUBULAIRE ET LES CHAMBRES DE TIRAGE CFA/CFO : 74
IX.1.4 POTEAUX LAC (LIGNE AERIENNE DE CONTACT) : 75
IX.1.5 PROTECTION CONTRE LES COURANTS VAGABONS : 75
IX.1.6 OGANIGRAMME RESUMANT L'ELECTRIFICATION DU PROJET : 76
IX.2 SIGNALISATION : 77
IX.2.1 INTRODUCTION : 77
IX.2.2 TYPES DE LA SIGNALISATION : 77
IX.2.2.1 Signalisation horizontale : 77
IX.2.2.2 Signalisation verticale : 77
IX.2.2.3 Signalisation lumineuse : 78
IX.2.3 SYSTEME DE DETECTION : 79

CHAPITRE 10 IMPACT ENVIRONNEMENTALE

X.1 INTRODUCTION : 81
X.2 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE : 81
X.3 EFFETS DU PROJET SUR LE CADRE DE VIE : 81
XII.3.1 Effets sur la qualité de l'air : 81
XII.3.2 Vibrations : 81
XII.3.3 Effets sur l'ambiance sonore : 82
XII.3.4 Effets sur les eaux de ruissellement : 82
X.3 PARC RELAIS : 83
X. CONCLUSION : 84

DEVIS ESTIMATIFS ET QUANTITATIFS

DEVIS QUANTITATIFS ET ESTIMATIFS : 85

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE : 86

LISTE DES FIGURES

La ville de Constantine 1
Figure I.1 Le tramway de Manchester 1877. 2
Figure I.2 Le tramway d'Alger 2
Figure I.3 Situation géographique de Constantine 3
Figure I.3 Carte géologique de la zone d'étude 5
Figure I.4 Zone sismique 5
Figure I.5 Composante de l'extension de la première ligne du tramway 6
Figure I.6 Présentation du notre secteur d'étude 7

Figure.1 Exemple de fibres métalliques. 10
Figure.2 Les fibres polypropylène. 11
Figure.3 Les fibres de verre. 12
Figure.4 déformation d'un béton armé de fibres, comparée à celle d'un béton non armé. 13
Figure.5 Effet de retardement de la fissuration et répartition des fibres dans le béton. 14
Figure.6 comparaison de rupture éprouvette armé de fibre et celle non armé. 15
Figure.7 différentes modes d'armature d'une poutre en béton. 16

Figure II.1 Plan directeur D'Ali Mendjeli 19
Figure II.2 La gare routière d'Ali Mendjeli 21
Figure II.3 Distribution journalière des bus étudiant. 22
Figure II.4 Distribution journalière des taxis 22
Figure III.1.1 dévers coplanaire et dévers voie-par-voie 25
Figure III.1.2 Voie simple. 26
Figure III.1.3 Distance axe de voie avec nez de quai et hauteur quai. 27
Figure III.1.3 Alignement droit et clothoïdes au niveau du quai. 27
Figure III.1.4 Distance minimale entre deux ADV. 28
Figure III.3.1 Profil en travers type du projet. 34
Figure IV.1 Calcaire massif jusqu'à 17,40 m avec d'argile SC-AM-8+680. 35
Figure IV.2 Sous-classe de la marne. 37
Figure V.1 Plateforme ferroviaire. 43
Figure V.2 Abaque de dimensionnement des plateformes de tramway. 45
Figure VI.1 Aqua-drain. 46
Figure VI.2 Surface a drainer. 49
Figure VII.1 rail à gorge. 51

Figure VII.2 soudure des rails par coulage du métal en fusion dans le moule..... 52
Figure VII.3 System d'attache NABLA..... 53
Figure VII.4 Traverse bi-block en béton pour rail à gorge. 54
Figure VII.5 Aiguillage et cœur. 55
Figure VII.6 Communication simple tg 1/6 R=50 m. 55
Figure VII.7 Branchement simple tg 1/6 R=50 m..... 56
Figure VII.8 Appareil de dilatation. 56
Figure VII.9 Taquet d'arrêt. 57
Figure VIII.1.1 Vue en plan du Trémie..... 60
Figure VIII.1.2 Les profils en travers des différentes typologies..... 62
Figure VIII.1.4 Coupe type trémie avec détail du flux de l'eau vers le caniveau latéral..... 63
Figure VIII.1.5 Excavation des parois moulées. 63
Figure VIII.1.6 Les murettes-guide..... 64
Figure VIII.1.7 Mise en place des armatures et bétonnage..... 64
Figure VIII.1.8 Exécution de la dalle supérieure. 65
Figure VIII.1.9 Exécution de la poutre reliant et les murs de finition au-dessus..... 65
Figure VIII.1.10 Exécution de la dalle inférieure. 66
Figure VIII.1.11 Remblayage..... 66
Figure VIII.2.1 schéma illustratif de la section des poutres..... 70
VIII.2.6.1 Les dimensions des différents constituants de la culée : 70
Figure VIII.2.2 schéma illustratif de la culée..... 71
Figure VIII.2.3 schéma illustratif de la pile 72
Figure IX.1.1 Multitubulaire. 75
Figure IX.1.2 Support latérale d'une ligne aérienne de contact..... 75
Figure IX.2.1 Signal d'indication traversé de voie Tramway. 77
Figure IX.2.2 Signal de type R17..... 78
Figure IX.2.3 Signal d'aide à la conduite..... 79
Figure IX.2.4 Configuration d'un carrefour type. 80
Figure X.1 Parc de relais à l'entrée de la nouvelle ville D'Ali Mendjeli..... 84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Donnée climatique à Constantine 3
Tableau II.1 la population D'Ali Mendjeli selon le plan de transport 19
Tableau II.2 Ligne de bus urbain 21
Tableau II.3 ligne de bus interurbains 21
Tableau III.1 Quantité remblai et déblai 34
Tableau IV.1 Les essais obtenus des échantillons pris dans les sondages à la tarière 36
Tableau IV.2 Sous-classe du sol-calcaire. 38
Tableau IV.3 Aptitude des unités géotechniques à leur emploi dans les corps de remblais. ... 39
Tableau IV.4 Aptitude des unités géotechniques à leur emploi dans la PST. 39
Tableau IV.5 Matériaux originaires de carrières. 40
Figure V.1 Tableau définissant les classes de la plateforme. 42
Tableau VI.1 La précipitation 46
Tableau VI.2 Paramètre pour calcul de la pluie journalière maximale de fréquence 47
Tableau VI.3 Coefficient de ruissellement 48
Tableau VI.4 Résultats du Calcul numérique 49
Tableau VII.1 Dimensions du rail 55G2 51
Tableau VII.2 Appareils de voie utilisée. 55
Tableau VIII.1.3 Paramètres géotechnique de la trémie tramway. 62
Tableau VIII.2.1 dimensions des différents constituants de la culée 70
Tableau IX.2.1 Tableau récapitulatif. 79

INTRODUCTION GENERALE

Constantine, la ville des ponts à l'Est de la capitale, elle s'est construite au fil des ans, sur un plateau rocheux entouré de pont, porte depuis 17 siècles le nom de l'empereur Constantine I^{er} Qui la reconstruisit. Cet emplacement stratégique de la wilaya lui accorde une grande importance sur plusieurs plans.



La ville de Constantine [1].

La profonde mutation socio-économique et la forte demande de déplacement exigent un renouvellement et une amélioration du moyen de transport urbain.

Ce qui conclut de mettre en œuvre un nouveau réseau de transport collectif le tramway. Le transport tramway a bien trouvé sa place dans le secteur de transport, avec d'autant d'avantage par rapport au transport routier pour les usagers, on note aussi les avantages apportés pour l'environnement.

Ce mémoire de PFE consiste à faire une étude d'avant-projet détaillé de l'Extension de la premier ligne du Tramway de Constantine sur une linaire de « Zouaghi – ALI Mendjeli ».

Pour l'étude de ce projet, un plan de travail est arrête comme suit :

- Chapitre master :Béton de fibre.
- Généralités sur les tramways (projets).
- Etude de Faisabilité.
- L'étude géométrique : tracé en plan, profile en long, profile en travers.
- L'étude géotechnique sur la base des différents essais réalisés sur chantier et au laboratoire.
- Dimensionnement de la couche de forme et la plateforme plus la description des éléments des superstructures et les composants de la voie, et finir avec le système d'assainissement.
- La conception des Ouvrages d'arts (Pont et trémie tramway).
- La Signalisation, l'électrification.
- Etude d'impact sur l'environnement.

GENERALITES

I.1. HISTORIQUE DU TRAMWAY :

Le terme transport collectif englobe le concept de transport en commun, qui est défini comme étant un système de transport mis à la disposition du public dans le centre urbain et qui met en œuvre des véhicules adaptés à l'accueil simultané de plusieurs personnes.

Comme son nom l'indique. Le tramway est une invention américaine. C'est le new-yorkais John Stephenson qui, en 1832, construit la première ligne tirée à cheval, entre Manhattan et Harlem.



Figure I.1 Le tramway de Manchester 1877[1].

I.2. HISTORIQUE DU TRAMWAY EN ALGERIE :

Dans le passé, l'Algérie possédait plusieurs réseaux de tramways. Un premier réseau concède des 1898 à la société des tramways algériens, Une filiale de la société Thomson-Houston (dont émergera la future ALSTOM).

Le mode tramway fut définitivement abandonné en décembre 1959.

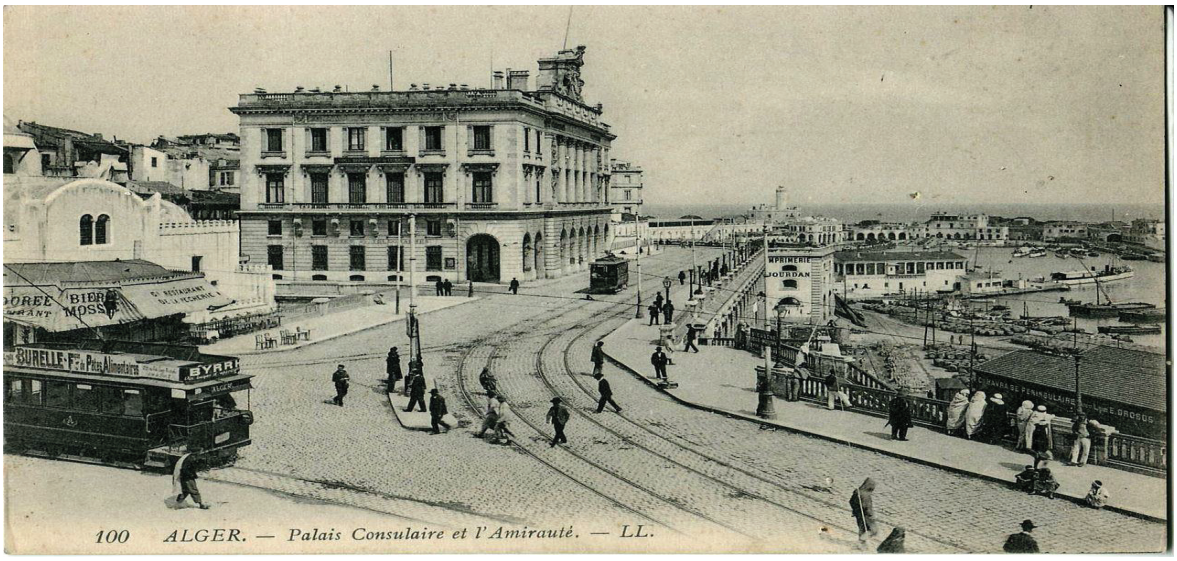


Figure I.2 Le tramway d'Alger [1].

Le retour du tramway : la cérémonie de la première pierre du tramway moderne a eu lieu le 5 juillet 2006. Le projet a été lancé et financé par l'Etat algérien.

I.3. PRESENTATION DE LA WILAYA DE CONSTANTINE :

I.3.1. Situation géographique :

Constantine est l'une des villes les plus importantes de l'Est algérien. Elle occupe une position géographique centrale dans cette région, étant une ville charnière entre le Tell et les Hautes plaines, au croisement des grands axes Nord-Sud (Skikda-Biskra) et Ouest-Est (Sétif-Annaba). Elle est également la métropole de l'Est du pays et la plus grande métropole intérieure du pays.

Constantine est limitée par les wilayas suivantes : Skikda, Mila, Guelma et Oum el Bouagui.

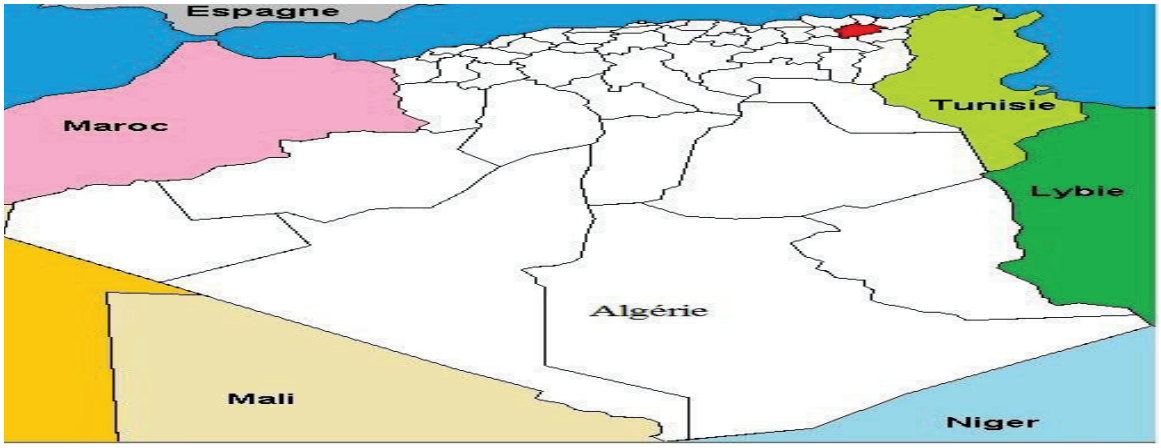


Figure I.3 Situation géographique de Constantine [1].

I.3.2. Climat et contexte hydrologique :

Le climat de la wilaya de Constantine est de type continental avec des températures à fortes amplitudes (voir tableau). La moyenne pluviométrique varie de 500 mm à 600 mm par an. Il fait froid en hiver jusqu'à – 3 C°, et très chaud en été avec des pics de chaleurs allant jusqu'à 41C°.

Tableau I.1 Données climatiques à Constantine [2].

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	jui.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	2	3	4	6	10	15	17	18	15	11	6	3	**9**

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	jui.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température moyenne (°C)	7	8	10	12	16	21	25	25	21	16	11	8	**15**
Température maximale moyenne (°C)	11	12	14	17	22	28	32	32	27	22	16	12	**21**
Record de froid (°C)	−3	−3	−2	−2	−2	1	5	8	10	7	2	−3	**−3**
Record de chaleur (°C)	22	27	27	30	35	41	41	41	38	36	27	27	**41**
Précipitations (mm)	80	60	60	50	40	20	0	10	20	40	50	80	**560**

I.3.3. Contexte géologique :

La ville s'étale sur un terrain caractérisé par une topographie très accidentée, marquée par une juxtaposition de plateaux, de collines, de dépressions et de ruptures brutales de pentes donnant ainsi un site hétérogène.

Elle s'étend sur un plateau rocheux à 649 mètres d'altitude, coupé des régions qui l'entourent par des gorges profondes où coule l'oued Rhummel qui l'isole, à l'est et au nord, des djebels Ouahch et Sidi Mcid, à l'ouest, le bassin d'El-Hamma. Le choix de cet emplacement est avant tout une stratégie de défense. Aux alentours, la région est dotée de terres fertiles.

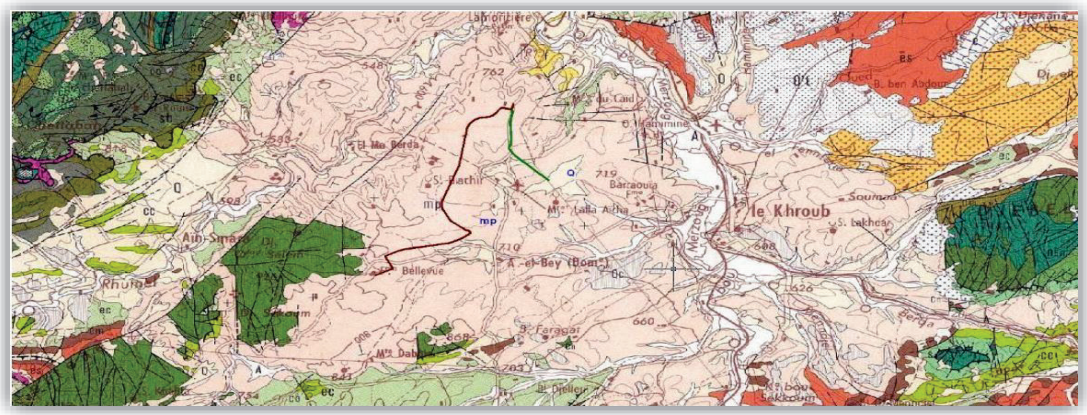


Figure I.3 Carte géologique de la zone d'étude [3].

I.3.4. Sismicité :

La ville nouvelle de Ali Mendjeli et toute la Willaya de Constantine est classés zone sismique IIa ; d'après le document technique réglementaire D.T.R – B.C. 2.48 des règles parasismiques algériennes RPA99/version 2003.

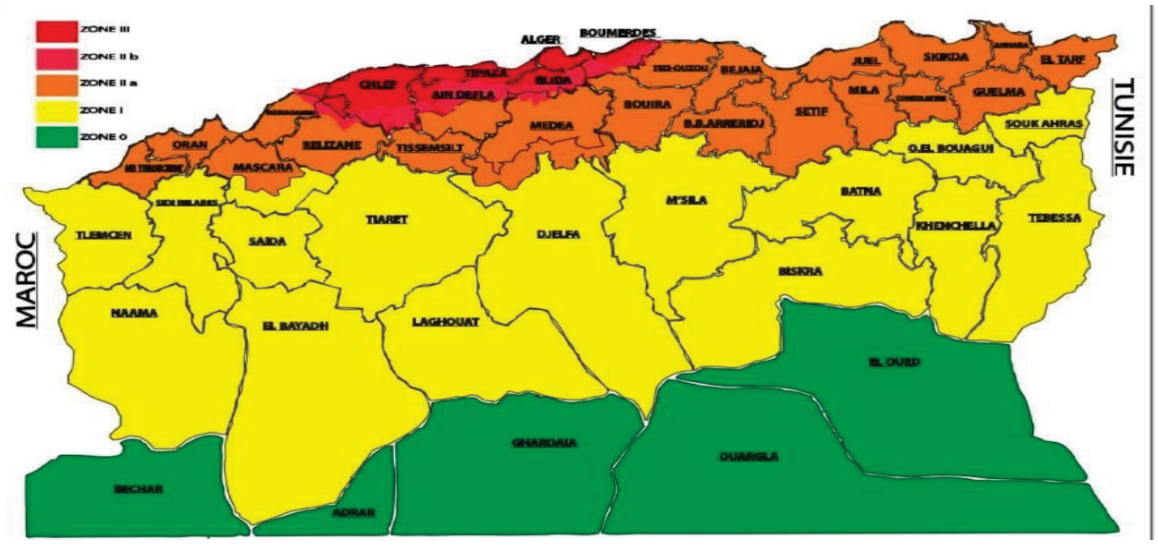


Figure I.4 Zone sismique [4].

I.4. PRESENTATION DU PROJET :

Le ministère de transport et des travaux publics, a traves de l'Enterprise Metro d'Alger, développe le projet du tramway de Constantine conscient de sa transcendance.

Dans le cadre de la prolongation vers Ali Mendjeli nous projetons une plateforme pour voie double dont l'origine se situe après la station de Zouaghi.

Le projet consiste à l'extension de la 1ere ligne existante Zouaghi –la nouvelle ville Ali Mendjeli Sur une longueur d'environ 10.332 km avec la caractéristique géologique d'une voie normale à écartement standard de 1.435 m et de vitesse pouvant atteindre 70 Km/h.

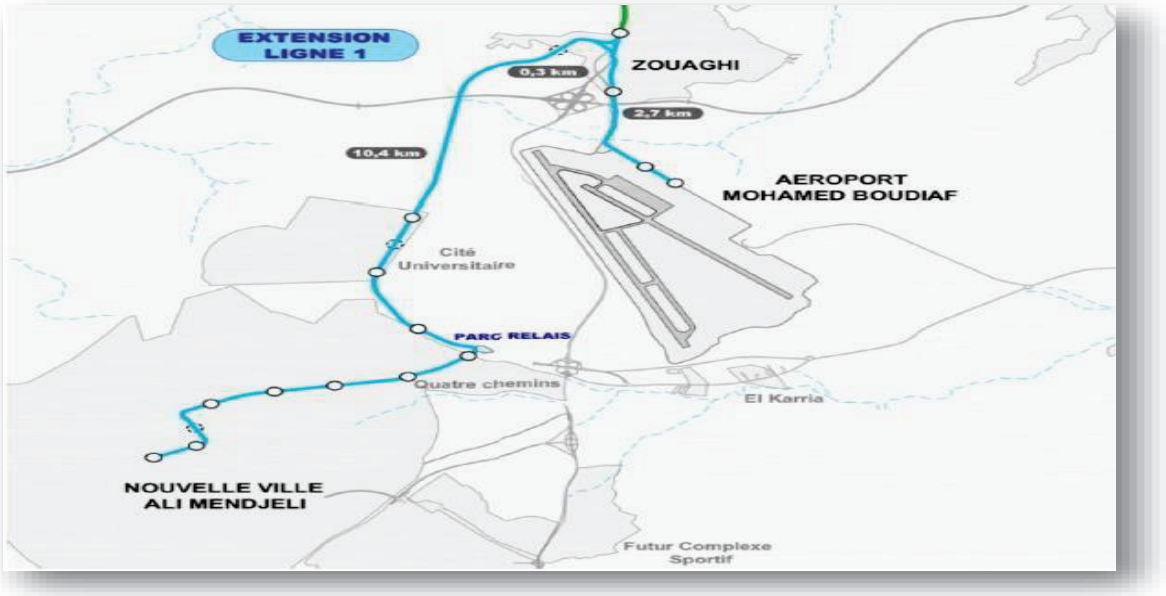


Figure I.5 Composante de l'extension de la première ligne du tramway [5].

Notre projet se base sur une linéaire de 3,5 km se compose de deux trémies et un pont tramway du pk 15+703 vers le pk 19+186.

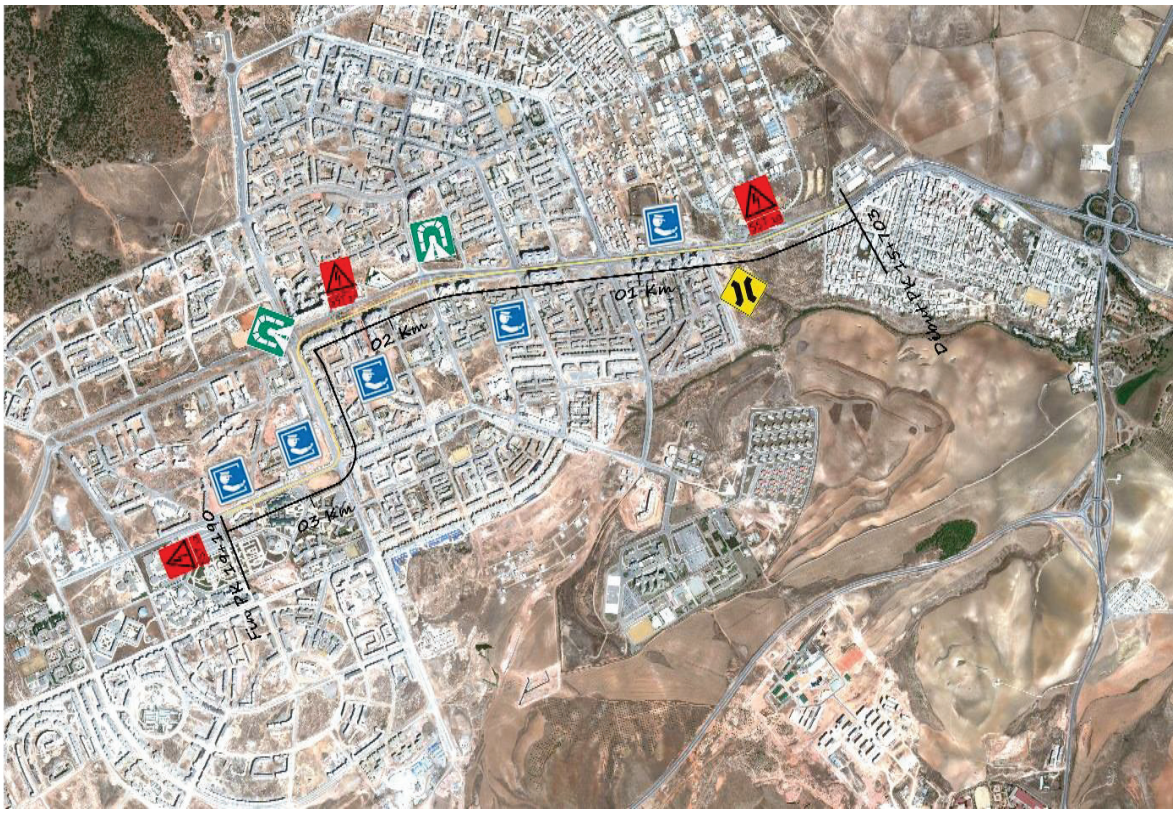


Figure I.6 Présentation du notre secteur d'étude [6].

Les entreprises gérants du projet sont : Alstom, cosider TP dans la réalisation et le groupement idom et Lombardi pour le suivi du projet.

Caractéristiques du matériel roulant :

- Type de tramway : CITADIS 402.

- Dimensions du véhicule :

Longueur 43.763m

Hauteur 3.460m

Largeur du véhicule 2.650m

Hauteur du plancher 0.350m

-bogie / essieu :

Distance entre axes bogies 11.143m

Empattement des bougies 1.6m

Voir ANNEXE 1.

Chapitre master
LE BETON DE FIBRES

I. INTRODUCTION :

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène.

Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les bétons fibrés font l'objet de méthodes spécifiques de dimensionnement pour des applications structurelles (dalles, dallages industriels, voussoirs, pieux, etc.).

Des méthodes d'optimisation de leur formulation ont été spécialement développées. Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques que mécaniques, différentes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

Les bétons à base de fibres peuvent être formulés pour être autoplaçants et pompables.

II. LES DIFFERENTES TYPES DE FIBRES :

On distingue trois grandes familles de fibres.

- **Les fibres métalliques :** acier, inox, fonte (amorphe).
- **Les fibres organiques :** polypropylène, polyamide (nylon), acrylique, kevlar, aramide, carbone.
- **Les fibres minérales :** verre, basalte, mica.

Chaque fibre présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : dimensions (diamètre, longueur, etc.), formes (lisses, crantées, ondulées, bi-ondulées, à crochet, munies de cônes aux extrémités, etc.), résistances mécaniques (résistance à la traction). Les dosages courants en fibres sont de l'ordre de 0,5 à 2 % en volume soit de 5 à 150 kg par m^3 de béton.

Les fibres les plus couramment utilisées sont :

II.1. Les fibres métalliques :

Les fibres métalliques, obtenues à partir de fil d'acier tréfilé, sont utilisées pour améliorer le comportement mécanique d'un béton de structure (résistance au cisaillement, en traction, en flexion, au choc). Leur comportement s'apparente à celui des armatures dans le béton traditionnel.

Elles confèrent au béton une certaine ductilité (résistance à la post-fissuration) et une plus grande résistance à la rupture et à la fatigue. Elles permettent de répartir de manière homogène la fissuration du béton avec des ouvertures de fissures très fines (les fissures des ouvrages réalisés en béton de fibres métalliques sont plus fines que celles des ouvrages réalisés en béton armé traditionnel) et donc une meilleure redistribution et dispersion des efforts.

La maîtrise de la fissuration du béton permet de limiter la pénétration des agents agressifs. Il en résulte une plus grande durabilité des structures.

En effet, les fibres n'interviennent que lorsque les fissures générées par les contraintes de traction se forment. Les fibres n'ont donc une utilité que si des fissures apparaissent dans le matériau, sous réserve que l'ancrage des fibres dans le béton soit parfaitement assuré.

Les fibres métalliques sont très efficaces vis-à-vis des fissures de faibles ouvertures et donc pour des structures pour lesquelles la fissuration se traduit par un grand nombre de fissures de faibles ouvertures.

Elles se substituent partiellement aux armatures traditionnelles et permettent de renforcer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des micro- fissures. Dans certains cas, elles peuvent même remplacer complètement les armatures.

Les recherches visant à améliorer l'adhérence des fibres au sein du béton ont permis de développer une grande variété de fibres capables, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

■ Fibres ondulées, crantées, torsadées, droites, avec crochets aux extrémités, lisses, rugueuses.

■ Fils, rubans.

■ Fibres à extrémités aplaties, à têtes coniques…

Les bétons de fibres métalliques sont utilisés dans les dallages et les sols industriels, pour la fabrication de voussoirs de tunnels, la confection de pieux ou pour réaliser des bétons projetés (pour la construction ou la réparation de revêtements de tunnels et de galeries et le confortement de parois de soutènement), pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués ainsi que pour la confection de mortier de réparation ou de scellement.

Les fibres métalliques agissent sur le comportement en traction du béton fibré. Si l'on applique un effort de traction au béton fibré avec des fibres métalliques, il se comporte avant rupture selon 2 phases successives :

■ Les fibres et le béton agissent ensemble dans une phase élastique.

■ Des microfissures se produisent, l'effort de traction est repris par les fibres qui transmettent les contraintes au droit des fissures, ce qui limite la propagation de la fissuration.

Toute fibre métallique qui traverse une fissure crée un « pont » entre les deux bords de la fissure. Ce pont va permettre le transfert de la contrainte ayant entraîné l'ouverture de la fissure.

La fibre s'oppose ainsi à l'élargissement de la fissure, jouant le rôle de couture des microfissures et retardant l'apparition de macro-fissures. Les fibres apportent ainsi des caractéristiques mécaniques post-fissurations au béton. Les performances mécaniques des bétons de fibres métalliques augmentent avec :

■ La performance mécanique et la compacité du béton : plus la matrice est compacte, plus la fibre est ancrée.

■ Le dosage en fibres.

■ Les propriétés intrinsèques des fibres (géométrie, forme, longueur, diamètre, rapport longueur sur diamètre…), le type de fibres (résistance à la traction…) et le type d'ancrage.

■ L'orientation des fibres au sein du béton par rapport au sens de fissuration.

■ L'efficacité des fibres et leur capacité à dissiper de l'énergie par plastification.

La matrice béton assure la protection des fibres au sein du béton vis-à-vis de la corrosion d'autant plus durablement que sa compacité est élevée.

Les fibres métalliques jouant le même rôle que les armatures traditionnelles, elles peuvent les remplacer partiellement ou totalement. Elles sont en particulier très intéressantes pour remplacer des armatures difficiles à mettre en œuvre dans un coffrage.



Figure.1 Exemple de fibres métalliques [1].

II.2. Les fibres polypropylène :

Ces fibres « Le polypropylène est un polymère cristallisable » obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux, elles se caractérisent par leur faible densité, elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes à la chaleur (température de fusion 160 °C).

La fabrication du béton avec des fibres polypropylène ne soulève aucune difficulté, la répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précaution particulière lors du malaxage. Les fibres se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton, les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais.

Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton et limitent son ressuage. Ces fibres présentent des propriétés mécaniques relativement faibles (faible module d'Young «5-10Gpa »).

Elles S'opposent efficacement à la propagation des fissures du béton au jeune âge. Par contre, dès que le béton acquiert des résistances importantes, elles deviennent peu efficaces. Elles n'améliorent pas le comportement post-fissuration du béton (contrairement aux fibres métalliques) car leur module d'élasticité est trop faible par rapport à celui du béton durci. De ces propriétés découlent les applications privilégiées des bétons de fibres polypropylène :

■ Dallages et aménagements urbains.

■ Produits préfabriqués (parements).

■ Bétons projetés et mortiers projetés.

L'incorporation dans le béton de fibres polypropylène à des dosages de l'ordre de 1 à 3 kg/m^3 permet d'améliorer la tenue au feu du béton en réduisant le risque d'écaillage. Le béton est un matériau poreux qui renferme de l'eau dont une partie correspond à l'eau excédentaire nécessaire à son ouvrabilité à l'état frais.

En cas d'élévation importante de la température du béton, l'eau, restée prisonnière, se transforme en vapeur qui crée des contraintes internes pouvant entraîner un écaillage du béton en surface.

Les fibres polypropylène fondent lorsque la température du béton atteint 160 °C, elles créent ainsi en fondant un réseau tridimensionnel constitué d'une multitude de petits capillaires connectés (réseaux de drains) répartis dans tout le volume de la structure. Ce réseau va permettre à la vapeur d'eau présente dans le béton sous pression de s'échapper, évitant ainsi les surpressions. Ce phénomène constitue un moyen efficace, reconnu et validé pour limiter l'éclatement de surface d'un béton soumis à une élévation de température excessive lors d'un incendie.



Figure.2 Les fibres polypropylène [1].

II.3 Les fibres de verre :

Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces du béton, elles se dispersent facilement dans la matrice cimentaire, ce qui permet de réaliser des produits de formes très variées.

En s'opposant à la propagation des microfissures dans le béton, elles améliorent la résistance en traction du béton et sa ductilité, elles ont une bonne résistance à la corrosion et aux attaques chimiques.

Elles présentent aussi une excellente résistance au feu (jusqu'à 800 °C). Cette caractéristique et son coefficient de dilatation du même ordre que celui de la pâte de ciment confèrent aux bétons de fibres de verre une bonne résistance à des températures élevées. Il existe plusieurs types de fibres de verre qui permettent, selon leurs caractéristiques intrinsèques et leur dosage, des applications variées.

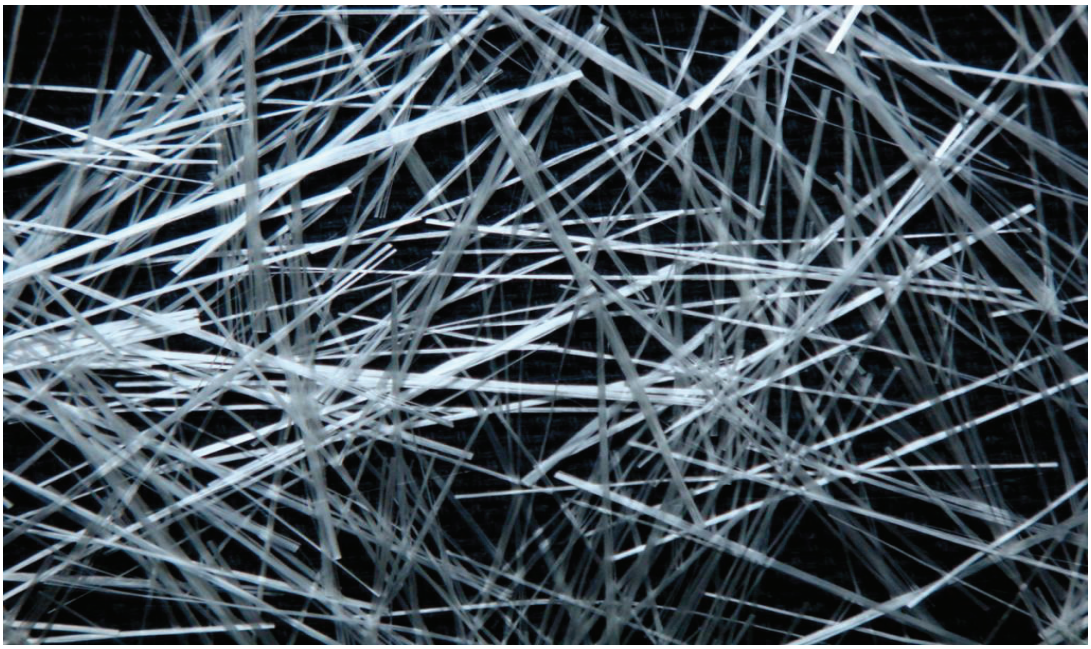


Figure.3 Les fibres de verre [1].

Tableau.1 Caractéristiques et propriétés spécifiques de chaque famille de fibres [14].

Caractéristiques et propriétés spécifiques de chaque famille de fibres					
	Masse volumique (en g/cm³)	Diamètre moyen (en µm)	Résistance à la traction (en N/mm²)	Module d'élasticité (en GPa)	Allongement à la rupture (en%)
Fibres métalliques	7,85	50 - 1000	1000 - 2500	150 - 200	3 - 4
Fibres de verre	2,6	9 - 15	2000 - 3000	80	2 - 3,5
Fibres polypropylène	0,9	> 4	500 - 750	5 - 10	10 - 20

Tableau.2 Domaines d'application privilégiés par type de fibres [14].

Domaines d'application privilégiés par type de fibres			
Type de fibres	**Dosage courant**	**Domaine d'application privilégié**	**Exemples d'application**
Fibres métalliques	0,5 à 2 % en volume 40 à 160 kg/m³	Renfort pour bétons structurels et armature structurelle	- Dallages, sols industriels, planchers, dalles de compression - Éléments préfabriqués - voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux - Bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation de pente et ouvrages d'assainissement - Pieux de fondation, semelles filantes
Fibres polypropylène	0,5 à 2 % en volume 0,5 à 2 kg/m³	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue au feu des bétons	- Dallage - Voussoirs de tunnels - Revêtement d'ouvrages souterrains - Mortiers projetés - Parements esthétiques
Fibres de verre	1 à 2 %	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	- Parements architectoniques - Panneaux de façade - Éléments décoratifs

III.ROLE DES FIBRES DANS LE BETON :

Le béton est un matériau fragile qui se rompt brutalement lorsqu' il atteint sa résistance à la traction, les fissures s'y propagent donc de façon très rapide.

Le béton armé de fibres se distingue du béton ordinaire par l'absorption d'énergie que procurent les fibres. La courbe (Figure.4.1) effort- déformation est différente : le matériau fragile au départ, s'est transformé en matériau ductile qui se rompt lentement après un allongement plus important dû à la formation d'un grand nombre de microfissures (plus grande énergie de rupture) (Figure.4.2)).

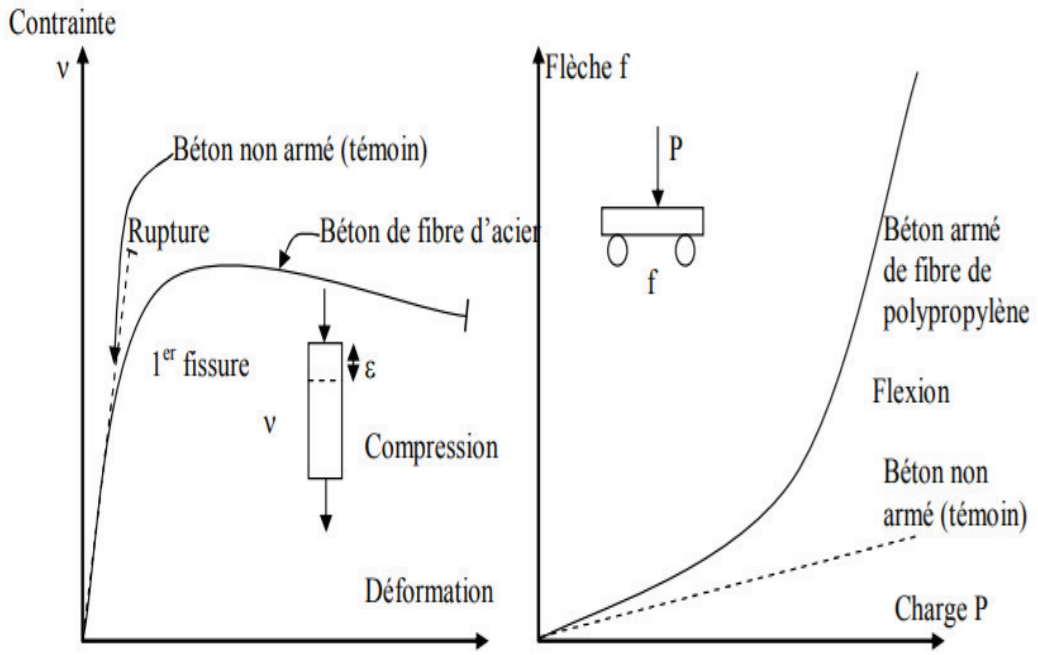


Figure.4 déformation d'un béton armé de fibres, comparée à celle d'un béton non armé [15].

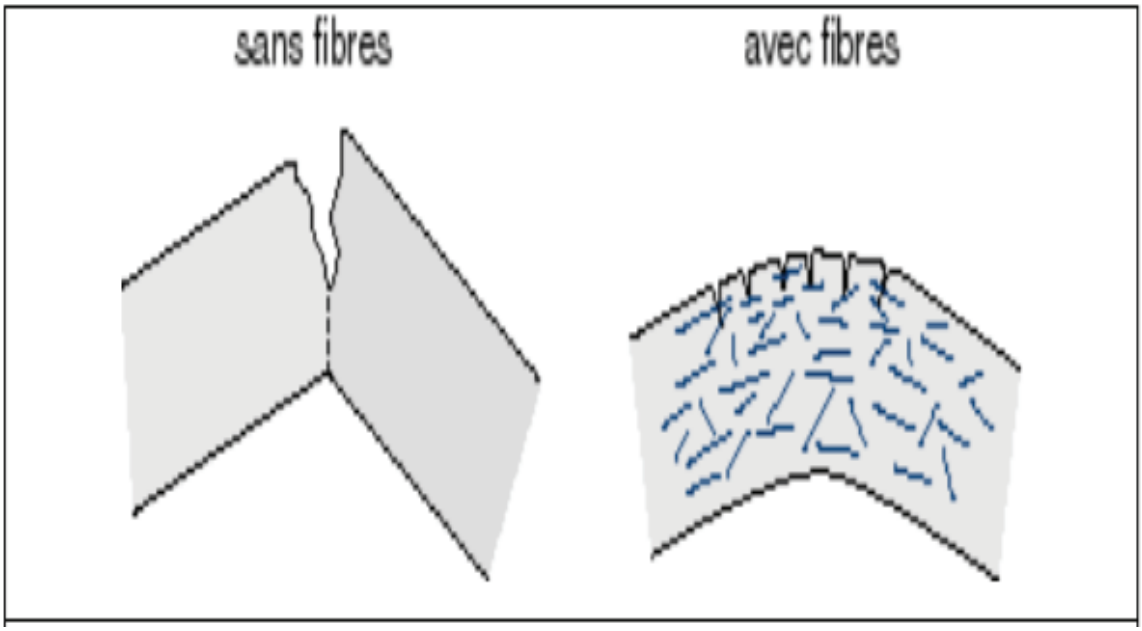


Figure.5 Effet de retardement de la fissuration et répartition des fibres dans le béton armé [15].

Les travaux de Dave Et Ellis (1979) sur des fibres de polypropylène montrent que si le module d'élasticité de ces fibres augmente, la résistance ultime de flexion augmente. En effet, lorsqu'une fissure tend à se propager à l'intérieur d'un béton armé de fibres, ses deux faces sont maintenues l'une contre l'autre par la force d'adhérence de l'interface fibre-matrice et aussi, dans le cas de fibres d'acier, par le phénomène d'ancrage mécanique.

L'ouverture et la propagation des fissures nécessitent donc un apport d'énergie supplémentaire afin de provoquer le glissement et éventuellement la rupture des fibres. Ce phénomène a pour effet de conférer au béton une certaine ductilité après la rupture de la matrice tout en lui permettant de conserver son intégrité structurale. C'est pourquoi le béton armé de fibres est surtout utilisé dans la construction d'ouvrages soumis aux chocs sismiques, aux impacts, aux vibrations ou encore à de grandes déformations (dalles sur sol, viaducs, routes, structures en région sismique ou maritime, etc.).

Les fibres peuvent aussi permettre un meilleur contrôle de la fissuration, un béton ordinaire peut présenter de larges fissures localisées qui facilitent la pénétration d'agents agressifs et sont nuisibles au point de vue esthétique. Dans un béton armé de fibres, par contre, si la quantité de fibres est suffisante, ces larges fissures peuvent être remplacées par plusieurs fissures de dimensions beaucoup plus réduites, ce qui améliore à la fois la durabilité et l'aspect esthétique de l'ouvrage comme le représente la Figure.5.



Figure.6 comparaison de rupture éprouvette armé de fibre et celle non armé armé [15].

Selon les cas, ces fibres seront bien réparties dans la masse ou aux contraires orientées, ou encore placées à certains endroits de la pièce à renforcer.

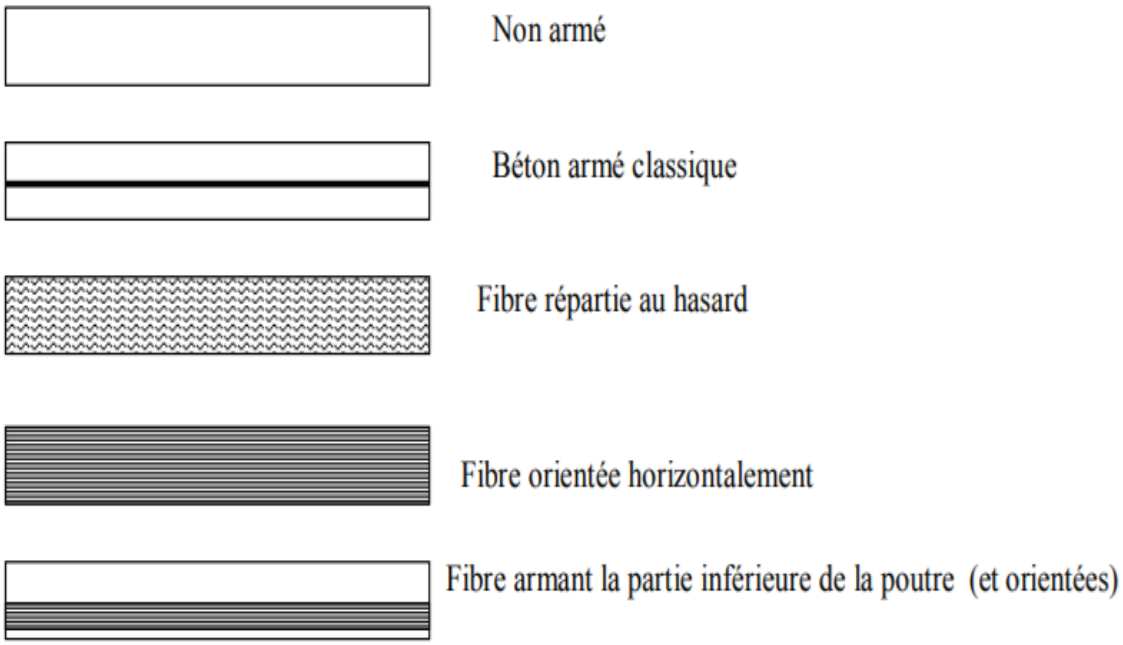


Figure.7 différentes modes d'armature d'une poutre en béton armé [15].

Les améliorations principales apportées par les fibres aux mortiers et aux bétons qui en contiennent se résument à :

♣ Réduction possible de l'épaisseur des pièces.

♣ Augmentation de la résistance en traction et en flexion.

♣ Accroissement de la déformabilité du matériau.

IV. AUTRE PROPRIETES DU BETON DE FIBRES :

IV.1 Retrait :

Le durcissement du béton dans l'air s'accompagne d'une variation de son volume apparent, le retrait dont les causes ont fait l'objet de nombreuses hypothèses et théories et dont les conséquences sont importantes pour la fissuration. Si le retrait est gêné, ce qui est le cas courant, le béton est mis en traction et la fissuration se produit lorsque la résistance du béton est insuffisante.

Le retrait est un phénomène complexe d'équilibre hygrométrique, qui dépend, non seulement des facteurs internes tels que la nature et le dosage du ciment, la compacité et la granulométrie du mortier ou du béton, mais aussi de facteurs extérieurs, tel que hygrométriques ambiants. Si l'atmosphère est sèche, il y a évaporation en surface : le retrait augmente. Si l'atmosphère devient humide : le retrait diminue.

En règle générale, le retrait du béton, avec ajout de fibre, est plus faible que celui du béton témoin sans fibres.

Des essai sur des bétons de fibres de fonte par exemple, que le premier retrait d'hydratation, dû à la prise et au début du durcissement du béton les premières heures qui suivent le gâchage,

ainsi que le retrait de dessiccation après durcissement du béton, sont inférieurs à ceux du béton témoin, sans fibres, de même composition.

Cette diminution du retrait, en présence de fibres, est d'autant plus remarquable que le départ d'eau du béton est accéléré par la présence de fibres. Ce phénomène peut âtre expliqué par le fait que la présence de fibres dispersées augmente la grosseur des pores dans le matériau ainsi que leur volume, en diminuant ainsi l'intensité des étreintes capillaires, tout en facilitant l'évaporation de l'eau libre.

Pour conclure donc, la présence de fibres dans le béton diminue notoirement le risque de fissuration due au retrait de dessiccation.

IV.2 Comportement Au Fluage :

Contrairement au mortier et béton ordinaire, les éprouvettes renforcées de fibres sont moins sensibles aux phénomènes de fluage en compression par rapport à la traction.

V. LES INCOVENIENTS DES FIBRES :

Comme tous les autres matériaux, les fibres ont des inconvénients qui peuvent être résumés dans les points suivants :

- Coût trop élevé (2 à 50 fois celui de l'acier).
- Un module d'élasticité relativement faible.
- Grand rapport de la résistance axiale sur la résistance latérale.
- Perte de résistance sous charges retenues.
- Un manque d'expérience d'utilisation des fibres.

VI. CONCLUSION :

- Sous l'appellation "Béton de fibres" il existe une grande famille de matériaux très différents.
- D'un point de vue structurel, le béton de fibres est constitué en trois phases :
    - La matrice cimentaire.
    - Les fibres.
    - La zone de transition (interface) fibres- matrice.
- La liaison fibre- matrice est souvent une zone de faiblesse, difficilement caractérisable mécaniquement : de plus une bonne adhérence fibre- matrice ou une bonne résistance au glissement n'apporte pas les mêmes propriétés au composite.
- Les principales caractéristiques du béton fibré sont :

Résistance à la flexion et ductilité : les fibres améliorent la ductilité du béton. Autrement dit, elles permettent au béton fibré de se déformer sans se rompre.

Résistance à la fatigue : les fibres rendent également le béton plus résistant sur le long terme en limitant la fissuration du matériau.

Résistance à l'abrasion : l'abrasion est un phénomène d'usure provoqué par des frottements répétés, pouvant provoquer la fissuration du matériau. Le fait d'incorporer des fibres au béton permet donc d'améliorer la résistance à l'abrasion et par conséquent de limiter la fissuration.

- De façon générale le béton fibré est (les avantages) :

- Facile à mettre en œuvre.

- Béton plus léger que le béton ordinaire.

- Béton plus durable.

- Diminution du risque de fissuration.

- Résistance au feu, à l'abrasion, aux chocs, à la traction et à la flexion.

Donc on peut l'utiliser pour un remplacement total ou partiel du béton armé avec des armatures traditionnelles passives (fibres métalliques).

ETUDE DE FAISABILITE

II.1.INTRODUCTION :

L'étude de faisabilité est un outil conçu pour répondre au besoin d'analyse de viabilité et des implications d'ordre économiques et organisationnelles d'un projet donc elle intervient le plus souvent juste après que le projet ait été définit.
Pour faire une étude de faisabilité, il faut faire une analyse de l'environnement sociodémographique et de l'offre de transport collectif actuelle à Constantine (zone d'étude).
Comme notre cas était le secteur 08 qui est une zone urbaine et qui est la nouvelle ville D'Ali-Mendjeli on concentre sur les caractéristiques de cette de ville.

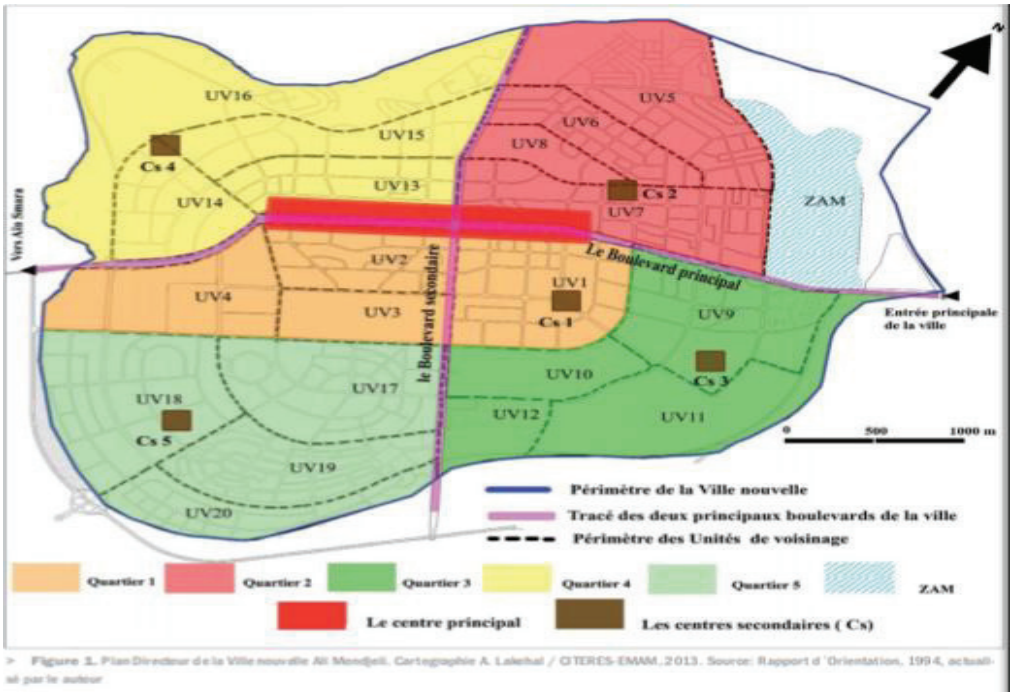


Figure II.1 Plan directeur D'Ali Mendjeli [1].

II.2 SITUATION DEMOGRAPHIQUE :

Selon leur plan directeur on prévoit l'urbanisation de 15.000 ha et la réception de 300.000 habitants en 2020 avec une croissance moyenne interannuelle de 12%.

Tableau II.1 la population D'Ali Mendjeli selon le plan de transport [7].

Années	Population de la nouvelle ville	Taux de croissance interannuelle
2010	97.810	-------
2015	170.184	11,70%
2020	300.000	12,00%

II.3. SITUATION SOCIO-ECONOMIQUE :

II.3.1 Equipement universitaire :

C'est un véritable pôle universitaire qui se met progressivement. Il se compose à la fois d'infrastructure pédagogique et d'équipement de résidence. Il aura une capacité de 44.000 étudiant et une vingtaine de résidence 38.000 lits et plusieurs équipements.

II.3.2 Equipement sportifs et loisirs :

Une salle omnisports a été déjà construite et aussi une maison de jeunes plus un stade D'une capacité de 3.000 places extensibles jusqu'à 15.000, ce stade situé à l'entrée de la ville.

II.3.3 Equipement commerciaux :

Pour ce type d'équipement, deux centres commerciaux sont programmées dans l'U.V.07 et un marché couvert dans l'U.V.08 et un hôtel de luxe dans l'U.V.08.

La réalisation et l'achèvement de tous ces équipements permettent la nouvelle ville d'Ali Mendjeli de concurrencer la ville mère.

II.4 INVESTIGATION SUR LES MODES DE TRANSPORTS :

Grace à la mise en place d'un travail de terrain réalisé par BETUR (bureau d'étude des transports urbains) on peut décrire la mobilité actuelle dans cette partie.

Nous basons sur l'offre et la demande en transports collectifs (bus urbains et interurbains, les bus étudiant et les taxis), les travaux effectués sont :

Comptages et investigations du transport commun : en réalisons des enquêtes et des comptages de transports collectifs à Ali Mendjeli (bus urbains et interurbains, les bus étudiant et les taxis collectifs).

II.4.1 Bus urbains :

Le réseau de transport à Ali Mendjeli s'articule autour de sa gare routière (comme indiqué dans la figure II.2) et qu'elle à l'avantage d'être sur le tracé du futur tramway.



Figure II.2 La gare routière d'Ali Mendjeli [8].

Il existe actuellement deux lignes de bus urbains reliant tous les deux la gare routière.

Tableau II.2 Ligne de bus urbain [7].

Numéro de ligne	Terminus 1	Terminus 2	Gestionnaire
51	Gare routière	Hôpital militaire	Privé
52	Gare routière	N'soummer	Privé

II.4.2 Bus interurbain :

Il existe actuellement 9 lignes de bus interurbain entre Ali Mendjeli et Zouaghi, elle peut être divisée en deux sous-classes en fonction du gestionnaire de ligne : lignes gérée par des privée et lignes gérée par l'état.

Tableau II.3 ligne de bus interurbains [7].

Numéro de ligne	Terminus à Ali Mendjeli	Destination	Gestionnaire
3048	Gare routière	Khemisti	Privée
4011	Gare routière	El Khroub	Privée
6603	Gare routière	Ville Djebel El Ouahch	Privée
7003	Gare routière	Boussouf	Privée
09 ETC	Gare routière	Boussouf	ETC
3013 ETC	Gare routière	Khemisti	ETC
3075 ETC	N'Soummer	Téléphérique	ETC
3077 ETC	N'Soummer	Beb el Gantra	ETC
3084 ETC	N'Soummer	L'alla N'Soummer-Khemisti	ETC

II.4.3 Bus étudiant :

Dans ce cas on fait un comptage de tous les bus étudiant entrant et sortant de l'université d'Ali Mendjeli.

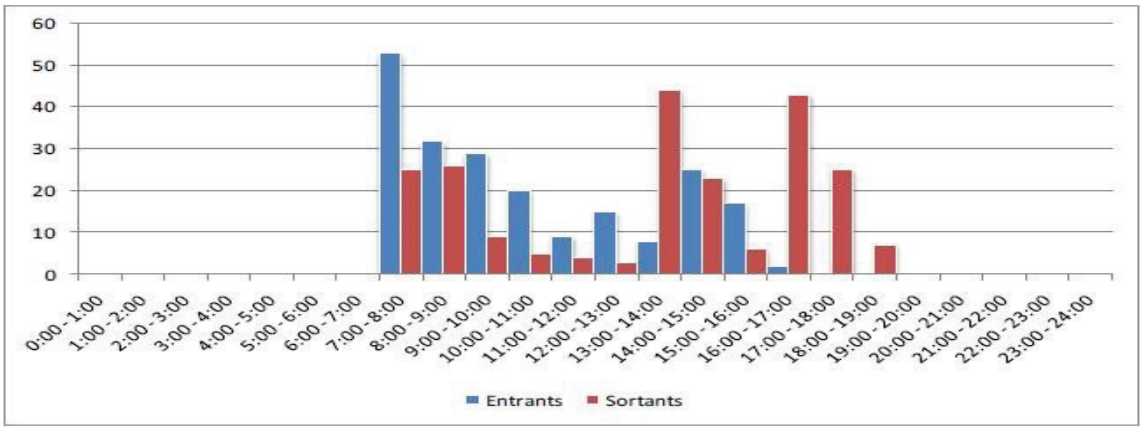


Figure II.3 Distribution journalière des bus étudiant [7].

On remarque que le nombre des bus entrant et sortant sur la tranche horaire de 7:00 à 19:00 était à peu près le même (210 entrant et 220 sortant) mais les heures de sorti et d'entrée n'était pas les même. Sachant que la capacité d'un autobus est de 100 places, l'offre du transport sur cette tranche horaire est donc 21.000 places entrant et 22.000 places sortant.

Dans le sens entrant on note une heure de pointe de l'offre entre 7:00 et 8:00 avec une capacité offerte de 5.300 places, au contraire dans le sens sortant nous distinguons deux heures de pointe entre 13:00 et 14:00 et entre 16:00 et 17:00 avec une capacité offerte de 4.400 et 4.300 places.

II.4.4 Taxis :

On va focaliser dans cette partie sur seulement les trois stations « ancien terminus », « cosider »et « 400 logement » qui ont fait l'objet de l'enquête et de comptage durant le travail du terrain.

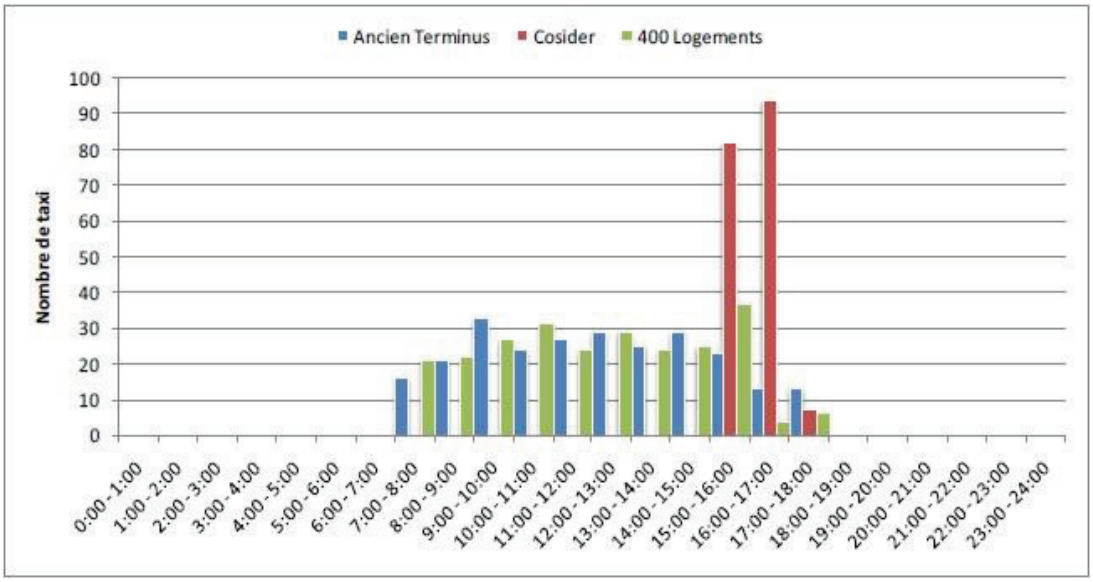


Figure II.4 Distribution journalière des taxis [7].

Les stations « ancien terminus » et « 400 logement » étai étudier entre 7:00 et 16:00 tandis que la station « cosider » était étudier entre 15:00 et 18:00.

Durant ces périodes on a compté 253 véhicules à la station « ancien terminus » avec une heure de pointe entre 9:00 et 10:00, 250 véhicule à la station « 400 logement » avec une heure de pointe entre 15:00 et 16:00, 183 véhicules à la station « cosider » avec une heure de pointe entre 16:00 et 17:00.

II.5 CONCLUSION :

On rappelle que la zone d'étude est le secteur 08 qui est la zone urbaine « Ali Mendjeli » mais il faut mentionner que le tramway va relier ce secteur avec les secteurs 07 et 06 et aussi avec l'ancienne ligne du tramway, alors ce projet va offrir un énorme service à toute la population constantinoise en reliant l'ancienne ville à la nouvelle ville et donc une forte atténuation de nombre des bus et des taxis, ce qui permettra la réduction de l'encombrement dans la wilaya de Constantine.

ETUDE GEOMETRIQUE

III.1 TRACE EN PLAN :

III.1.1. Introduction :

Le tracé en plan est la représentation sur un plan horizontale de l'axe de la voie, il est constitué par d'alignements droits et de courbes. Les raccordements en plan entre courbes et alignements droits sont réalisés à l'aide de clothoïdes qui permettent une variation linéaire de la courbure.
Un véhicule de masse « m » animé d'une vitesse «V » sur une trajectoire circulaire de rayon « R » Subit dans son centre de gravité une force perpendiculaire à sa trajectoire appelé **« la force centrifuge »** $F=m.v^2/R$, elle tend à déporter le véhicule vers l'extérieur de la courbe.
La mise en place du dévers permet de compenser une partie de cette force.la partie non compensée de la force restera ressentie par les voyageurs.
L'accélération perpendiculaire à la trajectoire du tramway est $r=V^2/R$. L'accélération maximale acceptable est $1m/s^2$.Nous prendrons cette valeur pour concevoir notre tracé mais nous proposons de limiter cette valeur a $0,68m/s^2$ « plus confortable pour les voyageurs ».
Le jerk transversal correspond à la dérivée de l'accélération transversale J=dr/dt, en considérons le jerk maximale 0,4 m/s^3 avec une valeur de 0,5 m/s^3 exceptionnellement.

III.1.2 Critères de conception :

III.1.2.1 Règles a respecté :

- Eviter de passer sur les terrains agricoles si c'est possible.
- Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter au maximum la construction d'ouvrages d'arts.
- Adapter au maximum au terrain naturel afin d'éviter des grands terrassements.

Et aussi les règles d'établissement du tracé de voie vise à :

- Assure la sécurité et le confort des usagers et éviter une usure prématuré de la voie.
- Afin d'assurer une insertion urbaine du projet, elles doivent être appliqué dans le respect des contraintes et des règlements techniques et d'urbanistique de la ville.
- Des dégagements appropriées seront prévues dans l'entourage du système du tramway afin d'éviter toutes collision avec véhicules en sens opposées.

III.1.2.2 Les Eléments de voie : D'après le Dossier d'Appel d'Offres (Documents généraux du projet. Tracé (ETC-1- AM-DAO-INF-TRA-CC-B)), on tire les paramètres suivants :

Dans tous les cas les éléments constitutifs de la voie seront les plus longs possible, la longueur minimale d'un élément de la voie est définie par la longueur de l'inter bogie le plus long et qui sera d'environ 12m.

III.1.2.2.1 Les alignements droits :

Alignement droit il est recommandé d'avoir une longueur d'alignement droit de 12m. Toutefois si l'insertion urbaine ne le permet pas on peut descendre jusqu'à 0m.

III.1.2.2.2 Les courbes circulaires :

Les courbes circulaires sont définies par leur rayon en mètres. Pour améliorer le confort des usagers et pour réduire les couts de l'entretient on utilisera autant que possible de grand rayon.

Le rayon minimale en tracé en plan est 25m, cependant il est conseillé de n'est descendre qu'exceptionnellement au-dessous de la valeur de 50m.

La vitesse optimale (la vitesse dans une courbe sans dévers) est calculée afin de respecter la valeur maximale de l'accélération transversale :

$V= 3,6(r\times R)^{0.5} = 3,6(R)^{0,5}$ pour $r=1m/s^2$ **(Calcul).**

Ou

$V= 3,6(r\times R)^{0.5} = 2,95\,(R)^{0,5}$ pour $r=0,68m/s^2$ **(Exploitation).**

Avec V (vitesse) en km/h et R (rayon) en m.

III.1.2.2.3 Les courbes de transition *:*

La clothoïde : permet d'assurer une variation linéaire de la force centrifuge dans un raccordement entre un alignement droit et une courbe ou entre deux courbes.

Une clothoïde est caractériser par son paramètre constant **A** définit par la formule :

$$\mathbf{A^2 = R\times L}$$

La longueur de la clothoïde est définie pour respecter la valeur du jerk maximum $J=0,4\ m/s^3$.

Pour dimensionner la longueur du clothoïde de manière optimale on utilise la formule suivante en fonction de la valeur du rayon qui suit :

$$\mathbf{L= 2,5\ V^3/R}$$

Avec V en m/s et R en m.

Avec une longueur minimale de clothoïde de L=12m exceptionnellement L=7m en cas de forte contrainte environnementale.

Dans le cas où la longueur de la partie circulaire est inférieure à 12m on visera à obtenir des longueurs de clothoïdes définit par :

$$\mathbf{L \geq 1,5\times 2,5\ V^3/R}$$

Pour une longueur de clothoïde définie, la vitesse maximum est la suivante :

$\mathbf{V_{max} = A^{2/3}\times J^{1/3}}$ avec V en m/s et J en m/s^3

Ou A est le paramètre de la clothoïde et J le jerk maximale admissible.

Le dévers : permet d'améliorer le confort et la vitesse dans les courbes. La mise en place des dévers se fait dans les courbes de transition où l'on passe d´un dévers nul (dans l'alignement droit) à un dévers « d » (dans la courbe). Le dévers est constant dans la courbe. Il est exprimé en millimètres et représente la différence de niveau entre les 2 rails d´une même voie.

Il existe deux types de dévers : **le dévers coplanaire** ou et **le dévers voie-par-voie**.

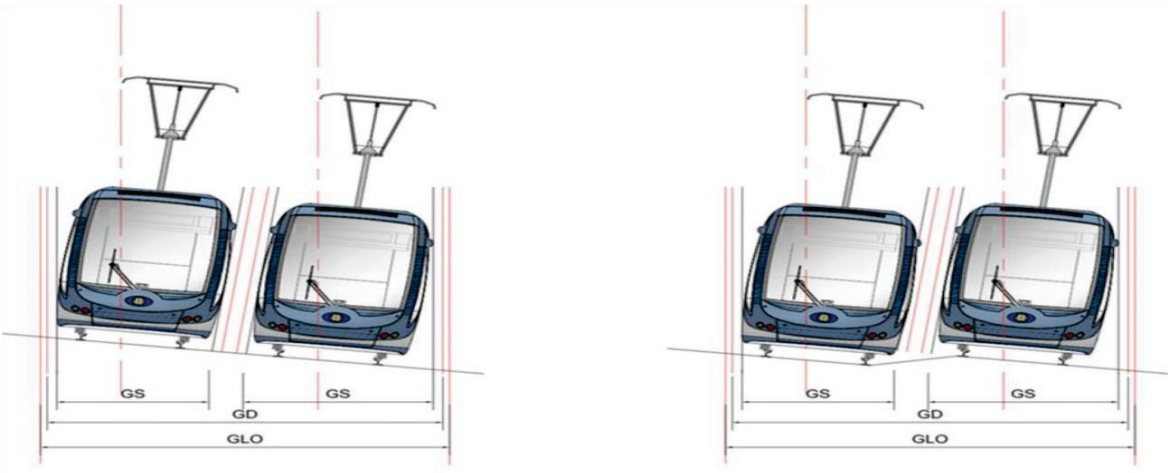


Figure III.1.1 dévers coplanaire et dévers voie-par-voie [5].

Calcul du dévers :

Pour compenser l'accélération transversale subie par un véhicule se déplaçant en voie normal 1435mm à la vitesse V dans une courbe de rayon R on a un dévers donné par la formule suivant :

$$d_{th} = 11{,}8\ V^2/R.$$

dth est le dévers théorique tel que V en m/s et R en m.

Les contraintes d'insertion en milieu urbain et de confort des passagers (station ou ralentissement en pleine courbe) conduisent à limiter le dévers appliqué (appelé aussi le dévers pratique).

Le dévers maximum applicable est dmax = 150 mm.

L'insuffisance du dévers sera limité à 100 mm au maximum ainsi que **l'excès du dévers** sera limité à 20 mm.

La vitesse maximum dans une courbe avec dévers est :

$$V \leq 4{,}6.\ (R)^{0,5}$$ avec V en Km/h et R en m

III.1.3 Gabarits :

- Le Gabarit Statique (GS) est défini par le matériel à l'arrêt.
- Le Gabarit Dynamique (GD) est défini par le matériel en mouvement, en fonction de la vitesse du Matériel Roulant et des courbes.

Note : En entrée et sortie des clothoïdes, les gabarits dynamiques doivent être corrigés.

- Gabarit limite d'obstacle (GLO) :

Le Gabarit limite d'obstacle est donc un volume qui se développe tout au long du tracé de la ligne de transport guidé et qui est intrinsèquement lié au véhicule concerné.

A partir de ce GD, le GLO se construit en ajoutant 150 mm en largeur, elles couvrent la lame d'air et une marge de sécurité.

GLO = lame d'air + GD + lame d'air

• La lame d'air constitue une interface de sécurité supplémentaire.

Pour une voie simple, la lame d'air recommandée est de 150 mm.

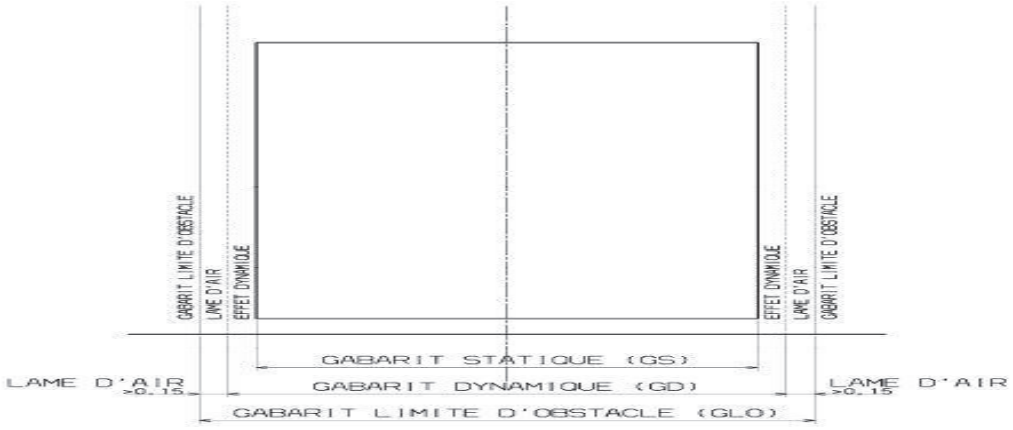


Figure III.1.2 Voie simple [5].

Voie double avec poteaux intérieurs (voir ANNEXE 2).

Voie double avec poteaux extérieurs (voir ANNEXE 2).

Paramètre du matériel roulant (voir ANNEXE 2).

III.1.4 Sur largeurs :

- Sur écartement dans un alignement droit. **(voir ANNEXE 2).**
- Sur largeur en courbes. **(voir ANNEXE 2).**

III.1.5 Les stations :

III.1.5.1 Implantation des stations :

L'implantation des stations voyageurs s'effectue dans :

- Les points importante (administrations, les universités, les gars des trains, les gars routières …)
- Dans les zones les plus denses.
- Dans les stations des bus anciens.
- Eviter de faire des longues et courtes distances entre les stations.
- Existences de l'espace pour l'implantation.

III.1.5.2 Distance axe de voie avec le nez de quai :

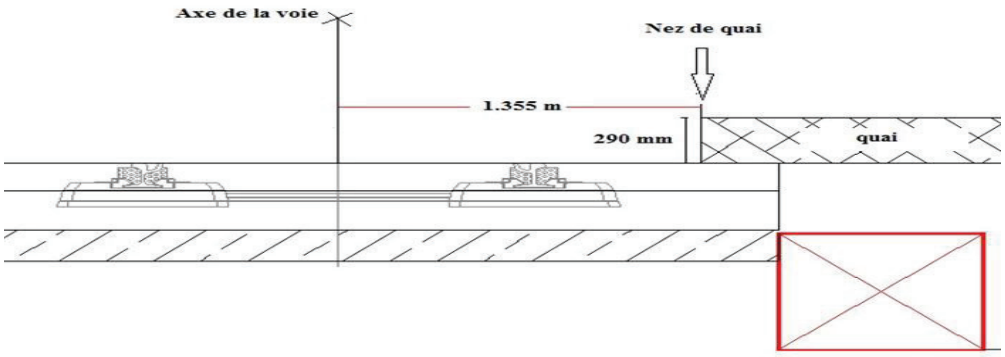


Figure III.1.3 Distance axe de voie avec nez de quai et hauteur quai [5].

Paramètre à respecter au niveau des stations (voir ANNEXE 2).

III.1.5.3 Distance entre courbe et la station :

Pour permettre le bon alignement du tramway par rapport au quai, un alignement droit de 12m minimum est nécessaire entre la courbe et la station. Toute déviation doit être signalée au Titulaire en charge du matériel roulant (MR) pour analyse le positionnement des quais, en notons que la longueur souhaitable est de 16m.

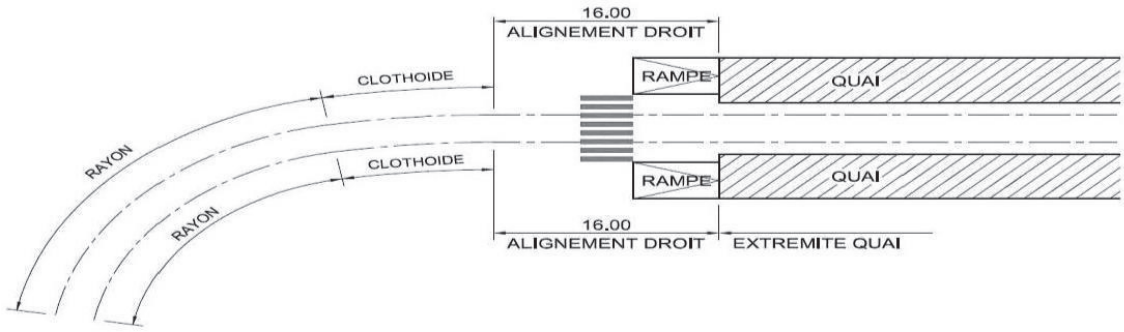


Figure III.1.3 Alignement droit et clothoïdes au niveau du quai [5].

III.1.5.4 Longueur de quai :

La longueur du quai doit être au moins égale à la longueur du tramway choisi. Dans ce projet la longueur du tramway est de 43.763 m donc on prend une longueur de 50m.

III.1.6 Appareils de voie :

- Les appareils de voie doivent être installés en alignement droit.

- Dans les carrefours, l'implantation d'appareil de voie sera exceptionnelle et dans tous les cas les parties mobiles de l'appareil seront hors carrefour.

- Pour s'assurer qu'un bogie se présente aligné dans l'appareil de voie ou dans la courbe, on insère au moins 5 m d'alignement droit entre le début d'une courbe et la pointe d'aiguille d'un appareil de voie.

- La distance minimale d'alignement droit entre deux appareils de voie (entre les deux pointes d'aiguille) devra être de 12 m. Cette longueur correspond à celle des circuits de verrouillage d'aiguille.

- Un alignement droit d'une distance d'au moins 16 m doit être placé entre la pointe d'aiguille de l'appareil de voie et la station.

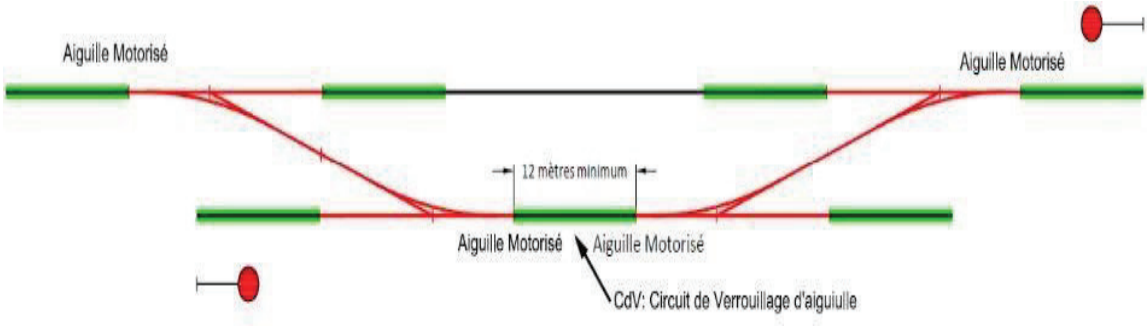


Figure III.1.4 Distance minimale entre deux ADV [5].

III.2 PROFIL EN ELEVATION :

III.2.1 Introduction :

Le profil en élévation est la projection longitudinale de la cote projet (Z rail) passant par l'axe du tracé. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

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

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude du projet (ligne rouge).
- La déclivité du projet, distances partielles et cumulées…etc.
- L'altitude géotechnique du sol (profondeur et emplacement des purges)

Le Profil en élévation est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique en particulier par l'évaluation de l'importance des terrassements c'est-à-dire la quantité de déblai et de remblai, et le besoin énergétique en terme de puissance de poussé en pentes.

III.2.2 Constitution d'un profile en élévation :

Pour constituer un profil en élévation il faudrait en premier lieu rassembler certaines données institue (levé topographique pour tracé la **ligne de terre naturel**).

Apres rassemblement des données nécessaires au dessin d'un profile en long, on définit la **ligne rouge** (ligne tramway) selon les exigences du **CCTP VF** (cahier des charges technique Particulière Voie Ferré).

1- Accélération verticale :
L'accélération verticale maximale admise est de 0.2m/s². **[5]**

2-les pentes :
La pente maximale admise pour des tramways de type CITADIS est de 70‰ avec des valeurs exceptionnelles autour de 80‰ à 90‰. **[5]**

Dans ce but on préférera dans la mesure du possible des rampes avant un arrêt et des pentes après.

Pour assurer un bon drainage de la plate-forme, la pente minimale est fixée à 5‰. Cette valeur pourra exceptionnellement être réduite à 2,5‰, dans ce cas des dispositions particulières devront être mises en œuvre pour assurer le bon assainissement de la plate-forme. **[5]**

Lors de la combinaison d'une pente avec une courbe en plan, la pente maximale (en ‰) admise sera diminuée par la formule suivante :

$$\mathbf{P} + \frac{\mathbf{800}}{\boldsymbol{R}} < \mathbf{P}_{\mathbf{max}} \qquad \text{(R (m), P (‰))}. \textbf{ [5]}$$

Exceptionnellement, la formule suivante peut être utilisée

$$\mathbf{P} + \frac{\mathbf{500}}{\boldsymbol{R}} < \mathbf{P}_{\mathbf{max}} \qquad \text{(R (m), P (‰))}. \textbf{ [5]}$$

3-Courbes de raccordement :

Le croisement de deux pentes relie par une courbe parabolique.

La valeur du rayon de cette courbe respectant l'accélération verticale maximale doit respecter l'équation suivante :

$$\mathbf{R \geq (V/3.6)^2 \times 1/\lambda} \qquad (R \text{ en m, V en km/h et } \lambda \text{ m/s}^2) \quad \textbf{[5]}$$

Soit avec $\lambda < 0{,}2$ m/s^2.

Remarque : la longueur minimale de pente constante entre deux courbes verticales inverses est de 12m.

III.2.3 Des règles particulières :

Contraintes liées aux stations

1- Pente maximale :

La pente maximum sera de 20‰. Exceptionnellement, la valeur de 40‰ peut être admise exceptionnelle pour un environnement de fortes contraintes de nivellement. **[5]**

2- courbe de raccordement :

Les stations doivent être construites en pente constante, S'il n'est pas possible de faire autrement, une courbe verticale de rayon supérieur à 1500m peut être acceptée. **[5]**

Les contraintes liées aux appareils de voie

1-Pente maximale :

Une pente maximale de 40‰ est acceptée. **[5]**

2-Dévers :

Il est interdit d'insérer un dévers dans un appareil de voie. **[5]**

3- Courbe de raccordement :

Il est interdit de placer un appareil de voie sur une courbe verticale. **[5]**

Contraintes liées aux terminus aux manouvres :

Pente maximale en terminus :

Pour éviter d'avoir une dérive de matériel roulant en cas de défaillance des freins, une pente de ≤ 50‰ devra être installée (sécurité d'exploitation, d'un véhicule dont les freins ne sont pas bloqués). **[5]**

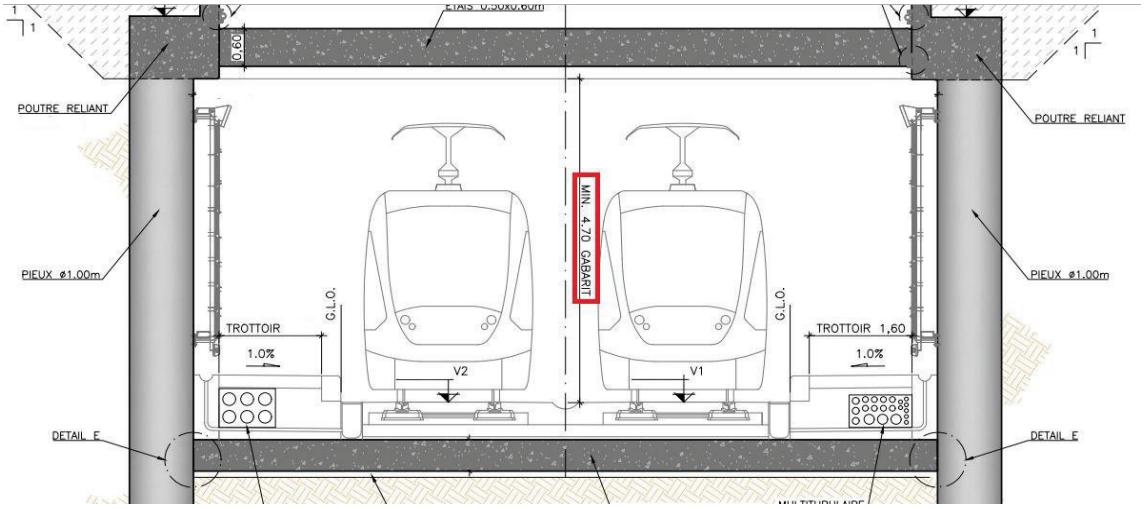


Figure III.2.1 Gabarit vertical [5].

La hauteur sous plafond à la face intérieure dans une trémie tramway, le gabarit minimal verticale entre la dalle et le plan de roulement est 4.70 m. **[5]**

III.2.4 COMBINAISON DE TRACE EN PLAN PROFIL EN LONG

C'est la combinaison entre une courbe horizontale (CH) de rayon inférieur à 200 m et une courbe verticale (CV). En effet, le croisement de deux courbes crée des efforts supplémentaires au niveau de la voie et du matériel roulant pouvant engendrer une usure prématurée des organes associés. Si la combinaison de deux courbes est inévitable, il doit respecter les règles suivantes pour limiter les efforts et les usures prématurées :

Pour une CH comprise entre 40 m et 70 m, CV doit être supérieur à 3000 m

Pour une CH comprise entre 70 m et 200 m, CV doit être supérieur à 1500 m

Pour une CH supérieure à 200 m, la problématique ne se pose plus.

Conscient que, dans de nombreux cas, ces valeurs ne peuvent être atteintes, au minimum, respecter la prescription suivante : CH x CV $\geq$ 25000 **[5]**

III.3 PROFIL EN TRAVERS :

III.3.1 Introduction :

Le profile en travers d'une voie ferrée du projet de tramway est une coupe perpendiculaire à l'axe de la plate de forme par un plan verticale, comme Il existe deux types de profil :

Profil en travers courant : Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet, devers de la plateforme.

Profil en travers type : est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche de plateforme, sa composante ainsi que les épaisseurs

III.3.2 Les éléments du profil en travers :

• **Plateforme de sol** : Sol, traité ou non, sous la dalle de fondation. La plateforme est une couche de forme d'épaisseur variable (minimum : 10 cm) en Grave Non Traitée (GNT).

• **Dalle de fondation** : Dalle de béton située sous la dalle de voie. Cette dalle est posée sur la plateforme de sol et permet la répartition des charges de la voie ferrée sur le sol support.

• **Dalle de voie (de calage)** : Dalle de béton située directement sous la superstructure dans laquelle viennent s'ancrer les fixations de rail, repose sur la dalle de fondation.

• **Bétons de voie :** Ensemble de la dalle de voie et de la dalle de fondation.

• **Béton de remplissage :** Béton situé dans l'entre-voie (plateforme en voie double ou plus). Son épaisseur correspond au niveau entre le dessus de la dalle de fondation et le dessus de la dalle de voie.

Le profil en travers présenté sur la figure ci-dessous illustre la structure de chaussée prévisionnelle. Il s'agit d'un tramway sur voie ferrée présentant une emprise au sol de 7.5 m de large environ. La structure de voie est une chaussée rigide en béton de ciment.

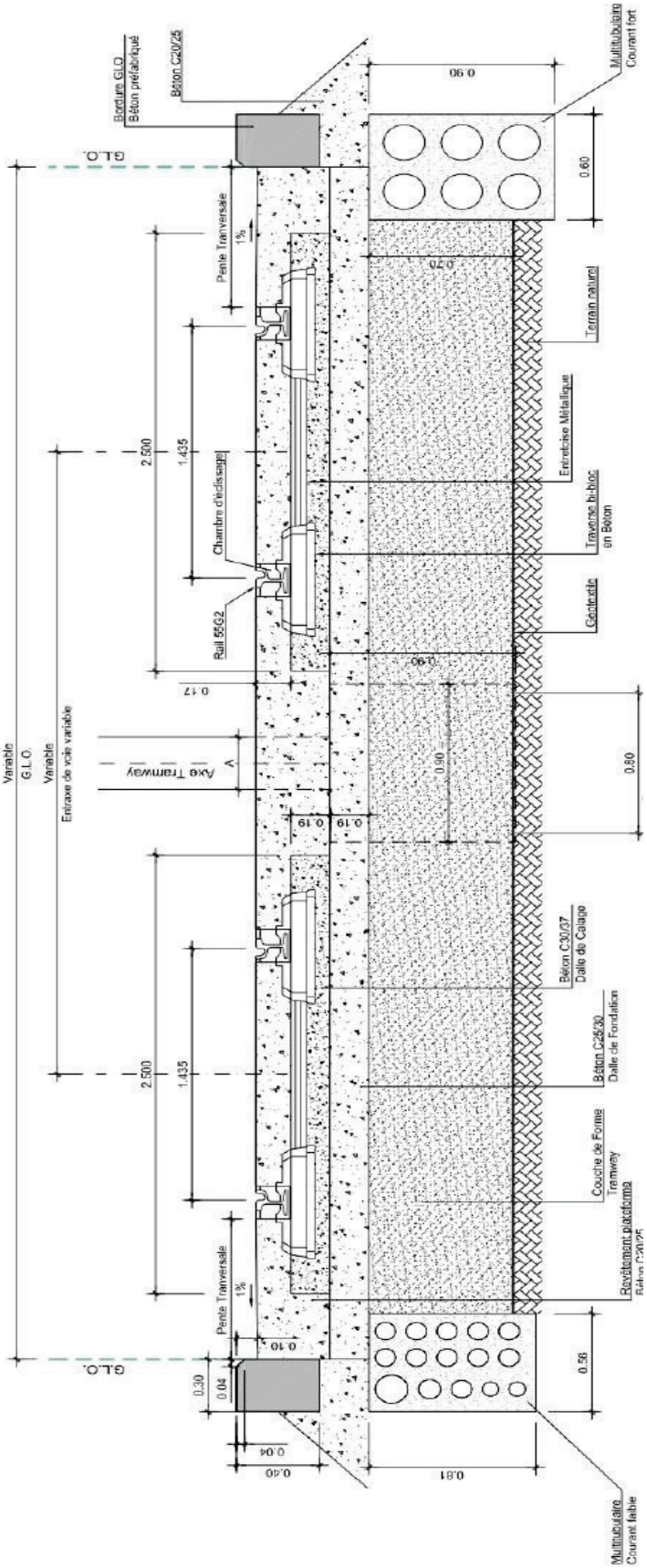


Figure III.3.1 Profil en travers type du projet [5].

III.3.3 Calcul des cubatures :

Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes de déblais et de remblais Il permet de localiser et de quantifier les zones où il va falloir enlever des matériaux (déblai) et les zones où il falloir en apporter (remblai).Les éléments qui permettent cette évolution sont :

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

Ces calculs permettent d'apprécier et d'ajuster un projet pour équilibrer au mieux remblai et déblai afin de pouvoir limiter au maximum les transports de matériaux.

Tableau III.1 Quantité remblai et déblai [9].

	Remblais	Déblais
Quantités (m^3)	28 020	110 323

ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.1. INTRODUCTION :

La géotechnique est l'étude de l'adaptation des ouvrages humains aux sols et roches formant le terrain naturel.

Elle fait appel à des bases de géologie, de mécanique des sols, de mécanique des roches et de structures.

Les études géotechniques en travaux publics ont pour principal objet de connaitre la nature du sol support et la détermination de ces caractéristique mécaniques.

IV.2. OBJECTIF DE L'ETUDE GEOTECHNIQUE :

Les objectifs d'une étude géotechnique se résument comme suit:

➢ Le bénéfice apporté sur les travaux de terrassement, en mettant en adéquation les matériaux et le matériel approprié pour chaque type de sol, réf : Guide Terrassement Routier GTR SETRA.

➢ La sécurité en indiquant la stabilité des talus et des remblais, méthode analytique, bishop, logiciels calcul stabilité.

➢ L'identification des sources d'emprunt des matériaux et la capacité de ses Gisements (plan de mouvement des terres).

➢ La stabilité des sols pour le cas des grands remblais, un grand remblai est considéré comme ouvrage d'art (GTR).

IV.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE :

Dans leur ensemble, des intercalations calcaires sont fréquentes et puissantes dans ce secteur pouvant arriver à être la lithologie majoritaire dans certain sondage.

Il s'agit d'une formation d'origine sédimentaire, constituée par des calcaires lacustres de tonalités gris clair - rose, en vaste bancs sous-horizontaux de plusieurs mètres d'épaisseurs qui arrivent à affleurer en superficie, intercalés avec des couches centimétriques à métriques d'argiles rosacés à rouges, avec un contenu élevé en carbonates.



Figure IV.1 Résultat d'un sondage carrotier SC-AM-17+680[10].

IV.3. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE GEOTECHNIQUE :

Le programme géotechnique élaboré consiste en des reconnaissances in situ et des essais de laboratoire.

IV.3.1 Essai in situ :

La typologie et le nombre de reconnaissances réalisés sont basés sur des prescriptions inclues dans le Cahier des Prescriptions Techniques. Campagne de reconnaissance géotechnique, et sur les conclusions de la visite du terrain réalisée par les techniciens spécialisés en géologie et en géotechnique. L'aspect le plus important lors du parcours du tracé sur le terrain était la détection de zones d'intérêts géotechniques comme les intersections avec les routes existantes et les zones en déblai, etc.

Pour faire des reconnaissances géotechniques sur le terrain traversé des sondages et des essais in situ sont réalisés :

1. Sondages carottés (dénommés SC), avec la colocation des piézomètres à l'intérieur.
2. Sondages au pénétromètre dynamique (dénommés CPT).
3. Sondages à la tarière (dénommés ST).

IV.3.2 Essais de laboratoire :

Sur une sélection représentative des échantillons obtenus dans les sondages et dans les puits de reconnaissance, on a réalisé des essais en laboratoire pour la classification des matériaux selon GTR, et pour déterminer leur état (granulométries, limites d'Atterberg, humidité, densité, agressivité, essai de Proctor, essai CBR …etc.), ainsi que l'obtention des paramètres de résistance et de déformabilité.

Tableau IV.1 Les essais obtenus des échantillons pris dans les sondages à la tarière [10].

Échantillon			Passant à 80 µm	Limites d'Atterberg			W_n	I_c	PROCTOR NORMAL		IPI	W_n/W_{op}	Essai CBR (Type Imbibé)		Classification GTR
S. Tarière	PK	profondeur		L.L	L.P	I_P			γ_{max} (kN/m^3)	w_{op} (%)			CBR	Gonflement (mm)	
ST-25	15+718	0.60 - 1.10	54	38.5	18.9	19.5	9.81	1.4	1.7	7.86	9.14	1.25	1.54	4.75	A2
ST-26	16+288	0.50 - 4.50	80	54.5	26.8	27.7	25.1	1.1	1.7	9.77	8.37	2.57	0.95	7.90	A3
ST-27	16+658	0.00 - 4.50	69	36.3	17.6	18.7	14.4	1.1	1.8	9.45	12.77	1.52	1.63	4.17	A2
ST-28	17+093	0.30 - 1.80	53	38.2	18.2	20.1	15.92	1.1	1.7	13.6	11.58	1.17	3.11	3.15	A2
ST-29	18+598	0.30 - 4.00	62	35.8	17.1	18.8	12.34	1.2	1.6	12	22.39	1.03	2.56	6.20	A2

Caractéristiques géotechniques **(ANNEXE 3).**

IV.4 DESCRIPTION DES MATERIAUX DU TRACE :

Dans cette partie on décrira les caractéristiques des matériaux issues de terrassement le long du tracé et leur éventuelle réutilisation en remblai.

IV.4.1 Remblai :

Il s'agit de remblai de matériaux hétérogène (argile, gravier…) associé à l'activité humaine. Sont inclus aussi les chaussées de route et de voie ainsi que ses bases et sous bases.

Les matériaux provenant de cette unité devront être écartés pour sa réutilisation. Ils devront être envoyés dans une décharge ou dans une usine de transformation.

IV.4.2 Terre végétale :

C'est une couverture de matériaux généralement argileux, de couleur sombre /marron ou ocre, contenant généralement des pierres de calcaire. On y trouve des restes de racines et même des terres de labour, rendant ainsi les matériaux appartenant à ces niveaux inutilisables pour la formation de remblai et des couches de forme. Ils pourront être réutilisés pour la revégétalisation des talus.

IV.4.3 Marne :

C'est une unité marneuse nettement cohérente et de forte consistance, qui dans les sondages présente des tons généralement rougeâtre, parfois marron cette formation est présente en profondeur majoritairement sur tout le tracé.

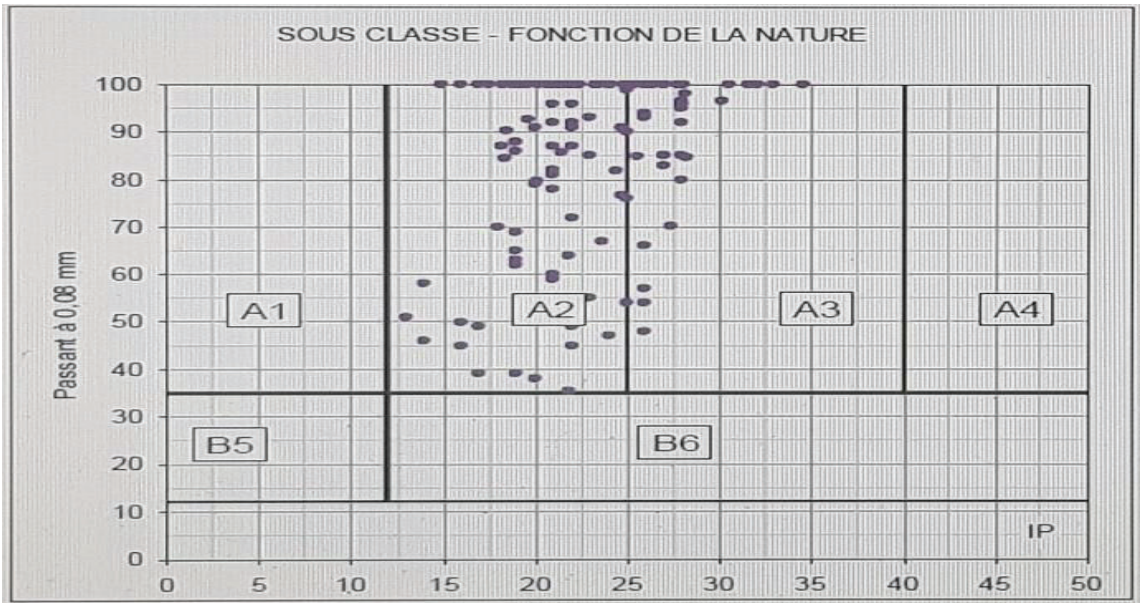


Figure IV.2 Sous-classe de la marne [10].

On peut voir l'immense majorité des données représentées correspondant aux sous-classes GTR A2 et A3 (pour 207 essais sur des échantillons provenant des sondages et des puits de reconnaissance).

Ce matériau peut être réutilisé après un traitement convenable, GTR, Catalogue Traitement des Sols à la chaux vive et au liant hydraulique (SETRA).

IV.4.4 Calcaire lacustre :

Ce sont parfois des nappes de calcaire d'apparence massif et homogène, mais elle présente le plus souvent d'abondantes alvéoles donnant lieu, en fonction de l'abondance et la taille de ces dernières, des calcaires alvéolaires, des calcaire tufés ou des tufs calcaires.

On distinguera ici les tronçons de nature rocheuse de ceux qui se présente comme des sols ou des intercalations de calcaire et de marne.

Il est indiqué dans le GTR que les roches calcaire peuvent être classées comme R21, R22 ou R23 en fonction de leur poids spécifique sec et de la valeur du MDE et admettent aussi, bien étendu, d'être employées dans le corps de remblai en pierre et dans les assainissements, quant à leur réutilisation comme couche de forme il faut tenir compte de leur friabilité possible.

Quant aux tronçons d'intercalations ou de tufs calcaires on dispose de treize batteries d'essais.

Tableau IV.2 Sous-classe du sol-calcaire [10].

Sous Classe	Tous les échantillons	
	Nombre d'échantillons	Pourcentage
A1	3	23
A2 h	2	15
A2 m	2	15
A2 s	2	15
A2 ts	1	8
A3 m	1	8
A3 s	1	8
A4	1	8
TOTAL	13	

La table ci-dessus indique qu'il s'agit généralement de sol A2 ou A3.Le comportement de toutes ces sous-classes est satisfaisant, mais il faudra prêter attention à la variabilité que présenteraient ces matériaux de différente nature ainsi que leur taux d'humidité, d'où l'arrosage est souvent indispensable dans le compactage. Donc les tronçons renfermant des sols de cette nature peuvent être réutilisés dans le corps de remblais.

IV.4.5 Tuf :

L'unité désignée comme « tuf » correspond à des dépôts intermédiaires entre les calcaires et les marnes décrits antérieurement. Il s'agit de matériaux à forte teneur en carbonate, lequel confère à l'ensemble une rigidité appréciable, bien que son comportement soit plus proche de celui d'un sol dur que de celui d'une roche

Les tufs vont être excavés essentiellement dans deux tronçons souterrains (trémies) et, pour l'étude de leur exploitation, on dispose de treize batteries d'essais à partir desquels on détecte que la plupart des échantillons sont des sous-classes A2h, A2s, A3h et A3s.

Dans tous les cas, le comportement au compactage est satisfaisant, mais il faut contrôler l'humidité de compactage, en la situant près des optimums Proctor.

On estime que cette unité est apte à être exploitée dans le corps de remblais Par ailleurs, elle ne pose pas de problème si elle apparaît comme fond de déblai, et elle est optée comme PST.

IV.4.5 Résumée de la réutilisation des matériaux du tracé :

Tableau IV.3 Aptitude des unités géotechniques à leur emploi dans les corps de remblais.

Unités	Sous-classe	Aptitude	Remarque
Remblai	-	Non	Transport à la décharge.
Terre végétale	-	Non	Revégétalisation.
Marne	A2m (A2s/A3m)	Oui	Les propriétés mécaniques du remblai compacté seront modérées.
Calcaire lacustre.	A1/A2h/A2m/A2s	Oui	-
Tuf	A2h/A2s/A3h/A3s.	Oui	-

Tableau IV.4 Aptitude des unités géotechniques à leur emploi dans la PST.

Unités	Sous-classe	Aptitude	Remarque
Remblai	-	Non	Transport à la décharge.
Terre végétale	-	Non	Revégétalisation.
Marne	A2m (A2s/A3m)	Oui	Traitement à la chaux.
Calcaire lacustre.	A1/A2h/A2m/A2s	Oui	-
Tuf	A2h/A2s/A3h/A3s.	Oui	Etude spécifique pour vérifier leur viabilité.

Pour la couche de forme il est projeté de faire une couche granulaire insensible à l'eau, mais malheureusement aucun des matériaux à excaver ne remplit les conditions pour être utilisée dans la couche de forme, tous les matériaux de la couche de forme devront ainsi être obtenue d'emprunts ou de carrière proche du tracé. Il est crucial d'employer le même type du matériau dans la couche de forme afin d'éviter les comportements différents et un tassement différentiel lors du passage d'un type de matériau à l'autre.

IV.6 MATERIAUX ORIGINAIRES DE CARRIERES OU ZONES D'EMPRUNT :

Étant donné qu'aucun des matériaux du projet n'accomplit les conditions nécessaires pour sa réutilisation dans une couche de forme, le matériau devra provenir des carrières proches du chantier.

Les matériaux originaires de carrières avoisinantes ont été analysés, et la classification des échantillons est la suivante :

Tableau IV.5 Matériaux originaires de carrières[10].

CARRIÈRE	MATÉRIAU	CLASSIFICATION
AIN SMARA	14/20	B_{31}, R_{11}, R_{21}, D_{21}, D_{22}
	10/14	B_{31}, R_{11}, R_{21}, D_{21}, D_{22}
	6/10	B_1, B_5
	3/6	B_1, B_5, B_6
	0/3	B_1, B_5, B_6
BENBRAHIM, EL KHROUB	15/25	B_{31}, R_{11}, R_{21}, D_{21}, D_{22}
	8/15	B_{31}, R_{11}, R_{21}, D_{21}, D_{22}
	3/8	B_1, B_5, B_6
	0/3	B_1, B_5, B_6
	0/20	B_1, B_5, B_6
	40/70	D_{31}
MEHARZI, HAMMA BOUZINE	15/25	B_{31}, R_{11}, R_{21}, D_{21}, D_{22}
	8/15	B_{31}, R_{11}, R_{21}, D_{21}, D_{22}

En analysant les matériaux existants dans les carrières avoisinantes, pour l'exécution de la couche de traitement et/ou d'une couche de forme, on recommande l'emploi des matériaux suivants :

-Pour la plateforme du Tramway : B31, D21, R21

-Pour voiries et couche de forme : R21

DIMMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME ET DE LA PLATEFORME

V.1 DEFINITION ET NATURE DE LA COUCHE DE FORME :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrologiques et thermique prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée.

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la plate –forme support de chaussée (PF).

On désigne par Partie supérieure des terrassements ou PST la zone supérieure (environ un mètre d'épaisseur) des terrains en place (cas des profils en déblai) ou des matériaux rapportés (cas des profils en remblai).la plate-forme de la PST est l'Arase de terrassement AR.

Selon les cas de chantier (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic de chantier …) la couche de forme se présentera sous des formes différentes. Elle peut être :

- **Inexistante** car inutile lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requise.

- **Limitée** à l'apport d'une **seule couche** d'un matériau ayant les caractéristiques nécessaire, c'est le concept traditionnel de la couche de forme.

- **Constituée** d'une **superposition de couches** de matériaux différents répondant à des fonctions distinctes, incluant par exemple un géotextile, des matériaux grossiers, un enduit gravillonné … cette association conçus rationnellement permet de former une structure d'adaptation dont la surface présente les caractéristiques requises pour une plate-forme support de chaussés.

V.2 FONCTIONS DE LA COUCHE DE FORME

La couche de forme répond à la fois à des objectifs de court terme (vis-à-vis de la phase de réalisation de la chaussée) et de long terme (lorsque l'ouvrage est en service). Selon le cas de chantier, on cherchera à assurer, avec la couche de forme, l'ensemble ou certain des fonctions suivantes :

V.2.1 A court terme :

➢ Un nivellement de la plate-forme support de chaussée.

➢ Une protection du sol support vis-à-vis des intempéries.

➢ Une traficabilité permettant la circulation, dans de bonnes conditions, des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation.

➢ Éventuellement supporter le trafic de chantier pour d'autres besoins.

V.2.1 A long terme :

➢ L'homogénéisation de la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante.

- ➢ Réduire l'influence des variations de portance des sols supports.
- ➢ Une amélioration de la portance de la plateforme pour optimiser le coût de l'ensemble couche de forme - structure de chaussée.
- ➢ Une contribution au drainage de la chaussée.

V.3 CONCEPTION DE LA COUCHE DE FORME :

Tout au long de la plateforme, des essais CBR ont été réalisés sur des échantillons altérés issus des sondages à la tarière. Les résultats obtenus sont recompilés dans la table (voir tableau chapitre IV).

L'essai CBR indique une mauvaise portance du matériau qui constitue la PST. Selon le Guide Technique, la Partie Supérieure des Terrassements (PST) est classée comme PST nº1/AR1.

Le Cahier des Prescriptions Techniques du Projet indique comme objectif de définir le prédimensionnement de la couche de forme de la plateforme pour obtenir une portance à long terme d'un niveau PF2 (Ev2≥50MPa).

Figure V.1 Tableau définissant les classes de la plateforme [11].

Module (MPa)	20	50	120	200
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4

En analysant les matériaux existants dans les carrières avoisinantes, pour l'exécution de la couche de forme, on recommande l'emploi des matériaux de type B ou D.

Le GTR recommande des épaisseurs de ces matériaux compris entre 0,75 m et 0,80 m (ou alors, 0,60 et 0,65 m si on intercale un géotextile anti-contaminant à l'interface PST-couche de forme) pour un sol support de classe PST nº1/AR1 et une plateforme visée PF2.

On exécute une couche de forme de 0.65 m d'épaisseur plus un géotextile type As20.

V.4 DIMMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME FERROVIARE :

V.4.1 Introduction :

La plateforme ferroviaire de type Tramway est une structure de différentes couches de béton, aide à supporter les charges du matériel roulant.

Les différentes couches de béton sont représentées dans la figure suivante.

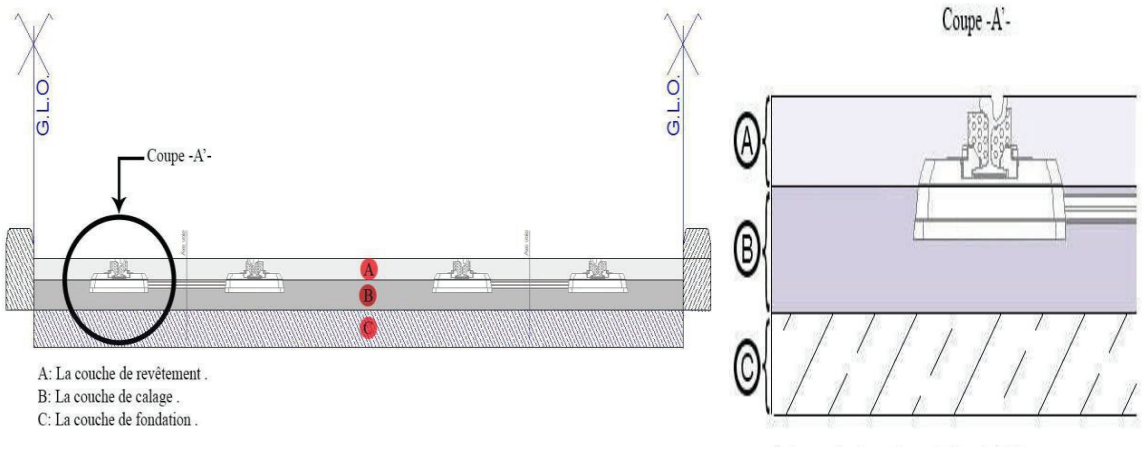


Figure V.1 Plateforme ferroviaire [6].

V.4.2 Méthode de dimensionnement :

La méthode française de dimensionnement et de renforcement des structures de chaussées est une méthode dite rationnelle, basée sur un approche analytique. La démarche est de type « calcule des structures » : calcules des contraintes et déformations engendrées dans la structure de chaussées par le passage des charges roulantes, par opposition à la méthode Anglo-saxonne basées sur l'observation en grand nombre de comportement de chaussées existant (méthode de type empirique).la méthode analytique est néanmoins validée par des essais de laboratoire et des essais en vrais grandeur (section existante, essai en laboratoire sur les matériaux prélevés in situ et manège de fatigue LCPC).

Se dimensionnement s'articule en 02 temps :

- Dans un première temps, s'assure que la structure choisie est dimensionnée pour supporter un trafic cumulé donnée : il s'agit de définir les épaisseurs des différentes couches composant la chaussée pour lesquelles les contraintes et/ou déformations admissibles.

- Dans un deuxième temps, vérifier que la structure, ainsi dimensionnée, peut supporter sans dommage un hiver d'intensité donné.

Le premier principe de dimensionnement mécanique de structure, comme indiqué précédemment, consiste à calculer les sollicitations induites dans la structure retenue par le passage cumulé d'un essieu isolé à roue jumelée de 11.5T (essieu de référence) et de comparer aux sollicitation admissible.

En principe on vérifie que les sollicitations induites par le trafic restent inférieur ou égale aux sollicitations admissibles σcalculé < σadm.

La contrainte admissible en fatigue avant rupture : (σadm).

Pour les matériaux hydrauliques (béton) :

$$\sigma adm = \sigma 6 \times (Neq/10^6)^{b} \times kc \times kr \times ks \times kd$$

Avec :

- σadm : contrainte admissible en traction par flexion du béton sous sollicitation de fatigue.

- σ6 : contrainte admissible en traction par flexion du béton sous sollicitation de fatigue à 1 million de cycles.
- Neq : nombre équivalent d'essieux (le nombre de cycles jusqu'à rupture).
- σcalculé : contrainte de calcul en traction par flexion du béton.
- b : pente de la droite de fatigue du béton en traction par flexion.
- kc : coefficient de calage.
- kr : coefficient de risque.
- ks : coefficient de sol.
- kd : coefficient de modèle de calcul.

V.4.3 Données de projet pour le dimensionnement de la plateforme :

- Durée de vie : 30 ans.
- Nombre d'essieux : 8 essieux par rame.
- Charge par essieu (P) : 11.141 t (6 personnes par m^2).
- Nombre de tramway annuel sur l'extension : 21 136 tramways.
- Nombre d'essieux annuel : 21 136×8 = 169 088 essieux par an.
- Nombre d'essieux pendant la durée de vie : 5 072 640 essieux.
- Nombre d'essieu équivalent à 11.5 t :

N_{eq} = α × nbre d'essieu

$\alpha=(\frac{p}{11.5})^n = (\frac{11.141}{11.5})^{12} = \mathbf{0.68}$ Tel que : n=12 pour une chaussée (dalle) rigide.

➡ N_{eq} = 0.68 × 5 072 640 = **3449395,2** équivalent essieu 11.5 t

V.4.4 Dimensionnement de la dalle de fondation :

On utilise un béton de classe C25/30 (Béton maigre).

➢ Kc = 1.5.

➢ kd = 1.

➢ kr = 10-tbδ = 10-1.645×0.067×1.342 = 1.24.

➢ σ6 = 1.63 MPa.

➢ ks = 0.6.

σadm = 1.68 MPa.

D'après l'abaque suivant :

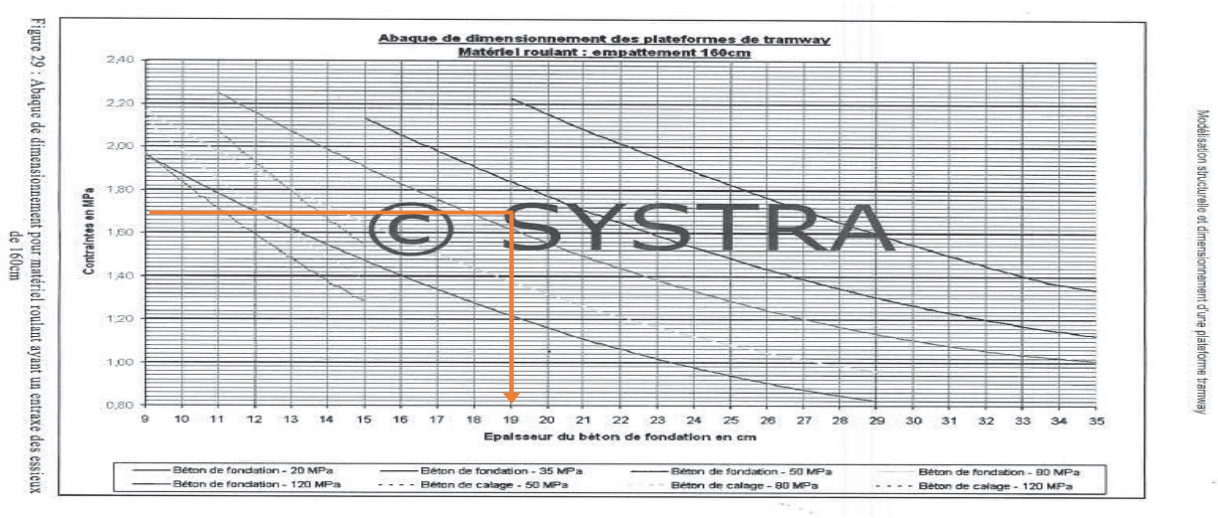


Figure 29 : Abaque de dimensionnement pour matériel roulant ayant un entraxe des essieux de 160cm

Modélisation structurelle et dimensionnement d'une plateforme tramway

Figure V.2 Abaque de dimensionnement des plateformes de tramway [12].

L'épaisseur de la dalle de fondation est 19 cm.

V.4.5 Dimensionnement de la dalle de calage :

La couche de calage est en béton (C30/37), dont une partie (7 à 10 cm) se trouve sous les travers, destinée à assurer le nivellement, le calage et le blocage des travers.

La hauteur du blochet est de 12cm.

Donc la couche de calage est de 12+7=19 cm.

V.4.6 La couche de revêtement :

Le béton de revêtement est de classe (C20/25), par ce que le rôle de cette couche c'est la couverture des rails et travers, donc elle a aucun rôle de résistance.

L'épaisseur de la couche de revêtement correspond le niveau entre la dalle de calage et le niveau de rail (l'épaisseur entre 17 et 18 cm).

Dans notre projet on prend 17 cm.

V.5 VERIFICATION DE LA PLATEFORME PAR ALIZE32 : [13]

On travaille avec les caractéristiques d'un boudin du tramway et on fait la vérification par Alizée 32 on trouve les résultats suivants :

	Contrainte de fatigue σF (Mpa)	Contrainte admissible σadm (Mpa)
Dalle de fondation	1,21	1,68

Donc **σF < σadm.**

ASSAINISSEMENT

VI.1 INTRODUCTION :

Un réseau d'assainissement d'une zone doit assurer une collecte et une évacuation correcte des eaux usées et des eaux pluviales de manière à empêcher la submersion et éviter toute stagnation des eaux de ruissellement dans les points bas après averses.

Il s'agit d'établir un système opérationnel d'évacuation des eaux pour assurer la stabilité de l'infrastructure. Le bon assainissement assure Le maintien de bonnes conditions de viabilité en évitant le problème de Submersion de la voie.

Afin de drainer le flux dans la section de la voie, les systèmes collecteurs de drainage de la voie ci-dessous peuvent être développés en se basant sur la topographie et le type de la voie.

VI.2 DRAINAGE DE LA PLATEFORME :

Pour le drainage de la plateforme, on a envisagé des grilles transversales avec un espacement de 25-40 mètres en fonction de la disposition d'autres éléments tels que des poteaux de la caténaire. Ces grilles déchargent l'eau dans les fossés de crête de talus ou dans des tuyaux de drainage longitudinal.



Figure VI.1 Aqua-drain [5].

Notre zone d'étude est une zone urbaine qui n'est pas traversée par des cours d'eau naturelle, mais il existe un réseau d'assainissement qui collecte les eaux pluviales et les eaux usées, donc on fait juste le raccordement de drainage de la plateforme avec les réseaux existants.

VI.3 LES DONNEES CLIMATIQUE :

La zone de Constantine est caractérisée par un climat continental semi-aride tempéré chaud. La pluie dans Constantine tombe surtout en hiver, avec relativement peu de pluie en été.

La précipitation :

Tableau VI.1 La précipitation [5].

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Total annuelle
Moy	80	60	60	50	40	20	0	10	20	40	50	80	560

Cet emplacement est classé Sur l'année, la température moyenne à Constantine est de 15 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 560 mm

La station météorologique de référence est la station de Constantine.

Les différents paramètres à prendre en compte sont les suivants :

Moyenne des températures mini et maxi : 9°C / +21 °C.

Températures ambiantes extrêmes : -3 °C /+ 41 °C.

Nombre de jours de pluie moyen par an : 102 j ;

La période plus nuageuse de l'année : Octobre – Mai.

Les vents dominant sont :

En hiver : Nord-Ouest.

En été : Nord-Sud.

VI.4 CALCUL DE DEBIT MAX :

Plusieurs méthodes ont été développées pour l'approximation de débit pluviale de pointe afin d'estimer le taux ou le volume de ruissellement pour la conception d'installations de drainage sur le site et l'élimination des eaux de ruissellement provenant des précipitations.

Pluie journalière

$$\mathbf{Pj(f\%)} = \frac{Pjmoy}{\sqrt{Cv^2+1}} e^{u\sqrt{\ln(Cv^2+1)}}$$

Avec :

- Pj (f %) : pluie journalière maximale de fréquence « f ».
- Cv : coefficient de variation climatique.
- Pj moy : pluie journalière moyenne.
- U : variable de Gauss.

Tableau VI.2 Paramètre pour calcul de la pluie journalière maximale de fréquence

Fréquence (%)	Période de retour (ans)	Variable de gausse [U]	CV	Pjmoy (mm /j)
10	10	2.057	0.4174	70.88

Temps de concentration

$$Tc=0.127\times\sqrt{\frac{A}{P}}$$ le formule des petits bassins.

Pour les bassins versants inférieurs à 5 km^2

Tc en heures.

- A : surface du bassin versant en Km² avec A< 5km².
- P : la pente moyenne (en m/m).

La surface de la plateforme A

A = L x l

Où :

- l = La largeur de plateforme (m) (Largeur moyenne 7m).
- L = La longueur (m) (La distance entre les aco-drains 40m).

Calcul de l'intensité de l'averse It

$$It = \frac{Pj(f\ \%)}{Tc} \times \left(\frac{Tc}{24}\right)^{b} \quad \text{tel que b = 0.42}$$

It : intensité de la pluie de durée t en heure (mm/h).

Coefficient de ruissellement

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau tombe sur elle.

Tableau VI.3 Coefficient de ruissellement [5].

Nature du BV	Coefficient de ruissellement (C)
Plateforme avec revêtement	0.95

Calcul des débits

On utilise la méthode rationnelle

$$Qmax = K \times C \times I \times A.$$

Qmax : débit d'eau maximale à évacuer (m^3/s).

- **K** : coefficient de conversation des unités **K** = **0.278**.
- I : intensité de pluie pour temps de concentration (mm/h).
- A : surface de la plateforme drainé (Km²).
- C : coefficient de ruissellement.

Note : Les PVC seront dimensionnés pour une période de retour 10 ans.

Le calcul numérique

Tableau VI.4 Résultats du Calcul numérique

Configuration de plateforme	Valeurs
A (km^2)	2.8×10^{-4}
Tc (heurs)	1.5×10^{-2}
Pj (f (%)=10)	149.16
It (mm/h)	448.57
Q max (m^3 /s)	0.033

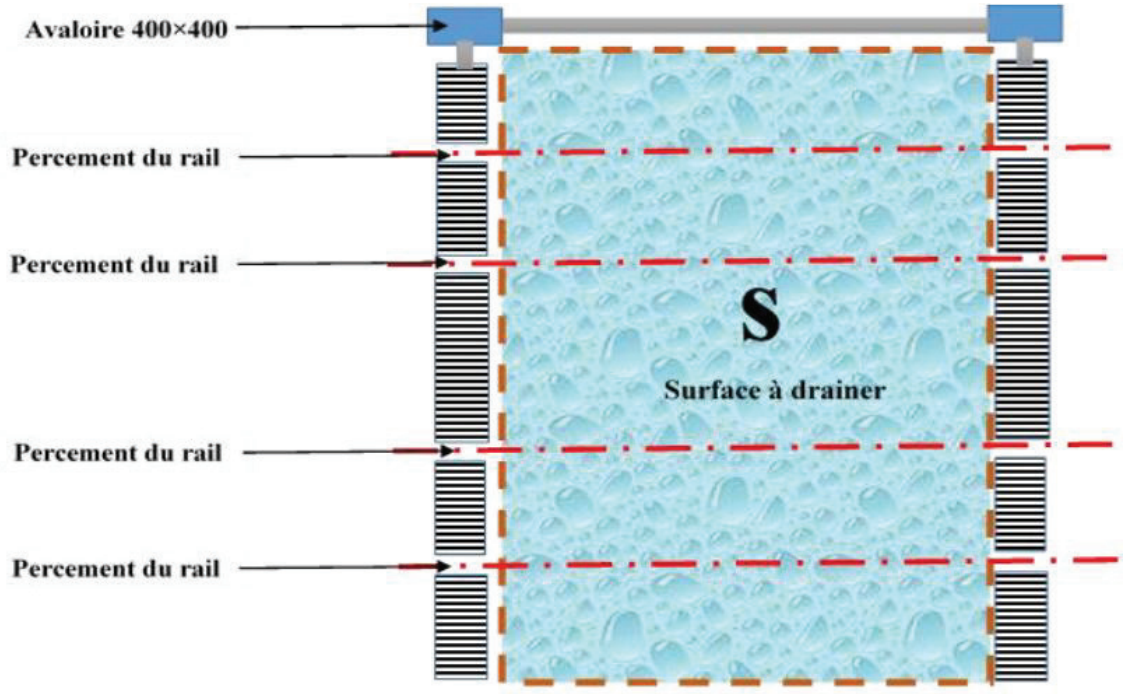


Figure VI.2 Surface a drainer [5].

VI.5 DIMENSIONNEMENT DE TUBE DE PVC :

On fait le dimensionnement de PVC avec la formule de « Manning Strickler » d'une pente de 2%.

$$\mathbf{Q = Ks \times Rh^{2/3} \times I^{1/2} \times S}$$

Avec :

Q : Débit dans la conduite en (**m3/s**).

Ks : Coefficient de STRICKLER qui dépend de la nature de parois de l'ouvrage.

Rh : rayon hydraulique en (**m**).

I : la pente moyenne de l'ouvrage

S : section mouillée en (**m2**)

On obtient les résultats suivants :

Ks=112 (pour un tube en PVC)

$$\emptyset = 2\times \left(\frac{2^{2/3}\times Q}{\pi\times Ks\times\sqrt{I}}\right)^{3/8}$$

$\emptyset = 0.152\text{m}.$

Donc on un diamètre de 152 mm mais on utilise le diamètre commercial 200mm (Φ200).

VI.6 VERFICATION DES CONDITIONS D'AUTO CURAGE :

Les conditions d'auto curage sont :

$$\begin{cases} V > 0.6\dfrac{m}{s} \ \ pour\ Qp = 0.1\text{Qps} \\ V > 0.3\dfrac{m}{s}\ pour\ Qp = 0.01Qps \end{cases}$$

- Calcule la vitesse plein section

Q_{ps}= K×S×Rh ×I

Q_{ps} = 0.067 m^3/s

Q_{ps}= Vps*S.

Vps = $\frac{Qps}{S}$ = 2.13 m/s

- condition 1

V (Qps/10) > 0.6 m/s
RV=0.518
V=RV*Vps=0.518*2.13

V=1.103 m/s > 0.6 vérifié

Condition 2

V (Qps/100) > 0.3 m/s
RV=0.249
V=RV*Vps=0.249*2.13

V=0.530 m/s >0.3 m/s vérifié

LES ELEMENTS DE LA COMPOSITION DES VOIES

VII.1 INTRODUCTION :

Le CCTP décrit les études, les fournitures et les travaux nécessaires à la construction de la voie ferrée et des appareils de voie dans les limites d'emprises précisées sur les plans. Les prestations à réaliser doivent permettre d'obtenir un ouvrage voie entièrement fini, y compris les méthodes, les contrôles et essais permettant de s'assurer de sa conformité aux prescriptions et à sa destination finale.

VII.2 LES ELEMENTS DE LA COMPOSITION DES VOIES :

VII.2.1 Le Rail :

Les rails sont de longues barres d'aciers profilées qui servent principalement à la transmission des charges et permet le roulement et le guidage des véhicules. On définies le type de manière a assuré la meilleure interaction possible avec le profil de roue du tramway CITADIS 402 d'Alstom.

Il existe deux types de rails pouvant servir pour les voies de tramways :

- Le rail de type Vignole.
- Le rail à gorge ou de type Phœnix

Pour l'extension de la Ligne 1 vers Ali Mendjeli on envisage, tout au long du tracé, le rail à gorge 55G2, qui est la dénomination selon la norme européenne EN 14811 :2010

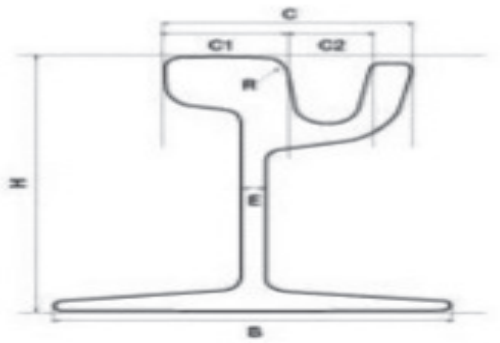


Figure VII.1 rail à gorge [1].

DETAIL RAIL A GORGE 55G2 (VOIR ANNEXE 4).

Tableau VII.1 Dimensions du rail 55G2 [5].

Rail	Dimensions (mm)							Aire	Poids
	H	B	C	C1	C2	E	R	Cm²	Kg/m
55G2	152.50	141.50	116.82	56.23	40.94	13.00	10.00	70.49	55.33

Traitement du rail :

- **Cintrage de rail**

Les rails destinés aux courbes de rayon R ≤ 150m sont cintrés mécaniquement et les abouts (non cintrés ou pouvant présenter des défauts) sont « chutés » après cintrage du rail pour assurer un cintrage uniforme sur toute la longueur des courbes. Le cintrage s'applique également pour les courbes du CDM (centre de maintenance).

- **Soudure**

Le rail est entièrement soudé par soudure aluminothermique aussi bien en alignement droit comme en courbe.



Figure VII.2 soudure des rails par coulage du métal en fusion dans le moule [5].

La réalisation des soudures est conforme aux prescriptions de la norme citée en référence moyennant les compléments suivants :

- Eviter défauts dans le centrage des rails.
- Les rails sont poinçonnés à proximité de la soudure, c'est-à-dire dans une zone située entre 5 et 10 cm de la soudure.
- La recette des soudures donne lieu en complément aux contrôles définis par la norme à un contrôle in situ des soudures par ressuage
- Il est recommandé d'effectuer les soudures à une température supérieure > - 5 °C.

➢ Chaque soudure doit faire l'objet d'un enregistrement qualité comportant les éléments suivants :

- date et heure d'exécution,
- nom du soudeur et de son assistant,
- température du rail,
- conditions climatiques,
- valeur du joint des rails,
- temps de préchauffage,
- résultats du contrôle géométrique.

VII.2.2 Système d'attache :

Le système d'attache est défini pour assurer pleinement le maintien du rail sous l'effet des charges environnantes. La fixation du rail en ligne sur les blochets des traverses se fait par l'attache type « Nabla » maintenue par des boulons tirefonds.

Un système d'attache doit permettre :

- Un réglage de la position du rail verticalement.
- Un blocage des possibles mouvements transversaux du rail.

Les détails du système d'attache sont montrés dans la figure suivante :

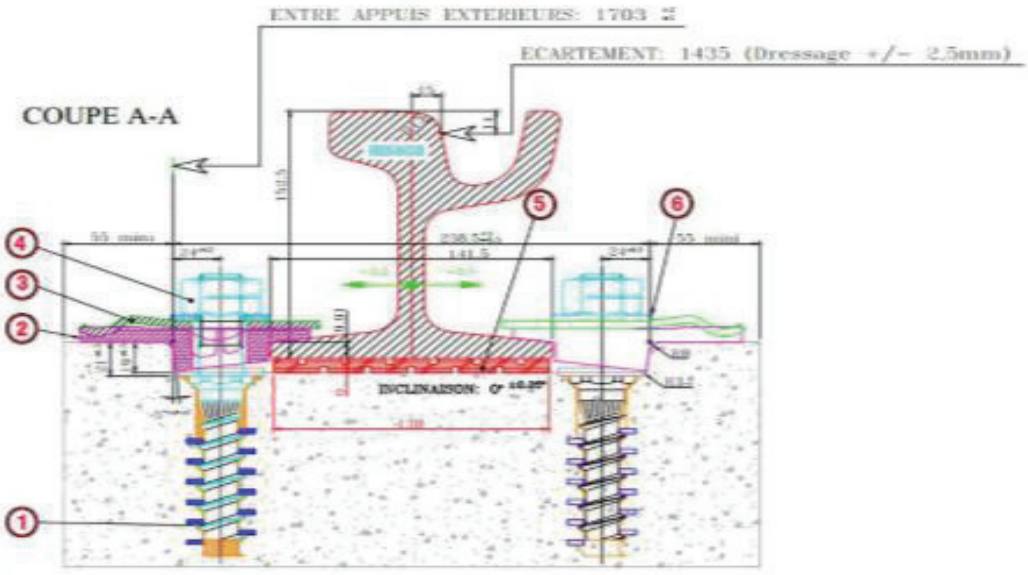


Figure VII.3 System d'attache NABLA [5].

1 : Goujon tirefond.

2 : Buté isolante.

3 : Attache NABLA.

4 : Ecrou fendu.

5 : Semelle caoutchouc.

6 : Rondelle plate.

DETAIL SYSYTEME D'ATTACHE NABLA (VOIR ANNEXE 4).

VII.2.3 Travers :

Les traverses sont des éléments en béton. Elles sont placées en travers de la voie pour maintenir l'écartement des rails et transmettre les charges du rail au la dalle de fondation.

Dans le projet du tramway, les traverses utilisées sont en béton de type bi-blocs constituée de deux blochets en béton armé dont l'épaisseur est optimisée, reliés par un élément métallique garantissant l'écartement des rails et qui absorbe les efforts en milieu de traverse

Le schéma représente des profils de la traverse bi bloc :

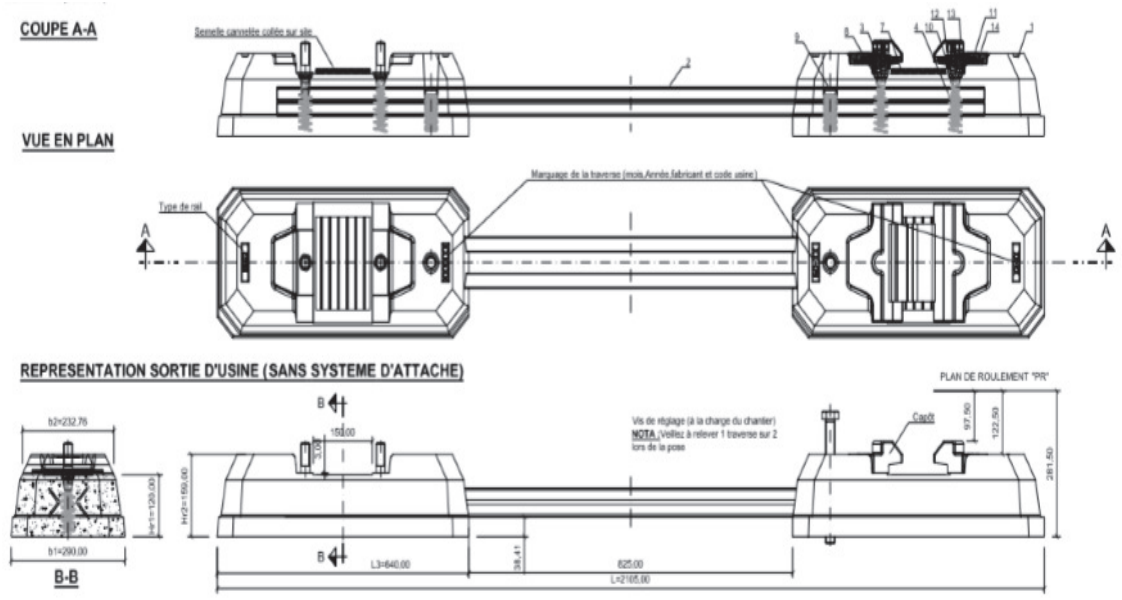


Figure VII.4 Traverse bi-block en béton pour rail à gorge [5].

➢ Longueur = 2 105 m

➢ Largeur = 29 cm (à la base des blochets)

➢ Épaisseur = 15,9 cm (dans l'axe de la table)

- La validation de la conception des traverses est faite conformément aux exigences de la norme européenne EN 13230-3.

VII.2.4 Les appareils de voie :

Les "appareils de voie" sont constitués de rails spéciaux et d'éléments mobiles qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné.

Il peut, être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage ou bien à pied d'œuvre (sur le terrain) par une personne habilitée. Les règles à respecter dans l'implantation des appareils de voie sont les suivant :

Distance minimale entre une courbe et un appareil de voie : 5 m.

Distance minimale entre deux appareils de voie : 12m.

Distance minimale entre une station et un appareil de voie : 12 m.



Figure VII.5 Aiguillage et cœur.

Les appareils de voie prévus au niveau de ce projet sont les suivants :

Tableau VII.2 Appareils de voie utilisée [5].

P.K.	Appareils utilisée
16+760	1 communication simple, tg 1/6, R=50 m, à gauche
16+795	1 communication simple, tg 1/6, R=50 m, à gauche
16+898	1 branchement simple, tg 1/6, R=50 m, à droite

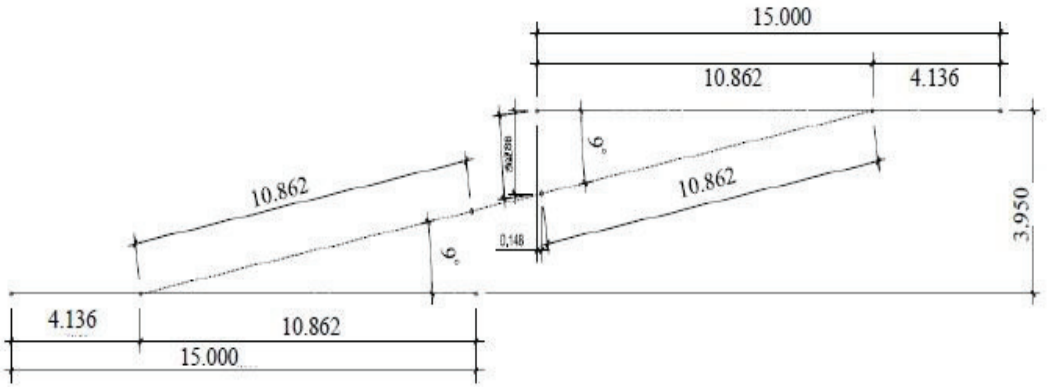


Figure VII.6 Communication simple tg 1/6 R=50 m [5].

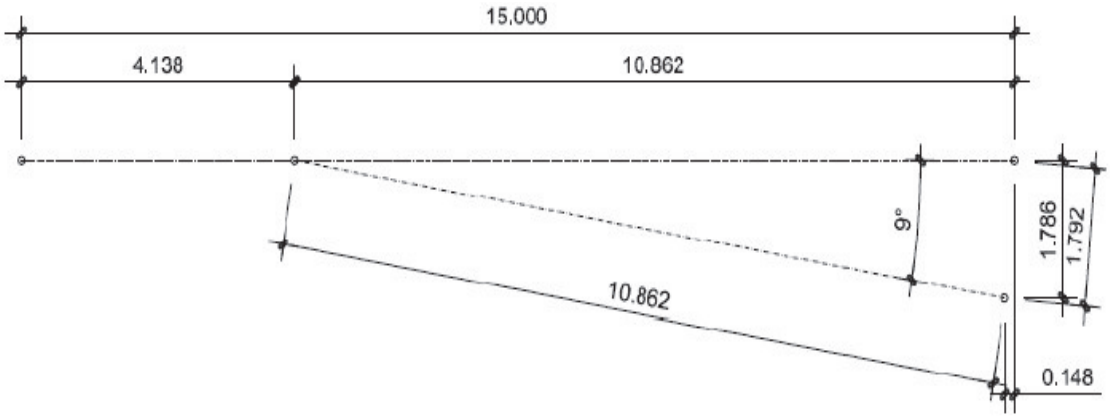


Figure VII.7 Branchement simple tg 1/6 R=50m [5].

➢ Des généralités sur la Conception

- La hauteur des éléments constitutifs des appareils correspond à la hauteur du rail et de sa fixation.

- Les appareils de voie sont fournis en éléments pré assemblés ou éventuellement soudés.

- L'ensemble de l'appareil de voie, y compris la motorisation et le drainage est inscrit dans l'épaisseur du béton de calage.

VII.2.5 Dispositifs de dilatation :

Ces appareils autorisant ponctuellement un libre mouvement du rail suffisant sans pour autant induire de coupure trop importante dans la continuité du rail vis-à-vis du roulement.

Les mouvements différentiels des ouvrages d'art, rotation autour de l'appui et dilatation du tablier ainsi que dilatation du rail, sont absorbés par des appareils de dilatation de voie.

L'appareil de dilatation est constitué de deux rails coulissants à l'intérieur d'un caisson en mécano soudé le long d'un rail de transfert pour assurer la continuité de roulement.



Figure VII.8 Appareil de dilatation [5].

Les appareils de dilatation sont de conception du fabricant. Ils doivent permettre un entretien facile sans être obligé d'intervenir sur les revêtements de plateforme et le joint de rail.

VII.2.6 Joints :

Joints de rail

Le joint longitudinal de rail est mis en place de part d'autre des rails de toutes les voies hormis les voies ayant un revêtement végétal.

Ce type de joint est à mettre en œuvre entre le rail et le revêtement. Il devra absorber les déformations différentielles au passage du matériel roulant ou des véhicules pouvant circuler sur la plateforme

Dimensions

Les dimensions des joints encadrant le rail de voie métrique sont les suivantes :

- 50 x 25 mm coté champignon.
- 20 x 20 mm coté bavette.

Joints de plateforme

Ces joints sont réalisés sur toute la hauteur du béton de pose de voie. Ils sont situés dans la voie courante dans le sens transversal tous les 30 mètres linéaires au maximum.

- La dimension des joints est d'environ 20 x 20 mm.
- Le joint sera un joint d'étanchéité polyuréthanne.

VII.2.7 Taquet d'arrêt :

Ce dispositif permet de stopper une rame à très faible vitesse. Il est implanté à l'extrémité des voies. Fixé sur le rail il permet le franchissement du gabarit bas en extrémité de caisse. Le taquet d'arrêt se positionne grâce à un bras de levier actionné par le mentonnet de la roue.

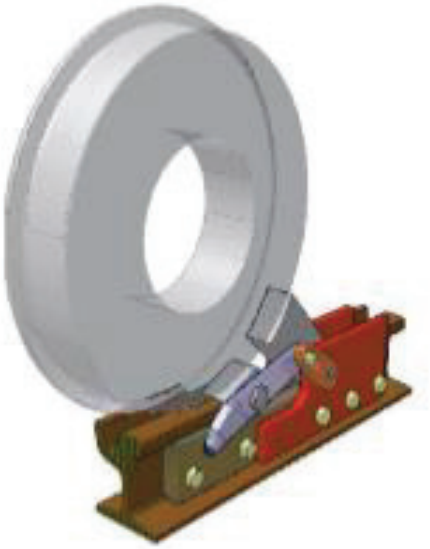


Figure VII.9 Taquet d'arrêt [5].

Les taquets d'arrêt sont positionne aux :

- les voies d'évitements.

- les fins de voie à la ligne et au remisage.

OUVRAGES D’ART

VIII. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre en vas concentrer sur les ouvrages d'art qui se situe dans notre secteur exactement un des deux trémies (trémie tramway intersection 5) et le pont du pk 16+300.

VIII.1 TREMIE TRAMWAY :

VIII.1.1 INTRODUCTION :

L'intégration du Tramway dans la zone urbaine implique l'émergence de plusieurs trémies urbaines dans les voies affectées par le passage du Tramway, et aussi dans le tramway lui-même.

Le tracé du Tramway dans l'intersection I5 après son entrée à Ali Mendjeli doit affronter deux obstacles : la présence du rondpoint de la voirie de l'intersection et une topographie qui monte considérablement dans ce point. Pour cette raison-là, on a résolu d'implanter une trémie dans le tracé de façon telle que le Tramway passe au-dessous de la voirie, au centre du Boulevard Principal. L'entrée et la sortie de la trémie sont très conditionné par l'aménagement urbain prévu dans la zone, lequel modifie le talus actuel du terrain et, donc, redéfinie la topographie du boulevard.

VIII.1.2 CONCEPTION ET DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :

La trémie est conçues avec parois moulées de 80cm et la dalle supérieure in situ en béton armé, de façon telle que l'excavation est en tunnel à l'intérieure de la trémie.

Une dalle inférieure en béton armé est aussi incluse pour agissez d'étai sur les parois en cas de situation de séisme, et, donc, diminuer les déformations sur la paroi. Cette dalle inférieure est fixée rigidement à tous effets dans les cases où la nappe phréatique est au-dessus de la maximale excavation et, donc, la dalle inférieure doit supporter les surpressions de l'eau, comment il est notre cas.

Pour les murs à l'entrée et la sortie, la majorité de cases avec haute excavation sont résolues avec des parois moulées, et, quand la hauteur diminue, des murs de soutènement en aile sont considérés.

Des typologies différentes seront employées en fonction de la profondeur de l'excavation et des besoins fonctionnels.

M-1 : mur de gravité de moins de 2,80 mètres de haut avec une longueur totale de 172,48 m.

M-2 : mur de gravité pour une hauteur comprise entre 2,80 et 3,30 mètres de haut avec une longueur totale de 62,49 m.

C-1 : Caisson en béton pour une hauteur de moins de 4,30 m, avec une longueur totale de 22,50m.

C-2 : Caisson en béton pour une hauteur comprise entre 4,30 et 5,50 m, avec une longueur totale de 30,00 m.

EP-1 : écran de pieux, en encorbellement, pour une hauteur comprise entre 4,80 m et 7,00 m, avec une longueur totale de 301,79 m.

EP-2 : écran de pieux avec poutres de contreventement, pour une hauteur comprise entre 7,00 m et 8,50 m, avec une longueur de 249,74 m.

EP-3 : écran de pieux, avec une dalle supérieure de fermeture, pour une hauteur comprise entre 7,00 m et 8,50 m, avec une longueur totale de 139,48 m.

Tous les écrans disposeront d'un mur de couronnement de hauteur variable entre 0,70 m et 2,50 m pour contenir le dernier tronçon de terres et installer les éléments de protection lorsque ceux-ci sont nécessaires. L'épaisseur de ce mur sera de 0,30 m.

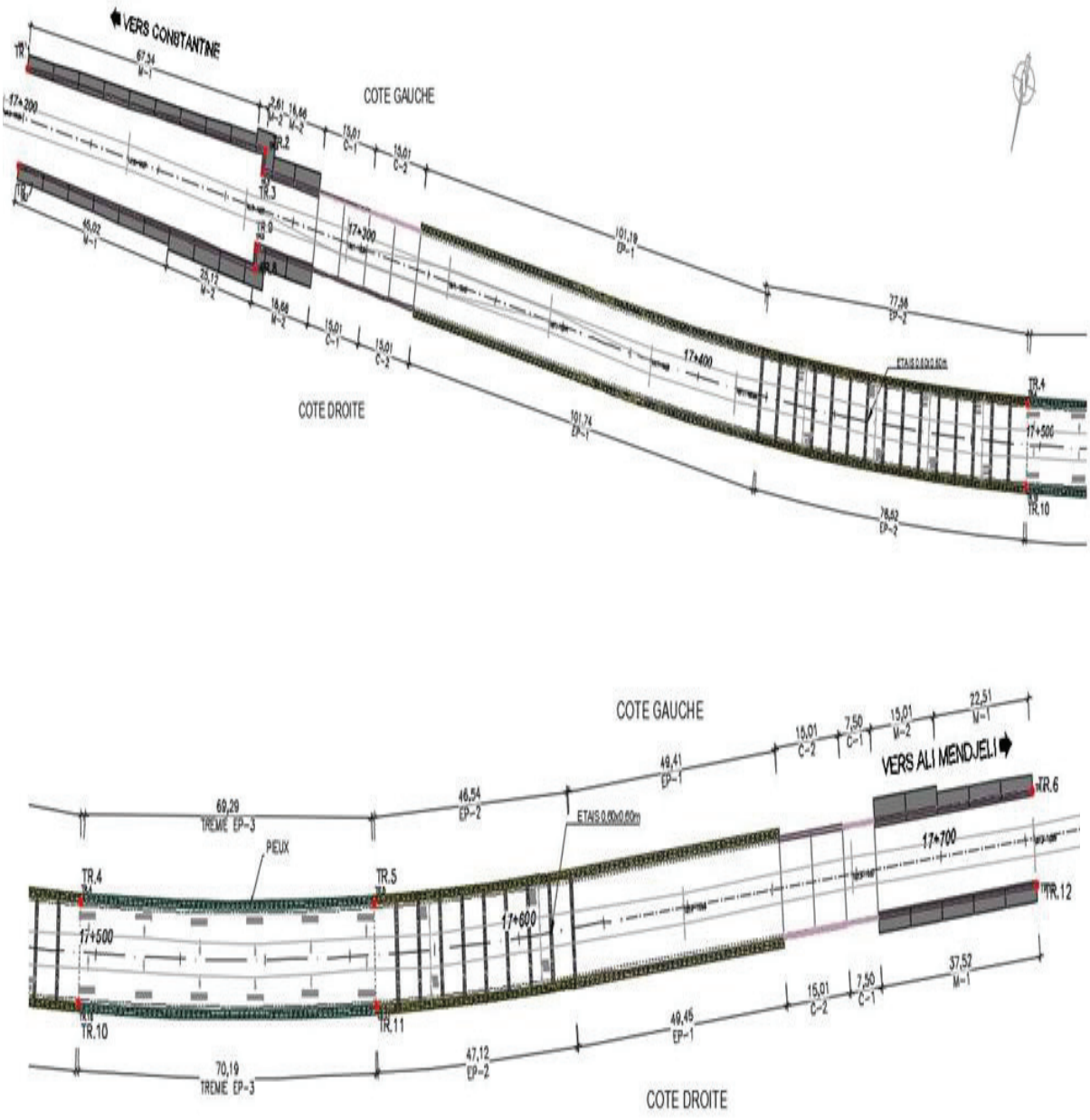
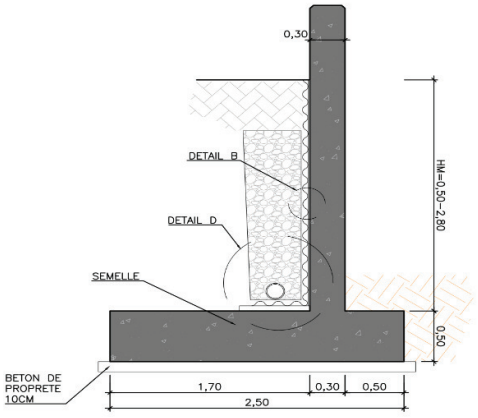


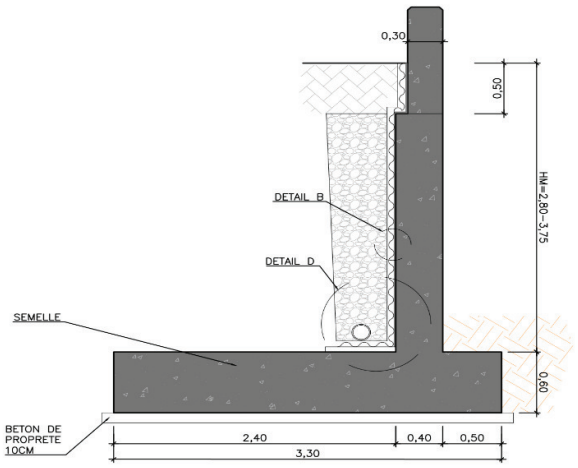
Figure VIII.1.1 Vue en plan du Trémie [5].

Caractéristique géométrique de la trémie :

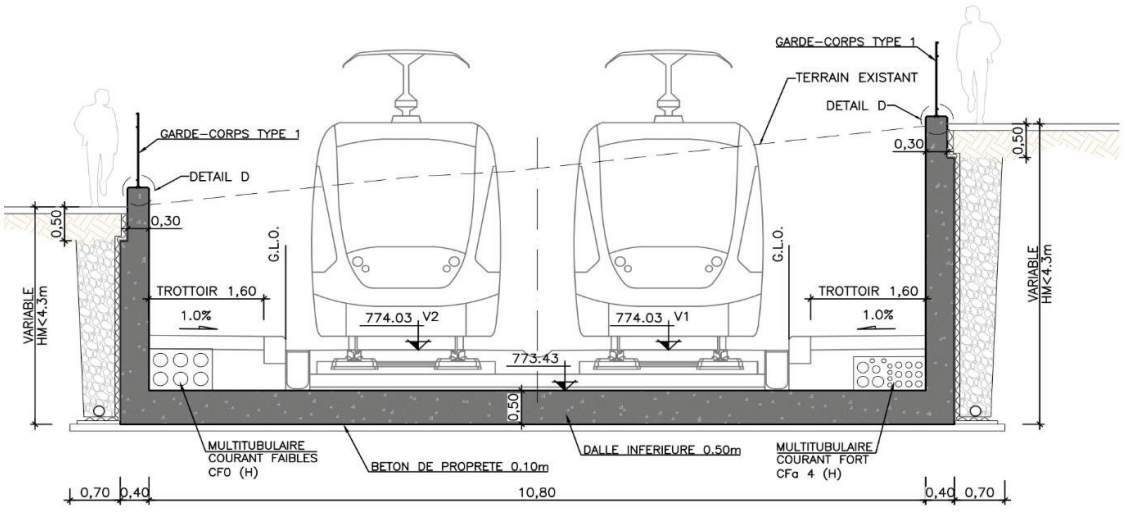
- Longueur partie couverte : 69,70m.
- Longueur partie ouverte à l'entrée : 209,40m.
- Longueur partie ouverte à la sortie : 156,20m.
- Largeur intérieure : 11,55m.
- Hauteur intérieure minimale : 5,30m.



COUPE MUR TYPE M-1
ECHELLE 1:50



COUPE MUR TYPE M-2
ECHELLE 1:50



COUPE E-E CAISSON C-1
ECHELLE 1:100

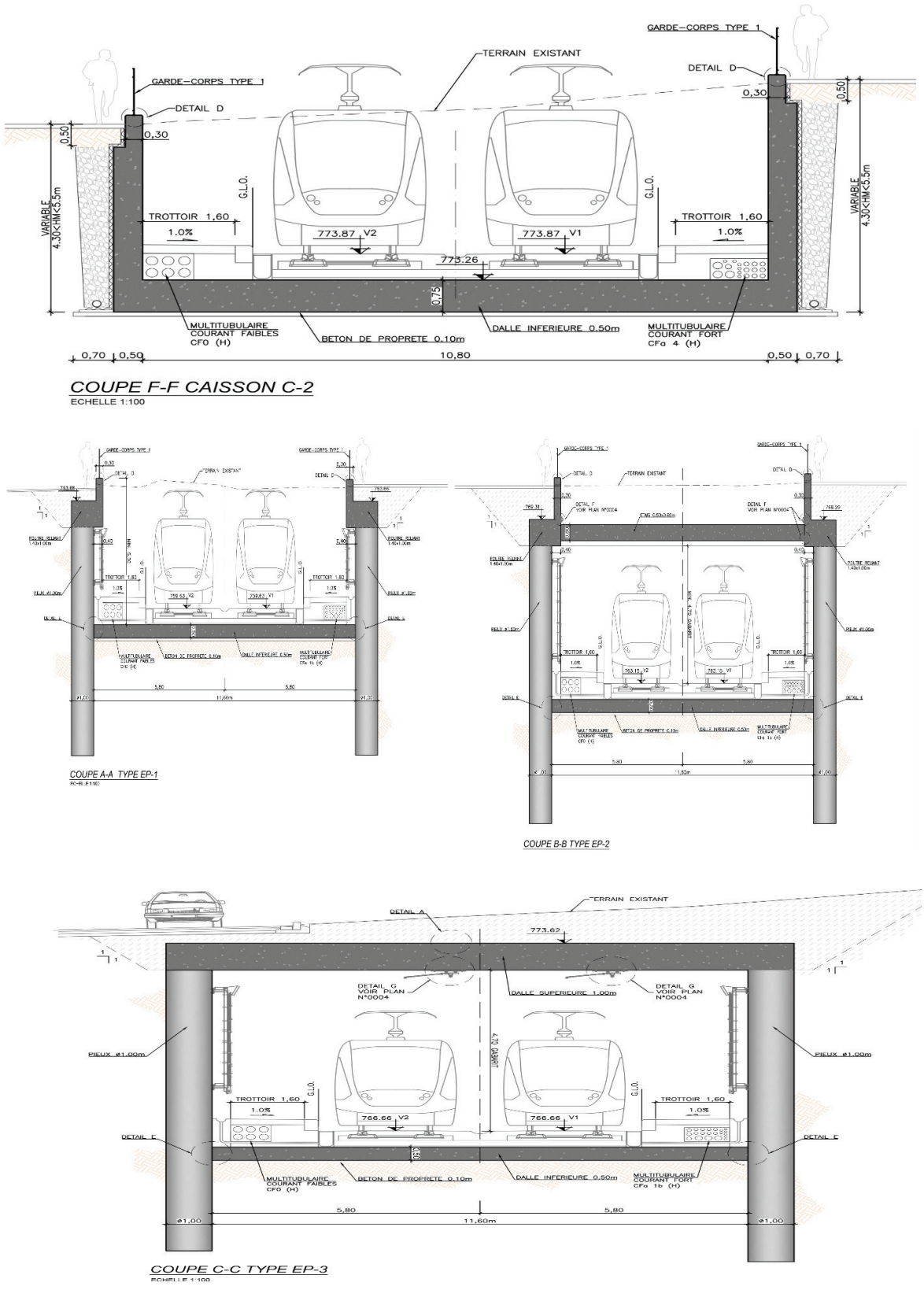


Figure VIII.1.2 Les profils en travers des différentes typologies [5].

La table suivante montre le profil géotechnique du terrain pour notre structure :

Tableau VIII.1.3 Paramètres géotechnique de la trémie tramway [5].

PROF.	U.G.	ANGLE DE FROTTEMENT	COHÉSION SANS DRAINAGE	COHÉSION	POIDS DE VOLUME DU SOL SEC	POIDS DE VOLUME DU SOL SATURÉ	MÓDULE DU SOL	MÓDULE DE POISSON	INDICE DES VIDES
m		(°)	Cu (kPa)	c' (kPa)	$_{sec}$ (t/m^3)	$^{sat.}$ (t/m^3)	E (Mpa)	ν	e
0.00-1.00	Remblai	24-26	-	5	1.5	1.80	10-15	0.35	0.790
1.00-13.20	Argile tufacée, tuf argileux	24-26	60	20-25	1.65	1.95	10-15	0.33	0.640
>13.20	Calcaire lacustre	20	-	150		2.2	15000	0.28	11

Le phasage constructif sera comme défini ci-dessous :

- Réalisation des écrans de pieux.
- Réalisation de la dalle supérieure.
- Excavation.
- Réalisation de la dalle inferieure.
- Finitions.

VIII.1.3 DRAINAGE DE LA PLATEFORME A L'INTERIEURE DE LA TREMIE :

Sur toute la longueur des trémies, y compris la zone couverte, on prévoit d'installer des grilles transversales de type ACO ou un modèle équivalent dont le débit sera évacué grâce à deux canaux latéraux jusqu'à un point de déversement dans les collecteurs de drainage longitudinal situés près de la plateforme.

Bien que la zone couverte de la Trémie ne reçoive pas d'eau provenant des précipitations, l'installation de certaines grilles y est maintenue de manière à ce que le drainage se fasse correctement en cas de non fonctionnement des grilles situées en amont.

On prévoit les sections types suivantes :

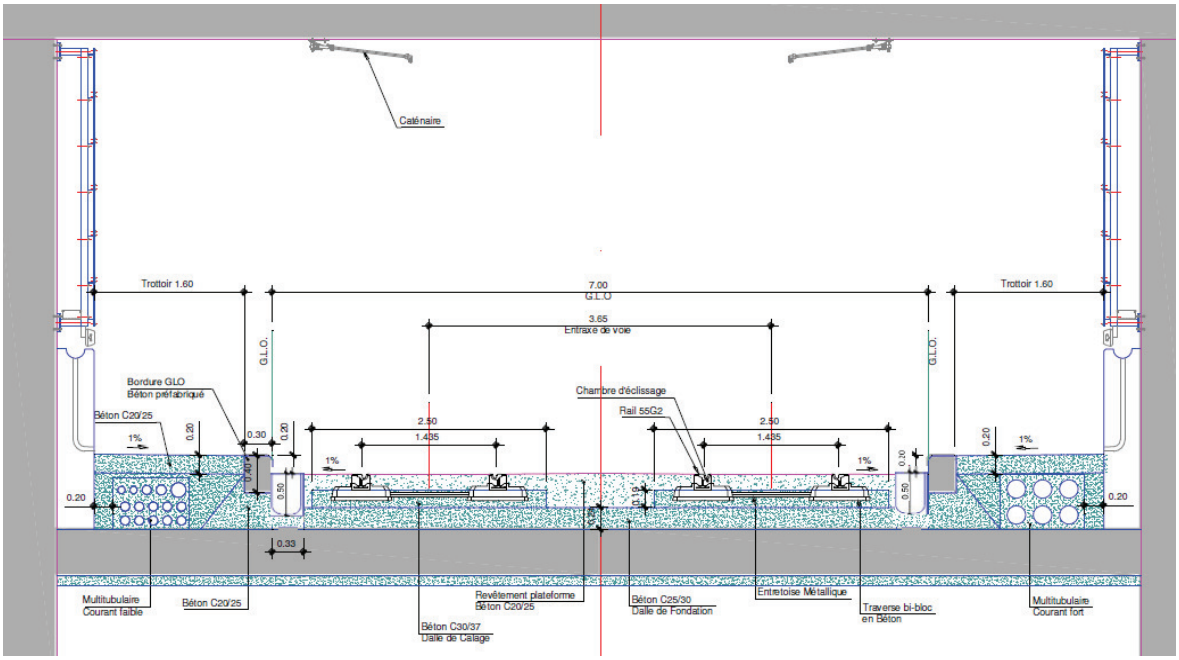


Figure VIII.1.4 Coupe type trémie avec détail du flux de l'eau vers le caniveau latéral[5].

VIII.1.4 PHASAGE DES TRAVAUX :

La construction des trémies ne devra pas avoir d'impact majeur sur les circulations routières.

Les circulations routières devront être maintenues avec un phasage approprié.

Le processus général d'exécution des trémies est :

1. Excavation de chaque ligne de parois moulées jusqu'au niveau de base de la poutre reliant (cote supérieure des parois). L'excavation à l'extrados des parois doit avoir une largeur minimale de 2m ; ces dernières ne doivent pas être remplies tant que la dalle inférieure n'est pas exécutée afin d'éviter des déformations excessives pendant l'excavation.



Figure VIII.1.5 Excavation des parois moulées [5].

2. Exécution des murette-guides des deux côtés de la ligne de parois.

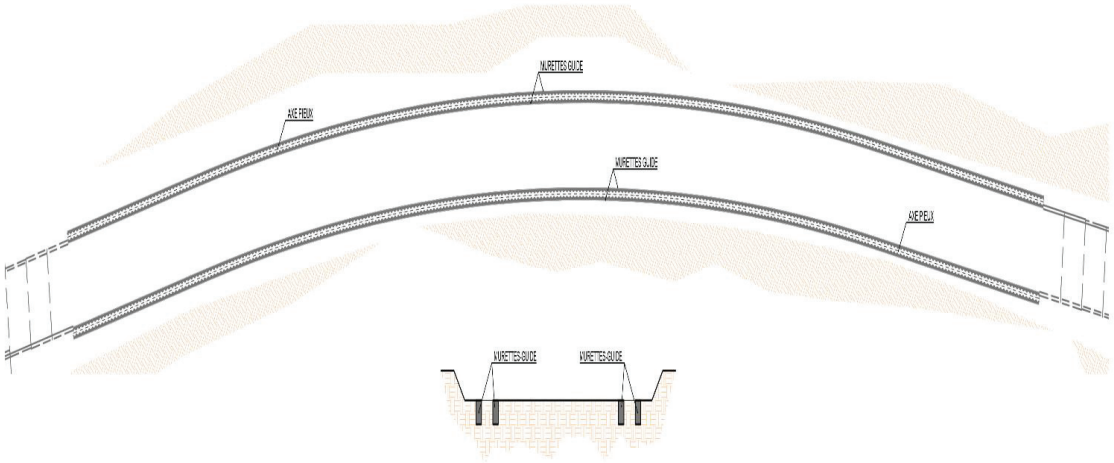


Figure VIII.1.6 Les murettes-guide [5].

3. Exécution des parois moulées avec benne (type hydraulique ou à câbles autoguidée), pour excaver des parois de 0.80m typiquement en modules de 2.60m. L'exécution se fait comme suit :

a. Excavation avec boue fabriquée avec de la bentonite pour garantir la stabilité de la tranchée.

b. Mise en place au moyen d'une grue de service des armatures.

c. Bétonnage du panneau à partir du fond avec des tubes-plongeurs manœuvrés par la grue de service. La boue est pompée.

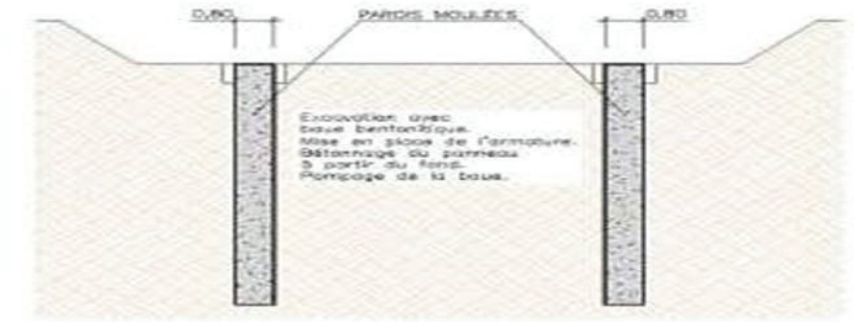


Figure VIII.1.7 Mise en place des armatures et bétonnage [5].

4. Démolition des murettes-guide et recepage du couronnement supérieur des parois afin de les araser au niveau projeté.

5. Dans le cas des parois en trémie, exécution de la dalle supérieure, comme suit :

a. Excavation et aplanissement du terrain au niveau inférieur de la dalle supérieure.

b. Mise en place du béton de propreté.

c. Revêtu sur le béton de propreté avec une feuille en plastique, pour garantir la séparation des deux couches en béton au moment de l'excavation en tunnel.

d. Exécution de la dalle en béton armé.

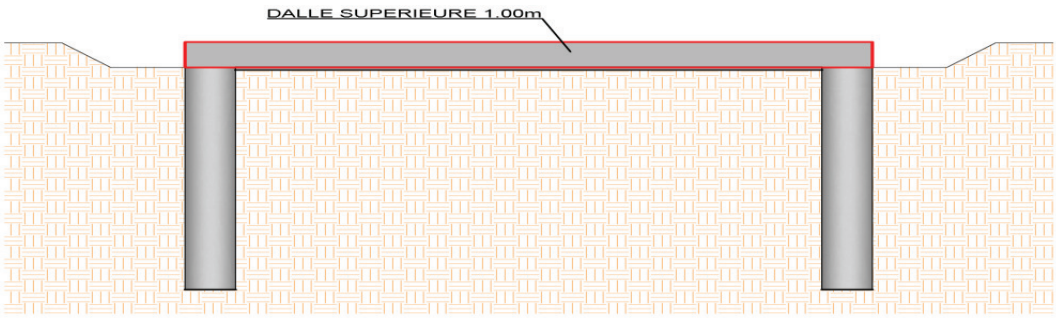


Figure VIII.1.8 Exécution de la dalle supérieure [5].

6. Exécution de l'imperméabilisation de la dalle supérieure et la couche en béton de protection de 7 cm au-dessus.

7. Dans le cas des parois en ouvert, exécution de la poutre reliant, des murs de finition au-dessus et des étais, si c'est le cas.

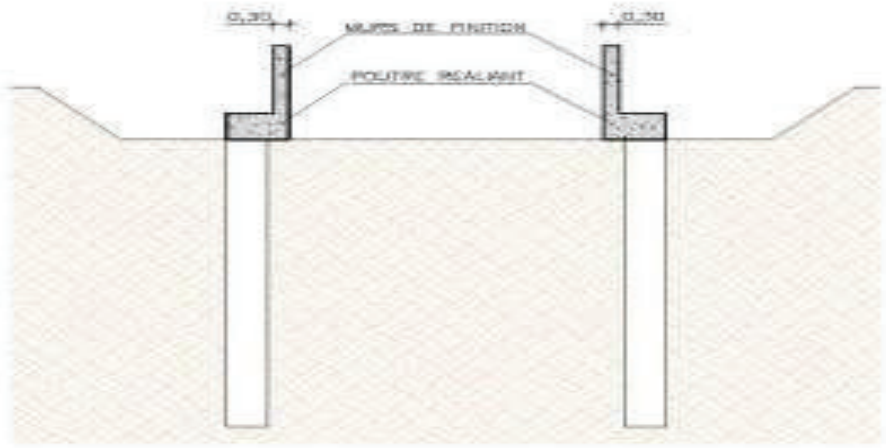


Figure VIII.1.9 Exécution de la poutre reliant et les murs de finition au-dessus [5].

8. Excavation en tunnel à l'intérieur de la trémie et en ouvert entre les parois à l'entrée et à la sortie. Si c'est le cas, pompage de l'eau aperçu pendant l'excavation.

9. Scellement des joints entre les modules des parois que l'excavation progresse.

10. Exécution de la dalle inférieure.

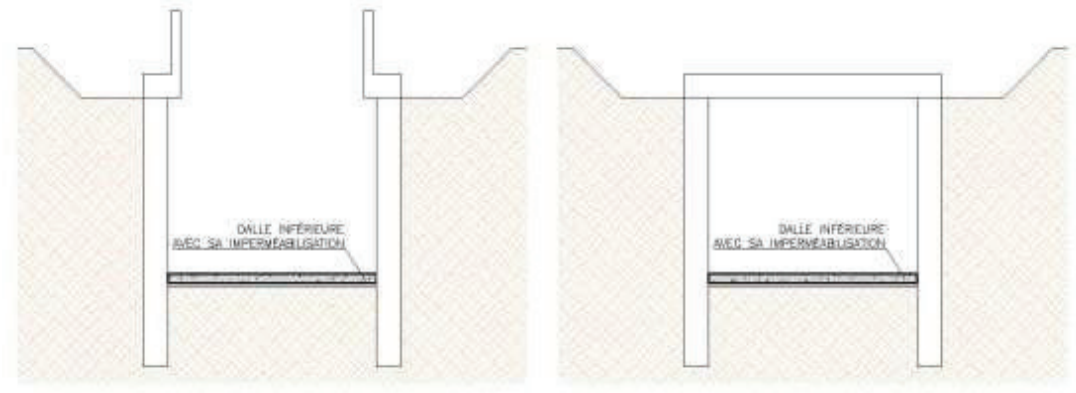


Figure VIII.1.10 Exécution de la dalle inférieure [5].

11. Scellement des joints entre la dalle inférieure et les parois.

12. Final du pompage de l'eau, le cas échéant.

13. Exécution des revêtements de la chaussée ou du tracé du tramway intérieur et finitions des parois.

14. Remblai sur la dalle supérieure et urbanisation.

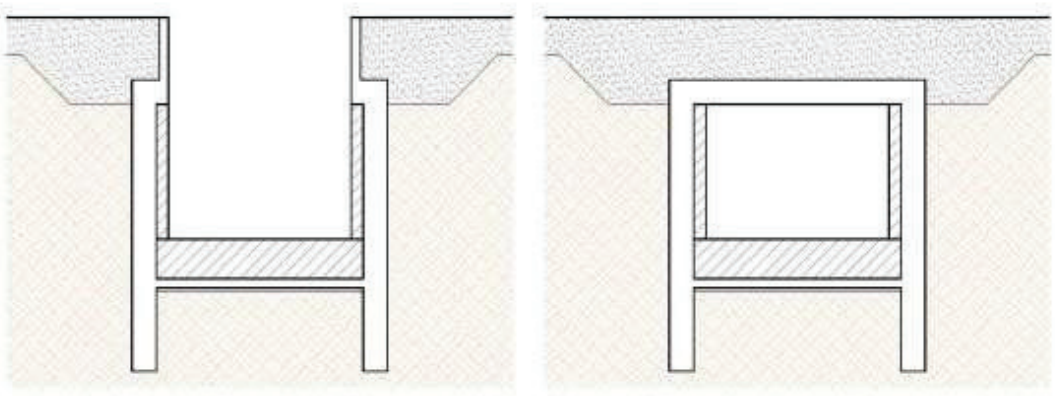


Figure VIII.1.11 Remblayage [5].

VIII.2 VIADUC DU PK 16+300 :

VIII.2.1 INTRODUCTION :

La conception d'un pont résulte, le plus souvent, d'une démarche itérative dont l'objectif est l'optimisation technique et économique de l'ouvrage de franchissement projeté vis-à-vis de l'ensemble des contraintes naturelles et fonctionnelles imposées, tout en intégrant un certain nombre d'exigences de durabilité et de qualité architecturale ou paysagère. Cette démarche du concepteur comprend, de façon générale, trois étapes :

- Le recueil des données fonctionnelles et naturelles relatives à l'ouvrage et à l'obstacle franchi.
- Le choix d'une structure répondant aux exigences techniques, esthétiques et économiques.
- L'étude de détail de la solution retenue.

VIII.2.2 CRITERES DE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE :

Les différents critères de choix du type d'ouvrage sont :

- L'obstacle à franchir.
- La voie portée : pont (route, rails…..etc.).
- Le matériau principal dont ils sont constitués.
- La disposition en plan : droits, biais, courbes.
- Leur durée de vie prévue : définitive ou provisoire.
- Les profils de la chaussée (en long, en travers, en plan).
- Les positions possibles des appuis.
- La nature du sol de fondation.
- Le gabarit à respecter.
- La brèche de l'ouvrage.
- Les conditions d'exécution et d'accès à l'ouvrage.

VIII.2.3 DONNEES FONCTIONNELLES :

Tracé en Plan

Le tracé en plan est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, dessinée sur un plan de situation et repérée par les coordonnées de ces points caractéristiques.
Ce projet présent un alignement légèrement courbé donc l'ouvrage est supposé droit.

Le profil en long

Le profil en long est la ligne située sur l'extrados de l'ouvrage (couche de roulement mise en œuvre) définissant, en élévation il doit être défini en tenant compte de nombreux paramètres liés aux contraintes fonctionnelles de l'obstacle franchi ou aux contraintes naturelles. Il présente une Longueur de 120 m

Le profil en travers

Le profil en travers est l'ensemble des éléments qui définissent la géométrie et les équipements de la voie dans le sens transversal. Il doit être soigneusement étudié car il est très difficile de le modifier (par exemple, de l'élargir).
Le profil en travers de la chaussée est défini par :
Largeur rouable : lr=12.20m.
Largeur de trottoir : l=2*0.5m.

VIII.2.4 CHOIX DE LA CONCEPTION :

Après analyse et discussion des avantages et des inconvénients de plusieurs variantes sur les plans économique, entretien, délai et exécution nous avons opté pour la solution : Le pont à poutre préfabriquée précontrainte (poste tension).

Les ponts à poutres précontraintes de type VIPP (Viaduc à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées précontraintes par post-tension) font partie de la famille des ponts à poutres sous chaussée en béton. Les ponts à poutres en béton précontraintes préfabriquées par post tension sont souvent très économiques pour des portées comprises entre 30 et 50 m. Bien entendu, cette conception est d'autant plus intéressante que le nombre de poutres à réaliser est plus grand ; en effet, un viaduc comportant de nombreuses travées justifie des moyens de mise en place spécifiquement adaptés. Le tablier est constitué de poutres longitudinales de hauteur constante, qui sont solidarisées entre elles par des entretoises et un hourdis de faible épaisseur supportant la chaussée.

VIII.2.5 PRE DIMENSIONNEMENT :

- Selon le guide SETRA(VIPP) Selon le guide SETRA :

La hauteur totale du tablier (poutre + hourdis) se situe :

$$\frac{L}{20} \leq H_t \leq \frac{L}{17}$$

$$2 \leq H_t \leq 2.35 \qquad pour\ L = 40\ m$$

On fixe la hauteur totale $H_t = 2m$

L'épaisseur de l'hourdis est fixée à 0.25 m

$$H_{poutre} = H_t - H_{hourdis}$$

$$H_{poutre} = 1.75m$$

Largeur de table de compression (b) :

$$b \geq 0.6H_t$$

On fixe b à 1.2 m

Epaisseur de table de compression(e) : on fixe e 11cm

Nombre de poutre :

Le nombre des poutres est déterminé par le rapport entre la largeur de tablier et l'espacement.

$$N = \frac{La}{d} + 1$$

Avec $\begin{cases} L_a = l - \left(\frac{b}{2}\right) * 2 \\ d: entre\ axe\ entre\ les\ poutres\ d'extrémités, égale\ \text{à}\ 1.2\ m \end{cases}$

$$L_a = 11\ m$$

$$N = 10\ poutres$$

Largueur de talon (L_t) :

En première approximation, pour un béton de 35 MPA de résistance, la largeur totale des Talons selon la formule empirique suivante est :

$$b_t = \frac{l.L^2}{h_t^2.k}$$

Avec $\begin{cases} 1100 \leq k \leq 1300 \\ b_t : la\ largeur\ total\ des\ talons \\ l = 12.20\ m \\ L = 40\ m \end{cases}$

On trouve :

$$3.75 \leq b_t \leq 4.44$$

$$L_t = \frac{b_t}{n}$$

$$0.38 \leq L_t \leq 0.45$$

On prend : $L_t = 0.45m$

Epaisseur du talon (e_t) :

$$10 \leq e_t \leq 20$$

On prend **e_t = 15cm**

Epaisseur de l'âme : $\begin{cases} a\ mi\ travée : 18 \leq b_0 \leq 25 & en\ prend\ b_0 = 22\ m \\ intermediare : 25 \leq b_0 \leq 35 & en\ prend\ b_0 = 35\ m \\ aux\ abouts : 40 \leq b_0 \leq 60 & en\ prend\ b_0 = 45\ m \end{cases}$

Les goussets :

Gousset de la table de compression

La jonction de l'âme et de la table de compression est assurée par un gousset supérieur qui joue un triple rôle :

-il facilite, de par sa forme, la mise en œuvre du béton.
-il assure l'encastrement physique de l'hourdis dans l'âme.
-il permet de loger les ancrages des câbles relevés en travée dans des bonnes conditions.

$$: \begin{cases} a\ mi\ travée : \begin{cases} \alpha_1 = 10^\circ & donc\ e_1 = 6\ cm \\ \alpha_2 = 45^\circ & donc\ e_2 = 10\ cm \end{cases} \\ intermediare : \begin{cases} \alpha_1 = 10^\circ & donc\ e_1 = 6\ cm \\ \alpha_2 = 45^\circ & donc\ e_2 = 3\ cm \end{cases} \\ aux\ abouts : \{\alpha_1 = 12^\circ & donc\ e_1 = 6\ cm \end{cases}$$

Gousset du talon

C'est l'angle disposé pour permettre d'améliorer la section et de placer les armatures d'aciers, ainsi pour faciliter la mise en œuvre du béton.

$$\begin{cases} a\ mi\ travée \quad \alpha_1 = 57^{\circ} & donc\ e_1 = 20\ cm \\ intermediare\ \ \alpha_1 = 56^{\circ} & donc\ e_1 = 9\ cm \end{cases}$$

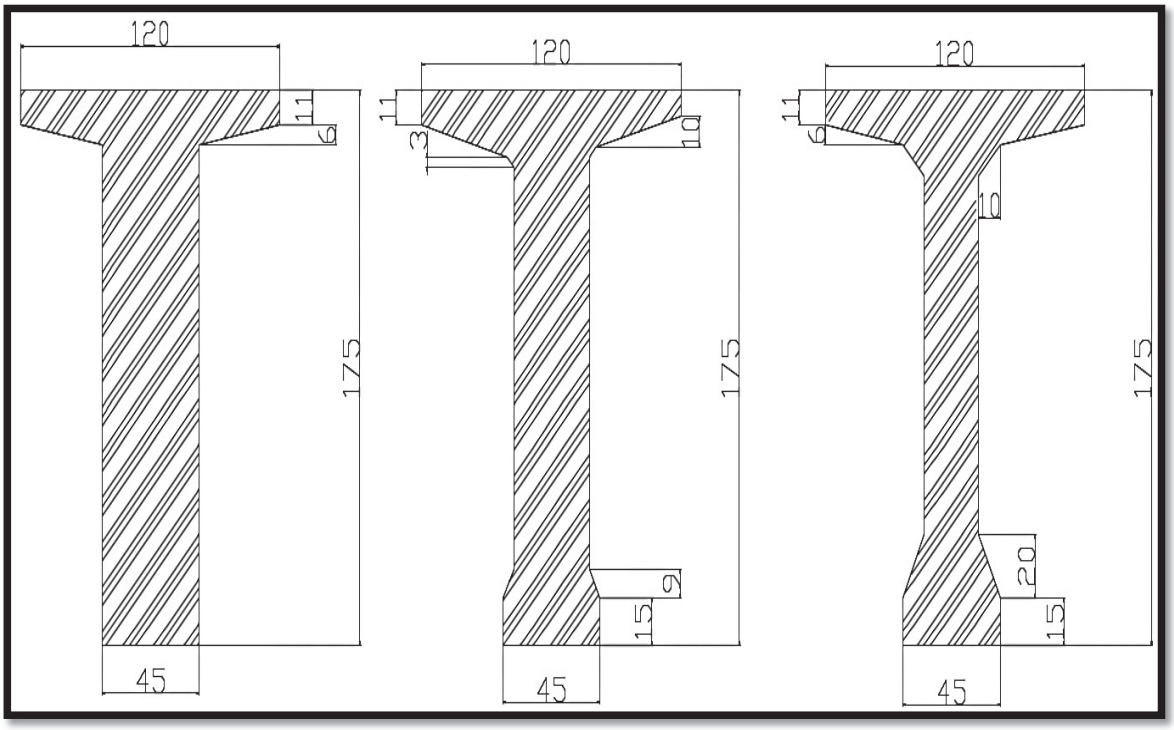


Figure VIII.2.1 schéma illustratif de la section des poutres [6].

VIII.2.6 CONCEPTION DE LA CULEE :

La culée est l'un des éléments fondamentaux dans l'ensemble de la structure du pont, elle sert comme appui extrême du tablier du pont mais son rôle principal est d'assurer le raccordement de l'ouvrage au terrain de façon à avoir une continuité entre la chaussée de la route et celle portée par le pont.

Il existe deux types de culées :

- ✓ Culée à mur de front (Remblai).
- ✓ Culée enterrée.

Le choix de la culée peut se faire progressivement, il résulte une analyse englobant :

- ✓ La nature et le mode de construction du tablier.
- ✓ Les contraintes naturelles du site.
- ✓ Les contraintes fonctionnelles de l'ouvrage

VIII.2.6.1 Les dimensions des différents constituants de la culée :

Les dimensions extraites du schéma sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau VIII.2.1 dimensions des différents constituants de la culée

Mur frontal	Mur garde grève	Dalle de Transition	Mur En Retour	Semelle	Corbeau
Longueur : 12.2 m Epaisseur : 1.7m Hauteur : 6.84 m	Longueur : 12.2 m Epaisseur : 0.5 m Hauteur : 2.7 m	Longueur : 4m Epaisseur : 0.4 m. Largeur : 10 m	Surface : 58.55 m² Epaisseur : 0.6 m	Épaisseur : 2.25 m. Largeur : 7.4m. Longueur : 12.5 m	Surface : 0.406 m² Longueur : 14.3 m

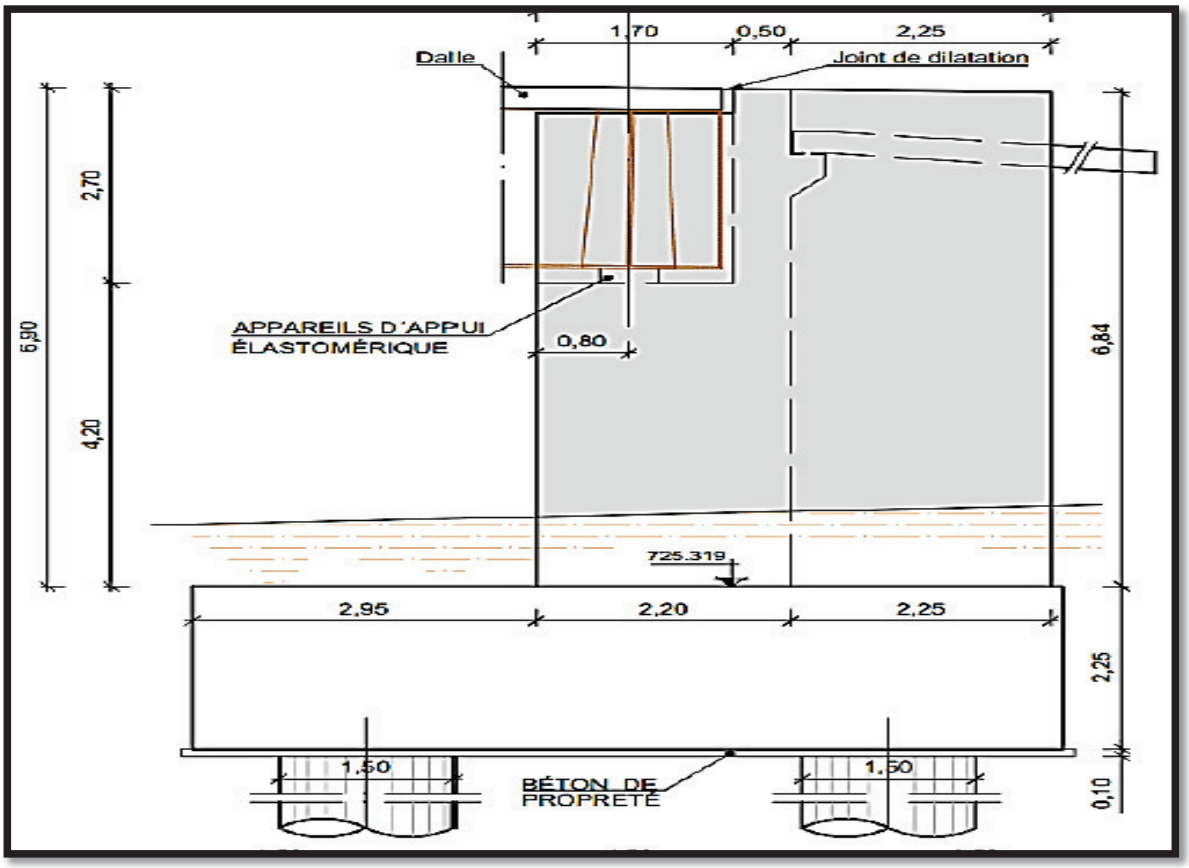


Figure VIII.2.2 schéma illustratif de la culée [6].

VIII.2.7 CONCEPTION DE LA PILE :

VIII.2.7.1 La pile :

Une pile est un appui intermédiaire qui a pour rôle de transmettre les efforts provenant des charges et surcharges jusqu'au sol de fondations, elle intervient dans la résistance globale du pont, la conception des piles est en fonction d'un très grand nombre de paramètres.

VIII.2.7.2 DIMENSIONS DE LA PILE :

Chevêtre

- Longueur: L = 12.2 m.
- Largeur: E = 3.6 m.
- Hauteur: H = 2 m.

Fûts

Leur rôle est de transmettre les efforts à la semelle, ils sont de forme cylindrique, de diamètre généralement constant et égal à 2m.

Semelle

- Longueur: L = 10.5 m.
- Largeur: E = 6.75 m.
- Hauteur: H = 2.25 m.

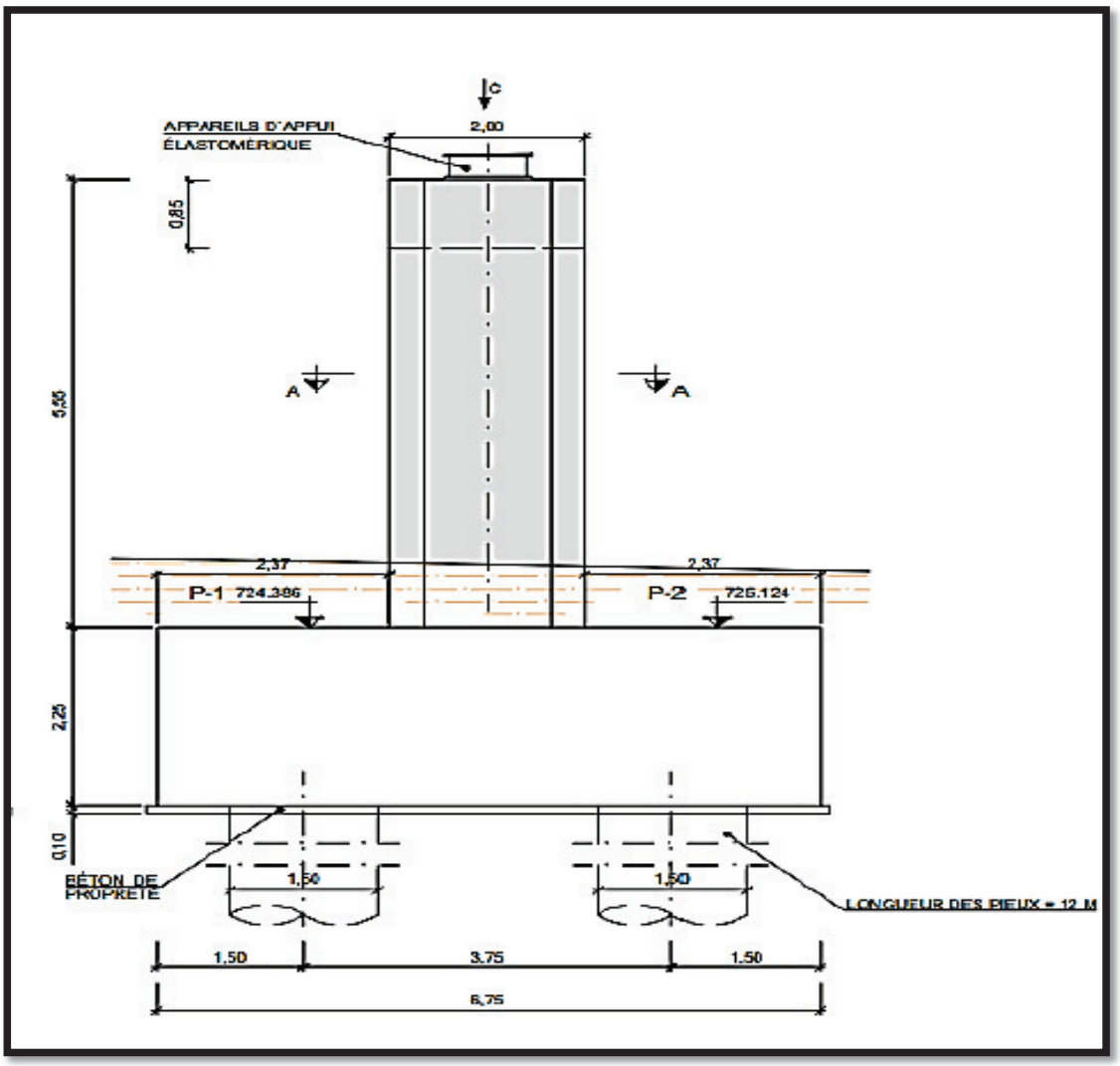


Figure VIII.2.3 schéma illustratif de la pile [6].

VIII.2.8 CONCLUSION :

Ce chapitre nous permet de cerner la conception d'un ouvrage d'art, aussi de répondre aux exigences fonctionnelles qui sont les caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement et exigences naturelles qui sont l'ensemble des éléments de son environnement influent sur sa conception.

ELECTRIFICATION
ET
SIGNALISATION

IX.1 ELECTRIFICATION :

IX.1.1 INTRODUCTION :

Le tramway peux être alimenter de trois manières différentes, la première est une alimentation aérienne par caténaire unique, l'énergie est absorbe grâce au pantographe à partir de la LAC(ligne aérienne caténaire) et réacheminer vers les rail , dans le deuxième cas une alimentation aérienne par caténaire double c'est le même principe que la caténaire unique sauf que le retour s'effectue grâce à un câble aérien, pour le 3éme cas « alimentation au sol » la rame s'alimente à partir d'un rail supplémentaire au sol (3éme rail) .

IX.1.2 TYPES DE COURANT DE TRACTION :

Les véhicules sont alimentés en courant continu à la tension nominale de 750 V par L'intermédiaire d'un pantographe captant le courant à un fil de contact. En exploitation, la tension peut varier de - 33 % à + 20 %; la tension peut atteindre 900 V.

Le courant alternatif triphasé du réseau public sous une tension de 60 kV est converti en courant alternatif triphasé de 30 KV qui vas alimenter les sous-stations, cette dernière converti le courant grâce à des groupes transformateur et un redresseur a un courent continue de 900v. Une SST permet d'alimenter deux secteurs différents de la ligne (env. 1 à 3 km).

La distance séparant deux sous-stations dépend de plusieurs facteurs qui déterminent leurs emplacements et ceux des points d'alimentation de la ligne :

- Profil en long de la ligne.
- Charge (fréquences de passage des véhicules, types de véhicules et charge des véhicules).
- Diagramme de marche (vitesse, accélération, points d'arrêts).
- Disponibilité de locaux / terrains pour implanter la sous-station.

Une étude est donc nécessaire dans chaque cas.

IX.1.3 LA MULTITUBULAIRE ET LES CHAMBRES DE TIRAGE CFA/CFO :

La Multitubulaire est le réseau sous-terrain qui raccorde les différents bâtiments et équipements, elle est constituée de plusieurs réservation en PVC de diamètre diffèrent, cette dernière est divisée en deux catégorie CFA (pour le courant faible) et la CFO (pour le courant fort).



Figure IX.1.1 Multitubulaire [1].

IX.1.4 POTEAUX LAC (LIGNE AERIENNE DE CONTACT) :

Les LAC sont le moyen le plus traditionnel pour transporter les courants entre les sous-stations et les rames d'un réseau de tramway. La ligne aérienne est divisée en sections, ce qui permet d'isoler une portion du réseau en cas de défaut, et d'assurer des services provisoires d'exploitation. Les LAC sont suspendues à des poteaux tous les 20m environ (en fonction de la technique de pose) ou accrochées aux façades des immeubles. Leur hauteur légale est de 6m (de manière à permettre le transit de convois routiers exceptionnels). Le matériau utilisé dans la fabrication des LAC est du cuivre.

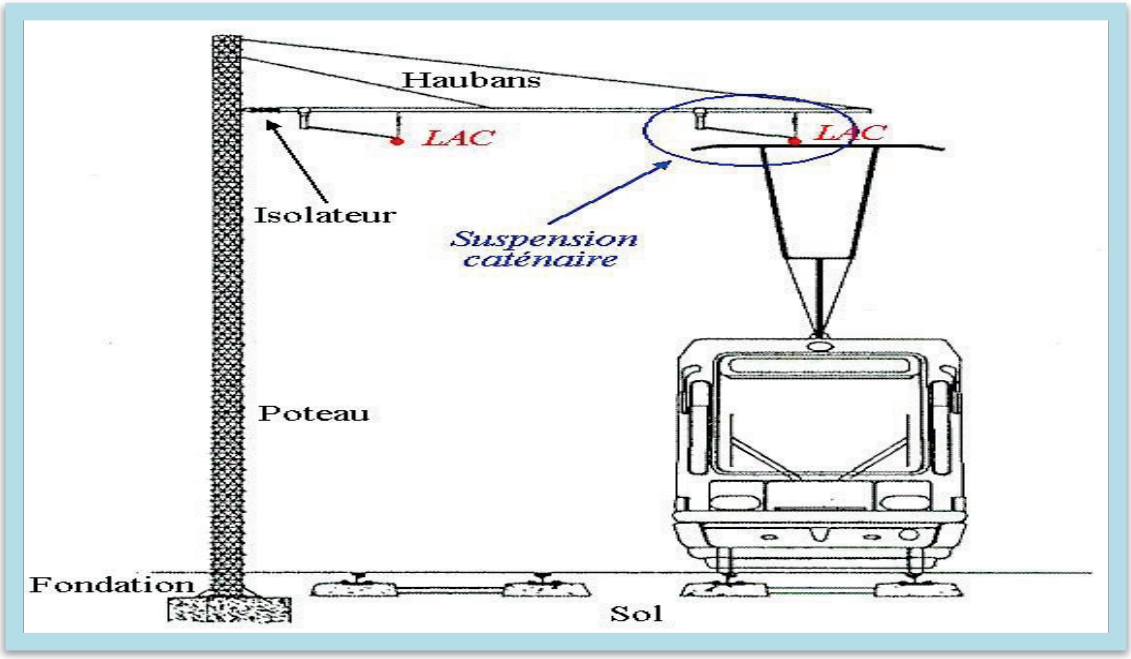


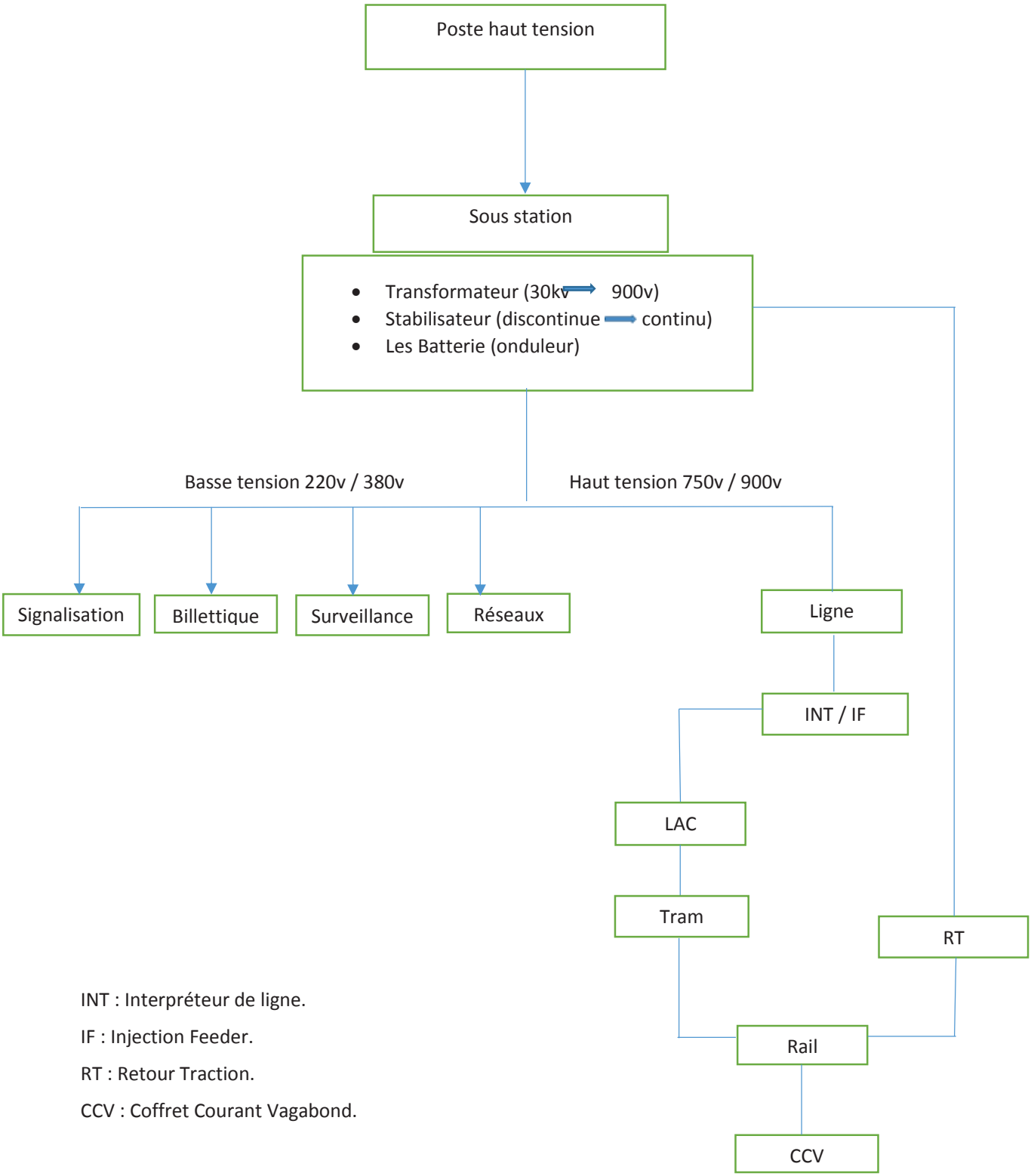
Figure IX.1.2 Support latérale d'une ligne aérienne de contact [1].

IX.1.5 PROTECTION CONTRE LES COURANTS VAGABONS :

La sécurité des personnes est la prioritaire ultime, pour cella des mesures nécessaires à la protection contre les courant vagabonds sont mis en œuvre :

- Tous éléments métallique ou conducteur de courant sont isolés par un raccordement à un piquet de terre et à la boucle mise à la terre projet.
- Le rail est protégé de la corrosion par des limiteurs de tension et des équipotentiels.
- Toutes les conduites des réseaux GAZ, AEP, NAFTAL …. Sont soit dévié soit isolé par un raccordement à un piquet de terre et à la boucle mise à la terre projet.

IX.1.6 OGANIGRAMME RESUMANT L'ELECTRIFICATION DU PROJET :



INT : Interpréteur de ligne.

IF : Injection Feeder.

RT : Retour Traction.

CCV : Coffret Courant Vagabond.

IX.2 SIGNALISATION :

IX.2.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire gère en sécurité la circulation du tramway dans les zones de manœuvre. Pour réaliser cette fonction, des signaux ferroviaires autorisant ou interdisant l'avancée du tramway sont situés le long de la voie dans les zones de manœuvre.

Cette signalisation est prioritaire par rapport à la signalisation routière. Les signaux ferroviaires sont toujours situés en amont des signaux routiers (ou éventuellement sur le même support), Ils ont pour fonction :

- De rendre plus sûre la circulation routière en informant les usagers d'éventuels dangers qu'ils peuvent rencontrer.
- De faciliter cette circulation, en indiquant par exemple les directions à suivre.
- De donner des informations relatives à l'usage de la route.

IX.2.2 TYPES DE LA SIGNALISATION :

IX.2.2.1 Signalisation horizontale :

La signalisation horizontale est formée par des marques peintes en blanc sur la chaussée afin de régler la circulation entre les différents usagers. Elle est constituée par des lignes continues ou discontinues longitudinales ou transversales par rapport à la chaussée. Elle est complétée par des flèches ou des mots. La couleur jaune des signes peints indique une signalisation temporaire.

IX.2.2.2 Signalisation verticale :

Une signalisation avancée annonçant le franchissement de la plate-forme s'avère souvent nécessaire sur les entrées non parallèles à cette dernière. Ces signaux sont de préférence placés sur support commun, de manière à caractériser cet aménagement spécifique, Ils ont pour fonction :

Les panneaux de signalisation se répartissent en plusieurs catégories en fonction de l'information donnée (panneaux de danger, de prescription, d'intersection et d'indication).



Figure IX.2.1 Signal d'indication traversé de voie Tramway [1].

IX.2.2.3 Signalisation lumineuse :

Les signaux lumineux d´intersection sont destinés à séparer dans le temps les principaux mouvements du tramway, véhicules et de piétons en conflit dans une intersection. Leur but est d'assurer la sécurité des piétons et des usagers des véhicules et d'améliorer la fluidité de la circulation. Il existe plusieurs types de signaux :

Le Signal Tramway R17 :

Le signal tramway de diamètre 200mm (de constitution identique aux feux routiers et composés de trois lampes blanches sur fond noir) sont équipés des masques spécifiques suivants :

- Interdiction de passer (une seule barre transversale, correspond au rouge).
- Autorisation de passer (une seule barre verticale, correspond au vert).
- Annonce d'interdiction de passer (un disque, correspond au jaune fixe).



Figure IX.2.2 Signal de type R17 [1] .

Signal d'Aide à la Conduite (SAC) :

Chaque support comportant un feu tramway supporte un signal d'aide à la conduite dans un caisson placé au-dessous du signal R17.

Ce signal d'aide à la conduite dispose de deux images :

- **Le premier pictogramme** est constitué d'un point d'exclamation nommé signal d'annonce. Ce signal a deux états : soit éteint, soit clignotant en bleu.

Il clignote pendant 3 secondes avant l'arrivée du « vert tramway » (séquence fixe de 3 clignotements) et Il clignote pendant 3 secondes avant l'arrivée du « jaune » (séquence fixe de 3 clignotements).

- **Le deuxième pictogramme**, nommé signal de prise en compte est constitué d'un losange. Ce signal a deux états : soit éteint soit clignotant en jaune.

Le signal de prise en compte s'allume si et seulement si un tramway est détecté et que le contrôleur le prend en compte pour lui assurer la priorité absolue. Il s'éteint dès le passage au vertical du signal R17, ou oubli de la prise en compte.



Figure IX.2.3 Signal d'aide à la conduite [1].

Signaux tricolores circulaire R11v et Signaux pour les piétons :

Tableau IX.2.1 Tableau récapitulatif.

Signal	Type de signal	Description
	Signal tricolore circulaire	Il est normalement composé de trois feux circulaires vert, jaune et rouge. Moyennant étude, le vert peut être remplacé par du jaune clignotant (R11j).
	Signal piéton	Il est constitué de deux feux vert et rouge, normalement disposés dans cet ordre de droite à gauche. Ils peuvent éventuellement être disposés l'un au-dessus de l'autre, le vert en bas.

IX.2.3 SYSTEME DE DETECTION :

Le système de détection est constitué :

➢ D'une boucle de détection située dans l'axe de la voie / ou un Détecteur.

➢ D'un émetteur situé sous le tram à l'avant du tram (un émetteur à l'avant et un à l'arrière dû à l'inversion de marche de la rame).

➢ D'un détecteur situé en général dans le contrôleur de carrefour.

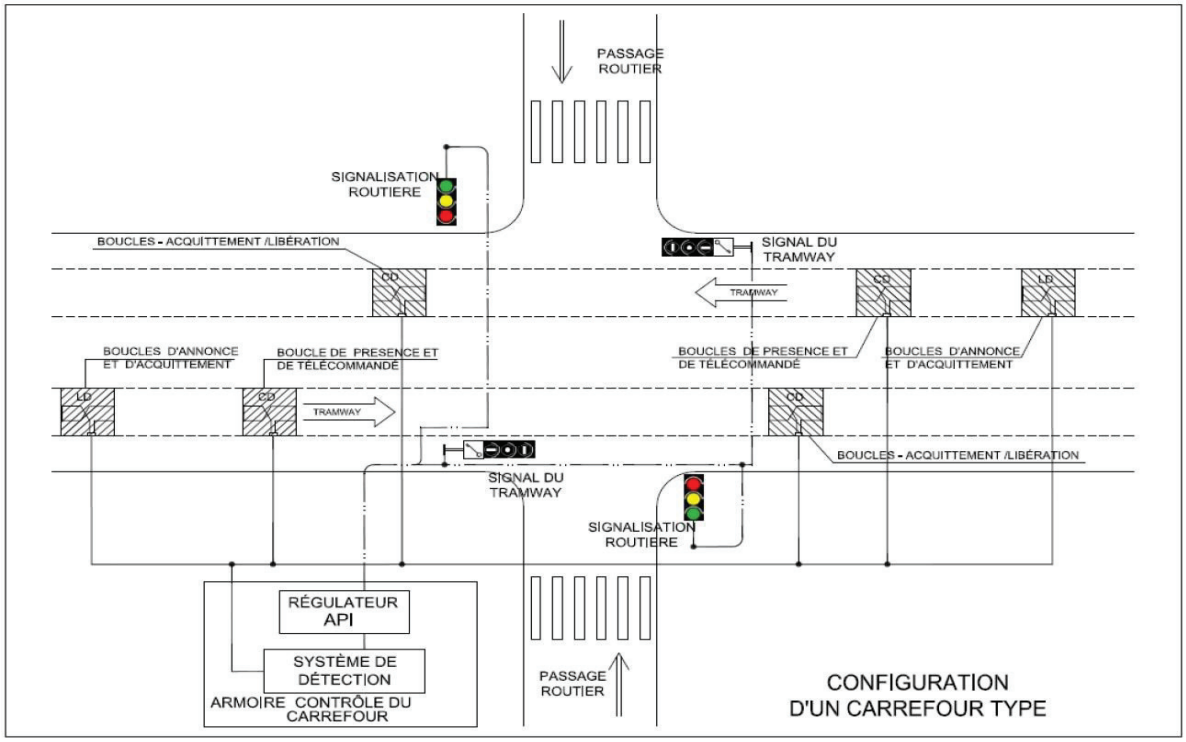


Figure IX.2.4 Configuration d'un carrefour type [6].

IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

X.1 INTRODUCTION :

L'Etude d'Impact sur l'Environnement (EIE) est un critère déterminant pour évaluer les impacts potentiels sur l'environnement d'un projet avant sa mise en œuvre et identifier des mesures afin d'atténuer les impacts négatifs et d'améliorer les impacts positifs.

X.2 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE :

On rappelle que la zone d'étude est le secteur 08 qui est la zone urbaine « Ali Mendjeli ».

X.3 EFFETS DU PROJET SUR LE CADRE DE VIE :

XII.3.1 Effets sur la qualité de l'air :

Le contexte climatique planétaire fait aujourd'hui l'objet d'une attention particulière du fait des changements observés et attendus dans un avenir proche. L'homme, du fait de ses activités et de ses déplacements, contribue par ses émissions de gaz à effet de serre à ce changement climatique.

A ce titre, la création de l'extension de la ligne de tramway de Constantine, considérée comme un mode propre de déplacement, permettra une réorganisation de l'intermodalité et, combinée à des mesures d'accompagnement, elle constitue une solution pour faire évoluer les comportements, notamment par l'abandon de la voiture particulière, pour atteindre une forte réduction des émissions de CO_2 et des gaz à effet de serre, à l'horizon de sa mise en service. En effet, la mise en service d'une ligne de tramway induit un report des usagers de la voiture particulière vers le tramway et plus largement vers les transports collectifs. De fait, les émissions de CO_2 et des gaz à effet de serre s'en trouvent sensiblement réduites.

XII.3.2 Vibrations :

Le tramway provoque à son passage par la zone urbaine des vibrations qu'il est nécessaire d'atténuer, afin de limiter au maximum la contamination acoustique susceptible de gêner les habitants des bâtiments avoisinant.

Pour ce faire, une première étape consiste à évaluer les niveaux de vibrations provoquées par le passage du tramway. Les niveaux les plus élevés sont normalement enregistrés au niveau des courbes et dans les zones de freinage et d'accélération.

Une partie de ces vibrations sont naturellement dissipés par le sol et par la distance par rapport aux habitats avoisinants.

Le reste des vibrations devraient être atténuées par des mesures correctrices qui seront décrits par la suite. Les mesures dépendent, des niveaux d'atténuation qui sont définis en fonction de la distance de l'axe de la voie aux façades les plus proches :

Niveau 0 :	Atténuation < 10 dB	Façades >12 m
Niveau 1 :	Atténuation 10-20 dB	Façades 7-12 m
Niveau 2 :	Atténuation > 20 dB	Façades <7 m

Le type de pose de voie pour chacun des niveaux d'atténuation requis, est résumé à continuation :

Pose de voie Niveau 0 : Pose de voie courante tel que présenté auparavant, avec une semelle de caoutchouc cannelée de 9 mm 'épaisseur entre le rail et la traverse, sans traitement anti-vibratile additionnel.

Pose de voie Niveau 1 : Pose anti-vibratile d'atténuation 10dB. Cette atténuation est obtenue par la disposition d'une semelle anti-vibratile de 12 mm d'épaisseur, au lieu des 9 mm disposés par défaut dans la pose de voie courante.

Le titulaire devra demander et obtenir l'agrément du maître d'œuvre pour l'utilisation de cette semelle anti-vibratile.

Pose de voie Niveau 2 : dans ce cas la semelle caoutchouc cannelée de 9 mm d'épaisseur est maintenue, par contre, la pose de voie classique est considérée sur une dalle flottante. Il existe un tronçon de transition entre les Niveaux 2 et 0, constitué par un tronçon Niveau 1.

La dalle flottante permettra un amortissement minimal de -20dB. Elle se compose d'une couche de 10 cm de béton de propreté sous la dalle de fondation, ainsi que d'un tapis anti-vibratile de 20-30 mm d'épaisseur entre ces deux couches. En plus, cette pose contient des remontées latérales en élastomère de 20 mm d'épaisseur de manière à isoler plus efficacement la voie et atteindre le niveau d'atténuation vibratoire plus élevé.

Concrètement dans ce projet, les façades les plus proches aux rails se situent à une distance comprise entre 7 et 12 mètres. En conséquence, uniquement les niveaux d'atténuation 0 et 1 sont envisagés. **[5]**

XII.3.3 Effets sur l'ambiance sonore :

Le tramway est aujourd'hui un des moyens de transports modernes les plus silencieux. Ce mode de transport électrique génère peu de bruit grâce à l'utilisation de matériaux adaptés, rames allégées, systèmes anti-vibratiles, types de voies. Sa position centrale sur les grands boulevards et sur les avenues évitera également toute propagation de vibrations jusqu'aux immeubles. De plus, l'usage du tramway favorisera la réduction de la circulation automobile le long des boulevards ce qui aura pour effet de réduire significativement le niveau sonore dû au trafic.

Les niveaux de bruit induits par un tramway (niveaux de bruit moyennés sur une journée, soit entre 6h00 et 22h00) se situent autour de 50 dB(A). Cette incidence est donc très faible en comparaison des niveaux de bruit existants.

En autre, afin de réduire l'émission de bruit généré par le roulage dans les courbes de rayon inférieur à 100 mètres, les véhicules CITADIS 402 sont équipés sur le bogie porteur d´un dispositif de graissage des boudins de roue. Ce système est plus économique que l'installation d'autres systèmes stationnaires et nécessite d'une maintenance inférieure.

XII.3.4 Effets sur les eaux de ruissellement :

Le tramway contrairement au trafic automobile, ne produit ni rejet de particules de combustion, ni particules polluantes par usure du revêtement de la voirie et des pneumatiques.

On peut néanmoins signaler quelques effets mineurs :

• le tramway relâche un peu de sable utilisé lors du freinage et lors des accélérations au démarrage afin d'augmenter l'adhérence. Ce sable, utilisé en faibles quantités, est un matériau propre, non polluant, mais susceptible de constituer de faibles quantités de matières en suspension entraînées par les eaux de pluies vers le réseau d'assainissement et/ou le milieu récepteur.

• des éléments métalliques (rails …) peuvent aussi être soumis à la corrosion.

• Aussi l'injection de la graisse dans les courbes.

X.4 PARC RELAIS :

La réalisation du parc relais né de la nécessité de créer un nouveau pôle d'échange à l'entrée d'Ali Mendjeli, afin d'encourager les visiteurs à emprunter le tramway pour se déplacer dans la zone urbaine de la Nouvelle Ville, et de contribuer de la sorte à décongestionner le trafic actuellement complexe, notamment dans l'accès de la ville et dans certaines de ses intersections.

Pour ce faire, un parking d'une capacité de 350 places est projeté juste à l'entrée à la Nouvelle Ville, et tout près de la première station de la zone urbaine.



Figure X.1 Parc de relais à l'entrée de la nouvelle ville D'Ali Mendjeli [5].

X.5 CONCLUSION :

La présente étude envisage que les impacts générés par le projet d'extension de la ligne de tramway de Constantine soient positifs, compatibles ou modérés, et qu'avec la mise en œuvre des mesures préconisées, ceux-ci seront réduites, et ils seront rendus compatibles avec le territoire.

DEVIS QUANTITATIF ESTIMATIF							
N	**Désignation**			**Unité**	**Quantité**	**Prix unitaire(DA)**	**Montant (DA)**
1	Installation de chantier			**F**	-	-	186 091 576,19
2	Terrassement	2,1	Décapage de la terre végétale	**m³**	17 295,77	382,40	6 613 902,45
		2,2	Déblais	**m³**	110 323,98	382,40	42 187 889,95
		2,3	Remblais	**m³**	28 020,30	260,50	7 299 288,15
		2,4	Couche de forme GNT	**m³**	11 191,98	310,50	3 475 109,79
3	Plateforme ferroviaire	3,1	Géotextile AS20	**m²**	28 577,25	255,50	7 301 487,38
		3,2	Dalle de fondation (Béton C20/25)	**m³**	5 730,53	4 750,00	27 220 017,50
		3,3	Dalle de calage (Béton C30/37)	**m³**	3 315,47	12 750,00	42 272 242,50
		3,4	Dalle de revêtement (Béton imprimé C20/25)	**m²**	5 841,52	4 750,00	27 747 220,00
4	Aménagement urbain	4,1	GLO- Bordure en béton	**ml**	6 960,00	1 180,00	8 212 800,00
		4,2	Bordure trottoir	**ml**	17 400,00	606,00	10 544 400,00
		4,3	Espace verts	**F**	-	-	127 249 184,50
		4,4	Signalisation	**F**	-	-	2 733 246,68
5	Pose de rail de roulement	5,1	Rail à gorge 55G2	**ml**	13 920,00	22 351,00	311 125 920,00
		5,2	Appareil de voie	**U**	3,00	1 433 129,00	4 299 387,00
		5,3	Chambre d éclissage	**U**	13 920,00	4 920,00	68 486 400,00
		5,4	Traverses en béton	**U**	17 400,00	6 000,00	104 400 000,00
		5,5	Attaches NABLA		76 125,00	450,00	34 256 250,00
6	Multitubulaires	6,1	Multi Courant fort (CFO)	**ml**	3 483,00	6 744,75	23 491 984,48
		6,2	Multi Courant faible (CFA)	**ml**	3 483,00	7 054,75	24 571 715,41
		6,3	Chambre de tirage CFO	**U**	70,00	52 574,22	3 680 195,40
		6,4	Chambre de tirage CFA	**U**	70,00	52 574,22	3 680 195,40
7	Poteaux LAC	7,1	Pieux	**U**	100,00	12 000,00	1 200 000,00
		7,2	Massifs	**U**	103,00	36 580,00	3 767 740,00
		7,3	Poteaux	**U**	103,00	373 940,42	38 515 863,26
8	Assainissement			**F**	-	-	41 693 190,12
9	Stations voyageurs			**U**	5,00	6 304 215,30	31 521 076,50
10	Sous-stations			**U**	3,00	52 754 617,00	158 263 851,00
11	Ouvrages d'art	11,1	Pont 16+300	**F**	-	-	601 452 000,00
		11,2	Trémie Tramway intersection 5 TT1	**F**	-	-	718 300 000,00
		11,3	Trémie Tramway Boulevard Secondaire TT2	**F**	-	-	800 496 000,00
					total en HT		3 472 150 133,66
					TVA 19%		659 708 525,40
					Total TTC		4 131 858 659,05

Quatre milliards cent trente et un millions huit cent cinquante-huit mille six cent cinquante-neuf Dinars Algerien

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude était un événement majeur pour nous en termes d'application d'expérience acquise durant notre cursus.

Notre stage chez ALSTOM nous a permis d'employer nos connaissances qu'on a saisi durant nos 3 ans passés au sein de l'école et on a pu acquérir des tas d'informations et de connaissances qui seront sans doute utile et efficace pour notre vie professionnelle.

Les ingénieurs d'ALSTOM nous ont permis de profiter de leurs expériences et compétences durant notre stage chez cette société ayant réalisé l'extension du Tramway de Constantine Zouaghi-Ali Mendjeli.

De plus notre expérience s'est enrichit avec la maitrise des logiciels AUTOCAD 2015 et CIVIL 3D 2015 et ALIZE32 ainsi que l'utilisation des normes (UIC et SETRA).

Le projet de fin d'étude s'est déroulé dans des bonnes conditions et nous a permis d'avoir le maximum d'idées et renseignements et nous a enrichit notre vision afin de nous permettre d'œuvrer et de gérer nos projets d'une manière professionnelle.

BIBLIOGRAPHIE

- Groupement d'entreprises (Cosider/Alstom), rapport de Tracé et plateforme, Mai
- 2013.
- Groupement d'entreprises (Cosider/Alstom), rapport sur les Systèmes de transport, Energie et voie, Mai 2013.
- Groupement d'entreprises (Cosider/Alstom), Volume B. Études Préalables et Complémentaires B.6 rapport géologique et Géotechnique. Mai 2013.
- Groupement d'entreprises (Cosider/Alstom), rapport sur tramway, Aménagement urbain, Multitubulaire et Signalisation et Impact sur l'environnement. Mai 2013.
- Groupement d'entreprises (Cosider/Alstom), Ouvrages d'art, ouvrages souterrains et murs de soutènement. Mai 2013.
- Groupement d'entreprises (Cosider/Alstom), rapport hydrologie et drainage.
- CTTP, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (Fascicule I, II), Novembre 2001.
- Thèse 2017, ETUDE APD DU TRAMWAY, LOUCIF/SATOUR, ENSTP
- Thèse 2017, ETUDE APD DU TRAMWAY, BECHARA/BECHARA, ENSTP
- Thèse 2015, ETUDE APD DU TRAMWAY, FAZEZ/BEN KHLIFA, ENSTP
- Cours hydraulique appliquée, M. RAHMANI, ENSTP, 2016.
- GTR, guide technique routière.
- DTR, document technique réglementaire.

Site web :

http://www.metroalger-dz.com

https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Constantine

https://fr.wikipedia.org/wiki/Appareil_de_voie

[1]: Google image.

[2]: Wikipedia.

[3]: Google earth.

[4] : RPOA 2008.

[5] : Document du projet groupement d'entreprises (Cosider/Alstom).

[6] : Dessin autocade (travaille personnelle).

[7] : BETUR (bureau d'étude des transports urbains).

[8] : Google maps.

[9] : Civil 3d.

[10] : Rapport géologique et géotechnique du projet.

[11] : GTR fascicule 01.

[12] : SYSTRA.

[13] : ALIZE 32.

[14] : Solution béton (site internet).

[15] : Cours MDC Chapitre : le béton de fibres, université de Béjaïa, 2016.

ANNNEX 1 :

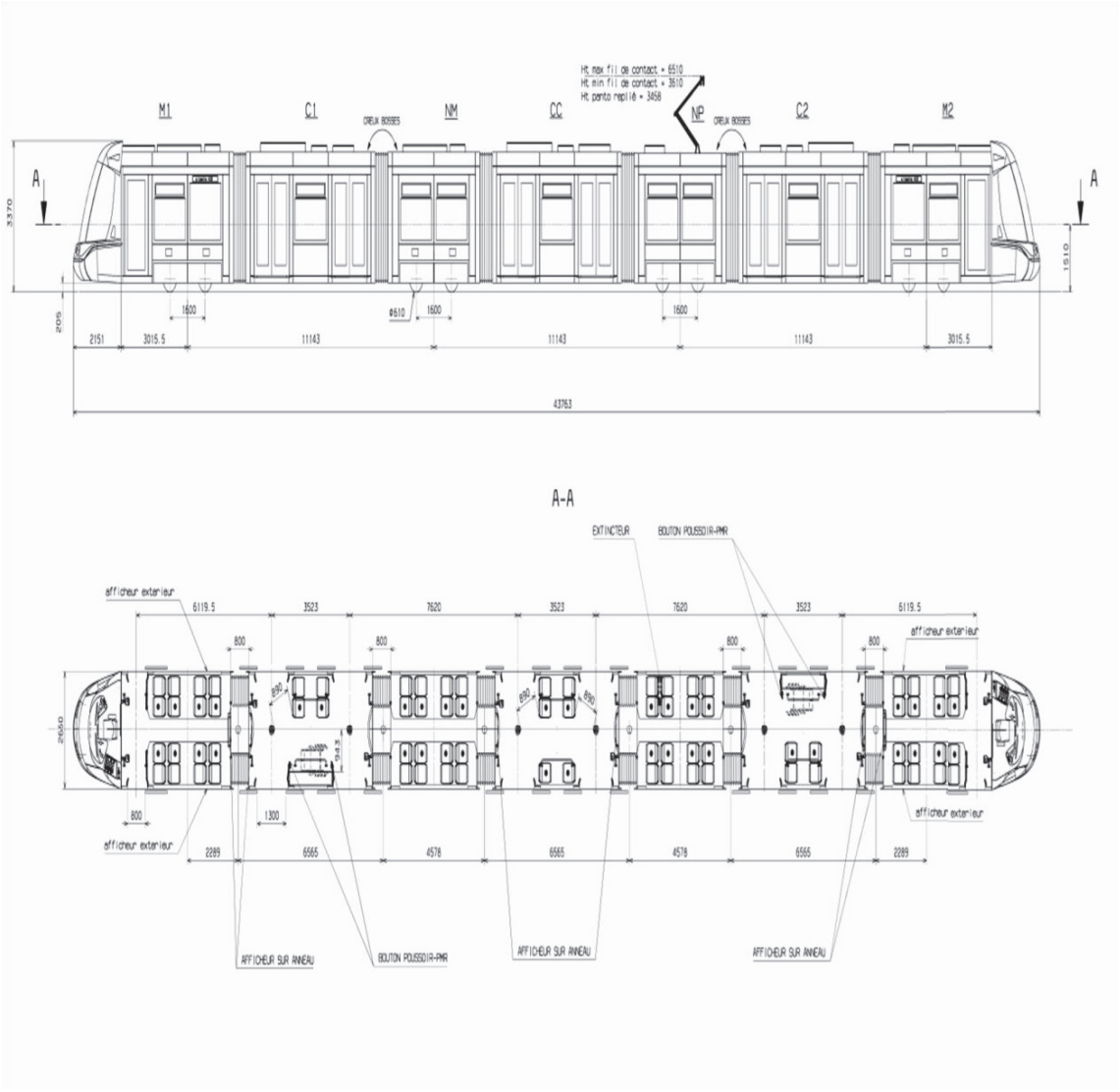


Figure.1 Matériel roulant CITADIS 402.

ANNNEX 2 :

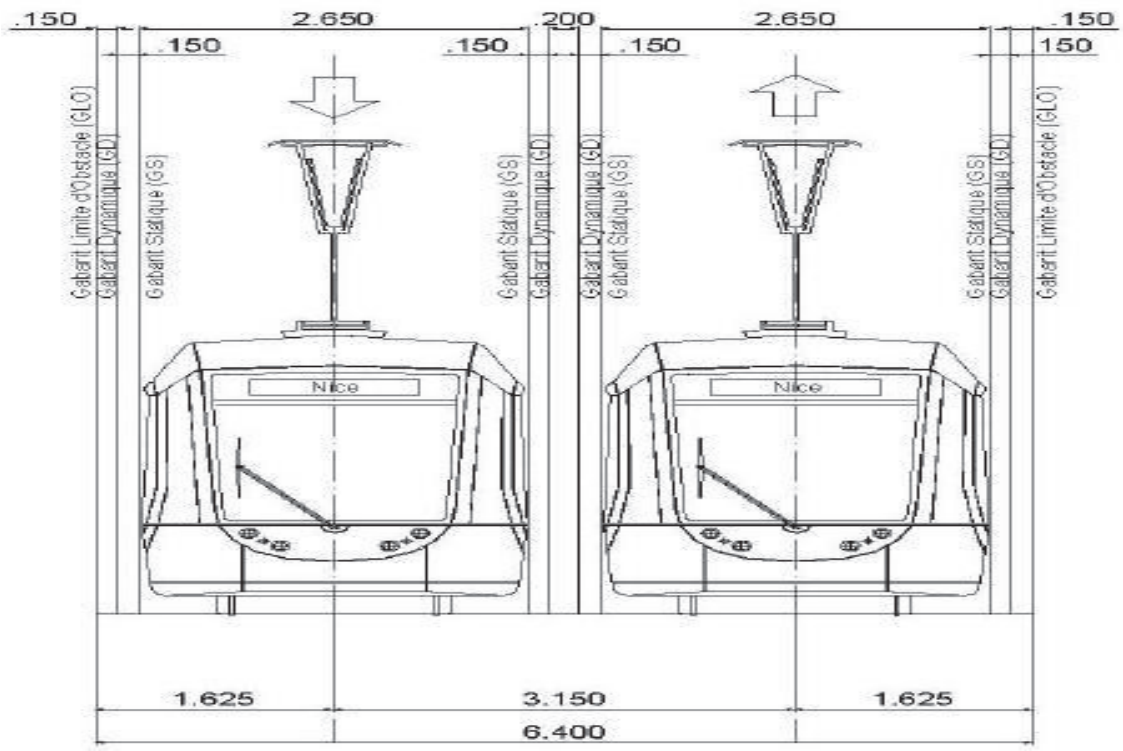


Figure.1 voie double avec poteaux latéraux.

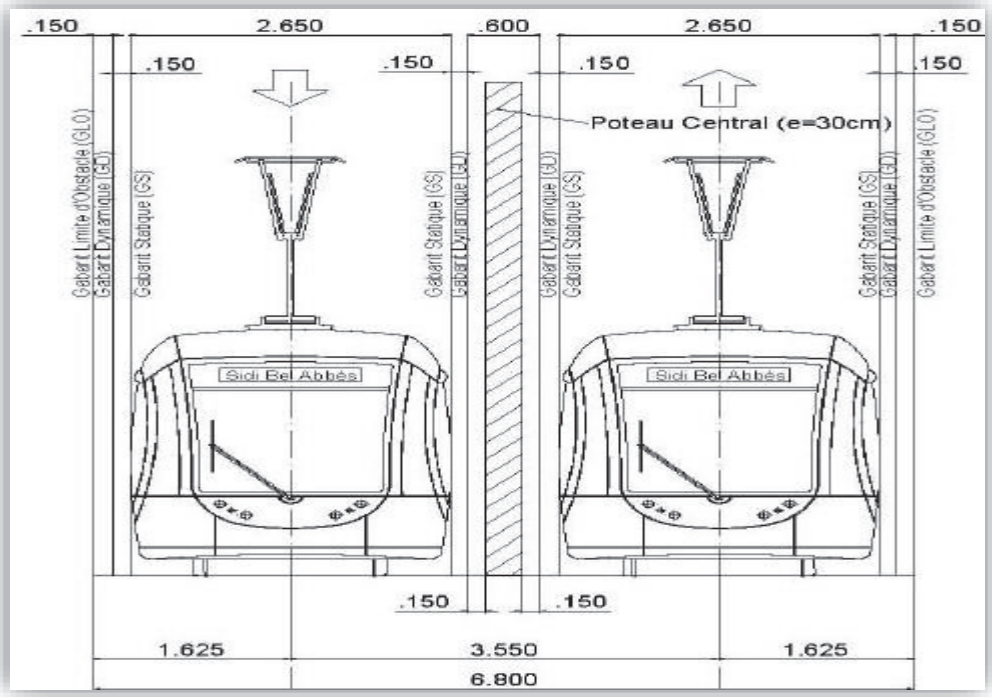


Figure.2 voie double avec poteaux centraux.

Tableau.1 Paramètre du matériel roulant.

Définition Paramètre	Valeur Paramètre (m)
Largeurs	
Largeur Gabarit Statique (GS)	2.65
Largeur Gabarit Dynamique (Gd)	2.95
Largeur Gabarit Limite D´Obstacle (GLO) Voie Unique	3.25
Entre -Axes En Alignement Droit Et Poteaux Latéraux	3.15
Largeur GLO En Alignement Droit Et Poteaux Latéraux	6.40
Entre -Axes En Alignement Droit Et Poteaux Centraux	3.55
Largeur GLO En Alignement Droit Et Poteaux Centraux	6.80
Hauteurs	
Hauteur De La Rame	3.46
Hauteurs Minimum Des Fils De Contact	4.05
Hauteurs Libre Minimale Nécessaire A L´Insertion Du Tramway	4.30
Longueurs	
Longueur Tramway	43.763

Tableau.2 Sur largeur en courbe.

Rayons (m)	Sur-largeur en ventre (intérieur)	Sur-largeur en corne (extérieur)
25	0.210	0.605
30	0.160	0.520
40	0.105	0.410
50	0.070	0.345
80	0.020	0.240
100	0.005	0.205
250	0.002	0.135
500	0.002	0.075
1000	0.002	0.040
2000	0.002	0.020
AD	0.000	0.000

Tableau.3 Ecartement en alignement droit.

Rayons (m)	Entraxe AD (poteaux latéraux) (m)	Sur-écartement dans l'AD (m)
25	3.40	0.25
30	3.40	0.25
40	3.35	0.20
50	3.25	0.10
60	3.20	0.05
70	3.20	0.05
80	3.20	0.00
100	3.15	0.00
250	3.15	0.00
500	3.15	0.00
1000	3.15	0.00
2000	3.15	0.00
AD	3.15	0.00

Tableau.4 Paramètre à respecter au niveau des stations.

DEFINITION DU PARAMETRE	VALEUR
Rayon minimum en plan en station	3000 m
Longueur des quais, hors rampes	45 m
Longueur d'Alignements Droit minimale au-delà des quais	16 m
Distance axe-nez de quai	1,357 m
Hauteur des quais	290 mm
Largeur quais latéraux	3 m
Largeur quais centraux	4 m
Dévers en station	0 %

LISTING AXE EN PLAN

Nom de l'axe : AXE EN PLAN.
Description : LISTING AXE EN PLAN (Civil 3d).
Plage d'abscisse : Début : 0+000.00, Fin : 3+591.26

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0+000.00	284,355.6064	4,015,488.7509
DR1	ANG=262.1651 (g)	58.8505			
			0+058.85	284,306.8466	4,015,455.7983
CLO2	A=95.000				
	R=450.000	20.056			
			0+078.91	284,290.1473	4,015,444.6925
ARC3	XC=284,046.5463				
	YC=4,015,823.0555				
	R=450.000	80.437			
			0+159.34	284,218.9939	4,015,407.4092
CLO4	A=95.000				
	R=450.000	20.056			
			0+179.40	284,200.3577	4,015,399.9998
DR5	ANG=276.3819 (g)	303.3032			
			0+482.70	283,917.6888	4,015,290.0400
CLO6	A=71.000				
	R=250.000	20.164			
			0+502.87	283,898.8014	4,015,282.9835
ARC7	XC=283,817.6335				
	YC=4,015,519.4402				
	R=250.000	45.052			
			0+547.92	283,855.1059	4,015,272.2646
CLO8	A=71.000				
	R=250.000	20.164			
			0+568.08	283,835.0971	4,015,269.7794
DR9	ANG=292.9890 (g)	1,197.1750			
			1+765.26	282,645.1746	4,015,138.2023
CLO10	A=130.000				
	R=850.000	19.882			
			1+785.14	282,625.4215	4,015,135.9401
ARC11	XC=282,728.7162				

	YC=4,014,292.2398				
	R=850.000	220.080			
			2+005.22	282,412.8486	4,015,081.3708
CLO12	A=130.000				
	R=850.000	19.882			
			2+025.10	282,394.4483	4,015,073.8387
DR13	ANG=275.0167 (g)	439.6699			
			2+464.77	281,988.2023	4,014,905.6908
CLO14	A=37.000				
	R=70.000	19.557			
			2+484.33	281,970.5149	4,014,897.3856
ARC15	XC=282,006.0308				
	YC=4,014,837.0647				
	R=70.000	111.968			
			2+596.30	281,946.7554	4,014,799.8299
CLO16	A=37.000				
	R=70.000	19.557			
			2+615.85	281,958.6431	4,014,784.3219
CLO17	A=49.000				
	R=120.000	20.008			
			2+635.86	281,971.1077	4,014,768.6783
ARC18	XC=281,873.2472				
	YC=4,014,699.2281				
	R=120.000	16.985			
			2+652.85	281,979.9265	4,014,754.1783
CLO19	A=49.000				
	R=120.000	20.008			
			2+672.85	281,988.0839	4,014,735.9151
DR20	ANG=175.0264 (g)	301.7674			
			2+974.62	282,103.4497	4,014,457.0706
CLO21	A=37.000				
	R=70.000	19.557			
			2+994.18	282,110.0715	4,014,438.6866
ARC22	XC=282,042.2927				
	YC=4,014,421.1927				
	R=70.000	90.380			
			3+084.56	282,077.8154	4,014,360.8757
CLO23	A=37.000				

	R=70.000	19.557			
			3+104.12	282,060.1289	4,014,352.5686
DR24	ANG=275.0096 (g)	487.1402			
			3+591.26	281,610.0420	4,014,166.2160

LISTING PROFIL EN LONG

Axe vertical : AXE EN PLAN.
Description : LISTING PROFIL EN LONG (Civil 3d).
Plage d'abscisse : Début : 0+000.00, Fin : 3+590.00.
Longueur de l'axe : 3,590.000m.

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0+000.00	729.336
D1	PENTE= 1.71%	100.000		
			0+100.00	731.049
D2	PENTE= 1.62%	164.368		
			0+264.37	733.714
D3	PENTE=	0.000		
			0+264.37	733.714
PAR3	S= 0+326.63 Z=734.736			
	R = 3,409.562	124.524		
			0+388.89	733.485
D4	PENTE= -2.01%	0.000		
			0+388.89	733.485
D5	PENTE= -2.01%	187.278		
			0+576.17	729.719
D6	PENTE=	0.000		
			0+576.17	729.719
PAR6	S= 0+603.00 Z=729.179			
	R = 705.890	53.669		
			0+629.84	730.679
D7	PENTE= 5.59%	0.000		
			0+629.84	730.679
D8	PENTE= 5.59%	15.018		
			0+644.86	731.518
D9	PENTE=	0.000		
			0+644.86	731.518
PAR9	S= 0+659.56 Z=732.340			
	R = 719.058	29.406		
			0+674.26	732.560
D10	PENTE= 1.50%	0.000		
			0+674.26	732.560

D11	PENTE= 1.50%	83.687		
			0+757.95	733.816
D12	PENTE=	0.000		
			0+757.95	733.816
PAR12	S= 0+783.05 Z=734.192			
	R = 707.167	50.208		
			0+808.16	732.786
D13	PENTE= -5.60%	0.000		
			0+808.16	732.786
D14	PENTE= -5.59%	14.783		
			0+822.94	731.959
D15	PENTE=	0.000		
			0+822.94	731.959
PAR15	S= 0+849.77 Z=730.456			
	R = 706.191	53.662		
			0+876.60	730.992
D16	PENTE= 2.00%	0.000		
			0+876.60	730.992
D17	PENTE= 2.00%	252.591		
			1+129.19	736.042
D18	PENTE=	0.000		
			1+129.19	736.042
PAR18	S= 1+165.48 Z=737.557			
	R = 164,952.900	72.568		
			1+201.76	739.088
D19	PENTE= 4.22%	0.000		
			1+201.76	739.088
D20	PENTE= 6.40%	30.743		
			1+232.50	741.055
D21	PENTE=	0.000		
			1+232.50	741.055
PAR21	S= 1+261.84 Z=742.460			
	R = 180,398.500	58.669		
			1+291.17	743.855
D22	PENTE= 4.76%	0.000		
			1+291.17	743.855
D23	PENTE= 3.15%	230.188		
			1+521.36	751.097

D24	PENTE=	0.000		
			1+521.36	751.097
PAR24	S= 1+539.49 Z=751.881			
	R = 152,399.700	36.260		
			1+557.62	752.669
D25	PENTE= 4.35%	0.000		
			1+557.62	752.669
D26	PENTE= 5.52%	13.616		
			1+571.24	753.421
D27	PENTE=	0.000		
			1+571.24	753.421
PAR27	S= 1+587.42 Z=754.155			
	R = 161,506.200	32.365		
			1+603.60	754.885
D28	PENTE= 4.51%	0.000		
			1+603.60	754.885
D29	PENTE= 3.52%	246.413		
			1+850.02	763.562
D30	PENTE=	0.000		
			1+850.02	763.562
PAR30	S= 1+872.17 Z=764.503			
	R = 301,909.900	44.299		
			1+894.32	765.447
D31	PENTE= 4.26%	0.000		
			1+894.32	765.447
D32	PENTE= 4.99%	153.813		
			2+048.13	773.120
D33	PENTE=	0.000		
			2+048.13	773.120
PAR33	S= 2+088.47 Z=772.992			
	R = 75,286.200	80.691		
			2+128.82	772.821
D34	PENTE= -0.42%	0.000		
			2+128.82	772.821
D35	PENTE= -5.73%	14.922		
			2+143.74	771.966
D36	PENTE=	0.000		
			2+143.74	771.966

PAR36	S= 2+172.52 Z=771.062			
	R = 110,038.300	57.557		
			2+201.30	770.174
D37	PENTE= -3.09%	0.000		
			2+201.30	770.174
D38	PENTE= -0.50%	117.819		
			2+319.12	769.586
D39	PENTE=	0.000		
			2+319.12	769.586
PAR39	S= 2+389.23 Z=770.860			
	R = 299,765.600	140.219		
			2+459.34	772.167
D40	PENTE= 1.86%	0.000		
			2+459.34	772.167
D41	PENTE= 4.18%	20.664		
			2+480.00	773.030
D42	PENTE= 4.11%	80.000		
			2+560.00	776.316
D43	PENTE= 4.12%	40.000		
			2+600.00	777.964
D44	PENTE= 4.18%	20.000		
			2+620.00	778.799
D45	PENTE= 4.26%	63.350		
			2+683.35	781.496
D46	PENTE=	0.000		
			2+683.35	781.496
PAR46	S= 2+707.50 Z=781.955			
	R = 101,492.600	48.299		
			2+731.65	782.403
D47	PENTE= 1.85%	0.000		
			2+731.65	782.403
D48	PENTE= -0.50%	122.939		
			2+854.59	781.786
D49	PENTE=	0.000		
			2+854.59	781.786
PAR49	S= 2+876.61 Z=780.993			
	R = 70,397.500	44.038		
			2+898.63	780.187

D50	PENTE= -3.66%	0.000		
			2+898.63	780.187
D51	PENTE= -6.76%	41.374		
			2+940.00	777.392
D52	PENTE= -6.77%	40.000		
			2+980.00	774.685
D53	PENTE= -6.87%	17.905		
			2+997.91	773.455
D54	PENTE=	0.000		
			2+997.91	773.455
PAR54	S= 3+049.31 Z=772.218			
	R = 114,034.900	102.814		
			3+100.72	771.027
D55	PENTE= -2.32%	0.000		
			3+100.72	771.027
D56	PENTE= 2.15%	351.006		
			3+451.72	778.561
D57	PENTE=	0.000		
			3+451.72	778.561
PAR57	S= 3+462.37 Z=778.713			
	R = 146,549.900	21.294		
			3+473.02	778.863
D58	PENTE= 1.41%	0.000		
			3+473.02	778.863
D59	PENTE= 0.69%	116.982		
			3+590.00	779.674

ANNNEX 3 :

Tableau.1 Paramètres géotechniques.

U.G	Angle de frottement	Cohésion sans drainage	cohésion	Poids de volume sec	Poids de volume saturé	Module d'élasticité	Module de poisson	Indice des vides	perméabilité	Granulométrie %				
	φ(°)	Cu (KPA)	C' (KPA)	γ_{sec} (t/m^3)	γ_{sat} (t/m^3)	E (MPA)	υ	e	k	<20	<5	<2	<0.4	<0.08
I. Remblai	24-26	-	5	1.5	1.8	10-15	0.35	0.79	10^{-7}	100	98	98	96	95
V. Argile rougeâtre marneuse	26-28	150-200	25-35	1.6	1.95	25.35	0.33	0.63	10^{-7}	100	100	100	80	79
VI. Tuf calcaire	15-20	-	80-100		2.1	100	0.3	30	10^{-5}	Roche				
VII. Calcaire lacustre	20-25	-	150-200		2.2-2.4	2000-4000	0.28	5-11	10^{-9}	Roche				

ANNNEX 4 :

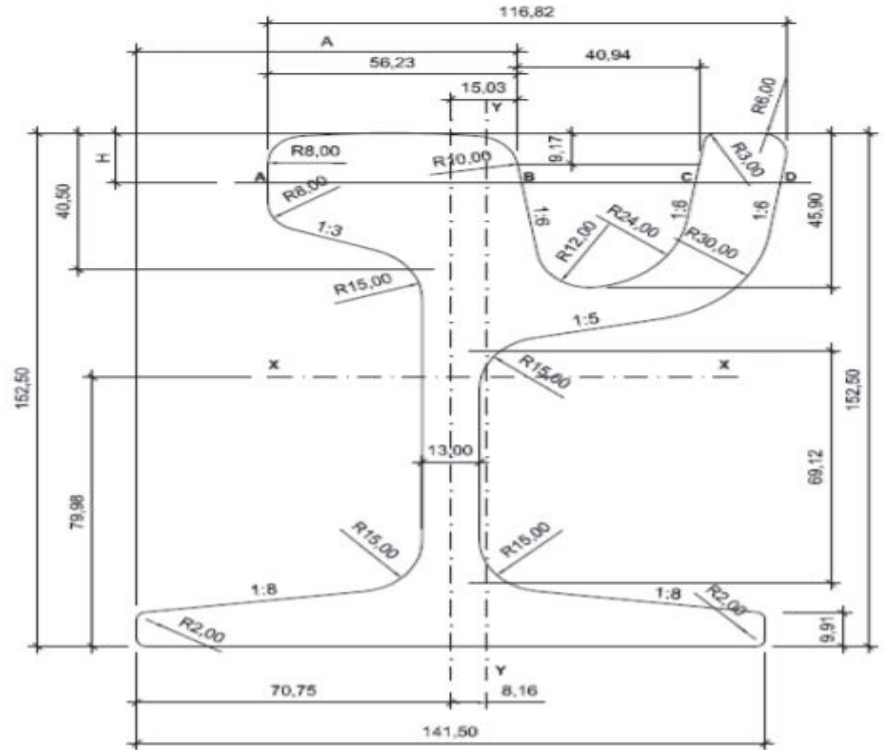


Figure 1. Profil rail à gorge 55G2.

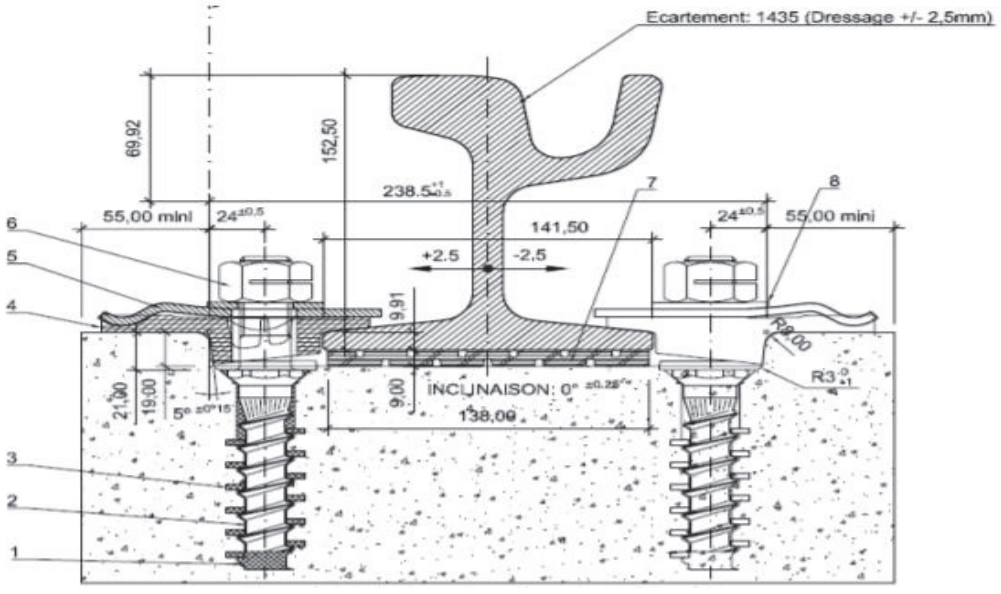


Figure 2.Détail du système d'attache nabla.