

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

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département des Travaux Publics



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du Diplôme de Master en Travaux Publics,

Option : Voies et Ouvrages d'Arts

Thème : Etude de la nouvelle ligne ferroviaire LAGHOUAT-GHARDAIA (ligne à voie unique à vitesse 220km/h).

Tronçon : By pass1 (PK0-PK18) à partir de PK89+470 de la ligne principale

Avec aménagement de la gare de HASSI RMEL



Réalisé par :

AMMOURI Sihem

MALKI Chahineze

Encadré par :

Madame KHAL Nassima

Promotion 2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements :

Nous tenons à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir notre travail dans les meilleures conditions.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Madame KHAL Nassima, pour son suivi durant l'évolution de notre travail, ainsi que pour ses conseils avisés, ses remarques pertinentes et la confiance qu'elle nous a prodiguée.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel d'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou de la faculté de génie de la construction département de Travaux Publics.

Nous tenons également à remercier le groupe de SETI-RAIL pour leurs contributions à l'acquisition des données du projet spécialement : Madame MERIDJI Amina et Madame LECHHEB Meriem.

Un grand merci à Monsieur FERHANI Amirouche de nous avoir accueillis au sein de son laboratoire.

Nous remercions tous ceux qui ont aidé de loin ou de près pour l'achèvement de ce projet.

Enfin, on remercie ceux qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.



Dédicaces :

Avec tous mes sentiments de respect, je dédie ce modeste travail à :

Mon paradis, la prunelle de mes yeux, la source de ma joie et mon bonheur, celle qui m'a donnée la vie, celle qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, à celle qu'aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que je lui éprouve, que dieu te garde et te protège ma chère maman ;

Mon cher père qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.

Mes chers frères, Lyes et Amine pour leur appui, leur encouragement et l'amour qu'ils me réservent ;

Ma chère sœur Lydia, son mari et mes petits neveux Moussa et Aylan.

La personne la plus spécial, celui qui a toujours été présent, attentionné et tellement bienveillant, merci à toi.

Toute ma famille, mes amis et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que mon succès soit possible.

AMMOURI Sihem



Dédicaces :

Tout d'abord, je tiens à remercier le grand dieu qui m'a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail à ma très chère famille à mon père et ma mère pour leur accompagnement durant tout ce moment et le long de mon parcours éducatif. Je leur souhaite santé et longue vie, qu'Allah les protège.

A mes très chères sœurs : Souraya et Yassmin et Anna et Sarah.

A mes très chers frères : Mourad et Amine et Youcef.

A tous mes amis, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

MALKI Chahineze

Résumé :

Le présent mémoire consiste essentiellement en l'étude du tronçon By pass1 du PK00 au PK18 à partir du PK89+470 de la ligne principal, avec la conception de la gare de Hassi R'mel, de la nouvelle ligne électrifié à voie unique entre Laghouat et Ghardaïa pour une exploitation à 220km/h.

Le dimensionnement de la ligne a été élaboré suivant les normes internationales UIC (union international de chemin de fer) et les recommandations Algériennes de la SNTF (société national de transport ferroviaire). Les logiciels utilisés à la conception sont COVADIS16.0 et AUTOCAD2016.

Mots clés : By pass1 , ligne électrifié, Gare, COVADIS, UIC.

ملخص :

هذا المشروع يتمثل أساسا في دراسة التصميم التفصيلي لمقطع من خط السكة الجديدة المكهرب أحادي-السكة (by pass1) من النقطة الكيلومترية 00 الى النقطة الكيلومترية 18 ابتداء من النقطة الكيلومترية 470+89 من الخط الرئيسي الاغواط غرداية مع تهيئة محطة حاسي رمل.

صمم هذا المشروع بناء على معايير الاتحاد الدولي لسكك الحديدية و قد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج (covadis 16)

Abstract :

This report is essentially a study of the By pass1 section from KP00 to KP18 from KP89+470 of the main line, including the design of the Hassi R'mel station, of the new single-track electrified line between Laghouat and Ghardaïa for operation at 220km/h.

The line was designed in accordance with international UIC (International Union of Railways) standards and Algerian SNTF (National Rail Transport Company) recommendations. The design software used was COVADIS16.0 and AUTOCAD2016.

Keywords: By pass1 , electrified line, Station, COVADIS, IUR.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I

Généralités sur les chemins de fer

I.	Introduction :	2
II.	Historique :	3
A.	L'union internationale des chemins de fer :	3
III.	Historique des chemins de fer en ALGERIE :	5
IV.	Le trafic ferroviaire Algérien :	6
V.	Réseaux ferroviaires Algériens :	7
VI.	Consistance du réseau :	8
VII.	Programme ferroviaire national :	9
A.	Les rocades :	9
B.	Les pénétrantes :	10
C.	Ligne minière :	11
D.	Les boucles :	12
VIII.	Conclusion :	13

Chapitre II

Présentation du projet

I.	Introduction :	14
II.	Présentation de la zone d'étude :	14
III.	Activités humaines et réseaux de la wilaya de Laghouat :	15
A.	La population :	15
B.	L'agriculture :	16
C.	L'industrie :	16
D.	Les infrastructures de transport :	16
IV.	Situation géographique et reliefs :	17
A.	Présentation de la wilaya de Laghouat :	17
B.	Présentation de la wilaya de Ghardaïa :	18
C.	Cadre géologique :	18

D. Le climat :	19
E. La sismicité :	21
F. L'ensablement :	22
V. Description du projet :	23
VI. Présentation du projet étudié :	23
VII. Caractéristiques techniques de la ligne :	24
VIII. Le but du projet :	24
IX. Etude préliminaire :	25
X. Conclusion :	26

Chapitre III

Tracé en plan

I. Introduction :	27
II. Les éléments constitutifs du tracé en plan :	28
A. Les alignements droits :	28
B. Courbes circulaires :	28
C. Les courbes de raccordements :	28
III. Condition de raccordement :	29
A. Condition de gauchissement :	29
B. Condition de confort optique :	29
C. Condition de confort dynamique :	29
IV. Vitesse de référence :	29
V. Critères de limitation des paramètres du tracé :	30
A. Valeurs limite normales :	30
B. Valeurs limite exceptionnelles :	30
VI. Détermination du rayon minimale (R min) :	31
VII. Dévers :	31
A. Devers théorique :	32
B. Devers pratique :	32
C. Coefficient de devers :	33
D. Devers maximum admissible :	34
E. Insuffisance de devers :	34
F. Excès de devers :	34
VIII. Raccordement de devers :	35

A.	Variation de devers par rapport aux longueurs :	35
B.	Variation de devers par rapport au temps :	37
C.	Variation de l'insuffisance de devers dans les courbes de raccordement :	37
IX.	Courbe de raccordement :	38
A.	Raccordement progressif (RP) :	38
B.	Doucine :	41
X.	Longueurs minimales des éléments de tracé :	41
A.	Des alignements et des pleines courbes :	41
B.	La longueur de clothoïde LRP :	42
XI.	Paramètres du tracé à respecter :	43
XII.	Application numérique au projet :	43
XIII.	Vérification :	47
XIV.	Conclusion :	47

Chapitre IV

Calcul de l'axe

I.	Introduction :	48
II.	Procédés de calcul de l'axe :	48
III.	Calcul des éléments géométriques :	49
IV.	Exemple de calcul de l'axe :	50
V.	Conclusion :	54

Chapitre V

Profil en long

I.	Introduction :	55
II.	Les éléments géométriques du profil en long :	55
III.	Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	56
IV.	Déclivités :	56
V.	Le raccordement en profil en long :	56
VI.	Déclivité maximale :	57
VII.	Rayon admissible en raccords de profil en long :	58
VIII.	Longueur minimale de la déclivité :	59
IX.	Coordination du tracé en plan et profil en long :	59
X.	Détermination pratique :	60

XI. Conclusion :	61
------------------	----

Chapitre VI

Etude géologique et géotechnique

I. Introduction :	62
II. Etude géologique :	62
A. Introduction :	62
B. Cadre géologique :	62
C. Sectorisation géologique :	64
D. Hydrogéologie :	64
E. Sismicité :	65
III. Etude géotechnique :	66
A. Introduction :	66
B. Essais in-situ :	67
C. Essais au laboratoire :	73
IV. Résultats des essais au laboratoire :	79
V. Définition des portances du sol :	81
VI. Unités géotechniques :	81
VII. Terrassements :	84
A. Introduction :	84
B. Déblai :	84
C. Remblais :	85
VIII. Conclusion :	88

Chapitre VII

L'infrastructure ferroviaire

I. Introduction :	89
II. La structure d'assise :	89
III. Constitution d'une voie ferrée :	89
IV. Les différentes couches d'assises :	89
V. Dimensionnement des couches d'assises :	90
VI. Couche de ballast :	90
VII. Plateforme.....	92
VIII. Classes de portance des plateformes :	92

IX.	Épaisseur minimum des couches d'assise :	93
X.	Application sur notre projet :	94
XI.	Conclusion :	96

Chapitre VIII

La superstructure ferroviaire

I.	Introduction :	97
II.	Catégories des voies :	97
III.	Les éléments de la superstructure :	97
A.	Les rails :	97
B.	Les types de rails :	98
C.	Ecartement des rails :	102
D.	Inclinaison des rails :	103
E.	Défaut des rails :	103
F.	Contre-rail :	105
G.	Rail de sécurité :	106
H.	Assemblage des rails :	106
I.	Les traverses :	108
J.	Les attaches :	111
K.	Caténaire :	116
L.	Les appareils de voie :	118
IV.	Conclusion :	123

Chapitre IX

Hydraulique et assainissement

I.	Introduction :	124
II.	Description du site du projet :	124
III.	Etude hydrologique :	124
A.	Le bassin versant :	124
B.	Données pluviométriques :	126
C.	La fréquence d'averse :	128
D.	Intensité des pluies :	128
E.	Méthode rationnelle :	131
IV.	Assainissement :	136
A.	Objectifs de l'assainissement et du drainage :	137

B. Ouvrages d'assainissement transversaux :	138
V. Ouvrages d'assainissement longitudinaux :	143
VI. Application sur notre projet :	145
VII. Conclusion :	146

Chapitre X

Profil en travers

I. Introduction :	148
II. Etablissement du profil en travers type :	148
III. Elément du profil en travers :	149
IV. Profil type de notre projet :	150
V. Les cubatures :	150
VI. Conclusion :	153

Chapitre XI

Les gares et les ouvrages d'arts

I. Introduction :	154
II. Les différents types de gares	154
III. La longueur utile d'une voie de stationnement :	156
IV. Structure d'une gare :	156
V. Ils permettent de faciliter le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode et vice-versa.	157
VI. Caractéristiques géométriques des gares de voyageurs :	158
VII. Ouvrages d'arts prévus :	159
VIII. Croisement avec une route-rail :	159
IX. Etude de stabilité au glissement :	159
X. Compactage :	160
XI. Application sur notre projet :	161
XII. Conclusion :	165

Chapitre XII

La signalisation ferroviaire

I. Introduction :	166
II. Rôle des installations de signalisation :	166

III.	Système de signalisation :.....	166
A.	ETCS (European Train Control System) :.....	167
B.	Système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles-Railways) :	169
IV.	Types de signalisation :.....	170
A.	Signalisation classique ou latérale :.....	170
B.	Signalisation en cabine :	171
V.	Les fonctions des signaux :.....	172
A.	Signalisation d'arrêt :.....	173
B.	Signalisation de limitation de vitesse :.....	173
C.	Signalisation d'indication de direction :	174
VI.	Implantation des signaux :.....	175
VII.	La visibilité des signaux :	175
VIII.	Voie unique :.....	176
IX.	Critères de signalisation de la ligne de notre projet :.....	177
X.	Conclusion :.....	178

Chapitre XIII

Etude de l'impact sur l'environnement

I.	Introduction :.....	179
II.	L'état initial de l'environnement :.....	179
A.	Le milieu physique :.....	179
B.	Milieu naturel :.....	180
III.	Impacts du projet sur l'environnement et mesures proposées :.....	181
A.	L'ensablement :.....	181
B.	autres impacts :	184
IV.	Suivi et bilans environnementaux :.....	185
V.	Conclusion :.....	186
	Conclusion générale.....	187

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Chapitre I

Généralités sur les chemins de fer

<i>Figure 01: les infrastructures des chemins de fer.</i>	2
<i>Figure 02: les organismes de chemin de fer.</i>	6
<i>Figure 03: Carte du réseau ferroviaire Algérien (SETIRAIL).</i>	7
<i>Figure 04: Rocade Nord</i>	9
<i>Figure 05: Rocade des hauts plateaux</i>	10
<i>Figure 06: Pénétrante Ouest.</i>	10
<i>Figure 07: Pénétrante Est</i>	11
<i>Figure 08: Pénétrante centre</i>	11
<i>Figure 09: Ligne minière</i>	12
<i>Figure 10: Boucle Sud-Ouest</i>	13
<i>Figure 11: Boucle Sud Est</i>	13

Chapitre II

Présentation du projet

<i>Figure 01: Situation du tracé sur la zone d'étude (cartes géologiques d'Algérie 1/500 000, limites wilaya et open street map)</i>	15
<i>Figure 02 : le réseau routier de la wilaya de Laghouat.</i>	17
<i>Figure 03: carte géologique de Laghouat 1/200 000</i>	18
<i>Figure 04: Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008).</i>	22
<i>Figure 05: Photo montrant l'ensablement des routes.</i>	22
<i>Figure 06: Synoptique du tracé</i>	23
<i>Figure 07: carte du tracé étudié (Superposition de la carte géologique d'Algérie 1/500 000).</i>	24

<i>Figure 08 : Description générale du tronçon LAGHOUAT- GHARDAIA (180KM).</i>	26
--------------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre III

Tracé en plan

<i>Figure 01: Eléments géométriques du tracé en plan</i>	29
<i>Figure 02: Dévers.</i>	31
<i>Figure 03: Schéma de raccordement de devers</i>	35
<i>Figure 04: le gauchissement des rails</i>	36
<i>Figure 05: Diagramme des flèches et courbures pour un RP</i>	39
<i>Figure 06: Courbe de raccordement –clothoïde</i>	40
<i>Figure 07: Raccordement Progressif d'inflexion</i>	40

Chapitre IV

Calcul de l'axe

<i>Figure 01: caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements</i>	48
------------------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre V

Profil en long

<i>Figure 01: Eléments géométriques du profil en long</i>	55
<i>Figure 02: Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF)</i>	58

Chapitre VI

Etude géologique et géotechnique

<i>Figure 01: Coupe géologique interprétative de la région de Laghouat. Au Nord de l'accident sud-atlasique, les formations du Continental Intercalaire (en bleu) affleurent localement. Au Sud, ces formations sont enfouies à grandes profondeurs et ne sont pas représentées</i>	63
<i>Figure 02: Limites du domaine SASS en Algérie (UNESCO, 1972)</i>	64
<i>Figure 03: Limites du domaine SASS en Algérie (UNESCO, 1972)</i>	65
<i>Figure 04: photos des caisses F-66-L-G</i>	71
<i>Figure 05: photos des caisses F-70-L-G</i>	72

<i>Figure 06: limite d'atterberg.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 07: le matériel utilisé et le plan de compactage par couches.....</i>	<i>76</i>
<i>Figure 08: essai de compressibilité.....</i>	<i>78</i>
<i>Figure 09: Conception admise des remblais en zones inondable.....</i>	<i>87</i>

Chapitre VII

L'infrastructure ferroviaire

<i>Figure 01 : les couches d'assise.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 02 : épaisseurs de chaque couche.....</i>	<i>95</i>

Chapitre VIII

La superstructure ferroviaire

<i>Figure 01: rail type double champignon.</i>	<i>99</i>
<i>Figure 02: rail type Vignole</i>	<i>100</i>
<i>Figure 03: Rail type Broca ou à gorge.....</i>	<i>101</i>
<i>Figure 04: rail UIC 60 (Source, rapport descriptif Setirail).....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 05: l'écartement entre les rails.</i>	<i>102</i>
<i>Figure 06: Les écartements utilisés dans le monde.</i>	<i>103</i>
<i>Figure 07: rail avarié.</i>	<i>104</i>
<i>Figure 08: rail fissuré.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 09: rail rompu</i>	<i>105</i>
<i>Figure 10: un contre rail dans une partie de croisement</i>	<i>105</i>
<i>Figure 11 : rail de sécurité.....</i>	<i>106</i>
<i>Figure 12 : l'éclissage.</i>	<i>107</i>
<i>Figure 13 : technique de soudure des rails.</i>	<i>107</i>
<i>Figure 14 : traverses en bois</i>	<i>109</i>
<i>Figure 15 : traverses en béton armé Bi bloc.</i>	<i>109</i>

<i>Figure 16 : traverses en béton armé Monobloc.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 17 : traverses métallique</i>	<i>110</i>
<i>Figure 18 : Attaches sur traverses en bois type Crampons</i>	<i>112</i>
<i>Figure 19 : Attaches sur traverses en bois-type tirefond.....</i>	<i>112</i>
<i>Figure 20 : Attaches sur traverses métallique</i>	<i>113</i>
<i>Figure 21 : Fixation Fastclip Type Pandrol DEE SD</i>	<i>114</i>
<i>Figure 22 : Fixation Fastclip Type Pandrol DFF-ADH</i>	<i>114</i>
<i>Figure 23 :L'attache de type NABLA</i>	<i>115</i>
<i>Figure 24 : caténaire.</i>	<i>116</i>
<i>Figure 25 : Fil de contact 107mm² rainures pour caténaire 1x25Kv.....</i>	<i>117</i>
<i>Figure 26 : appareil de voie branchement simple.</i>	<i>118</i>
<i>Figure 27 : branchement symétrique.....</i>	<i>119</i>
<i>Figure 28 : branchement double.....</i>	<i>119</i>
<i>Figure 29 : appareil de voie type traversés.</i>	<i>120</i>
<i>Figure 30 : traversées obliques.</i>	<i>120</i>
<i>Figure 31 : type de croisement</i>	<i>121</i>
<i>Figure 32 : Croisement intersection double.</i>	<i>121</i>
<i>Figure 33 : Appareil de voie.....</i>	<i>122</i>
<i>Figure 34 : Appareil de voie.....</i>	<i>122</i>

Chapitre IX

Hydraulique et assainissement

<i>Figure 01 : Fossé béton armé.....</i>	<i>143</i>
<i>Figure 02 : dimensions d'un fossé trapézoïdal</i>	<i>145</i>

Chapitre X

Profil en travers

<i>Figure 01 : les éléments de profil en travers.</i>	<i>149</i>
<i>Figure 02 : les sections d'un profil en travers d'un tracé donné.</i>	<i>151</i>
<i>Figure 03 : profil en travers type SNTF</i>	<i>153</i>

Chapitre XI

Les gares et les ouvrages d'arts

<i>Figure 01 : gare à marchandises.....</i>	<i>155</i>
<i>Figure 02 : longueur utile.....</i>	<i>156</i>
<i>Figure 03 : Quai voyageurs.....</i>	<i>157</i>
<i>Figure 04 : Quai marchandises</i>	<i>158</i>
<i>Figure 05 : schéma de la gare de Hassi R'mel.....</i>	<i>161</i>
<i>Figure 06 : Quai voyageurs (source UIC 741).....</i>	<i>161</i>
<i>Figure 07 : garage franc.....</i>	<i>162</i>
<i>Figure 08 : Coupe transversale type tablier poutres précontraintes (pont rail).....</i>	<i>164</i>
<i>Figure 09 : coupe longitudinale pont à poutres</i>	<i>165</i>
<i>Figure 10 : Coupe transversale pont route type à poutres.....</i>	<i>165</i>

Chapitre XII

La signalisation ferroviaire

<i>Figure 01 : Le système européen de contrôle des trains niveau 1.....</i>	<i>167</i>
<i>Figure 02 : Le système européen de contrôle des trains niveau 2.....</i>	<i>169</i>
<i>Figure 03 : Exemple d'une signalisation lumineuse.....</i>	<i>170</i>
<i>Figure 04 : exemple d'une signalisation mécanique.....</i>	<i>171</i>
<i>Figure 05 : exemples de signalisation d'arrêt.....</i>	<i>173</i>
<i>Figure 06 : Pancarte (point de transition de la vitesse-limite d'une section de ligne).....</i>	<i>174</i>

<i>Figure 07 : Indicateur de direction indiquant que la direction géographique donnée est la deuxième à partir de la gauche.....</i>	<i>175</i>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Chapitre XIII

Etude de l'impact sur l'environnement

<i>Figure 01 : formation traversée par le tracé.....</i>	<i>179</i>
<i>Figure 02 : rareté du couvert végétal.....</i>	<i>180</i>
<i>Figure 03 : Quelques espèces faunistiques de la zone d'étude.</i>	<i>181</i>
<i>Figure 04 : Pin d'Alep</i>	<i>183</i>
<i>Figure 05 : Cyprés vert.....</i>	<i>183</i>
<i>Figure 06 : Parcelle d'Eucalyptus.....</i>	<i>183</i>
<i>Figure 07 : Parcelle de Tamarix</i>	<i>183</i>

Liste des tableaux

Chapitre II

Présentation du projet

Tableau01 : Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maxima et des minima pour les dix ans (2008-2018) wilaya de Laghouat. (Source : rapport hydraulique SETIRAIL) 20

Tableau02 : Précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (2008-2018).

(Source : rapport hydraulique SETIRAIL) 20

Tableau03 : Humidité relative moyenne mensuelle de Laghouat (2008 -2018).

(Source : rapport hydraulique SETIRAIL) 21

Tableau04 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de Laghouat (2008 -2018).

(Source : rapport hydraulique SETIRAIL). 21

Chapitre III

Tracé en plan

Tableau01 : Valeurs maximales admissibles de variation de dévers par rapport aux longueurs (Rp) (UIC703R)..... 36

Tableau02 : Longueur minimum des alignements et plein courbe (fiche technique SNTF) 41

Tableau03 : récapitulatif des valeurs limites de paramètre du tracé..... 43

Chapitre IV

Calcul de l'axe

Tableau01 : les données de l'arc choisi pour l'exemple. 50

Chapitre V

Profil en long

Tableau01 : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter..... 57

Tableau03 : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter (source SNTF).. 59

Tableau04 : les valeurs de la longueur minimale de la déclivité (source SNTF). 59

Chapitre VI

Etude géologique et géotechnique

Tableau01 : Coefficients d'accélération en fonction du type d'ouvrage et la sismicité de la zone (RPA 99/ version 2003).....	66
Tableau02 : exemples de puits de reconnaissances.	68
Tableau03 : exemples de résultats de sondages carottés	70
Tableau04 : Type d'essais de laboratoire réalisés	74
Tableau05 : essai de cisaillement	78
Tableau06 : tableau des résultats des essais laboratoire	79
Tableau07 : classification des sols du tronçon by pass1	81
Tableau08 : classification des sols.....	83
Tableau09 : Liste des remblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m ($H \geq 8$ mètres)	88

Chapitre VII

L'infrastructure ferroviaire

Tableau01 : les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.....	93
Tableau02 : les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs	93
Tableau03 : épaisseurs des composants de la structure d'assise	95

Chapitre IX

Hydraulique et assainissement

Tableau01 : pluies annuelles de Laghouat.....	126
Tableau02 : précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (2008-2018).....	127
Tableau03 : variables de gauss en fonction de la période de retour	128
Tableau04 : valeurs du paramètre de Montana "a".....	129

Tableau05 : Coefficients de ruissellement selon la méthode de Kenessey.	132
Tableau06 : Temps de concentration des bassins versant traversés par le By PASS01 Hassi R'mel	134
Tableau07 : caractéristiques physiques des bassins versant traversés par le by PASS 01 Hassi R'mel	135
Tableau08 : Coefficients de MANNING-STRICKLER	139
Tableau09 : Résultats de dimensionnement	140

Chapitre XI

Les gares et les ouvrages d'arts

Tableau01 : liste des ouvrages d'art.....	163
--------------------------------------------------	-----

Chapitre XII

La signalisation ferroviaire

Tableau01 : les signaux de cabine.	172
Tableau02 : visibilité des signaux.	176

Introduction générale

Les infrastructures de transport, sont un élément primordial pour garantir la liberté de déplacement des personnes et des biens, ainsi que pour assurer le fonctionnement et le développement de l'économie des pays. La nécessité du développement de ces infrastructures, a conduit à l'innovation du mode de transport ferroviaire.

Depuis leur création, les chemins de fer n'ont pas cessé de s'étendre dans le monde entier. Leur réalisation, est une partie importante de l'aménagement des territoires. Elle représente un enjeu écologique, économique et social tant ses avantages sont énormes.

L'Algérie, est l'un des pays qui donne une grande importance aux infrastructures ferroviaires, dont le but, est la modernisation et le développement du pays. Son réseau ferroviaire, est d'ailleurs le plus développé d'Afrique. Une grande partie de ces ouvrages a néanmoins besoin de modernisation, afin de coller avec les défis économiques et sociaux des temps modernes.

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires, inscrit au plan quinquennal du secteur du transport algérien, l'agence nationale d'étude et de suivi des réalisations des investissements ferroviaires (ANESRIF) restructurent le réseau ferroviaire national qui permettra, l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, ainsi que le désenclavement des régions du Sud du pays.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée entre Laghouat et Ghardaïa, qui fait une partie intégrante du méga projet Boucle Sud Est, reliant les pénétrantes ferroviaires El Cheffa-Laghouat à El Gourzi-Hassi Messaoud.

Dans notre travail de fin d'études, nous allons procéder à l'étude du tronçon : by pass1, du PK0 au PK18 avec aménagement de la gare de HASSI RMEL, à partir du PK89+470 de cette nouvelle ligne ferroviaire électrifiée LAGHOUAT-GHARDAIA.

Chapitre I

Généralités sur les chemins de fer

I. Introduction :

Le « chemin de fer » est un système de transport de masse terrestre. Les trains se déplacent seuls (traction diesel) ou transmettent à distance (traction électrique) à l'aide de roues en acier sur une voie de guidage en acier, dédiée définie par deux rails parallèles.

L'infrastructure est composée essentiellement de deux files de rails posés sur des traverses appelée voie ferrées, des appareils de voie, des passages inférieurs et supérieurs, de la signalisation et, le cas échéant des installations de traction électrique (sous-stations, caténares, ...etc.).

Le matériel roulant circule communément en convois, appelé trains ou rames. Les convois sont tractés par des locomotives, ou sont autotractés ; on parlera alors de rame automotrice (électrique) ou d'autorail (diesel).

Le chemin de fer fait appel au roulement acier sur acier, les roues étant munies d'un boudin garantissant le maintien des véhicules sur les rails. Ce système est utilisé aussi par des déclinaisons considérées généralement comme des chemins de fer spécialisé : métros, tramways, chemins de fer à crémaillère.

Enfin, le chemin de fer présente un des moyens de transport les plus fréquentés grâce aux grands avantages qu'il offre ainsi qu'il est considéré comme l'une des bases de la politique de l'aménagement des territoires.



Figure01: les infrastructures des chemins de fer.

II. Historique :

L'idée de faire circuler des charges lourdes sur des rails remonte aux premières exploitations minières. En 1825, la première ligne ferroviaire au monde Stockton - Darlington a été inaugurée dans les Midlands en Angleterre. Il s'agit de la transposition à l'air libre d'un chemin de fer minier, avec des chevaux et des machines à vapeur fixes qui tirent les wagonnets.

A partir de 1840, le chemin de fer connut un développement remarquable dans les pays qui disposaient de charbon, ou qui pouvaient facilement en importer, comme l'Europe et les Etats-Unis d'Amérique. Bénéficiant de la révolution industrielle, les grands réseaux ferrés furent construits entre 1830 et 1890. En 1875, un demi-siècle après la naissance des premières voies ferrées, on comptait 129 000 Km des lignes aux Etats-Unis et 123 000 Km en Europe occidentale. Quelques années plus tard on dénombrait 363 000 Km des voies ferrées dans le monde, dont 172 000 Km en Europe et 165 000 Km aux Etats-Unis. En 1950, ces dernières étaient desservies par 350 000 Km des lignes ferroviaires sur un total de 1,3 millions de Km.

À notre époque, ce mode de traction est encore présent dans le monde entier ; dans certains pays d'Afrique ou d'Amérique du Sud, par exemple, il est le seul utilisé. Certes, ses heures de gloire sont désormais passées et son rôle devrait aller diminuant. Tout simplement parce que ses performances ont atteint un seuil difficilement franchissable, mais aussi parce que la traction électrique, moins coûteuse en énergie et plus performante à grande vitesse, a pris le relais un peu partout dans le monde.

A. L'union internationale des chemins de fer :

L'idée de créer une organisation internationale fédérant les entreprises ferroviaires est née le 23 novembre 1921, dans le cadre de la Conférence de Portorosa en Italie, puis de la conférence internationale de Gênes le 3 mai 1922. Les délégués des états décidèrent la création d'une conférence permanente des autorités ferroviaires fusion et améliorer les conditions de construction et d'exploitation du chemin de fer trafic international.

La Conférence internationale de fondation de l'UIC a eu lieu le 17 octobre 1922 Paris. L'UIC comptait 51 réseaux et entreprises ferroviaires sur 29 au moment de sa création pays, dont le Japon et la Chine.

1. Présentation

a. Les membres de l'UIC :

L'U.I.C est une organisation Internationale qui compte :

- 81 membres actifs : dont les Chemins de fer d'Europe, de Russie, du Proche-Orient, du Maghreb, de l'Afrique du Sud, de l'Inde, du Pakistan, de la Chine, du Japon, de la Corée, du Kazakhstan, et de compagnies à rayonnement mondial telles que Veolia Transport.
- 79 membres associés : comprenant des Chemins de fer d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Australie.
- 34 membres affiliés : exerçant des activités connexes ou complémentaires au transport ferroviaire.

b. La Mission de l'U.I.C :

Promouvoir le transport ferroviaire à l'échelle mondiale et relever les défis de la mobilité et du développement durable.

c. Objectifs principaux de l'U.I.C :

- Facilite l'échange de bonnes pratiques entre les membres de l'analyse des modèles.
- Soutenir les membres dans leurs efforts pour développer de nouvelles activités ou de nouveaux champs d'activité.
- De nouvelles pistes d'amélioration de la performance environnementale sont proposées.
- Promouvoir l'interopérabilité, créer de nouvelles normes mondiales pour Pathways fer (incluant des normes communes pour plusieurs modes de transport).

2. Classification des lignes d'UIC :

L'Union International des Chemins de fer (UIC) a établi une classification des lignes en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic.

Les lignes à grande vitesse ainsi que les grandes lignes du réseau ferré national appartiennent en principe aux :

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

III. Historique des chemins de fer en ALGERIE :

La construction des chemins de fer en Algérie fut l'œuvre de Napoléon III, vivement encouragé par son demi-frère le duc de MORNY. Celui-ci fort intéressé, à tous les sens du terme, par ce nouveau mode de transport, fut entre autres postes, Président de la Compagnie du Grand-Central et Vice-président de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans (Le Paris-Orléans).

Le décret impérial du 8 avril 1857 prévoyait la construction de 1 357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie. Six compagnies ont été Créées pour réaliser ce programme : les Compagnies Bône-Guelma (BG), l'Est Algérien (EA), la compagnie des chemins de fer algériens, Paris-Lyon-Méditerranée (PLM), l'Ouest Algérien (OA) et Franco-algérienne.

Le 18 juillet 1879 une nouvelle campagne d'investissement fut lancée à l'échelle nationale pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant. Ce projet a été confié à des investisseurs privés et des collectivités locales.

Après trente ans le réseau se renforce de 2035 Km de lignes de chemins de fer.

A la fin de la deuxième guerre mondiale, le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5015 km. Constituant ainsi l'armature du présent réseau ferroviaire algérien.

Le 30 juin 1959, l'État français a créé la compagnie des chemins de fer Français en Algérie (CCFA) qui devint en 1963 la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens).

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

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

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

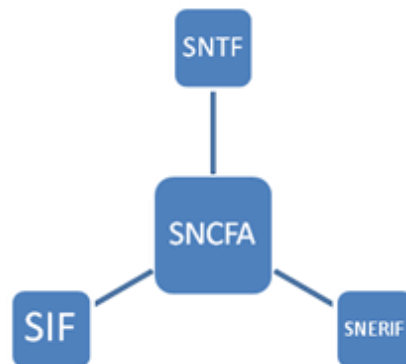


Figure02 : les organismes de chemin de fer.

IV. Le trafic ferroviaire Algérien :

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

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

V. Réseaux ferroviaires Algériens :

Le réseau ferroviaire Algérien comporte trois ensembles :

1. La rocade nord à voie normale reliant Annaba, Constantine, Alger, Oran avec ses prolongements aux frontières Est (Tunisie) et Ouest (Maroc). Cette rocade constitue l'artère principale des échanges entre les régions actuellement les plus développées dans le pays avec des rattachements la reliant aux ports et à diverses villes.

2. La ligne minière Est avec ses embranchements desservant les gisements miniers : le fer à Ouenza et Boukhadra et le Phosphate à Djebel Onk.

3. Les pénétrantes en direction des hauts plateaux et du sud et une rocade des hauts plateaux reliant les villes de Tébessa/Ain-Mlila/Ain-Touta/M'sila. Auxquels viennent s'ajouter les embranchements particuliers.

La carte ci-dessous montre l'ensemble de ce réseau ferroviaire.

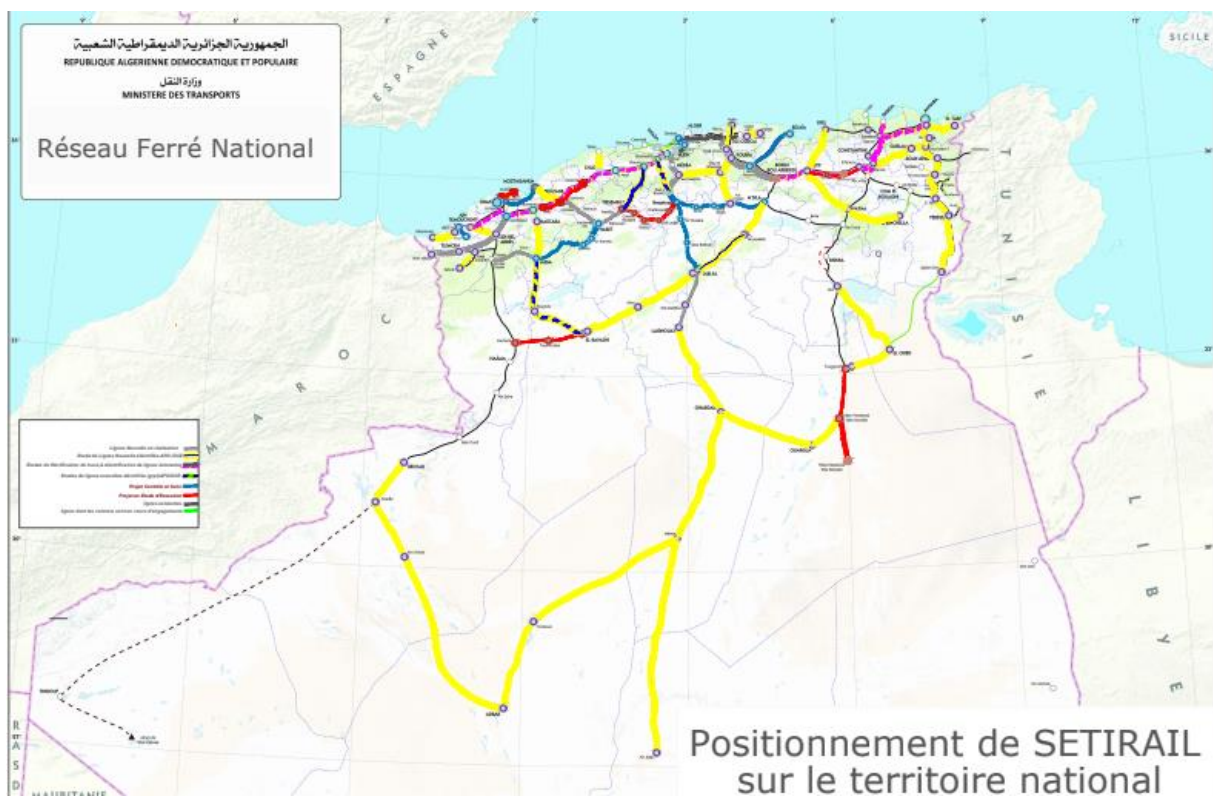


Figure03 : Carte du réseau ferroviaire Algérien (SETIRAIL).

VI. Consistance du réseau :

Le réseau ferroviaire algérien est aujourd'hui parmi le plus moderne d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. Actuellement la SNTF exploite un réseau de 4498km avec les caractéristiques suivantes :

- lignes en exploitation : 3750km
- lignes en double voie : 553km
- lignes en voie unique : 3217km
- lignes électrifiés : 323km

Ce réseau comporte :

- 175 gares en exploitation
- 215 haltes en exploitation
- 553 ouvrages d'arts, dont l'ouverture est supérieure à 10 m
- 5279 ouvrages d'art dont l'ouverture est inférieure à 10 m
- 139 tunnels avec un linéaire total de 40km
- 267 passages à niveau gardé et 959 passages à niveau non gardé

Il assure le transport de :

- **Voyageurs**
 - Nombre de voyageurs transportés par an : 36 216 111 voyageurs
 - Grandes lignes : 845 708
 - Régional : 2 028 542
 - Banlieue : 33 341 861
- **Marchandises**
 - Nombre de tonnages transportés : 4 198 674 T
 - Nombre de tonnages/km : 928 058 000 T/km

Nombre de trains /jour sur l'ensemble du réseau 242 avec :

- Grandes lignes : 12
- Régional : 68
- Banlieue : 162

VII. Programme ferroviaire national :

Dès la période coloniale, le transport ferroviaire est passé par plusieurs stations consécutives, pour la construction des nouvelles lignes sur le territoire national. Actuellement, le transport ferroviaire algérien connaît une véritable reprise grâce au budget important qui lui a été attribué pour le moderniser.

Le programme ferroviaire Algérien comporte quatre ensembles :

A. Les rocales :

- **Rocade Nord** : relie les frontières Est-Ouest sur 1250 KM avec 572 km linéaire des dessertes, cette ligne passe par 22 villes, 216 gares et haltes et raccordé 09 ports.



- **Rocade des hauts plateaux** : cette rocade est parallèle à celle du nord de Moulay Slissen dans l'ouest vers Tébessa dans l'Est sur 1160 km, 532 km en exploitation et 628km est en cours de réalisation. Cette ligne désenclave les villes des hauts plateaux et exploite l'économie de cette région.



Figure05 : Rocade des hauts plateaux.

B. Les pénétrantes :

- **Pénétrante Ouest :** située dans la longe des frontières Ouest de Tabia vers Béchar sur une linière de 580 Km, et une jonction avec Tindouf sur 950 km est en étude.



Figure06 : Pénétrante Ouest.

- **Pénétrante Est :** d’El Ghorzi dans le Nord vers Hassi Messaoud au Sud avec une liaison de 457Km, qui désenclave les villes des Oasis et desserve le pôle pétrolier.



Figure07 : Pénétrante Est.

- **Pénétrante centre** : cette ligne relie Laghouat à la capitale par Blida, Kaser El Boukhari et Djelfa avec environ 440 km de longueur.



Figure08 : Pénétrante centre.

C. Ligne minière :

Cette ligne va d'Annaba (port commercial, métallurgie) vers les mines de Djebel Onk, sur un linéaire de 588 km, et sera étendue vers le sud du pays, notamment El Oued et Touggourt.



Figure09 : Ligne minière.

D. Les boucles :

- **Boucle Sud-Ouest :** il s'agit d'une boucle de 1500km, elle relie toutes les villes du Sud-Ouest en allant de Ghardaïa jusqu'à la ville de Béchar. Elle traverse les villes de Menéa, Timimoune, Adrar, Béni Abbès et une jonction avec Ain Salah et Tamanrasset.



Figure10 : Boucle Sud-Ouest.

- **Boucle Sud-Est :** cette ligne part de Laghouat à Hassi Messaoud, en passant par Ghardaïa et Ouargla.



Figure11 : Boucle Sud Est

VIII. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu des généralités sur les chemins de fer. Le transport ferroviaire devient de plus en plus présent de nos jours. Il est plus que nécessaire pour le développement et l'amélioration des conditions de l'investissement, du commerce et l'augmentation des échanges entre les différentes régions dans le pays. Pour cela, il faut créer de nouvelles lignes ferroviaires.

Chapitre II

Présentation du projet

I. Introduction :

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires inscrit au plan quinquennal du secteur du transport algérien, l'agence nationale d'étude et de suivi des réalisations des investissements ferroviaires (ANESRIF) restructure le réseau ferroviaire national qui permettra, l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, le désenclavement des régions du Sud du pays.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée entre Laghouat et Ghardaïa qui fait une partie intégrante du méga projet Boucle Sud Est, reliant les pénétrantes ferroviaires El Cheffa-Laghouat à El Gourzi-Hassi Messaoud.

II. Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude est située au Nord du Sahara, au pied de l'Atlas Saharien à près de 330 km au Sud d'Alger. Géographiquement, cette zone marque la limite entre deux domaines différents l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud.

Le tracé traverse le territoire de deux Wilayas Laghouat et Ghardaïa, cette zone est limitée :

- Au Nord, par les wilayas de Tiaret et Djelfa ;
- A l'Est, par la wilaya d'El Bayadh ;
- A l'Ouest, par la partie Sud de la wilaya de Djelfa et Tiaret ;
- Au Sud, par la wilaya d'Adrar et la partie Sud de la wilaya de Ghardaïa (El Menia).

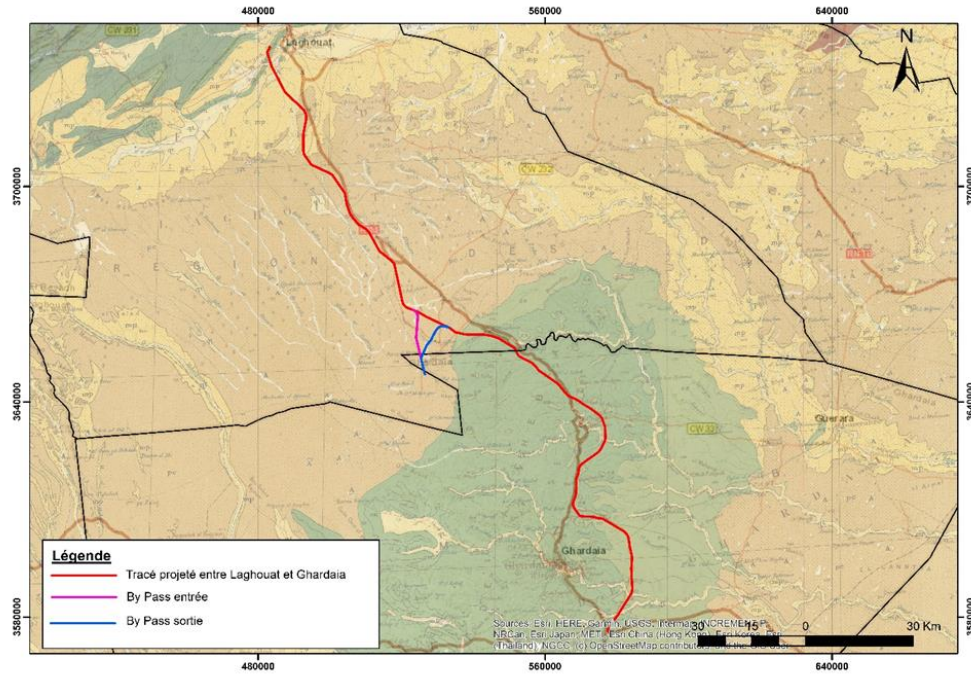


Figure01 : Situation du tracé sur la zone d'étude (cartes géologiques d'Algérie 1/500 000, limites wilaya et open street map)

III. Activités humaines et réseaux de la wilaya de Laghouat :

A. La population :

La population totale de la wilaya (Laghouat) est estimée à 560 473 habitants (2012), soit une densité de 22.4 habitants par Km².

- Taux de croissance de la population : 4.5%
- Taux d'urbanisation : 68.5%
- Population active : 207 014 hab.
- Population occupée : 186 952 hab.

B. L'agriculture :

La vocation de la zone d'étude (Laghouat et Ghardaïa) est agro-pastorale et elle enregistre un développement spectaculaire de cette activité notamment la phœnici-culture et la céréaliculture sous pivot grâce à son climat et à la mobilisation de la ressource hydrique.

C. L'industrie :

La population active est de 170291 dont 154767 occupées, répartie entre cinq importants secteurs :

- Agriculture : 34944 soit 22.55 %
- B.T.P : 40118 soit 25.89 %
- Industrie : 195588 soit 12.64 %
- Administration : 16364 soit 10.56 %
- Services (Transport, Commerces): 43929 soit 28.35 %

D. Les infrastructures de transport :**• Réseau routier :**

403 Km routes nationales, 394 Km chemins de wilaya, 513 Km chemins.

Le réseau se présent comme suit :

Le réseau revêtu de la wilaya représente : 89% du réseau total.

Le réseau routes nationales revêtues à 100% couvre presque 30,76% du réseau total de wilaya.

Le réseau chemins communaux revêtus à 73% couvre de 39,16% du réseau totale de la wilaya.

Le réseau chemins de wilaya revêtus à 100% couvre de 30,07% du réseau total.

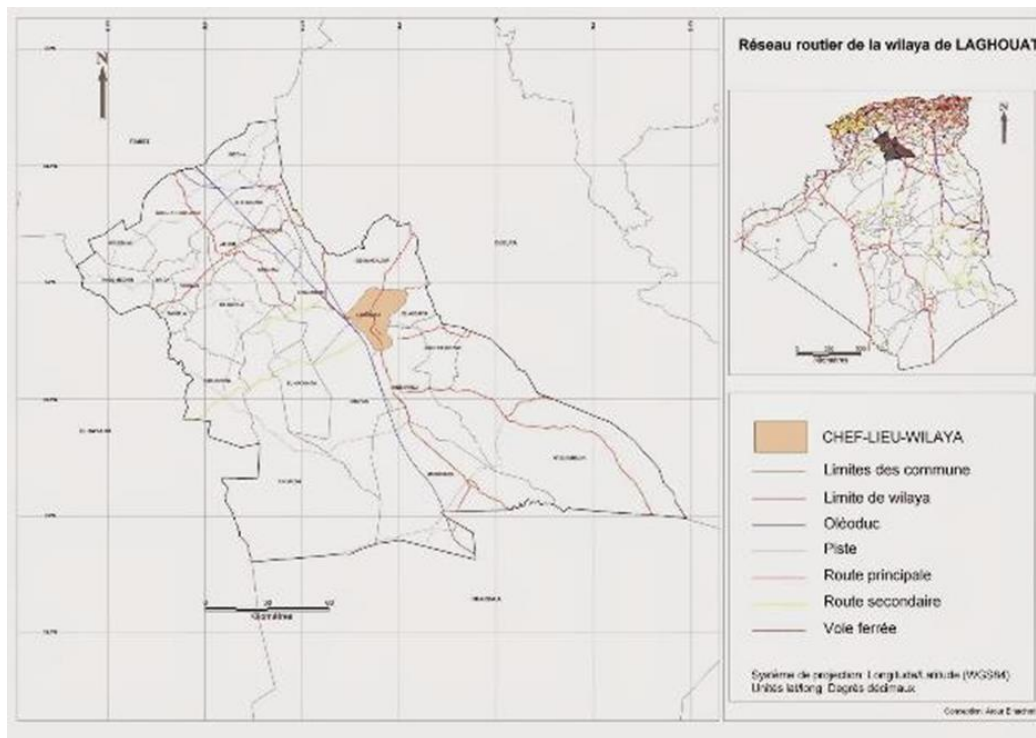


Figure02 : le réseau routier de la wilaya de Laghouat.

- **Réseau aéroportuaire :**

Il existe deux aéroports, l'un à Hassi R'mel (Sonatrach) et l'autre à Laghouat (aéroport militaire).

IV. Situation géographique et reliefs :

A. Présentation de la wilaya de Laghouat :

Située au cœur du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya s'étend sur une superficie de 25 000 km² et compte 484 252 habitants, elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Tiaret
- A l'Est par la Wilaya de Djelfa
- Au Sud par la Wilaya de Ghardaïa
- A L'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh.

B. Présentation de la wilaya de Ghardaïa :

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara algérien. A environ 600Km au sud de la capitale du pays, Alger.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560Km², elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- À l'Est par la Wilaya d'Ouargla ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- À l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh.

La wilaya comporte actuellement 11 communes regroupées en 8 Dairas pour une population de 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km².

C. Cadre géologique :

Géologiquement, on est à la limite de deux domaines complètement différents : l'Atlas saharien et la Plate-forme saharienne. Cette zone limite est l'accident sud atlasique qui sépare l'Atlas saharien plissé de la plateforme saharienne stable et tabulaire.

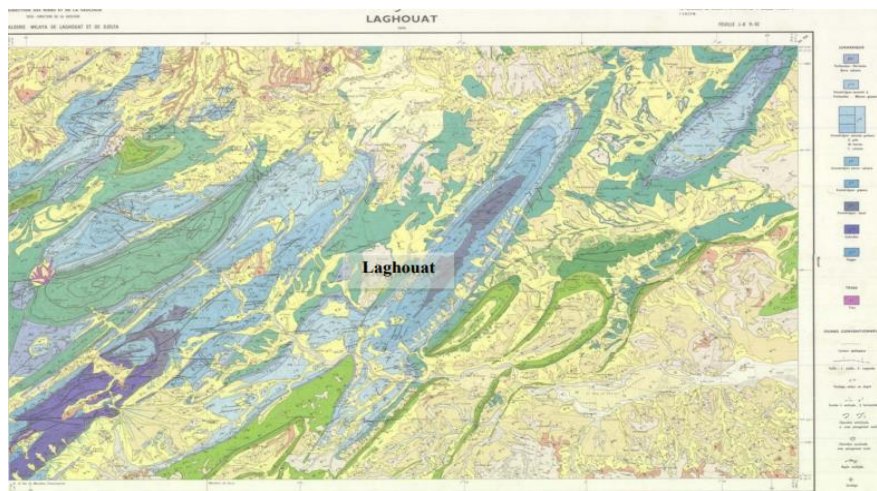


Figure03 : carte géologique de Laghouat 1/200 000

D. Le climat :

La région de Laghouat caractérise par un climat aride où les précipitations moyennes annuelles oscillent entre 100 et 200 mm. Malheureusement on ne dispose pas de données récentes, continues, concernant les précipitations pour suivre l'évolution temporelle de la pluviométrie. En se référant à la station pluviométrique de Laghouat, située à 767 m d'altitude, la moyenne calculée pour la période 1914-1968 est estimée à 170 mm/an. La température moyenne, toujours à la même station, est de 17,2°C/an (J. Dubief, 1963, et A.N. Taïbi, 1997). La série 1878-1969 est marquée par trois principales périodes de sécheresse (une année est déclarée sèche si la moyenne est inférieure à 170 mm) : 1914-1920, 1943-1948 et 1958-1961. Mais la plus longue et récente période sèche est celle de 1970-1986. Selon le climo-gramme pluviothermique qui indique un Quotient d'Emberger ($Q = 17$), Laghouat se localise à la limite du climat aride-saharien.

Les vents les plus fréquents au sol, d'après la station de Laghouat, soufflent essentiellement du Nord-Ouest (Seltzer, 1946, in Taïbi, 1997), globalement pour les 7h, 13h et 18h (représentant 30% de fréquence). Les autres directions des vents représentent respectivement : Nord (15%), Ouest (1%), Sud-Ouest (10%), Nord-Est (10%), Sud (3-8%), Sud-Est (5%) ; les fréquences inférieures à 3% ne sont pas prises en compte.

- **La température :**

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrogéologique. C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région, l'analyse des données du Tableau 01, montre que le plus grand écart s'observe au mois de Juillet avec un maximum de 39,06°C et un minimum de 24,51 °C avec 14,55 °C, par contre le plus faible écart s'observe en décembre avec un maximum de 15,09°C et un minimum de 3,15°C avec 11,94 °C. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud est de 39.06° C en Juillet et celle du mois le plus froid est de 2.79° C en Janvier.

Tableau01 : Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maxima et des minima pour les dix ans (2008-2018) wilaya de Laghouat. (Source : rapport hydraulique SETIRAIL)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
T_{Min} (°C)	19.15	13.34	7.08	3.15	2.79	3.95	7.01	11.42	16.02	20.5	24.51	23.89
T_{Max} (°C)	32.15	26.21	19.13	15.09	14.95	15.99	20.05	25.07	29.77	34.65	39.06	38.11
T_{Moy} (°C)	25.78	19.83	12.9	8.93	8.78	9.97	13.81	18.67	23.5	28.31	32.46	31.43

• **Précipitations :**

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année, avec une moyenne de 30.54 mm. Tandis que les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet, avec 6.21 mm seulement.

Tableau02 : Précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (2008-2018). (Source : rapport hydraulique SETIRAIL)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
P(mm)	30.54	25.24	12.02	11.77	10.0	8.96	10.44	18.79	14.8	8.35	6.21	10.21

• **L'humidité :**

On remarque que l'humidité est très faible à la wilaya de Laghouat, ceci est dû à sa situation géographique. L'humidité relative mensuelle est très faible en Juillet et Août (26.22%) elle atteint son maximum en Décembre avec 64.64%.

Tableau03 : Humidité relative moyenne mensuelle de Laghouat (2008 -2018). (Source : rapport hydraulique SETIRAIL)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Aout
Humidité (%)	41.93	52.02	58.1	64.64	59.78	52.9	45.68	38.95	34.57	31.32	26.22	28.74

• **Le vent :**

La vitesse moyenne annuelle des vents de la région de Laghouat est 4.12 m/s, avec un maximum de 5,13 m/s au mois de Mai, et un minimum de 3.25 m/s au mois de Décembre.

Tableau04 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de Laghouat (2008 -2018). (Source : rapport hydraulique SETIRAIL).

Mois	jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
V (m/s)	4.15	5.03	5.01	4.97	5.13	4.49	4.11	3.80	3.68	2.87	3.60	3.25

E. La sismicité :

D’après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d’arts (RPOA, 2008), le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies ci-dessous (fig.II.3) :

Zone 0 : sismicité négligeable ;

Zone I : Sismicité faible ;

Zone IIa : Sismicité moyenne ;

Zone IIb : Sismicité élevée ;

Zone III : Sismicité très élevée.

D’après ce découpage, la zone d’étude est située la zone I, caractérisées par une sismicité faible.

V. Description du projet :

La ligne Laghouat-Ghardaïa desservant les villes de Laghouat, Belil, Berriane, Oued N'chou, Metlili et Hassi R'mel, est d'une longueur d'environ (230) km et une vitesse d'exploitation et 220Km/h avec un bypass de 36 km.

Le projet est reparti en deux tronçons :

-Tronçon 01 : Laghouat / Hassi R'mel du PK 0+000 au PK 90+000 avec le Bypass1.

-Tronçon 02 : Hassi R'mel / Ghardaïa du PK 90+000 au PK 228+553 avec le Bypass2



Figure06 : Synoptique du tracé

VI. Présentation du projet étudié :

Sur le tronçon 01 le By pass1 prend naissance au PK 89+470 avec un système de piquetage réceptive dont l'origine est le corridor initial jusqu'à aboutir la gare de Hassi R'mel, avec un linéaire respective de 18Km et un relief relativement plat. Le bypass traverse deux contraintes majeur à savoir la zone énergétique de Hassi R'mel (pipeline) ainsi qu'une zone inondable.

Notre projet intitulé « Etude de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée LAGHOUAT-GHARDAIA (ligne à voie unique à vitesse 220km/h). Tronçon : by pass1 (PK0-PK18) à partir du PK89+470 de la ligne principale. De la gare de bifurcation jusqu'à la gare de HASSI RMEL, avec aménagement de la gare de HASSI RMEL. »

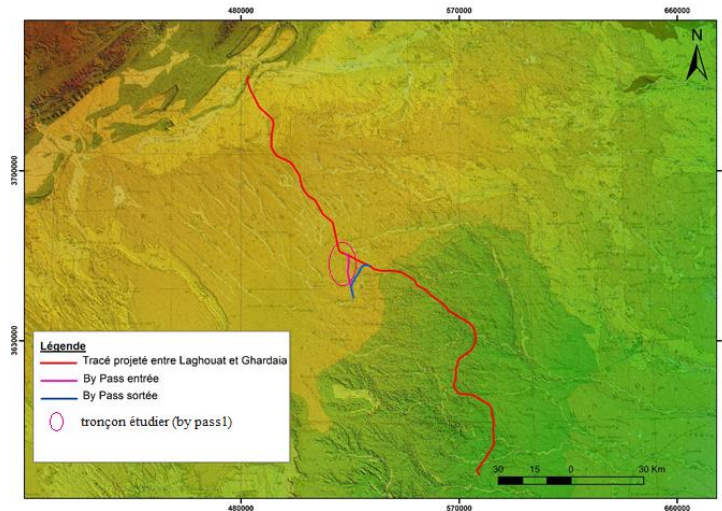


Figure07 : carte du tracé étudié (Superposition de la carte géologique d'Algérie 1/500 000).

VII. Caractéristiques techniques de la ligne :

- Ligne à voie unique
- Trafic mixte :
- Vitesse max voyageurs : 220 km/h ;
- Vitesse max marchandises : 100 km/h ;
- Pente maximale : 16‰ (0‰ en gares) ;
- Rayon planimétrique minimale : 2100 m ;
- Rayon altimétrique minimale : 20 000 m.

VIII. Le but du projet :

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

Il vise dans sa globalité les objectifs suivants :

- Désenclavement et le développement des hauts plateaux.
- Assurer la liaison rapide entre les agglomérations.
- L'amélioration des performances du chemin de fer.

- Relèvement du niveau de compétitivité du transport ferroviaire.

IX. Etude préliminaire :

La mission d'étude préliminaire est organisée dans l'objectif de définir les premiers couloirs de tracés envisagés, en fonction des besoins et conditions fonctionnels exigés par l'ANESRIF.

C'est une phase d'identification des contraintes majeures en termes de reliefs, de géologie, de géotechnique et d'hydraulique, pouvant influencer sur le coût du projet et sur sa phase d'exploitation. C'est une phase de recueil d'informations sur les réseaux d'infrastructures, ceux de l'énergie et de télécommunications existants ou projetés, pouvant chevaucher avec le couloir des tracés.

Le tronçon entre Laghouat et Ghardaïa prend la direction générale Nord-Sud-Est, partant de la gare de Laghouat, dont le nouvel emplacement se situe dans la localité d'EL Kheneg du côté Ouest de la ville de Laghouat, rejoint de près le tracé du pipe (MED gaz) côté Est pour la variante (01) et (03) via Hassi-Rmel, ou bien le tracé de la RN1 côté Ouest variante (02) et côté Est pour la variante (04) via Berriane. A la sortie de Hassi-Rmel vers Ghardaïa, la variante (01) suit le chemin de pipe (MED gaz) direction Sud-Est sur un relief très accidenté (beaucoup de monticules et hamadas) pour rejoindre la localité d'El Atteuf.

Alors que la variante (03) se dirige vers la localité de Bouzbier où elle se superpose avec la variante (02) en longeant la RN1 côté droit vers Ghardaïa. La variante (04) longe la RN1 côté gauche vers Ghardaïa rejoignant les variantes (02) et (03) au niveau de la gare de Berriane, ces dernières se superposent pour rejoindre la localité de Metlili en longeant la route de déviation (route du poids lourds) qui contourne la ville de Ghardaïa à l'Est sur un relief pratiquement plat, néanmoins la variante (04) prend direction vers l'aéroport Noumerate pour rejoindre la localité d'El Etef.

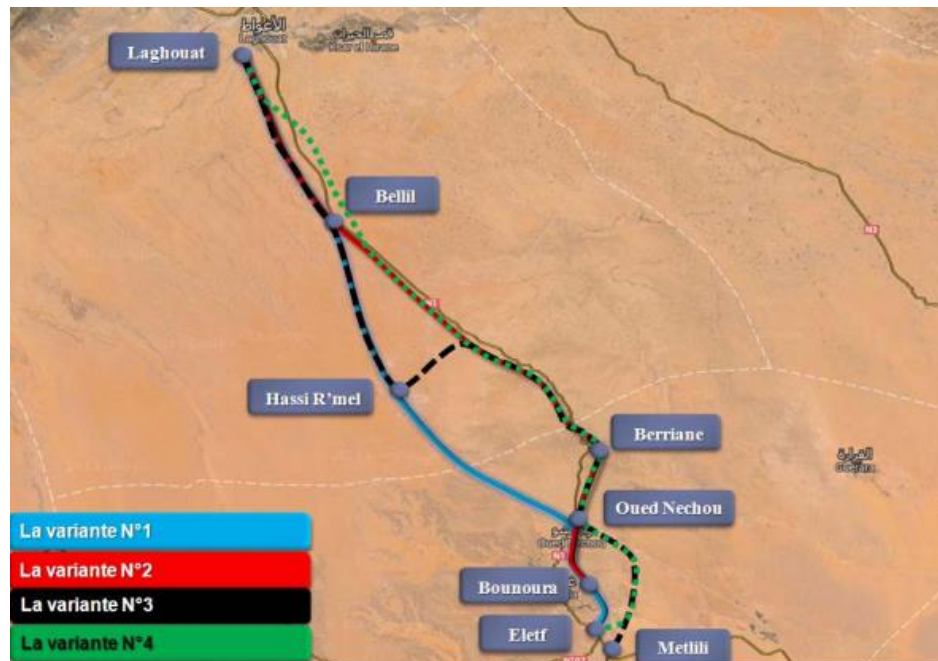


Figure08 : Description générale du tronçon LAGHOUAT- GHARDAIA (180KM).

Le bypass1 se situe au-dessus de la variante(1) et la variante (3).

X. Conclusion :

L'identification de la zone est une étape très importante dans l'étude de chaque projet, car elle est essentielle dans l'étude géotechnique et géologique et chaque étape qui en suit.

La ligne ferroviaire Laghouat-Ghardaïa a pour objectif d'améliorer le transport de voyageurs de la région, ainsi que l'activité économique. Le projet répondra aux objectifs économiques et aux besoins sociaux de la région, résoudra le problème du transport des personnes et des marchandises, et permettra aux voyageurs de voyager à temps, tout en respectant les réglementations environnementales.

Chapitre III

Tracé en plan

I. Introduction :

Le tracé en plan est une projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la voie ferrée.

Il est constitué par une succession de segments de droites raccordés entre eux par des arcs de cercles.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité. Sans omettre que dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques :

V_{\max} : vitesse des trains rapides (voyageurs).

V_{\min} : vitesse des trains lents (marchandises)

La vitesse de circulation des trains est sans doute le paramètre le plus important dans la problématique des études de tracé.

Les caractéristiques du tracé en plan et en élévation déterminent dans une large mesure la vitesse maximale de circulation des trains. En effet, la vitesse de circulation est limitée par :

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

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

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

II. Les éléments constitutifs du tracé en plan :

A. Les alignements droits :

L'équation du mouvement du train est à un seul degré de liberté donc l'alignement droit est le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique. Un alignement droit est une courbe de rayon infini ($R=\infty$) (de courbure nulle ($\rho=0$)).

La conception d'une voie ferrée avec plus de longs alignements offre un meilleur confort Aux usagers ainsi que leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous permet.

B. Courbes circulaires :

Dans les zones où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on fait recours aux raccordements circulaires avec le plus grand rayon possible, qui est fonction de la vitesse de circulation des trains dans la courbe. Dans certains cas, on n'est pas à l'aise pour faire les grands rayons, on est obligé d'utiliser des rayons plus ou moins faibles, mais qui correspondent à la vitesse de base.

Une courbe circulaire, est une courbe de rayon bien déterminée, qui doit assurer un passage sécurisé et confortable des trains, afin d'éviter le déraillement.

C. Les courbes de raccordements :

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort des voyageurs et pour l'inscription des trains dont l'inertie est importante.

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

On utilise pour ce type de raccordement, la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure, la stabilité et le confort, en plus de son aspect esthétique satisfaisant.

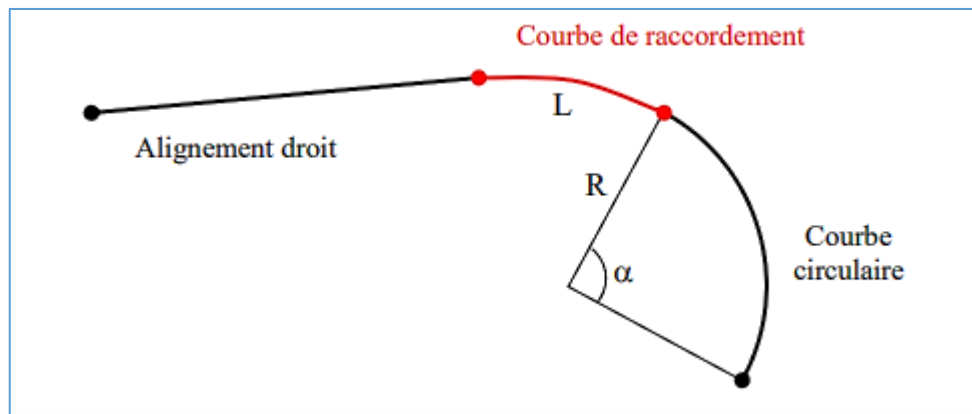


Figure01: Eléments géométriques du tracé en plan

III. Condition de raccordement :

A. Condition de gauchissement :

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

B. Condition de confort optique :

C'est une condition qui permet d'assurer à l'usager et au conducteur de la voie une vue satisfaisante en limitant le changement de direction et d'éviter toutes obstacles éventuels.

C. Condition de confort dynamique :

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

IV. Vitesse de référence :

La voie sera conçue pour accueillir un trafic mixte voyageurs et fret circulant aux vitesses projetées apparaissant ci-dessous :

Voie classique	En pleine	En zone montagneuse
Vitesse maximale admissible 120 km/h	220 km/h	200 km/h
Vitesse minimale à terme 80 km/h	100 km/h	100 km/h

N.B : pour notre projet, on a les vitesses suivantes :

V_{max} = 220 km/h pour les trains rapide (voyageurs)

V_{min} = 100km/h pour les trains des marchandises

V. Critères de limitation des paramètres du tracé :

Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé, certains ont été limités, afin de respecter les exigences de sécurité, de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie.

Les valeurs limites suivantes ont été définies :

A. Valeurs limite normales :

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

B. Valeurs limite exceptionnelles :

Ce sont des valeurs plus défavorables que les valeurs normales, qui peuvent être utilisées dans des circonstances exceptionnelles.

Les valeurs limites normales et exceptionnelles conditionneront la définition géométrique du tracé.

La marge exceptionnelle d'un paramètre est la différence qui existe entre les valeurs limites exceptionnelles et normales.

Si la valeur d'un quelconque paramètre dépasse la valeur limite normale, il faudra tenir Compte des considérations suivantes :

- Si un seul paramètre dépasse la valeur limite normale, sa valeur pourra atteindre la valeur limite exceptionnelle.
- Si plusieurs paramètres dépassent la valeur limite normale, il sera admis un dépassement maximum de 80 % de la marge exceptionnelle pour le paramètre le plus défavorable, alors que les autres paramètres ne devront dépasser cette marge que de 20 %.
- Il est recommandé qu'un paramètre ne dépasse pas plus d'une fois la valeur limite normale sur un tronçon de 20 km de long.

VI. Détermination du rayon minimale (R min) :

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

Le rayon minimum (normal et exceptionnel) est donné par la formule ci-dessous, et est défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

$$11.8 \times \frac{V_{\min}^2}{D_{\max-E}} \geq R \geq 11.8 \times \frac{V_{\max}^2}{D_{\max+I}}$$

EquationIII.1 : le rayon minimal et maximal.

On a :

- R : Rayon de courbe (m)
- V : Vitesse (km/h)
- V_{\min} (vitesse des trains lent-marchandise), V_{\max} (vitesse des trains rapide-voyageur).
- I : Insuffisance de dévers (mm)
- E : Excès de dévers (mm)
- Dmax : Dévers maximum (mm)

VII. Dévers :

Le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. En courbe, les deux files de rail sont posées en devers, lorsque la file du grand rayon (rail extérieur) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur) et surhaussée par rapport à l'autre. Ce surhaussement permet de compenser une partie de la force centrifuge qui tend à déporter les trains vers l'extérieur de la courbe circulaire.

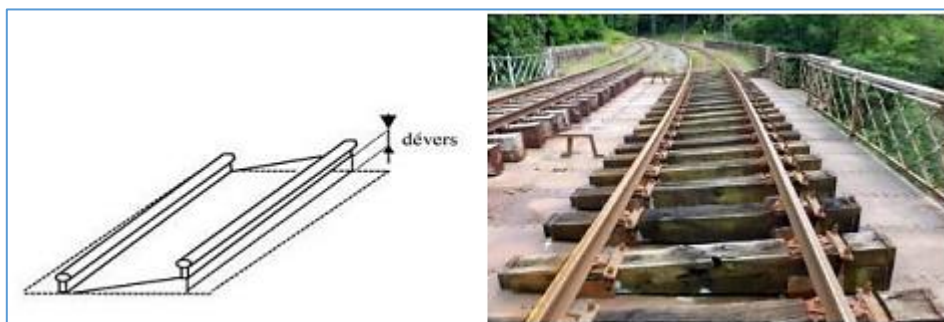


Figure02 : Dévers.

A. Devers théorique :

Pour une vitesse V du train, on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Mécaniquement la résultante doit être perpendiculaire à la surface de roulement.

Le dévers théorique est donné comme suit :

$$dth = 11.8 \frac{V^2}{R} \text{ (mm)}$$

EquationIII.2 : expression du devers théorique.

- dth : dévers théorique
- V : vitesse de train en km/h
- R : rayon de courbe en m

B. Devers pratique :

En pratique, la nature et la vitesse des trains sont variables (trafic mixte : trains voyageurs et marchandises). Il est donc impossible de rouler au devers théorique. Cela nous conduit à la notion du « dévers pratique » appelé également « dévers réel » noté « dp ».

La mise en œuvre du dévers pratique permet de :

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

La formule de devers pratique s'écrit :

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

EquationIII.3 : Expression du devers pratique.

Avec :

C : coefficient de devers

R : rayon de courbure circulaire

- Remarque : Les normes de la SNTF estiment ce dévers de 70% du dévers théorique.

$$d_p = \frac{0.7 \cdot 11.8 \cdot V^2}{R}$$

C. Coefficient de dévers :

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

$$C = \frac{R_{\min} D_{R\min}}{1000}$$

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

Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante :

$$C = 0.006V^2$$

Equation III.4 : Expression de coefficient du dévers selon la SNCF.

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante pour $V \leq 220$ km/h. (IN0272))

D. Devers maximum admissible :

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

E. Insuffisance de dévers :

Se produit lorsque la vitesse du train en courbe dépasse la vitesse d'équilibre associée au dévers pratique, dans ce cas échéant, la force centrifuge vers l'extérieur sera non compensée. Elle est donnée par :

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

Equation III.5 : Expression de l'insuffisance de dévers

- **Les valeurs limitent de l'insuffisance de dévers :**

L'insuffisance de dévers admissible dépend de l'armement de la voie et varie selon la Catégorie des circulations.

L'insuffisance de dévers est aussi liée à l'accélération transversale non compensée par la formule suivante :

$$a_{nc} = \frac{1}{153} \text{ m/s}^2$$

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

F. Excès de dévers :

Se produit lorsque la vitesse du train en courbe est inférieure à la vitesse d'équilibre associée au dévers pratique. Il est donné par :

$$E = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R}$$

Fonction III.6 : Expression de l'excès de dévers

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

VIII. Raccordement de dévers :

Le Dévers augmente progressivement d'une valeur nulle en alignement, jusqu'au dévers prévu en courbe, cette progression se fait sur une longueur dite rampe de dévers.

La variation du dévers par unité de longueur, où la rampe de raccordement est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie. Pour passer d'un dévers d'alignement à un dévers de courbe, on surélève progressivement la file extérieure par rapport à la file intérieure et l'insuffisance ou l'excès de dévers varie jusqu'à la valeur prévue en plein courbe.

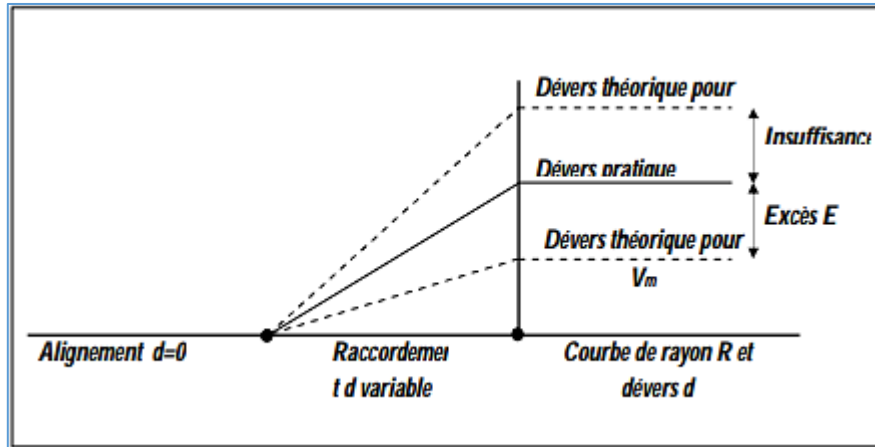


Figure03 : Schéma de raccordement de dévers

A. Variation de dévers par rapport aux longueurs :

Le dévers varie progressivement dans la clothoïde cette variation provoque un gauchissement de la voie, car les deux files de rail ne sont plus parallèles, ce qui oblige le véhicule à s’inscrire anormalement sur ses quatre points de contact, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, ce qui est considéré comme un risque majeur pour la circulation des véhicules.

Pour régler le problème, on doit limiter cette variation de dévers (rampe) par unité de longueur.

Donc le gauchissement est défini par taux de variation de dévers par unité de longueur $\Delta d/\Delta l$, il est limité par un taux de variation maximal admissible R_p en (mm/m), afin de garantir une sécurité suffisante contre le déraillement.

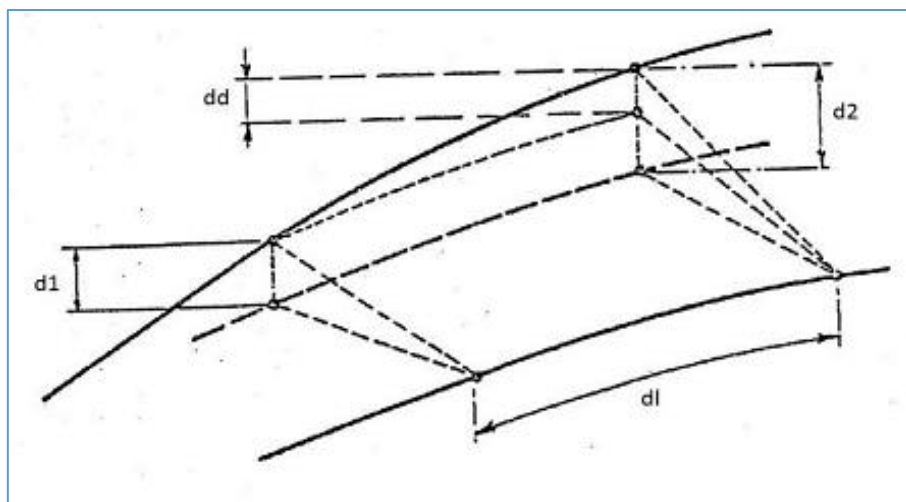


Figure04 : le gauchissement des rails

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

Tableau III.8 : Valeurs maximales admissibles de variation de dévers par rapport aux longueurs (R_p) (UIC703R)

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

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

N.B : pour notre projet, selon la fiche technique de la SNTF, la valeur de gauche limite (limite de variation de dévers par unité de longueur) pour une **$V_r = 220 \text{ km/h}$**

- $\frac{\Delta d}{\Delta L}(n) = \frac{180}{220} = \mathbf{0.818 \text{ mm/m}}$

- $\frac{\Delta d}{\Delta L}(e) = \frac{216}{220} = \mathbf{0.981 \text{ mm/m}}$

B. Variation de devers par rapport au temps :

Une limite de la variation de dévers ($\frac{\Delta d}{\Delta t}$) dans les courbes de translation est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules ne nuise pas à leur stabilité.

N.B : pour notre projet, selon la fiche technique de la SNTF, la limite de la variation de dévers par rapport au temps est :

- $\frac{\Delta d}{\Delta t}(n) = \mathbf{50 \text{ mm/s}}$

- $\frac{\Delta d}{\Delta t}(e) = \mathbf{60 \text{ mm/s}}$

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

Lors du passage d'un train d'un alignement ($\mathbf{d=0, I=0}$) à la pleine courbe ($\mathbf{d = C^{te}, I_{max}}$) et si la vitesse du train est supérieure à la vitesse d'équilibre, le voyageur va subir peu à peu l'action de la force centrifuge non compensée dû à l'insuffisance de dévers.

Le taux de variation de l'insuffisance de dévers doit être limité pour permettre une adaptation progressive et si possible inconsciente pour le voyageur à ses effets. Cette variation d'insuffisance de dévers « ΔI » pendant un temps « Δt » s'exprime en (mm/s), elle s'écrit :

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

ΔI exprimé en (mm) ; Δt exprimé en (s) ; ΔL exprimé en (m) ; V_{\max} exprimé en (km/h).

N.B :

- Ce paramètre concerne particulièrement les voies principales, car c'est une condition indispensable pour le confort des voyageurs.

- Pour notre projet, la limite de l'insuffisance de dévers est :

- $\frac{\Delta I}{\Delta t}(\mathbf{n}) = 50 \text{ mm/s}$

- $\frac{\Delta I}{\Delta t}(\mathbf{e}) = 75 \text{ mm/s}$

IX. Courbe de raccordement :

La géométrie des rails doit permettre une transition progressive (pas de chocs) entre des éléments de trajectoire, avec des accélérations latérales différentes et éviter les augmentations soudaines à l'entrée des virages.

Le passage d'un rayon à l'autre d'une courbe de dimension finie ou infinie doit être progressif. Ceci est réalisé en introduisant des courbes de raccordement.

Les connexions introduites entre les alignements et les arcs doivent éventuellement avoir

Les propriétés suivantes :

- Tangentes aux alignements et arcs.

- présenter une courbure nulle au point de tangence de l'alignement,
- Au point de tangence d'un arc de rayon R, la courbure est égale à $1/R$
- Il y a une courbure graduelle entre ces deux points de tangence.

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

A. Raccordement progressif (RP) :

C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre un alignement et une pleine courbe, ou entre deux courbes circulaires de rayons différents.

L'origine du raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP côté alignement.

La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP côté pleine courbe.

Dans le cas d'un RP entre deux courbes, l'ORP est l'extrémité du RP du côté du plus grand rayon et la FRP, l'extrémité du RP du côté du plus petit rayon.

ORP : Origine du raccordement progressif

FRP : Fin du raccordement progressif

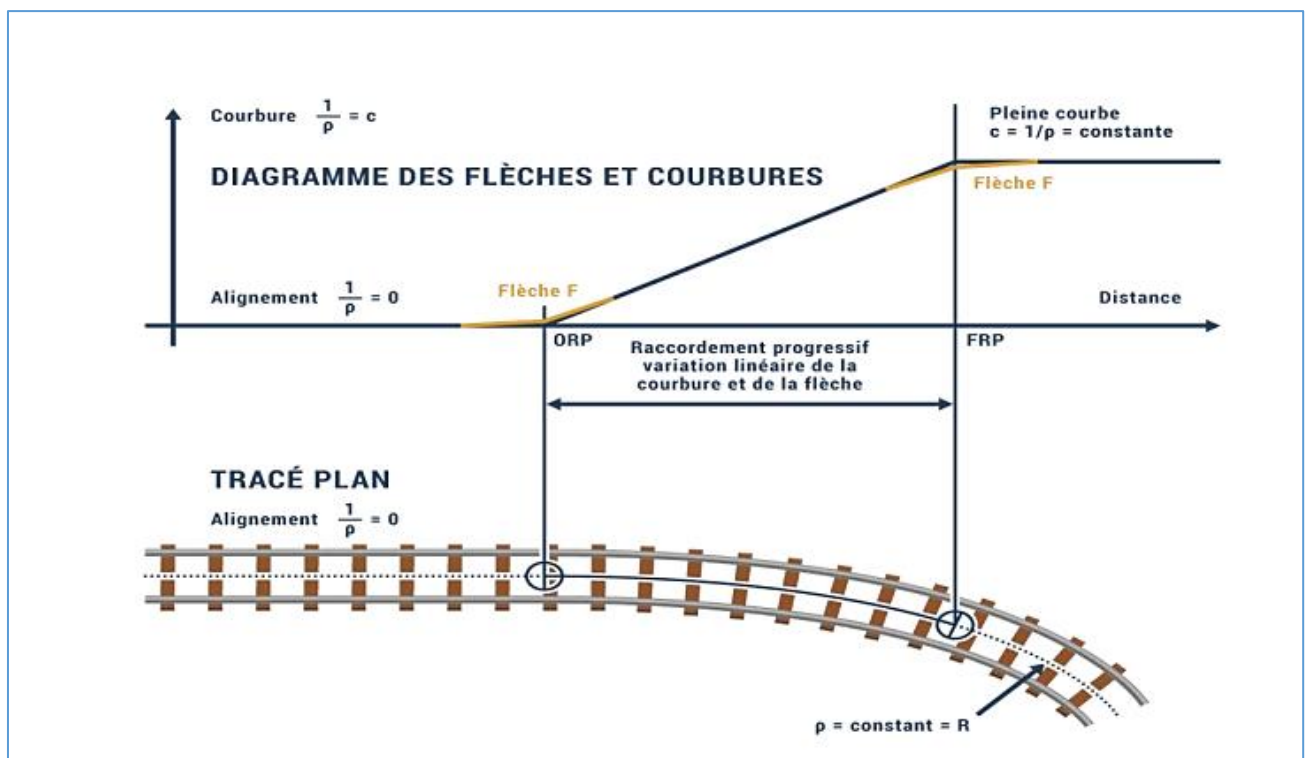


Figure05 : Diagramme des flèches et courbures pour un RP

1. **La clothoïde** : Présente une variation uniforme de la Courbure et donc de la flèche. En général, du fait de la proportionnalité dévers / courbure, La variation de dévers est aussi uniforme.

L'expression mathématique de la clothoïde est :

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

Equation III.7 : Expression du paramètre de clothoïde-A

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

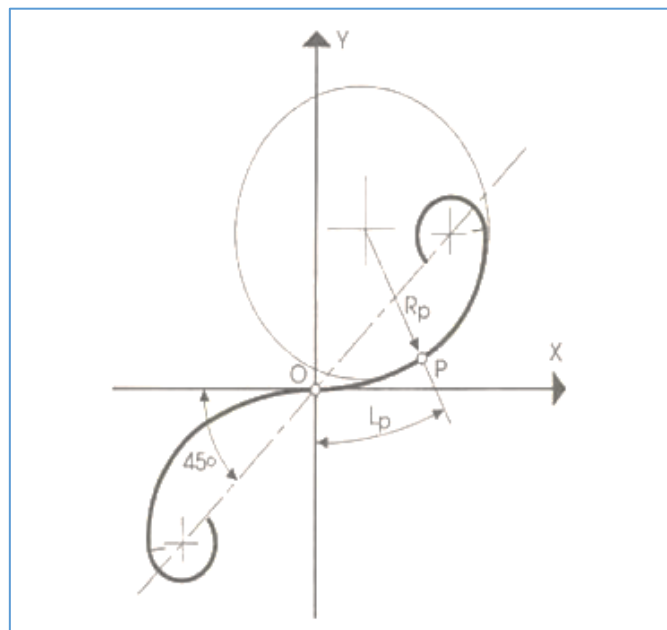


Figure06 : Courbe de raccordement –clothoïde

2. **Raccordement progressif d'inflexion** : C'est un RP unique reliant une courbe à une contre-courbe avec une variation constante des flèches et des dévers entre les deux pleines courbes.

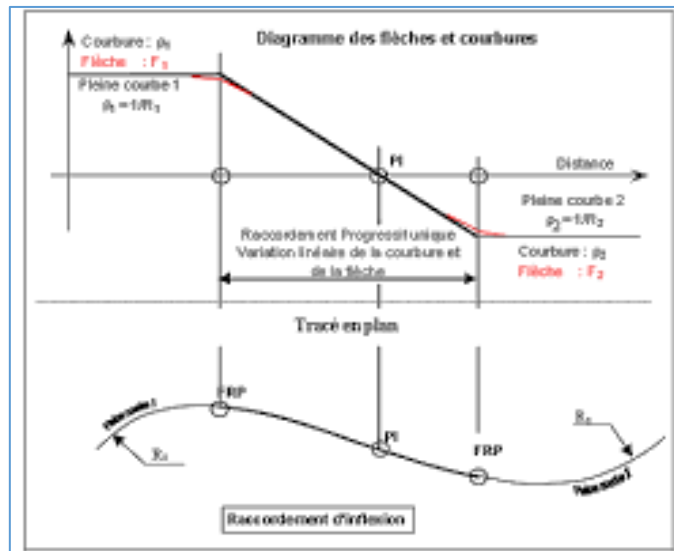


Figure07 : Raccordement Progressif d'inflexion.

B. Doucine :

Au fur et à mesure que la pente du rail à grande vitesse change entre les connexions de pente et les éléments de tracé constants (courbes alignées ou pleines), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulement.

Afin de limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire une liaison circulaire entre les pentes du rail haut centrée sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

En raison de la relation proportionnelle pente/courbure, cette connexion se reflète dans les schémas fléchés à travers des coins arrondis appelés doucines.

Lorsque la vitesse du train de voyageurs est supérieure ou égale à 60km/h et que la variation de dévers est supérieure à $60/v$, il est nécessaire d'insérer des doucines centré sur l'extrémité des RP (liaison progressive).

X. Longueurs minimales des éléments de tracé

Afin de faciliter le roulement et adoucir le roulis des wagons de train, et Afin de ne pas engendrer de sollicitations des véhicules défavorables au confort, d'une part, et de pouvoir les maintenir par bourrage dressage mécanique lourd, d'autre part, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments du tracé.

A. Des alignements et des pleines courbes :

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieu de doucines, Doivent respecter les valeurs du tableau ci-dessous, (la vitesse exprimée en (Km/h) du train le plus rapide).

Tableau III.9 : Longueur minimum des alignements et plein courbe (fiche technique SNTF)

Valeur limite normale	V/2
Valeur limite exceptionnelle	V/3

N.B : pour notre projet, Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes pour une vitesse $V=220$ km/h sont :

▪ **Valeur de longueurs minimales normale :** $\frac{220}{2} = 110$ m

▪ **Valeur de longueurs minimales exceptionnelle :** $\frac{220}{3} = 73.3$ m

B. La longueur de clothoïde LRP :

Le choix de la longueur de la clothoïde devra être effectué de telle sorte que, les conditions de variation de dévers par rapport aux longueurs, la variation de dévers par rapport au temps et la variation d'insuffisance de dévers soient effectuées.

- Condition 1 (condition de gauchissement)

$$\frac{\Delta d}{\Delta I} \leq \frac{180}{V} = 0.818 \text{ mm/m}$$

c.à.d. $0.818\text{mm} \rightarrow 1\text{m}$

Donc pour dp (devers pratique) \rightarrow LRP1

$$\text{LRP1} = \frac{dp}{\frac{\Delta d}{\Delta L}}$$

- Condition 2

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = 50 \text{ mm/s}$$

Donc pour dp :

$$\text{LRP2} = \frac{dp \times V}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

- Condition 3

$$\text{LRP3} = \frac{I \times V}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

Sur cette base, la longueur minimale de clothoïde est la longueur maximale entre ces 3 conditions.

$$\text{Lrp} \geq \text{Max} \left\{ \frac{dp}{\Delta I}; \frac{I \times V}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}; \frac{I \times V}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}} \right\}$$

XI. Paramètres du tracé à respecter :

Les paramètres géométriques sont déduits à partir des standards UIC et des pratiques de la S.N.T.F et seront conditionnés par une limitation de valeurs afin de respecter les exigences de sécurité, de confort et de tenue de la voie.

Dans notre cas, le projet envisage une ligne ferroviaire de trafic avec une vitesse maximale de circulation des trains de voyageurs établis à 220 km/h.

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Utiliser le maximum d'alignements droit et entre deux courbes.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui Nécessité la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le Franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dès les endroits les plus étroits.
- Suivre les courbes de niveau et adapté le tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières
- Eviter le maximum les propriétés privées.
- Eviter les problèmes de talus.

XII. Application numérique au projet :

Le tronçon étudié fait partie de la boucle ferroviaire Sud-Est. Il débutera du point kilométrique PK00 à partir du PK89+470 de la ligne principale Laghouat-Ghardaïa, jusqu'au point kilométrique PK18.

Tableau III.4 : récapitulatif des valeurs limites de paramètre du tracé

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Alignement (m)	110	73.3
Devers maximal (mm)	150	160
Insuffisance du devers I (mm)	150	160
Excès du devers E (mm)	100	130
Variation du devers dans le temps $(\frac{\Delta d}{\Delta t})$ (mm/s)	50	60
Variation du devers dans la longueur $(\frac{\Delta d}{\Delta L})$ (mm/m)	0.81	0.98
Variation d'insuffisance du devers $(\frac{\Delta I}{\Delta t})$ (mm/s)	75	90

Les principales caractéristiques géométriques du tracé adoptées pour cette étude sont :

- Vitesse $V_{max} = 220$ Km/h
- Vitesse marchandises : $V_{min} = 100$ Km/h
- Insuffisance de dévers I = 120 mm
- Excès de dévers : E = 100 mm
- Dévers max : D = 150 mm

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

- **Calcul du coefficient du devers :**

$$c = 0.006 * V^2 = 0.006 * 220^2 = 290.4$$

- **Le rayon de courbure minimal :**

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

➤ Cas normal :

$$R_{\min} = 11.8 * \frac{220^2}{120+150} = 2115.259 \text{ m}$$

On prend : **2150m**

Le dévers associé au rayon minimal est donné par la suite :

$$d_{R_{\min}} = \frac{1000 * C}{R_{\min}} = \frac{1000 * 290.4}{2150} = 135.06 \text{ mm}$$

$d_{R_{\min}} = 135.06 < d_{max}(\text{recommandé}) = 150$ donc on peut le retenir.

On prend un exemple de calcul pour rayon de 2200 m pour juste illustrer les différentes étapes de calcul pour détermination des divers paramètres du tracé en plan :

- **Devers pratique :**

$$d_p = 1000 * \frac{c}{R} = 1000 * \frac{290.4}{2200} = 132 \text{ mm}$$

- **Devers théorique :**

➤ Devers théorique (T. Voyageur)

$$d_{th(v)} = 11.8 * \frac{V^2}{R} = 11.8 * \frac{220^2}{2200} = 259.6 \text{ mm}$$

➤ Devers théorique (T. Marchandise)

$$d_{th(m)} = 11.8 * \frac{V^2}{R} = 11.8 * \frac{100^2}{2200} = 53.63 \text{ mm}$$

- Excès de devers :

$$E = d_p - 11.8 * \frac{V_{\min}^2}{R} = 132 - 11.8 * \frac{100^2}{2200} = 78.36 \text{ mm}$$

- Insuffisance de devers :

$$I = 11.8 * \frac{V^2}{R} - d_p = 11.8 * \frac{220^2}{2200} - 132 = 127.6 \text{ mm}$$

- Longueur de la clothoïde :

$$L = d_p * \frac{V_{\max}}{(3.6 * \frac{dd}{dt}) \text{ re}}$$

➤ Cas normal : $L = 132 \times \frac{220}{(3.6 * 50)} = 161.33 \text{ m}$

On prend 162 m

➤ Cas exceptionnel : $L = 132 \times \frac{220}{(3.6 * 60)} = 134.44 \text{ m}$

On prend 135m

- Paramètre de la clothoïde :

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

➤ Cas normal : $A = \sqrt{(162 * 2200)} = 596.99 \text{ m}$

➤ Cas exceptionnel : $A = \sqrt{(135 * 2200)} = 544.97 \text{ m}$

- Variation de l'insuffisance du devers :

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

➤ Cas normal : $\frac{\Delta l}{\Delta t} = 127.6 * \frac{220}{3.6*162} = 48.13 \text{ mm/s}$

• **Vérification variation de devers :**

Il faut vérifier que la variation de devers calculé $\frac{\Delta d}{dt}$, soit inférieure à celle recommandée $(\frac{dd}{dt})_{rec}$:

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

➤ Cas normal : $\frac{\Delta d}{dt} = \frac{132*220}{3.6*162} = 50 \text{ mm/s}$

➤ Cas exceptionnel : $\frac{\Delta d}{dt} = \frac{132*220}{3.6*135} = 60 \text{ mm/s}$

➤ Ainsi vérifier $\frac{\Delta d}{dt}$:

○ Cas normal : $\frac{\Delta d}{dt} < \frac{180}{V} \text{ mm/m}$

○ Cas exceptionnel : $\frac{\Delta d}{dt} < \frac{216}{V} \text{ mm/m}$

$$\frac{\Delta d}{dt} = \frac{dp}{dl} \left\{ \begin{array}{l} \frac{132}{162} = 0.814 \frac{\text{mm}}{\text{m}} < \frac{180}{220} = 0.818 \text{ mm/m} \\ \frac{132}{135} = 0.977 \frac{\text{mm}}{\text{m}} < \frac{216}{220} = 0.981 \text{ mm/m} \end{array} \right.$$

XIII. Vérification :

Les valeurs des éléments caractéristiques du tracé en plan sont comme suit :

- Tous les rayons adoptés sont supérieurs au rayon minimum exigé qui est de 2150 m.
- Les longueurs des éléments du tracé en plan respectent la longueur minimale.
- L'insuffisance du dévers est inférieure à la valeur maximale qui est de 150mm.
- L'excès du devers est inférieure à la valeur maximale qui est de 100mm.

XIV. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques du tracé en plan de notre tracé, on a réalisé le calcul manuellement et le calcul automatique est à l'aide des logiciels Autocad et Covadis, dont les résultats sont représentés dans les annexes, on comparant les résultats une conformité est remarquable.

Chapitre IV

Calcul de l'axe

I. Introduction :

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe.

Cette partie est réalisée automatiquement par le logiciel Autopiste mais pour illustrer notre travail nous allons prendre un exemple de calcul manuel.

II. Procédés de calcul de l'axe :

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde (fig1), cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées.

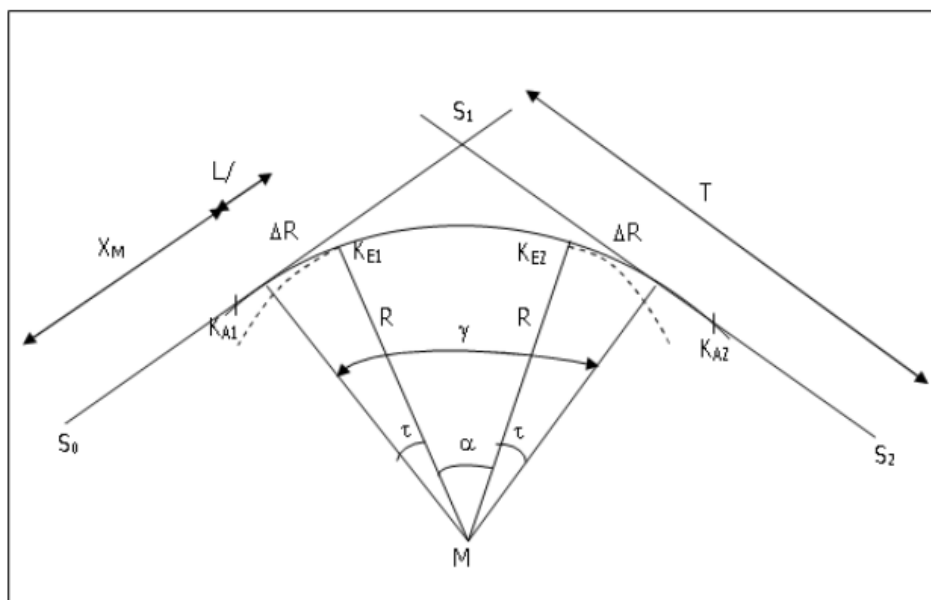


Figure01: caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements

γ : Angle entre alignement

SL : La corde à la clothoïde

T : Grande tangente

s : L'angle polaire

ΔR : Ripage

L : longueur de clothoïde

XM : Abscisse du centre de cercle

KA : début de clothoïde

R: Rayon de virage

KE : Fin de clothoïde

τ : Angle de tangente

III. Calcul des éléments géométriques :

1. **Le gisement** : le gisement d'une direction l'angle fait par cette direction avec le nord géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

2. **L'équation de la clothoïde :**

$$A^2 = R \times L$$

3. **Longueur de la clothoïde :**

$$L = A^2/R$$

4. **L'angle τ :**

$$\tau = \frac{L}{2R} \times 200/\tau$$

5. **Distance du centre de courbe :**

$$X_m = L/2$$

6. **Le ripage :**

$$\Delta R = L^2/24R$$

7. **Gisement entre les deux directions γ :**

$$\gamma = |G_{S_2}^{S_1} - G_{S_1}^{S_0}|$$

8. **Calcul des coordonnées SL :**

$$SL = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

9. **Calcul de σ :**

$$\sigma = \arctg\left(\frac{X}{Y}\right)$$

10. Calcul de l'arc :

$$b = \frac{\pi * R(\gamma - 2\tau)}{200}$$

11. Calcul des coordonnées des points singuliers :

$$k_{A1} \begin{cases} X_{k_{A1}} = X_{S1} - T * \sin G_{S1}^{S_0} \\ Y_{k_{A1}} = Y_{S1} - \cos G_{S1}^{S_0} \end{cases}$$

$$k_{A2} \begin{cases} X_{k_{A2}} = X_{S1} + T * \sin G_{S2}^{S_1} \\ Y_{k_{A2}} = Y_{S1} - T * \cos G_{S2}^{S_1} \end{cases}$$

$$k_{E1} \begin{cases} X_{k_{E1}} = X_{k_{A1}} + S_L \sin (G_{S1}^{S_0} + \sigma) \\ Y_{k_{E1}} = Y_{k_{A1}} + S_L \cos (G_{S1}^{S_0} + \sigma) \end{cases}$$

$$k_{E2} = \begin{cases} X_{k_{E2}} = X_{k_{A2}} - S_L \sin(G_{S2}^{S_1} - \sigma) \\ Y_{k_{E2}} = Y_{k_{A2}} + S_L \cos(G_{S2}^{S_1} - \sigma) \end{cases}$$

IV. Exemple de calcul de l'axe :

Les coordonnées des sommets et les rayons utilisés sont :

Tableau IV.1 : les données de l'arc choisi pour l'exemple.

S ₀	X	523266
	Y	3664598
S ₁	X	523610
	Y	3662849
S ₂	X	523811
	Y	3660558
R	2200m	
V	220km/h	
A	596.99m	

1. Calcul du gisement :

$$|\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = |523610 - 523266| = 344\text{m}$$

$$|\Delta X_1| = |X_{S2} - X_{S1}| = |523811 - 523610| = 201\text{m}$$

$$|\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = |3662849 - 3664598| = 1749\text{m}$$

$$|\Delta Y_1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = |3660558 - 3662849| = 2291\text{m}$$

$$\widehat{S_1 S_0} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 1782.50\text{m}$$

$$\widehat{S_2 S_1} = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2} = 2299.80\text{m}$$

D'où :

$$G_{S_0}^{S_1} = 400 + \arctg \frac{|\Delta Y|}{|\Delta X|} = 487.63 \text{ grad}$$

$$G_{S_1}^{S_2} = 400 + \arctg \frac{|\Delta Y_1|}{|\Delta X_1|} = 494.42 \text{ grad}$$

2. Calcul de l'angle entre l'alignement :

$$\gamma = |G_{S_0}^{S_1} - G_{S_1}^{S_2}| = 6.79 \text{ grad}$$

3. Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L \cdot 200}{2R\pi} = \frac{162 \cdot 200}{2 \cdot 2200 \cdot 3.14} = 2.34 \text{ grad}$$

$$\text{Avec : } L = A^2/R = \frac{596.99^2}{2200} = 161.99\text{m}$$

On prend : 162m

4. Vérification du non chevauchement :

$$\tau = 2.34 \text{ grad}$$

$$\frac{\gamma}{2} = \frac{6.79}{2} = 3.395 \text{ grad}$$

D'où : $\tau < \frac{\gamma}{2}$ donc pas de chevauchement.

5. Calcul de la tangente T :

$$T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg}(\gamma/2)$$

Avec : $X_m = L/2 = 162/2 = 81\text{m}$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{162^2}{24 \cdot 2200} = 0.49\text{m}$$

D'où : $T = 81 + (2200 + 0.49) \operatorname{tg}(6.79/2) = 650.87\text{m}$

6. Calcul de la corde S_L :

$$S_L = \sqrt{X^2 K_E + Y^2 K_E} = \sqrt{162^2 + 1.98^2} = 162.01\text{m}$$

Avec :

$$X K_E = L = 162\text{m}$$

$$Y K_E = L^2 / 6R = \frac{162^2}{6 \cdot 2200} = 1.98\text{m}$$

$$S_L = 162.01\text{m}$$

7. Calcul de l'angle polaire σ :

$$\sigma = \operatorname{arctg} \frac{Y_{KE}}{X_{KE}} = \operatorname{Arctg} \frac{1.98}{162} = 0.01\text{grad}$$

$$\sigma = 0.01\text{grad}$$

8. Calcul de α :

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 6.79 - 2(2.34) = 2.11\text{grad}$$

$$\alpha = 2.11\text{grad}$$

9. Calcul de longueur de l'arc :

$$\widehat{K_{E1}K_{E2}} = \frac{\pi.R(\gamma-2\tau)}{200} = 72.87\text{m}$$

$$K_{E1}\widehat{K_{E2}} = 72.87\text{m}$$

10. Calcul des coordonnées des points singuliers :

$$k_{A1} \begin{cases} X_{k_{A1}} = X_{S1} - T * \sin G_{S1}^{S_0} \\ Y_{k_{A1}} = Y_{S1} - \cos G_{S1}^{S_0} \end{cases}$$

$$X_{k_{A1}} = 523610 - 650.87 * \sin 487.63$$

$$X_{k_{A1}} = 523094.53$$

$$Y_{k_{A1}} = 3662849 - 650.87 * \cos 487.63$$

$$Y_{k_{A1}} = 3663246.39$$

$$k_{A1} \begin{cases} X_{k_{A1}} = 523094.53 \\ Y_{k_{A1}} = 3663246.39 \end{cases}$$

$$k_{A2} \begin{cases} X_{k_{A2}} = X_{S1} + T * \sin G_{S2}^{S_1} \\ Y_{k_{A2}} = Y_{S1} - T * \cos G_{S2}^{S_1} \end{cases}$$

$$X_{k_{A2}} = 523610 + 650.87 * \sin 494.42$$

$$X_{k_{A2}} = 524074.86$$

$$Y_{k_{A2}} = 3662849 - 650.87 * \cos 494.42$$

$$Y_{k_{A2}} = 3663304.55$$

$$k_{A2} \begin{cases} X_{k_{A2}} = 524074.86 \\ Y_{k_{A2}} = 3663304.55 \end{cases}$$

$$k_{E1} \begin{cases} X_{k_{E1}} = X_{KA1} + SL \sin (G_{S1}^{S_0} \sigma) \\ Y_{k_{E1}} = Y_{KA1} + SL \cos (G_{S1}^{S_0} \sigma) \end{cases}$$

$$X_{k_{E1}} = 523896.71 + 162.01 \sin (487.63 * 0.01)$$

$$X_{k_{E1}} = 523910.48$$

$$Y_{k_{E1}} = 3663201.29 + 162.01 \cos (487.63 * 0.01)$$

$$Y_{k_{E1}} = 3663362.71$$

$$k_{E2} \begin{cases} X_{k_{E2}} = X_{KA2} + SL \sin (G_{S_2}^{S_1} \sigma) \\ Y_{k_{E2}} = Y_{KA2} + SL \cos (G_{S_2}^{S_1} \sigma) \end{cases}$$

$$X_{k_{E2}} = 523188.33 - 162.01 \sin (494.42 * 0.01)$$

$$X_{k_{E2}} = 523174.36$$

$$Y_{k_{E1}} = 3663017.84 + 162.01 \cos (494.42 * 0.01)$$

$$Y_{k_{E1}} = 3663179.24$$

V. Conclusion :

A ce chapitre nous avons vu le calcul manuel d'un raccordement progressif et le calcul automatique est fait à l'aide du logiciel COVADIS, les résultats sont représentés dans les annexes.

Chapitre V
Profil en long

I. Introduction :

Le profil en long de la voie est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires. Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la côte de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Cette ligne doit répondre aux conditions suivantes :

- Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé.
- Respecter la déclivité maximale qui est de 16‰, et de 0‰ au sein des gares et haltes.
- Le rayon minimum en profil en long est de $R_{v \min} = 0.35 v_R^2$
- Minimiser les quantités de déblai et de remblais et les équilibrés.
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long ($L \min = V/2$)
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

II. Les éléments géométriques du profil en long :

- **Pente** : c'est la partie du tracé qui donne le sens de la ligne rouge qui est descente.
- **Rampe** : c'est la partie de tracé qui définit la montée.

Ces deux éléments géométriques doivent assurer une variation d'altitude qui ne dépasse pas 16 pour mille maximums.

- **Pallier** : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Courbe de raccordement verticale** : sont des arcs de cercle qui assurent la liaison entre deux éléments de la ligne rouge.

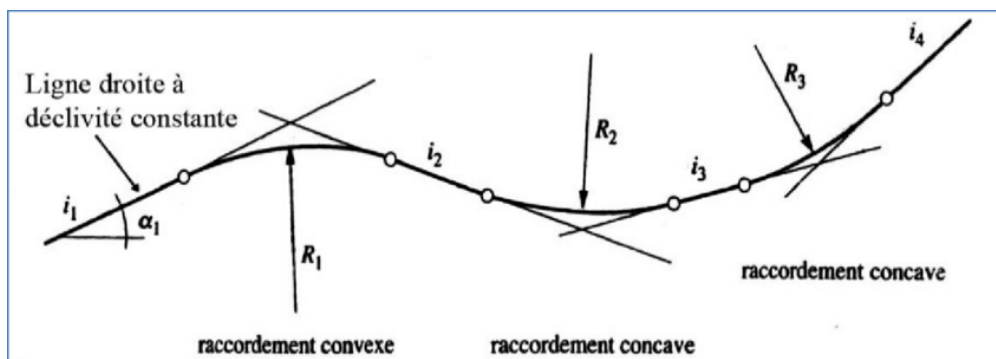


Figure01: Eléments géométriques du profil en long

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

Pour faire un bon aménagement de projet, plusieurs conditions sont à considérer :

- La déclivité maximale est de 16 ‰ en plein voie, 1 ‰ au niveau de gare.
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements.
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long léger déblai qui complique l'évacuation des eaux et isole la voie ferrés du paysage.
- Recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.
- Respecter les pentes nulles dans les gares.

IV. Déclivités :

Plusieurs conditions aux limites doivent être prises en compte lors de la conception des profils longitudinaux. La pente sera : Limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (performance). La pente est la tangente à l'angle formé par le profil longitudinal, une pente en descendant et une rampe en montant. Si la longueur est inférieure à 3000 mètres, elle ne doit pas dépasser 16% et exceptionnellement 18%. La figure ci-dessous montre la pente admissible en fonction de la rampe.

V. Le raccordement en profil en long :

La poursuite des deux pentes dans la section longitudinale nécessite une liaison circulaire pour assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse du véhicule, il faut donc intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale autorisée. Selon l'UIC, le rayon minimum de la courbe de raccordement ne doit pas être inférieur à 2000 mètres.

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

Tableau 1 : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter

Valeur normal	$0.35v^2$
Valeur exceptionnelle	$0.25 v^2$
Points particuliers	$0.15 v^2$

Pour notre projet : $R_{v \min} = 0.35 v^2 = 0.35 \times 220^2 = 16940 \text{ m}$

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, l'équation d'un cercle est :

$$X^2 + (Y - R)^2 = R^2 \text{ Ou encore de la forme : } X^2 + Y^2 - 2RY = 0$$

Mais pour un grand rayon ($R \geq \text{ m}$) la variation de l'ordonnée Y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X, surtout il s'agit d'un carré (Y20) d'où on obtiendra une équation de parabole $Y = X^2/2R$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

VI. Déclivité maximale :

Le gradient autorisé varie en fonction de sa longueur. En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-dessous ; toutefois, dans le cadre d'études de variantes, ces valeurs peuvent être dépassées en respectant les prescriptions de la dernière version de la directive SNCF/RFE 0272.

- En déclivité de longueur inférieure à 11.000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3000 m et 15000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16 ‰ à 13 ‰ exceptionnellement de 18‰ à 15 ‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 11.000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ de et exceptionnellement 15‰.
- La déclivité dans les gares et gares de croisement est fixée à 0.00‰.

Le graphique suivant représente la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application :

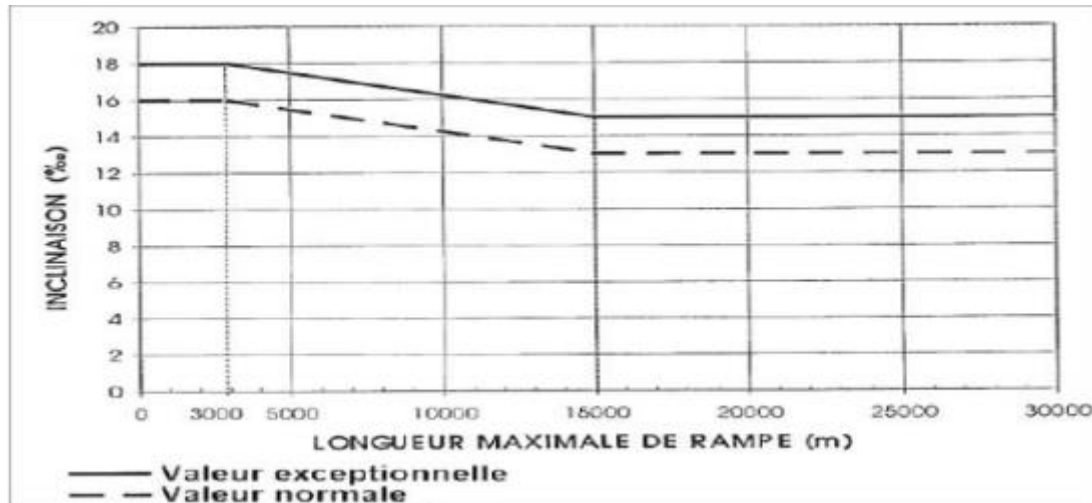


Figure02 : Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNTF)

VII. Rayon admissible en raccordements de profil en long :

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

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

$$\alpha_v = \frac{V_{max}^2}{12,96 \times R_v} \leq \alpha_{v\,rec} [m^2/s]$$

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

- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement .cela entraine une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes.

Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter (la vitesse V est exprimée en km/h) :

Tableau 3 : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter (source SNTF).

Valeur normal	$0.35V^2$
Valeur exceptionnelle	$0.25V^2$
Points particuliers	$0.15V^2$

VIII. Longueur minimale de la déclivité :

Si un train parcourt successivement deux niveaux dans des sens différents, il est soumis à un niveau à de fortes accélérations verticales. Il peut provoquer de fortes vibrations dans le véhicule, provoquant une gêne pour les occupants et des dommages au véhicule.

Tableau 4 : les valeurs de la longueur minimale de la déclivité (source SNTF).

Valeur minimale normale (m)	$v/2$
Valeur minimale exceptionnelle (m)	$v/2.5$

IX. Coordination du tracé en plan et profil en long :

Afin d'assurer de bonnes conditions de sécurité, il est nécessaire d'assurer une bonne coordination du tracé en plan et de la coupe longitudinale, pour laquelle il faut :

- Eviter de coïncider les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan
- Eviter de mettre une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.
- Le respect de ces conditions a pour but de :
 - Distinguer clairement les dispositions des points singuliers ;
 - Prévoir de loin l'évolution du tracé et assurer une bonne visibilité ;
 - Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant ;
 - Offrir du confort aux voyageurs.

X. Détermination pratique :

Les liaisons sont faites avec des courbes circulaires, assimilant les équations du cercle :

$$X^2 + (Y - R)^2 = R^2$$

Ou forme : la recherche projet assimile l'équation du cercle.

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

A l'équation de la parabole:

$$X^2 - 2YR = 0$$

$$\rightarrow Y = \frac{X^2}{2R}$$

Mais pour un grand rayon ($R \geq 16940$ m) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X, surtout lorsque il s'agit d'un carré ($y^2 \rightarrow 0$) d'où on obtiendra une équation de parabole $y = x^2/2R$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

Calcul des pentes :

$$P = \frac{\Delta Z}{\Delta S}$$

Calcul de la tangente T :

$$T = \frac{R}{2} (P_1 - P_2)$$

Calcul de la fléché F :

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

Calcul de la cote du point au milieu de raccordement parabolique : $Z_G = Z_E - F$

Calcul des PK et des points du début et fin de raccordement parabolique :

$$\left\{ \begin{array}{l} PKA' = PKE - T \\ ZA' = ZE - P.T \end{array} \right.$$

XI. Conclusion :

On peut conclure que La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique, soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.

Chapitre VI

Etude géologique et géotechnique

I. Introduction :

La programmation d'une nouvelle ligne ferroviaire nécessite des études approfondies, parmi les plus importantes l'étude géologique et géotechnique, qui permettent d'identifier les difficultés géologiques des terrains traversés et la faisabilité des différents tronçons. Ainsi, l'objet du présent chapitre, est de décrire de la manière la plus détaillée que possible, les caractéristiques géologiques de la zone traversée par le tracé, et qui sert de base à l'analyse géotechnique, qui sera menée à terme dans les phases suivantes.

Ce chapitre illustre les caractéristiques géologiques et géotechniques des matériaux sur lesquels sera réalisé le by pass¹, à partir du PK89+470 de la ligne ferroviaire Laghouat-Ghardaïa le long du tronçon entre le PK00 et le PK18.

II. Etude géologique :

A. Introduction :

Une analyse géologique est essentielle pour pouvoir proposer un type de corps de chaussée idéal pour chaque section de la liaison, et aussi, dans le but d'éviter les terrains instables ou très rocheux, pour une bonne estimation du coût de construction du projet.

B. Cadre géologique :

La zone d'étude est répartie sur deux domaines géologiquement différents : l'Atlas Saharien au Nord, et la Dorsale du M'zab au Sud.

L'Atlas Saharien forme une longue suite de reliefs à structures plissées (Figure VI.1) orientée NE-SO, s'étendant depuis l'ouest de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne. Il résulte de la tectonique compressive de l'orogénèse alpine, qui a soulevé une puissante série sédimentaire d'âge secondaire, donnant naissance ainsi, aux synclinaux perchés et anticlinaux caractéristiques du domaine atlasique.

L'Accident sud-atlasique, est une suite de failles en échelon subverticales qui marquent la limite entre l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud (HERKAT, 1999).

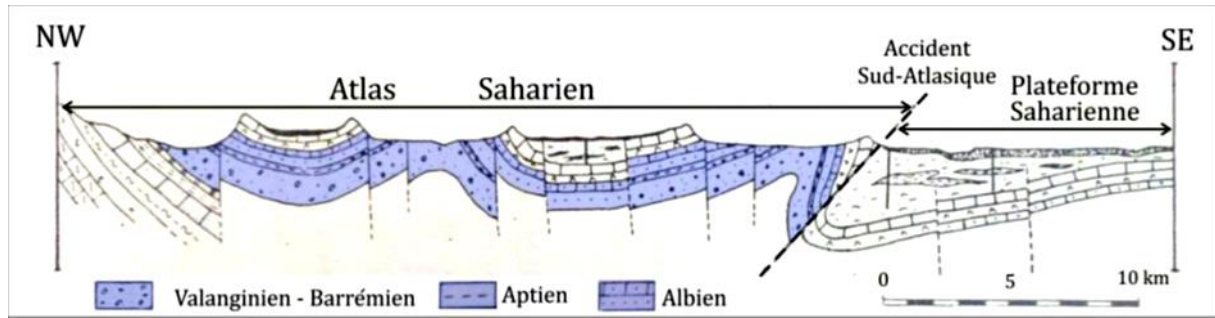


Figure01: Coupe géologique interprétative de la région de Laghouat. Au Nord de l'accident sud-atlasique, les formations du Continental Intercalaire (en bleu) affleurent localement. Au Sud, ces formations sont enfouies à grandes profondeurs et ne sont pas représenté.

La dorsale du Mzab fait partie du domaine de la plateforme Saharienne qui constitue l'ensemble du domaine situé au Sud de l'Algérie. Cette dernière comprend un socle précambrien et une puissante couverture phanérozoïque. Le domaine situé juste au Sud de l'Accident sud-atlasique (Figure VI.1), a subi une subsidence lors de l'orogénèse alpine, de ce fait, a reçu d'importants sédiments d'âge tertiaire (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur doit dépasser les 200 m (BUSSON, 1970).

La figure02, présente une coupe simplifiée au droit de la dorsale de M'zab, réalisée par interpolation entre trois logs de forages situés sur une ligne orientée globalement Ouest-Est. Ces trois forages captent uniquement l'Albien. L'Albien est constitué principalement de sable et de grès à ciment argileux ou carbonaté et parfois gypseux. Vers l'Est, on observe un passage latéral progressif vers un facies carbonaté et argileux au sommet de cette formation, d'où l'appellation Albo-Vraconien (BUSSON, 1970).

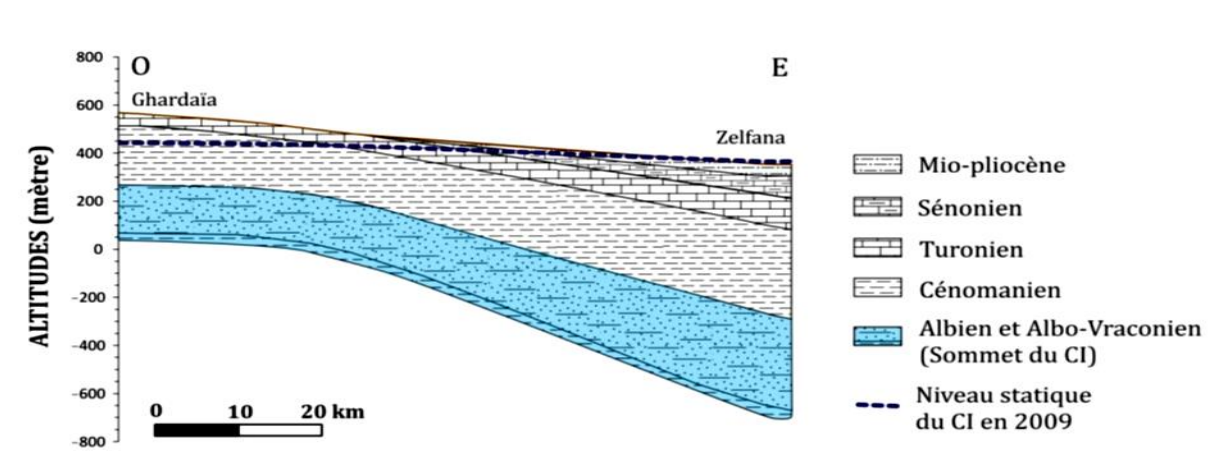


Figure02: Limites du domaine SASS en Algérie (rapport géotechnique séti rail)

C. Sectorisation géologique :

Le By Pass1 traverse la croûte saharienne du Pliocène continental formé d'éléments rocheux de calcaires lacustres et poudingues au sein d'un ciment carbonaté. Au niveau des écoulements qui traversent les By Pass, on trouve des formations actuel à Quaternaire.

On trouve généralement en surface des encroutements calcaires rosâtre, graveleux à caillouteux et blocs de roches. Le substratum est caractérisé par des grés au niveau du PK 01+660, ainsi qu'un sous-sol en sable rougeâtre à éléments carbonatés au niveau du PK 06+100. A partir du Pk 8+700, on trouve généralement des roches calcaires à aspect conglomératique fracturée, et vacuolaire en profondeur.

D. Hydrogéologie :

La zone entre Laghouat et le plateau des dayas est serpenté d'oueds qui forment l'origine de l'Oued Djedi ; les plus importants sont oued Messaad et oued Bel Haroug, ils sont caractérisés par un large lit et ils sont généralement sècs, ils se manifestent suite à des averses orageuses.

Les ressources hydrauliques sont essentiellement souterraines (fig.VI.3), alors que celles des eaux de surface proviennent généralement des crues importantes des oueds qui inondent la région. Ces crues, le plus souvent générées par les averses de l'axe Laghouat – Ghardaïa, alimentent les nappes d'inféro - flux et irriguent les palmeraies par des digues.

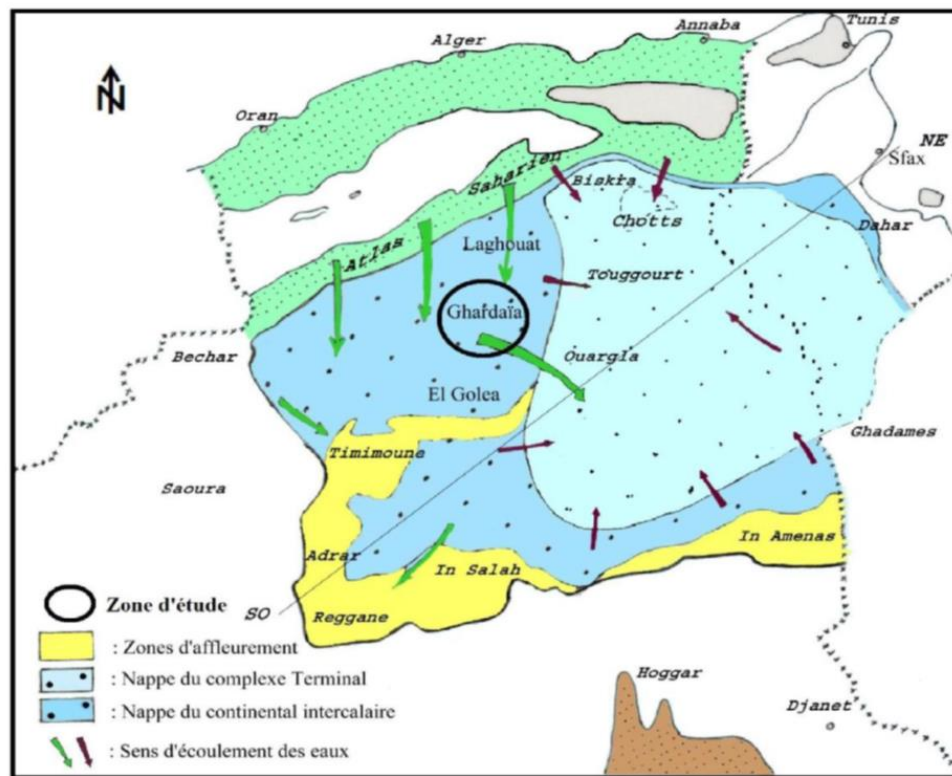


Figure03: Limites du domaine SASS en Algérie (UNESCO, 1972).

E. Sismicité :

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, et d'après ce découpage, notre région d'étude se divise en deux zone : la wilaya de Laghouat appartient à la zone I, caractérisée par une sismicité faible. Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa situation et de son importance vis-à-vis des objectifs fixés.

Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des règles parasismiques algériennes RPA 99/2003 doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci-après :

- Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale ;
- Groupe 1B : Ouvrages de grande importance ;
- Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne ;
- Groupe 3 : Ouvrages de faible importance.

Les coefficients d'accélération (A) à prendre en considération dans les calculs selon le type de l'ouvrage, sont donnés dans le tableau VI.1

Tableau VI.1 : Coefficients d'accélération en fonction du type d'ouvrage et la sismicité de la zone (RPA 99/ version 2003)

Groupe	ZONE			
	I	Ia	IIb	III
1A	0,15	0,25	0,3	0,4
1B	0,12	0,2	0,25	0,3
2	0,1	0,15	0,2	0,25
3	0,07	0,1	0,14	0,18

III. Etude géotechnique :

A. Introduction :

L'étude géotechnique permet de déterminer les caractéristiques géotechniques du sol, à l'emplacement de la structure prévue à construire. Ceci implique :

- Une description stratigraphique du terrain ;
- Définir les caractéristiques géotechniques des formations reconnues ;
- Une classification de sol.

Pour atteindre le but de cette investigation, des essais géotechniques ont été mis en évidence, notamment, les essais réalisés sur site et au niveau de laboratoire.

B. Essais in-situ :

Les essais in-situ sont des mesures physiques directement sur le terrain. Les données récupérées sur le terrain sont traitées par les ingénieurs.

Le tableau ci-dessous, présente l'ensemble des essais in-situ prévu pour le lot de la voie :

N°	Désignation	Norme	Objectif
1	Sondages carottés	XP P 94-202	-Identification du sol. -Distinction des types de formation ; -Prélèvement des échantillons
2	Essais préssiometrique	NF P 94-110-1	-Détermination des pressions limites et de fluage.
3	Essais de pénétration dynamique	NF P 94-114	-Détermination de la succession des différentes couches du sol ; -Capacité portante du sol.
4	Les puits de reconnaissance		-Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés.



1. Puits de reconnaissances à ciel ouvert :

Au total, cinq (5) puits de reconnaissances (PU41- PU45) ont été creusés le long du tracé du By Pass1, à l'aide de deux rétro chargeurs (pelles mécaniques). Les profondeurs atteintes ont varié entre un minimum de 0.50 m pour cause de refus et un maximum de 2.50 m. Les informations recueillies à partir des puits d'explorations ont permis d'une part, une caractérisation des terrains traversés par le tracé, et d'autre part, une classification des matériaux a réutilisés en corps de remblai.

• Exemples de résultats de puits du By Pass1 :

Les rapports de puits d’exploration ainsi que les photos des puits ont été présentés dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 : exemples de puits de reconnaissances.

Puits	PK	Profondeur (m)	Description lithologique	Profondeur des échantillons (m)	Photos de puits
PU-41 L-GH	03+ 500	00.00-00.20	Tout venant de reg.	/	
		00.20-00.50	Roche calcaire facturée	00.20-00.50 m quelques blocs rocheux	
PU-42 L-GH	06+ 280	00.00-00.20	Tout venant de reg	00.00-00.50m	
		00.00-00.40	Roche calcaire fracturée	/	
PU-43 L-GH	07+ 020	00.00-00.20	Tout venant de reg	/	




		00.00-00.40	Roche calcaire fracturée.	00.20-00.40m Quelques blocs rocheux.	
PU-44 L-GH	12+	00.00-00.10	Tout venant de reg.	/	
	110	00.10-00.40	Encroûtement calcaire assez bien compact.	00.10-00.40m	
PU-45 L-GH	18+	00.00-00.10	Tout venant de reg	/	
	200	00.10-00.40	Roche calcaire	00.10-00.40 m quelques blocs rocheux	

Tableau VI.2 : exemples de puits de reconnaissances.

2. Les sondages carottés :

Les travaux de reconnaissance géotechnique sur le terrain ont consisté à effectuer neuf (9) sondages carottés (F66-F74) variant entre douze (12) et vingt mètres (20 m) de profondeur chacun avec essais SPT chaque trois (03) mètres le long du forage si la lithologie le permet, et ce dans le but de déterminer la nature et les propriétés des matériaux du sous-sol, ainsi que le niveau de l'eau souterraine à ces emplacements.

L'indice N des essais de pénétration (SPT) au carottier a été mesuré en utilisant un carottier fendu, normalisé selon la procédure NFP 94-116.

Des piézomètres ont été installés dans les trous de forage afin de permettre des mesures du niveau de l'eau souterraine.

- **Exemples de sondages carottés :**

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.3 : exemples de résultats de sondages carottés

Sondage	PK	Profondeur	Matériaux
F-66-L-G	PK 1+660	12m	Des grés
F-70-L-G	PK 8+700	20m	Roche calcaire



0.00-06.00m



06.00-12.00m

Figure04 : photos des caisses F-66-L-G



0.00-04.00m



04.00-08.00m



Figure05 : photos des caisses F-70-L-G

3. Pénétration dynamique :

Onze (11) essais de pénétration dynamique (PDL36-PDL46) ont été réalisés le long du tronçon étudié. L'essai consiste à enfoncer dans le terrain sous l'action de chocs répétés par une masse (le mouton de battage) tombant en chute libre d'une hauteur constante des tiges.

L'opérateur relève le nombre de coup nécessaire pour enfoncer les tiges sur un pas de profondeur fixé de 20cm.

Les résultats sont représentés sous forme de diagramme qui donne la résistance dynamique en fonction de la profondeur. (Annexe)

Nous pouvons diviser le sous-sol en zones à résistance homogène composées comme suit :

- **Le refus obtenu à une profondeur inférieure à 01.00 m :**

Il s'agit du constat obtenu sur la quasi-totalité (10 points) des pénétromètres effectués excepté ceux mentionnés ci bas.

Le refus maximal enregistré pour ces points se matérialise par une résistance de pointe Qd égalant les 90 Mpa de 00.40 m à 00.80m selon le point.

- **Le refus obtenu entre 01.00 m et 02.00 m :**

Le refus obtenu entre 01.00 m et 02.00m concernent uniquement un (01) des onze (11) points PDL réalisés, c'est à dire l'homogénéité des terrains le long du tronçon. Le point est :

PDL 38 (PK05+800).

4. Essais préssiométriques (NF P 94-110-1) :

L'essai préssiométrique est un essai de chargement in situ effectué au sein même du terrain grâce à la réalisation préalable d'un forage. L'analyse des résultats permet d'obtenir, pour une profondeur donnée, les caractéristiques mécaniques du sol et d'effectuer les calculs de fondation. Trois caractéristiques du sol sont notamment déduites :

- le module préssiométrique EM qui définit le comportement pseudo-élastique du sol
- la pression limite pl qui caractérise la résistance de rupture du sol,
- la pression de fluage pf qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique

C. Essais au laboratoire :

Les sondages carottés et les puits de reconnaissances réalisés ont fait l'objet du prélèvement d'un maximum d'échantillons intacts et/ou remaniés pour chaque unité lithologique en fonction de l'homogénéité des terrains traversés.

Tous les échantillons prélevés dans les sondages durant la campagne de reconnaissance, ont été transportés au niveau du laboratoire. Après une inspection visuelle, certains échantillons jugés représentatifs ont été soumis à des essais physiques, mécaniques et chimiques en respect total avec les commandes d'essais transmis par SETIRAIL (société d'étude technique et d'ingénierie du rail) au fur et à mesure que les lithologies leur ont été dévoilées par le LCTP (laboratoire contrôle des travaux publics).

Les essais ont été réalisés conformément aux normes données dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 : Type d'essais de laboratoire réalisés

Type	Normes
Densités sol et roc	NF P94-053/ NF P94-064
Teneur en eau naturelle	NF P94-050
Analyse granulométrique moyenne	NF P94-041
Analyse sédiment métrique	NF P94-057
Limite d'Atterberg	NF P94-051.
Essai (VBS) valeur de bleu méthylène	NF P94-068
Proctor normal et modifié	NF P94-093
Portance CBR (3 énergies)	NF P94-078
Essai de cisaillement rectiligne UU	Mode opératoire MS-L3- LCPC
Essai de cisaillement rectiligne CD	NF P94-071-1
Essai de compression uni axial (sol et roc)	NF P94-077 / NF P94-420
Matières organiques	NF P 94-055, P 94-058 et XP P 94-047
Teneur en sulfates	NF ISO 11048
Teneur en carbonate	NF P94-048
Teneur en chlorures	NF EN 196-2

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

Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80 μm) qui permet par exemple de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fins) ; c'est un essai qui a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leur donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

6. Analyse sédimentométrique (NF P 094-057) :

L'analyse sédimentométrique par sédiment métrée s'adresse à des échantillons de sols ne contenant que des éléments de diamètre inférieur à $100 \mu\text{m}$, c'est à dire ce qui est désigné sous l'appellation de sols fins. Elle complète l'analyse granulométrique par tamisage qui est limitée aux grains de diamètre supérieur à 0.063 mm . elle permet de tracer la courbe granulométrique des éléments fins jusqu'à un diamètre d'environ $2 \mu\text{m}$.

7. Analyse chimique :

Les analyses chimiques sont effectuées sur des échantillons extraits de puits de reconnaissances.

8. Limites d'atterberg (NF P 94-051) :

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Les limites d'atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état. L'essai réalisé avec le pénétromètre, l'utilisation d'un abaque permet d'obtenir les deux limites recherchées.

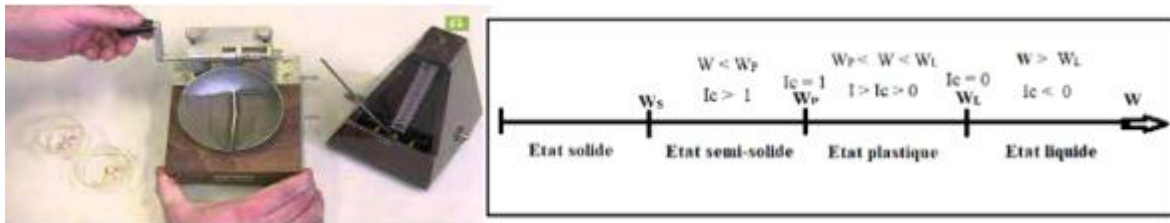


Figure06 : limite d'atterberg.

9. Essai Proctor (NF P 94 - 093) :

L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire (ou non) par compactage à une énergie fixée (poids de dame, nombre de coups et dimensions normés).

L'essai consiste à damer un échantillon de sol de manière définie et répétitive en faisant varier sa teneur en eau. La mesure régulière de la teneur en eau et de la masse volumique sèche du matériau, une fois reportée sur un graphique, permet d'obtenir une courbe en cloche. L'optimum est alors déterminé par le point maximal de la courbe qui donne la teneur en eau optimale pour une masse volumique maximum.

Les caractéristiques du creuset et de la dame utilisées pour l'essai sont explicitement définies par la norme NF P 94-093, et correspondent aux conditions de compactage classique d'un engin de chantier pour les terrassements. L'essai permet alors de mesurer l'optimum Proctor normal.

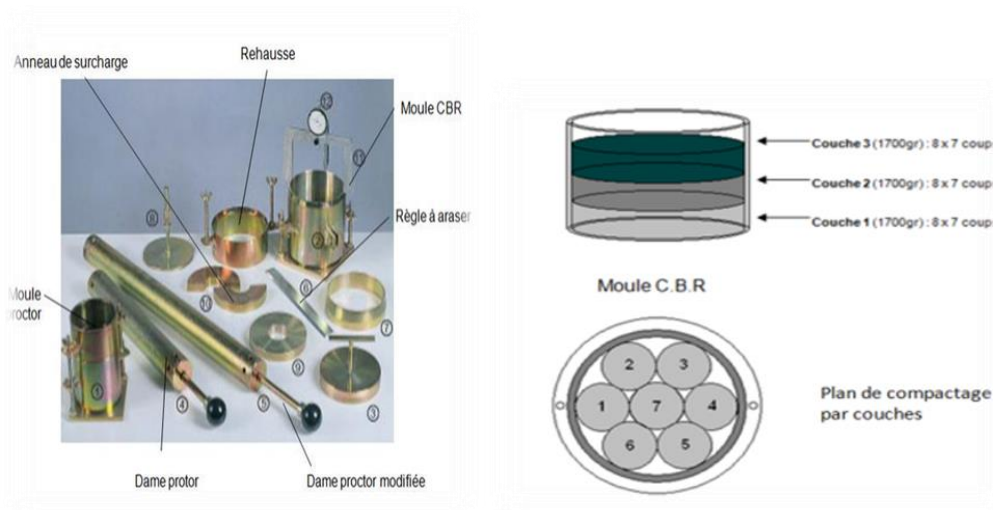


Figure07 : le matériel utilisé et le plan de compactage par couches.

10. Essai CBR (NF P 94 – 078) :

Les essais CBR permettent, selon le processus utilisé, la détermination des indices CBR immédiat et imbibé d'un sol ou d'un matériau utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des couches d'assises.

C'est essai donne une évolution sur la portance du sol, c'est-à-dire de l'aptitude des matériaux à supportes les charges. L'indice recherché est un nombre sans dimension exprimant le rapport entre les pressions produisant un en foncement donnée dans le matériau étudié d'une part et dans le matériau type d'autre part.

Sa formule est donnée comme suit :

$$CBR = \left(\frac{P}{P_s} \right) \times 100$$

P : la pression mesurée dans les sols du site ((N/mm²))

P_s : la pression pour atteindre la pénétration égale sur sol standard ((N/mm²))

11. Teneur en matière organique :

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

12. Essai de la densité sèche et la densité humide (NF P 64-053) :

Les essais effectués sur les échantillons prélevés, ont donné des densités comprises entre 1.55T/m^3 et 2.20T/m^3 , dénotant un sol peu compact à très compact. Le but de l'essai est de déterminer la densité sèche ou humide de tout sol.

13. La teneur en eau Naturelle (NF P 94 – 050) :

La teneur en eau se détermine par deux pesées. Une première pesée de l'échantillon à l'état initial donne la masse « m » de l'échantillon humide et une deuxième pesée, après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 h (évaporation de l'eau libre et de l'eau capillaire) donne la masse sèche de l'échantillon m_s .

$$m_{\omega} = m - m_s$$

La teneur en eau, C'est la quantité d'eau d'un sol :

$$\mathcal{W} = \frac{\mathcal{W}_{\omega}}{\mathcal{W}_s} \times 100$$

14. Indice des vides :

Permet de savoir l'importance des vides (sol lâche ou dense) :

$$e = \frac{V_v}{V} \text{ (e peut être } > 1 \text{)}$$

15. Essai (VBR) valeur de bleu de méthylène :

L'essai au bleu de méthylène se fait sur la fraction de sol qui passe au tamis. On réalise l'essai par dosage jusqu'à saturation par un excès de bleu, l'essai consiste à prélever un échantillon de sol et d'injecter successivement d'une solution de bleu de méthylène dans un bécher contenant l'échantillon. Selon (NF P94-068) sols la reconnaissance et essais mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche.

16. Essai de compressibilité à l'aedomètre :

Cet essai est de but de mesurer le tassement d'une éprouvette à la fonction du temps, cette éprouvette est placée dans une enceinte sans de déformation latérale.

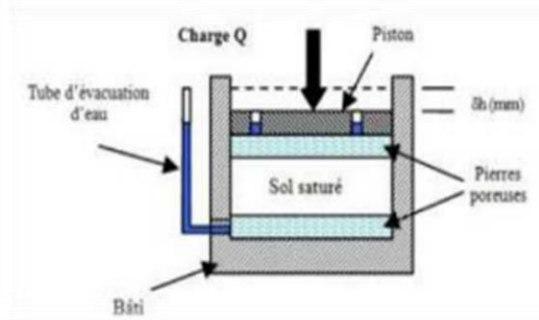


Figure08 : essai de compressibilité

17. Essai de cisaillement à la boîte de casagrande :

Les essais de résistance au cisaillement permettent de déterminer la résistance au cisaillement des sols caractérisé par la cohésion « C » et l'angle de frottement « Q ».

TableauVI.3 : essai de cisaillement

Paramètres	Désignation	Ombre de valeurs	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	/	0.21	0.21	/
	$\varphi u(^{\circ})$		35	35	/
Cisaillement rectiligne CD	C' (bars)	1	0.23	0.23	/
	$\varphi'(^{\circ})$		31	31	/

IV. Résultats des essais au laboratoire :

Les résultats des essais au laboratoire effectués sur les échantillons issus des sondages carottés sont regroupés sur les tableaux suivants :

Tableau VI.4 : tableau des résultats des essais laboratoire

ESSAIS		SONDAGE / PROFONDEUR								
		F66 - 1.5 0- 3.0 0	F66- 4.60- 4.80	F66- 11.60- 11.80	F68- 1.50- 3.00	F68- 11.00- 12.00	F73- 3.00 - 3.30	F73- 5.30 - 5.70	F73- 7.90- 8.00	F73- 11.50- 11.70
ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE ET SEDIMENTOMETRIE (% PASSANTS)	10mm	100	/	/	/	100	100	/	/	/
	2mm	89	/	/	/	92	96	/	/	/
	0.2mm	20	/	/	/	66	21	/	/	/
	0.080mm	16	/	/	/	28	12	/	/	/
	0.02mm	10	/	/	/	22	12	/	/	/
	0.002mm	00	/	/	/	04	00	/	/	/
Teneur en eau	W%	/	/	16.1 2	/	0.81	/	/	/	/
γd t/m ³		/	2.8 2	1.85	2.41	2.08	2.62	2.58	/	/
Densité humide	γh t/m ³	/	/	2.15	/	2.10	/	/	/	/
WS %		/	/	17.01	/	11	/	/	/	/

Degré de saturation	Sr %	/	/	95	/	07	/	/	/	/
Limite de liquidité	WL%	/	/	/	/	63.54	/	/	/	/
Limite de plasticité	Wp%	/	/	/	/	26.66	/	/	/	/
Indice de plasticité	Ip%	/	/	/	/	36.88	/	/	/	/
Valeur de bleu méthylène	VBS	/	/	/	/	/	/	/	/	/
ES		/	/	/	/	/	/	/	/	/
ODOMETRES	PC bar	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Cc	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Cg	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CISAILLEMENT RECTILIGNE	CD (bars)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	UU	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Ø degré	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CISAILLEMENT TRIAXIAL	R.C.S (bars)	/	358	/	/	/	589	535	32.7	30.6
ANALYSE CHIMIQUE	Sulfates ((SO ₄ ⁻)	--	/	/	--	--	--	/	/	/
	Chlorures (NaCl)	0.015 %	/	/	0.017 %	0.079 %	0.00 7%	/	/	/
	Carbonate (CaCO ₃)	65%	/	/	70%	03%	65%	/	/	/
	Insoluble	28.7%	/	/	22.04 %	90.1%	31.2 %	/	/	/

V. Définition des portances du sol :

Les essais de laboratoire et les essais in-situ nous ont permis de faire une étude détaillée et d'élaborer des résultats comme dans le tableau suivant :

Tableau VI.5 : classification des sols du tronçon by pass1

By pass1			
Fondation (Profondeur)	PK	Classification	
		GTR	UIC
F66 (2à5m)	1+660	R23	QS2
F66 (10à20m)	1+660	R22	QS3
F68	6+100	B5 B6	QS3
F69	6+736	B5 B6	QS3
F74 (2à5m)	17+300	C1B5 C1A1	QS2
F74 (10à20m)	17+300	R22	QS3

VI. Unités géotechniques :

La présente section porte sur le comportement géomécanique des grandes unités géotechniques identifiées le long du tracé. Ce travail est basé essentiellement sur une synthèse des résultats des essais in situ et des essais de laboratoire effectués.

La caractérisation géotechnique de chaque unité lithologique a été effectuée en se basant, d'une part sur la nature et l'origine de la formation géologique. D'autre part, sur les résultats des essais in situ et de laboratoire obtenus. Les unités géotechniques considérées et affectées par le tracé se présentent comme suit :

a. Unité1 : tout venant (TV)

Il s'agit d'une formation superficielle du quaternaire constituée de faciès fluviaux (TVO et terrasse alluviale) et éoliens (TVR et Terrasse de Regs) constitués, dans la plupart des cas, par de gros graviers, avec en abondance de gros galets, arrondis à faiblement arrondis et polygéniques. La matrice est sablonneuse avec parfois un peu de boues.

Cette unité est localisée principalement au niveau de quelques lits mineurs et moyens d'oueds et constitue la couverture superficielle sur la majorité du parcours, avec des volumes et épaisseurs limités

Selon les graphiques obtenus à l'issue des analyses effectuées, les matériaux testés renferment un pourcentage d'éléments fins ($< 80\mu$) compris entre 25 et 48% avec une moyenne de l'ordre de 37% ce qui correspond généralement à un matériau de la classe C1B5 à C1A1 et peut-être considéré de qualité QS2 « sol de qualité moyenne » selon les sections investiguées.

b. Unité2 : encrouement calcaire (ENC)

Cette unité de pliocène continental de couleur brunâtre assez graveleux caillouteuse, parfois intercalée par des passages rocheux est très répandue sur tout le tracé. Les coupes de sondages ont toujours révélé la présence de cette unité sur des épaisseurs variables, aller de 02m jusqu' à 05m environs, néanmoins toujours comme couches superficielles ou parfois au-dessous d'une fine couche de tout venant.

Il s'agit d'un matériau de la classe R23 et peut-être considéré de qualité QS2 « sol de qualité moyenne » selon les sections investiguées.

c. Unité3 : calcaire (CA)

Cette unité de crétacé moyen et crétacé supérieur est considérée de par les résultats de sondages obtenus, comme le substratum de la région d'étude en son linéaire, By Pass vers Hassi R'mel. Les résultats obtenus ont fait ressortir cette unité en divers formes et aspect à savoir : un calcaire très dur sain ou parfois fracturée vacuolaire, souvent d'aspect conglomératique (béchique ou pouding) ou contenant de la dolomite (calcaire dolomitique). Cette unité constituée comme mentionné précédemment le substratum de cette section de tracé. Elle est présente avec des épaisseurs relativement importantes dépassant les 10 à 20m selon les sondages réalisés. Il s'agit d'un sol rocheux de la classe R22 et peut-être considéré de qualité QS3 « Bon sol » selon les sections investiguées.

d. Unité4 : sable et sable grésifié

Il s'agit de sable moyen à grossier rougeâtre plus ou moins consolidé à grésifié, d'âge Mio-Pliocène, parfois argileux marneux détectée principalement au niveau de quelques PK du By Pass (F68 et F69) Cette couche de faible épaisseur résulte de l'altération des grès qui se développe bien en profondeur et elle est couverte par l'unité des encroutements.

Il s'agit d'un sol de la classe B5 à B6 et peut-être considéré de qualité QS2 « sol moyen » selon les sections investiguées.

Tableau6 : classification des sols

Classification des sols (identification géotechnique).	Classe de qualité de sols
0.1 Sol organique 0.2 Sol fin (comportant plus de 15% de fines) foisonnés ; humides et donc non compactables. 0.3 Sols thixotropes (quiky-clay par exemple) 0.4 Sol comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sol comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 0.6 Sol mixtes 'minéraux organiques '	Qs0 Sol impropres
1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives par exemple : <ul style="list-style-type: none"> • craies de $\rho_d < 1.7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte • Marnes • Schistes 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines	Qs1 Sol médiocres

<p>(sauf sols 0.2)</p> <p>1.4 Roche évolutives</p> <p>Par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • craines de $\rho_d < 1.7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible • Schiste non altérés <p>1.5 Roches tendres</p> <p>Par exemple :</p> <p>Si Microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40</p>	
<p>2.1 Sol comportant de 5 à 15 % de fines</p> <p>2.2 sol comportant moins de 5 % de fines mais uniformes ($C_u \leq 6$)</p> <p>2.3 roches moyennement dures</p> <p>Par exemple :</p> <p>Si $25 < MDE \leq 40$ et $30 < LA \leq 40$</p>	<p style="text-align: center;">Qs2</p> <p style="text-align: center;">Sol moyens</p>
<p>4. Sol comportant moins de 5 % de fines</p> <p>5. Roche dures</p> <p>Par exemple</p> <p>Si $MDE \leq 25$ et $LA \leq 30$</p>	<p style="text-align: center;">Qs3</p> <p style="text-align: center;">Bon sol</p>

Tableau6 : classification des sols

VII. Terrassements :

A. Introduction :

En tant que les travaux fondamentaux dans les travaux publics, l'ouvrage du déplacement de terre, le déblai où le terrain est plus haut que la hauteur projetée et le remblai où le terrain est plus bas que la hauteur projetée conformément à la hauteur projetée

B. Déblai :

Les principales zones de déblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal.

A ce stade d'étude, et vu que la plus part des déblais n'auront pas des hauteurs très significatives et comptes tenu du profil géologique des terrains, les talus seront profilés comme suit :

1(H) /3(V) : Sol rocheux consolidé.

3(H) /2(V) : Sol meuble ou peu consolidé et dépôts de sols encroûtés.

Les pentes de talus pourront être optimisées en phase ultérieure, et cela en fonction des résultats des études de stabilité et des caractéristiques mécaniques des sols et place.

Un drainage longitudinal et transversal est à assurer pour l'évacuation des eaux superficielles.

C. Remblais :

Les remblais ont été conçus en tenant compte des risques et contraintes présents sur le long du tracé.

Il est prévu le passage en remblais de faible hauteur pour la majorité du tracé, afin d'éviter le risque d'ensablement à l'exception des zones inondable et les zones contenant des ouvrages d'art.

A ce stade d'étude, les talus seront profilés à 2H/1V (Horizontal/Vertical) avec des bermes tous les 6m de hauteur, pour les remblais dépassant les 8m de hauteur et à 3H/2V (Horizontal/Vertical) pour le reste de remblais (inférieurs à 8m).

Les pentes de talus pourront être optimisées en phase ultérieure, et cela en fonction des résultats des études de stabilité et des caractéristiques mécaniques des matériaux de réutilisation.

Les principales zones de remblai le long du tracé dont la hauteur dépassant 8,00 m et ceux situés en zones inondable, sont récapitulées dans le tableau N°7 avec leurs caractéristiques géométriques et la nature du sol support et éventuellement les traitements spécifiques.

Compte tenu de tous les résultats des travaux et essais de la campagne géotechnique, on ne prévoit pas des tassements significatifs des remblais tous le long du tracé.

Les terres végétales seront décapées et stockées pour leur réutilisation ; ainsi que les talus des remblais seront protégés contre l'érosion et l'infiltration des eaux par la mise en place d'une couche de terre végétale d'environ 0,15 m d'épaisseur.

Les sables (sable de dune) seront purgés sur des épaisseurs variables le long du tracé, généralement entre 0.5 et 2.0m.

1. Matériaux de corps de Remblais et exigences constructives pour exécution :

Les matériaux constituant le corps de remblais doivent être exécutés par couches élémentaires superposées. La dimension des plus gros blocs ne doit pas dépasser les deux tiers de la couche élémentaire. Les blocs dont les dimensions sont incompatibles doivent être fractionnés ou enlevés.

-Dans les corps des remblais, on peut envisager l'utilisation des matériaux de qualité inférieure, excepté les sols de nature argileuse très plastiques qui appartiennent aux classes A3, A4 obtenus dans les terrains du quaternaire, ainsi que les roches évolutives tel que les gypses, les argilites, les schistes et les marnes...

- Dans les zones inondables susceptibles d'être immergés temporairement, ils doivent être constitués de matériaux granulaires, peu sensibles à l'eau conformément à la fiche N°7 de la norme ST590 avec $VBS \leq 0.1$, les passants à $80\mu m \leq 5\%$. Les matériaux à utiliser devraient être composés par sols des classes CiB3, D3, R21, R22, R41 et R42 de la classification GTR. Les matériaux de zone d'inondable doivent être placés à une hauteur correspondant à 0,5m au-dessus du NPHE.

-Pour la couche de forme il est recommandable de sélectionner des sols de meilleure qualité, conformes à la fiche n° 4 de la norme ST590, notamment des sols des classes B3, CiBi, D2, D3, R21 et R41 de la classification GTR et par sols avec des matériaux passant à $80\mu m \leq 12\%$.

2. Assises des remblais :

On ne prévoit pas de problèmes significatifs (stabilité ou tassements) dans l'assise de la plupart des remblais. Après le décapage et la purge, les terrains auront globalement une portance suffisante pour l'assise des remblais prévus de la voie ferrée.

3. Remblais en zones inondable (ZI) :

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés selon la conception donnée dans le référentiel technique de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité, une protection en gabionnage est aussi recommandée dans le cas où les écoulements sont parallèles au tracé.

Selon les Spécifications Techniques ST 590 B, les matériaux à utiliser pour la construction des parties des remblais susceptibles d'être immergées au niveau de zones inondables doivent être constitués de matériaux granulaires.

ST 590 Indice B avec les caractéristiques suivantes :

$$LA + MDE \leq 80$$

$$63 \leq D \leq 500 \text{ mm}$$

Tamisé à (D) : $85\% \leq \%$ tamisé $\leq 99\%$ passant à $80\mu\text{m} \leq 5\%$

Avec :

D : dimensions des granulats.

LA : Los Angeles.

MD: MicroDeval.

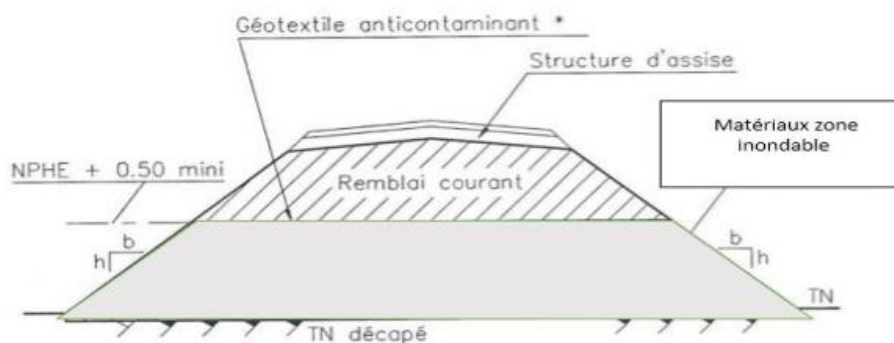


Figure09 : Conception admise des remblais en zones inondable

Les géotextiles de séparation (filtre anti contaminant) devront être du type non-tissés en polypropylène et présenter les suivantes caractéristiques minimales :

- Masse surfacique (NF EN 965 - NF EN ISO 9864) > 300 g/m²
- Résistance à la traction (NF EN ISO 10319) > 20 KN/m
- Déformation à l'effort de traction maximale (NF EN ISO 10319) > 75%
- Résistance au poinçonnement statique CBR (NF G 38-019 - NF EN ISO 12236) > 1.75 KN
- Ouverture de filtration caractéristique (NF EN ISO 12956) < 100 μm .

4. Synthèse des situations :

La zone où l'on prévoit la nécessité de traitement/renforcement de l'assise des remblais est présentée dans le tableau suivant, ce dernier présente également les caractéristiques principales des sections en remblai, tel que les formations géologiques des terrains d'assise, la hauteur maximale à l'axe, ainsi que les pentes des talus, les travaux de prospection géotechnique réalisés (y inclus un résumé des résultats et la nature des terrains traversés), le type d'assise des remblais et le type de traitement.

Tableau VI.7 : Liste des remblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m ($H \geq 8$ mètres)

PK Début	PK Fin	Long (m)	H (max)	Pk H (max)	Essais in situ	Nature du sol d'assise	Unité géotech nique	Classe GTR/ UIC	Observation hydraulique	Pente proposé	Larg Berme (m)/Haut eur talus(m)	Recomm andation s prélimin aires
8+340	9+000	660	8.90	8+700	F70-LG	Roche calcaire	calcaire	R22 QS3	Zone sèche	2H/1V	Berme 2m Talus 6m	Remblai courant

Tableau VI.7 : Liste des remblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m ($H \geq 8$ mètres)

VIII. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a vu l'étude géologique et géotechnique du tracé de notre projet ; les différents essais réalisés au laboratoire ou sur le terrain ont donné un type de sol de qualité de portance Qs3 (bon sol). De même, les zones demandant le traitement/renforcement de l'assise des remblais.

Chapitre VII

L'infrastructure ferroviaire

I. Introduction :

Dans le cas où les traverses sont posées directement sur la plate-forme, elles s'enfonceront plus ou moins dans le sol naturel, la résistance n'est généralement pas suffisante pour résister le poids qu'elles portent, et la planéité de la voie en sera affectée. La résistance au sol est aussi très inégale. Ces inconvénients sont évités en insérant une structure d'assise de hauteur suffisante entre la poutre et la plate-forme pour que la pression reçue par la poutre soit répartie le plus uniformément possible sur la surface la plus large de la plate-forme sous charges roulantes.

II. La structure d'assise :

La structure d'assises ou l'infrastructure de la voie est le soubassement d'une voie, en d'autre terme, c'est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Elle sert à répartir sur la plate-forme, les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure, de plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie. Elle permet donc pour une large part d'assurer par sa nature et son épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

III. Constitution d'une voie ferrée :

La voie ferrée est constitué par deux parties distinguées la superstructure et l'infrastructure. L'infrastructure est composée soit de la plate-forme ; interface entre voie proprement dite et le sol soit de l'ouvrage d'art sur lequel la superstructure est posée. La superstructure de la voie ferrée est composée de divers composants : rails plus les accessoires d'attache et de fixation, traverses, d'une couche d'assise composée de ballast, d'une sous-couche (sous ballast), d'appareils de voie divers et de passage à niveau. ..Etc.

IV. Les différentes couches d'assises :

Elles comprennent la couche de ballast, la sous couche et la couche de forme.

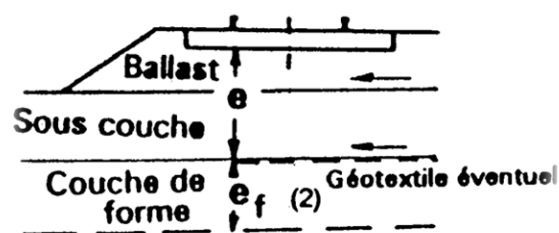


Figure01 : les couches d'assise

V. Dimensionnement des couches d'assises :

Le dimensionnement des couches d'assise doit prendre en compte à la fois :

- Les problèmes de portance.
- Les problèmes de gel.

Du point de vue de la portance, l'épaisseur globale « ballast + sous ballast » dépend :

- De la classe de portance de la plate-forme.
- Du type de l'espacement des traverses.
- Des caractéristiques de trafic (tonnage supporté, charge d'essieu, vitesse).

VI. Couche de ballast :

La couche de ballast est disposée sous les traverses, son épaisseur est de 300 mm à l'aplomb du rail en pleine voie.

L'inclinaison de talus de ballast (pente entre le bord inférieur et le bord supérieur de la couche de ballast) est d'environ 33,7°.

Etant utilisée depuis longtemps, la couche de ballast est une technique éprouvée dans la construction des chemins de fer et montre les caractéristiques suivantes :

- Assurer, en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux zénithales
- Constituer un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques
- Transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol sans que celui-ci ne se déforme par tassement
- Enchâsser les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales, particulièrement pour les éléments de voie soudés (LRS : longs rails soudés).
- Permettre d'ajuster, de façon simple et efficace, le tracé de la voie
- Permettre la construction de voies ferrées avec le coût des travaux relativement faible (moins élevé).
- Présenter le risque d'endommagement des rails et des roues par le poinçonnement des grains de ballast.
- Risquer de diminuer la perméabilité à cause de la contamination des granulats et de la remontée des particules fines par le phénomène de pompage (mud pumping phénomène), par exemple de la terre

Le ballast est constitué de concassés de pierres dures (calibre 25/50) provenant des carrières identifiées pour l'exécution du projet. Le ballast mis en voie doit être exempt de gangue, poussières, sables fines et débris. Au besoin, il aura été lavé et dépoussiéré.

1) Couche de sous ballast :

La couche de sous Ballast a les fonctions suivantes :

- Protection de la partie supérieure de la plateforme contre l'érosion qui résulte, soit, d'une part du poinçonnement opéré par les éléments de ballast, soit, d'autre part, de l'action des eaux.
- Protection des plateformes contre les effets du gel
- Meilleure répartition des charges transmises, permettant d'obtenir au niveau de la partie supérieure de la plateforme des sollicitations de valeurs admissibles, à l'égard de l'indice de portance du sol.
- Amélioration de la portance du sol
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires
- Anticontamination entre la plate-forme et la couche de ballast

2) Couche de fondation :

La couche de fondation est mise en place sous la couche de sous ballast.

La couche de fondation est exécutée en grave propre bien graduée. Les matériaux employés sont, soit les sous-produits des carrières de ballast, soit des alluvions d'oued.

La granulométrie des matériaux de la couche de fondation doit répondre à la condition de non contamination par rapport à la couche de forme et à la couche de sous ballast.

3) Couche anti-contaminant :

Nécessaire sur les plateformes P1, c'est une couche de sable propre compactée d'une épaisseur minimale de 10 cm, son rôle est d'empêcher les remonter des eaux capillaires du sol vers l'assise

4) Couche de géotextile :

Nécessaire sur les plateformes P1 et P2, elle améliore la qualité anti-contaminant des couches d'assise et facilite leur mise en œuvre, et améliore la résistance des couches de forme en Qs1 et Qs2.

VII. Plateforme

- **Définition :** La plate-forme est le terrain aménagé sur lequel repose la voie. C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche, elle est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai, répondant aux critères suivants :

- La nature géotechnique du sol : granularité, dureté, altérabilité et contenu organique ;
- Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques.

Ces critères sont étudiés par des sondages très nombreux, conditionnant en partie le choix du tracé. La plate-forme nécessite, dans sa configuration définitive, avant pose de la voie, elle comprend différentes couches. Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

- D'apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme,
- D'apprécier la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent.

VIII. Classes de portance des plateformes :

La portance d'une plateforme dépend de :

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

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes suivantes de plateformes en fonction de la qualité de leur portance :

- P1 : Plateforme médiocre.
- P2 : Plateforme moyenne.
- P3 : Plateforme bonne.

Les méthodes pour effectuer ce classement sont diverses. Une de ces méthodes est donnée ci-après :

Tableau 1: les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.

QUALITÉ DU SOL SUPPORT	CLASSE DE LA PLATE FORME	COUCHE DE FORME	
		Qualité	Épaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

IX. Épaisseur minimum des couches d'assise :

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir :

Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche, conformément à la fiche UIC 719 est donnée par l'expression suivante :

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

Avec:

E	0.7 m	pour les plates-formes de classe de portance P1
E	0.55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2
E	0.45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3
A	0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le groupe UIC)
A	-0.05 m	pour les groupes UIC 3 et 4
A	-0.10 m	pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs
A	-0.15 m	pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur'
B	0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m

B	$(2.50-L)/2$	pour les traverses béton de longueur L (b en m. L en m, b peut être négatif si $L > 2,50$ m)
C	0	pour un dimensionnement normal
C	-0.10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7, 8, 9 sans voyageur
C	-0.05 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageur"
D	0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 Kn
D	+0.05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
D	+0.12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
F	0	pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes à grande vitesse.
F	+0.05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes à grande vitesse.
F	+0.10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes à grande vitesse
G	+géotextile	lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2
G	0(pas de géotextile)	lorsque la couche de forme est en sol QS3

Tableau 2: les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs

X. Application sur notre projet :

Les paramètres de dimensionnement de notre projet :

$E = 0,45$ m pour une plate-forme de classe de portance P3

$a = 0$ pour les lignes de vitesse $V > 160$ Km/h.

$b = 0.13$ cm pour les traverses en béton de longueur $L = 2,24$ m

$c = 0$ pour un dimensionnement normal.

$d = 0,05$ m (pour la charge nominal d'essieu de 20 ton/axe)

$f = 0$ pour une plate-forme de classe de portance P3, et ligne à grande vitesse.

$g = 0$ pas de géotextiles pour couches de forme de qualité de sol QS3

L'épaisseur des couches d'assise est :

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

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

$$e = 0.63 \text{ m}$$

on prend : $e = 65$ cm

En utilisant les valeurs minimales de chaque couche on obtient des épaisseurs des couches représentées dans la figure suivante:

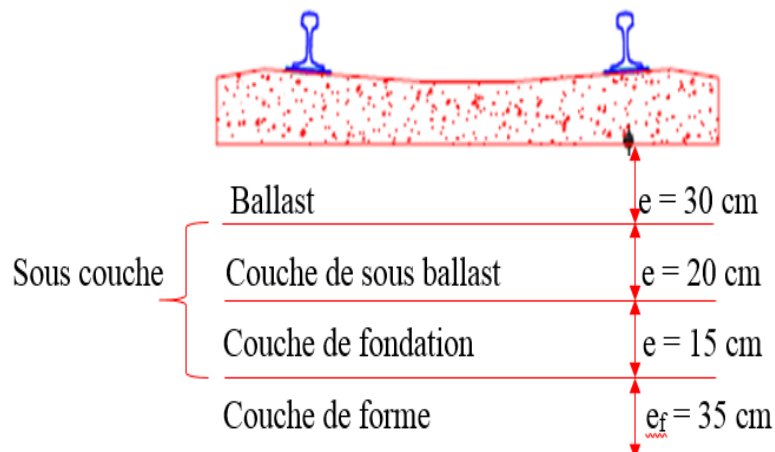


Figure02 : épaisseurs de chaque couche

COUCHES	EPAISSEUR (CM)
Ballast	30
Sous-ballast	20
Couche de fondation	15
couche de forme de type S3	35

Tableau 3: épaisseurs des composants de la structure d'assise

XI. Conclusion :

Les dimensions nous ont permis de mettre en évidence les différentes épaisseurs de couches qui doivent être présentes, pour supporter et répartir la charge portée par le matériel roulant. Pour se faire, nous avons respecté les normes de l'UIC.

Chapitre VIII

La superstructure ferroviaire

I. Introduction :

La superstructure de la voie est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristique physiques et mécaniques différentes qui permettent la transmission à la plateforme (Infrastructure), les charges statiques et dynamiques des roues, pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux.

En général, la voie se compose de deux fils en aciers qu'on appelle « rails », posés parallèlement sur des supports transversaux en bois, en métal ou en béton qu'on appelle « traverses », pour conserver un écartement constant.

Et pour permettre la ramification et la jonction des voies, on utilise « les appareils de voie ».

Dans ce chapitre, nous procéderons à une description exhaustive de chacun de ces éléments.

II. Catégories des voies :

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

- Les voies principales : affectées à la circulation des trains.
- Les voies de circulation : qui sont affectées à une desserte interne dans des grands complexes ferroviaires
- Les voies de service : affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes voies principales déclassées.
- Les voies d'évitement : qui permettent à deux trains qui circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- Les voies de garage : affectées au stationnement du matériel roulant.

III. Les éléments de la superstructure :

A. Les rails :

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

Les rails sont caractérisés par :

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

Il existe différents profils et nuances de rail, adaptés aux utilisations auxquelles ils sont destinés.

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

Tous ces profils possèdent en commun les éléments suivants : à la partie supérieure le champignon qui supporte les contacts des roues ; l'âme, partie médiane amincie ; le patin, partie inférieure ; les portées d'éclissage, parties inclinées du champignon et du patin qui permettent le serrage des éclisses. Le champignon du profil à gorge, comporte en outre, l'équivalent d'un contre-rail qui permet la circulation en chaussée des boudins de roues.

B. Les types de rails :

Le rail moderne est généralement du type « Vignole » ; dans une section transversale, on distingue le patin qui s'appuie sur la traverse, le champignon qui constitue le chemin de roulement, et l'âme, filet vertical qui relie le champignon au patin.

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

1. Rail DC (double champignon) :

Le rail à double champignon est caractérisé par une forme symétrique avec champignon supérieur et champignon inférieur (figure 1).

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

Le rail à double champignon est fixé sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte dans lesquels il est serré par des coins élastiques, en général métalliques, parfois en bois. La

surface d'appui de ces coussinets sur les traverses peut atteindre 680 cm², ce qui a permis pendant longtemps aux réseaux utilisant des traverses en bois tendre de faire face à l'augmentation croissante des charges et des essieux. A l'heure actuelle, on n'utilise plus en pose neuve le rail à double champignon, les Chemins de Fer anglais, qui furent ses derniers partisans, l'ayant abandonné vers 1938.

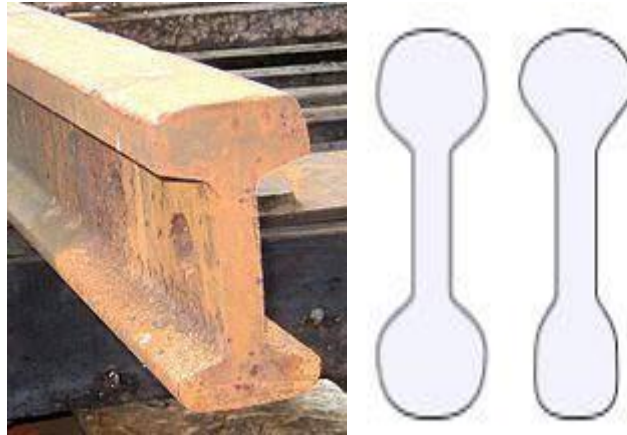


Figure01 : rail type double champignon.

2. Rail à patin (Vignole) :

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

C'est pourquoi la généralisation de l'emploi de rails soudés en grandes longueurs peut être de nature à permettre une modification assez sensible de la forme du rail, en évitant l'impératif posé par l'éclissage, un procédé de fortune permettant une réparation provisoire en cas de rupture.

Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance ; Le profil est composé de :

- **Champignon** : Courbure pour le contact roue-rail et masse pour frotter la zone de contact
- **Âme** : Raccord avec portées d'éclissage

- **Patin** : Largeur pour transfert de charge à la traverse, portée d'éclissage et zones pour les attaches

Il y a multiples profils allant de 30 à 60 kg/m.

La forme de type de rail Vignole est représenté dans la figure (Rail UIC 60, UIC : Union International Chemin de Fer), le poids par mètre linéaire de rail selon UIC 60 est de 60,3 kg/ml, et selon UIC 54 et de 54,4 kg/ml. Ces rails sont généralement fournis en longueur de 18 m (acier de nuance 900 A) (figure 2).

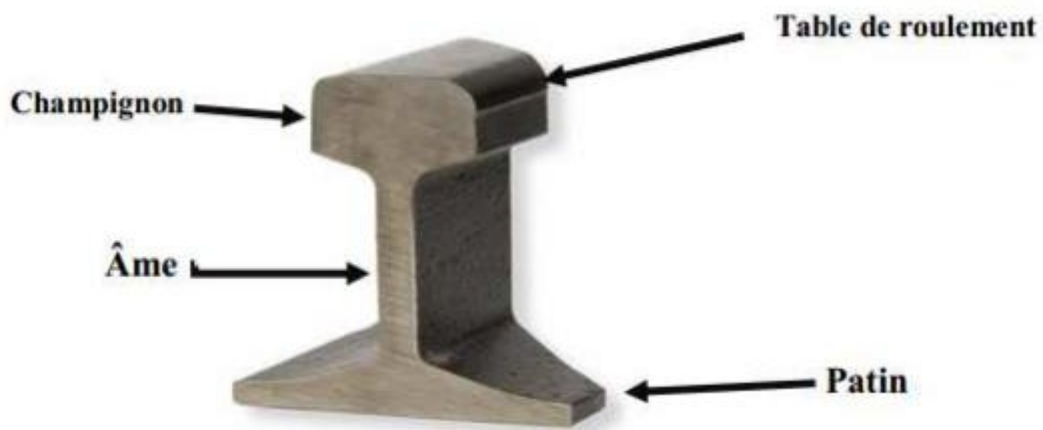


Figure02 : rail type Vignole

3. Rail Broca ou à gorge (Tramway / voies de port) :

Le rail à Gorge (Broca), est généralement utilisé dans le cas des tramways et les métros légers, leur poids propre est de l'environs de 58,96 kg/ml et leur géométrie est schématisée sur la figure ci-dessous (figure3).

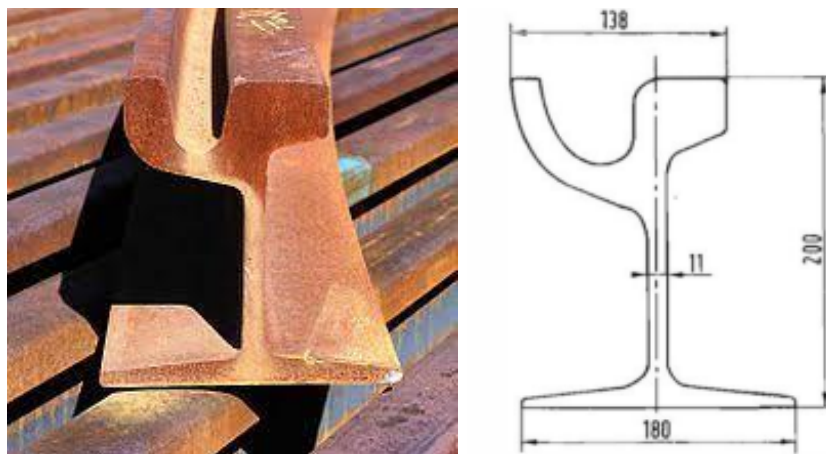


Figure03 : Rail type Broca ou à gorge

❖ Pour notre projet :

Le rail utilisé est du type 60 E1 (60,21 kg/m). La fabrication et la fourniture des rails sont conformes à la norme EN 13674-1 (Rails Vignole de masse ≥ 46 kg/m).

❖ Caractéristiques géométriques et mécaniques de rail UIC 60 :

- Désignation : SNCF : UIC 60 ; Europe : 60 E1
- Hauteur $H=172$ mm ; Largeur de table de roulement $l=72$ mm
- Epaisseur de l'âme $E=16.5$ mm ; Largeur du patin $L=150$ mm
- Poids métrique $P= 60,340$ kg ; Section $F=71$ cm²
- Moment d'inertie par rapport à l'axe neutre (horizontale) $I_x=3031$ cm⁴
- Moment d'inertie par rapport à l'axe vertical $I_y=417.5$ cm⁴
- Moment de résistance par rapport :
 - Au champignon : $W_{xk} = 303.6$ cm³
 - Au patin $W_{xf} = 312.8$ cm³
 - A l'axe vertical y-y : $W_y =68.3$ cm³
- Elancement : $E = 1.16$

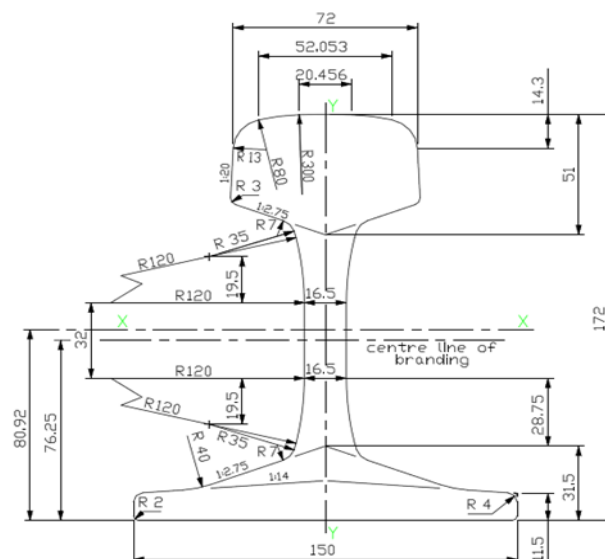


Figure04 : rail UIC 60 (Source, rapport descriptif Setirail)

C. Écartement des rails :

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. Mesurée entre les bords intérieurs des champignons des rails et à 14 mm sous le plan de roulement.

L'écartement le plus répandu dans le monde (60 % des chemins de fer) est de 1435 mm. C'est celui que l'on qualifie de « normal ». (Voir figure 6 les écartements par pays).

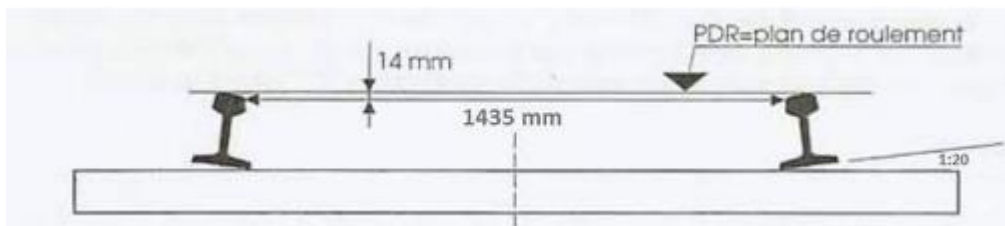


Figure05 : l'écartement entre les rails.

L'écartement n'est pas constant en fonction du tracé de la ligne. Pour faciliter l'inscription des essieux en courbe on ménage un " sur écartement ".

Un écartement supérieur à l'écartement normale est appelé voie large et un écartement inférieur, voie étroite.

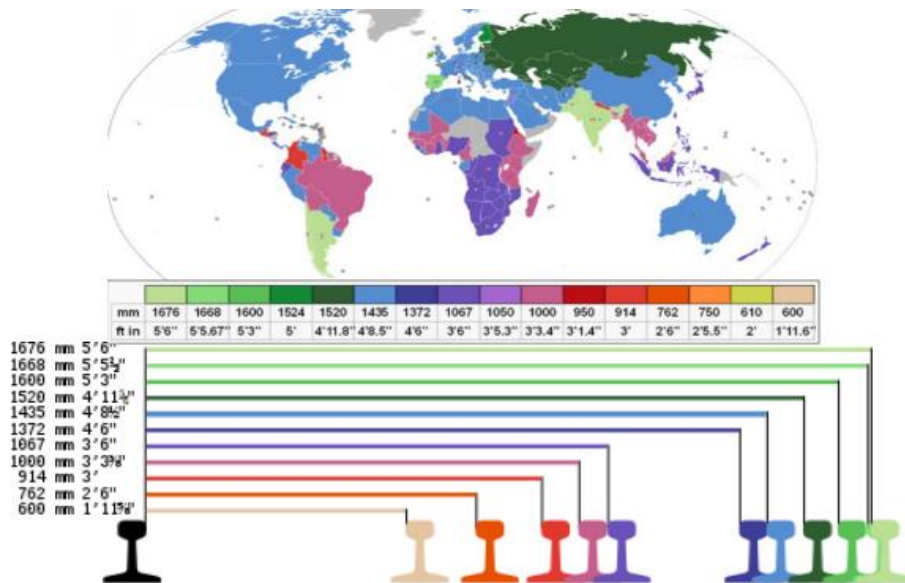


Figure06 : Les écartements utilisés dans le monde.

D. Inclinaison des rails :

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20 en voie normale sauf pour les réseaux de tramway. Cette pente est obtenue par entaillage incliné des traverses bois. (Voir figure 5)

E. Défaut des rails :

On distingue trois catégories de défaut de rails :

- **Rail avarié** : rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autres défauts généralement situé en surface.



Figure07 : rail avarié.

- **Rail fissuré** : rail présentant, en un point quelconque de sa longueur et quelles que soient les parties intéressées du profil, une ou plusieurs solutions de continuité, d'orientation quelconque, visibles ou non, dont le développement risque d'entraîner une rupture à échéance plus ou moins rapprochée.



Figure08 : rail fissuré

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



Figure09 : rail rompu

F. Contre-rail :

Un contre-rail est placé dans la partie croisement d'un appareil de voie, qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails. Ils permettent de guider les essieux d'un train et de protéger la pointe du cœur et afin d'éviter de faire un bi voie qui provoquerait un déraillement. Il assure le guidage de l'essieu au franchissement de la lacune du cœur de croisement.



Figure10 : un contre rail dans une partie de croisement

G. Rail de sécurité :

Un rail de sécurité ou 3ème rail doit être implanté pour limiter les conséquences d'un déraillement, en cas de besoin, dans les zones particulièrement exposées en cas de déraillement du train (courbes surplombant un ravin ou sur viaduc par exemple). Ce rail est disposé entre les deux rails de roulement, de façon dissymétrique, vers la file opposée à la zone exposée.



Figure11 : rail de sécurité.

H. Assemblage des rails :

Il existe deux types d'assemblage : l'éclissage et la soudure.

- **L'éclissage** : C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées, qui s'entrent entre le dessous du champignon et le dessus de patin. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes :

_ Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportent comme une poutre continue.

_ Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre

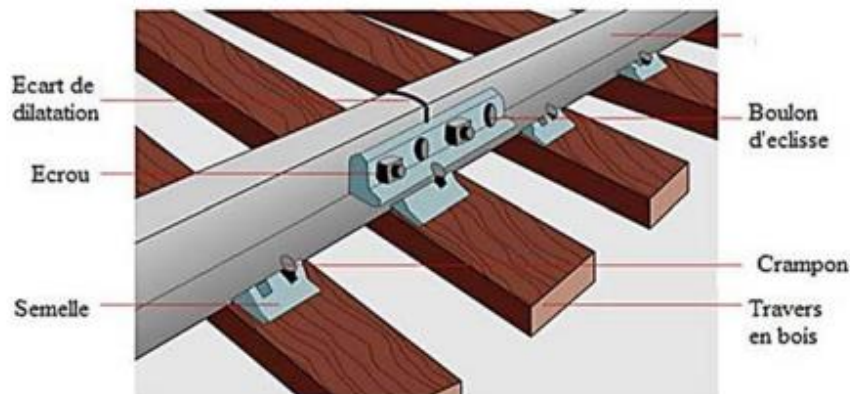


Figure12 : l'éclissage.

- **Les longs rails soudés** : Les longs rails soudés (LRS), appelée aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, dans cette technique les coupons de rail de 80 m sont soudés en atelier en longueur de 320 à 400 m, ces barres sont posées sur de très grandes longueur, sans limites réelle, les soudures nécessaire sont étant réalisées sur place. Cette méthode est la plus adopté pour toute les lignes a fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse et cela pour les grands avantages qu'elle offre qui se résume essentiellement comme suit :

_ Une réduction des couts d'entretien de la voie.

_ Une meilleure qualité de roulement et plus grand confort.



Figure 13 : technique de soudure des rails.

I. Les traverses :

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

4. Rôles des traverses :

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

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

5. Types de traverses :

- **Traverse en bois** : Elles sont fabriquées à partir du bois de chaine ou hêtre, qui sont appréciées pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre, mais leur

durée de vie (20 à 30 ans) est très courte, alors pour régler le problème, on procède à un traitement chimique avec de la créosote et sous pression. Dans nos jours, les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment, vue leur effet négatif sur l'environnement et leur coût élevé.

Leurs dimensions sont généralement, à la SNCF (société national des chemins de fer), de 2,6 m de long, 25 cm de large et 15 cm d'épaisseur.



Figure 14 : traverses en bois

- **Traverses en béton armé** : Les traverses en béton ont une durée de vie plus importante ainsi qu'il coûte moins cher ce qui a élevé leur utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc. Il en existe deux types :

_ **Bi bloc** : Formées de deux blocs de béton reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts au milieu de la traverse.



Figure15 : traverses en béton armé Bi bloc.

_ **Monobloc** : En béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils haute résistance.



Figure16 : traverses en béton armé Monobloc

- **Traverses métalliques** : les traverses métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisées. Elles sont bruyantes, surtout à vitesse élevée, s'ancrent moins bien dans le ballast à cause de leur légèreté. Elles rendent également très difficile l'entretien de la géométrie de la voie par bourrage. En effet, leur forme ne permet pas aux bourreuses d'insérer du ballast sous la traverse.



Figure17 : traverses métallique

❖ **Pour notre projet :**

Les traverses à utiliser sur les voies principales (V P) des lignes, avec une vitesse allant jusqu'à 220 km/h, seront de type monobloc en béton armé précontraint.

Elles sont produites en série et en usines spécialisées. La fabrication des traverses et leur contrôle doivent être conformes aux normes suivantes :

- EN 13230 - 2 Railway application - Track - sleepers Concrets and bearers - Part.2 Pre-stressed mono-block sleepers" pour les traverses mono-block.
- Normes de la série EN 13230 applicables.

Les principales dimensions des traverses monoblocs sont :

_Écartement : 1435 mm

_Longueur totale : 2400 mm

_Largeur : 300 mm

_Hauteur : 215 - 220 mm

_Masse : ≥ 300 kg

J. Les attaches :

Une attache est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement.

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

6. Types d'attaches :**1.a. Fixation rigide :**

➤ **Attaches sur traverses en bois :** Les rails sont fixés sur des traverses en bois à l'aide de types de fixations simple sur des plaques des supports tels que :

_ **Crampons :** Le crampon a une forte résistance latérale ; il maintient donc bien l'écartement de la voie ; il est facile à poser. Par contre, il serre mal le patin sur la traverse leur caractéristique dimensionnelle et en détail dans la figure suivante :



Figure18 : Attaches sur traverses en bois type Crampons

_ **Le tirefond :** Le tirefond est moins résistant que le crampon et se couche plus facilement mais on obtient une adhérence parfaite du rail sur la traverse.

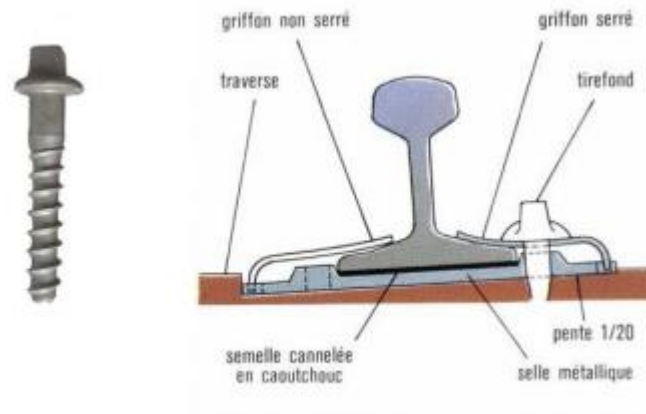


Figure 19 : Attaches sur traverses en bois-type tirefond

- **Attaches sur traverses métallique :** Sur traverses métalliques le rail est fixe à l'aide de boulons qui prennent appui sur les crapauds fixant le patin du rail dans les conditions indiquées à la figure suivante :

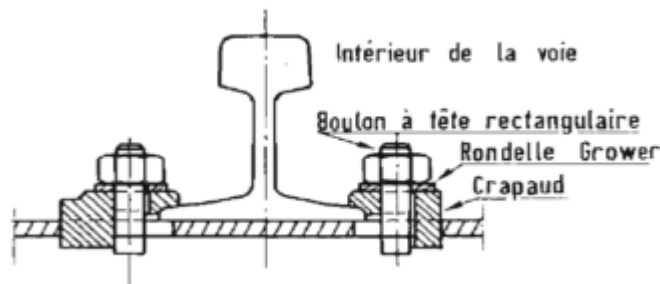


Figure 20 : Attaches sur traverses métallique

1.b. fixation élastique :

Les attaches élastiques forment un intermédiaire doublement élastique entre rail et traverse ; elles opposent donc une résistance élastique aux mouvements relatifs dans le sens vertical, aussi bien vers le haut que vers le bas. Les constituants en sont tels que la progression de l'effort en fonction du déplacement vertical puisse être réglée et se maintienne à un taux convenable, ce qui est fondamental, nous le verrons, dans la Théorie des rails soudés en grandes longueurs.

- **La fixation doublement élastique par crapaud :** Utilisée par la S.N.C.F (société nationale des chemins de fer), sur traverses en béton. Le rail est maintenu entre la semelle en caoutchouc cannelée vers le bas, et deux crapauds en acier à ressort, vers le haut.

- **Fixation Fast clip** : Le système est un FASTCLIP résilient, système de fixation du rail, convenable pour application sur béton, acier ou le bois liens, ou de la bande piste. Le commutateur unique sur le système hors tension du commutateur permet à l'installation rapide et efficace de la voie et la réduction des coûts de maintenance.

L'attache peut être réalisée par un simple ressort reliant une bride fixée à la traverse et le patin du rail : aucun vissage n'est nécessaire. C'est le système " FIT and FORGET " auquel appartient l'attache anglaise " PANDROL ".

Il existe également des traverses métalliques dont la forme est " U " renversé. Ce type de traverse est de moins en moins utilisé parce que trop léger et posant des problèmes d'isolement du rail.

- **Fixation Fastclip Type Pandrol DEE SD** : Ce système à double étage élastique, conforme à la norme UIC-720 catégories A et B (applications tramway et métro) est conçu pour la réduction des bruits solidiens lié au contact rail / route et pour l'atténuation des vibrations.

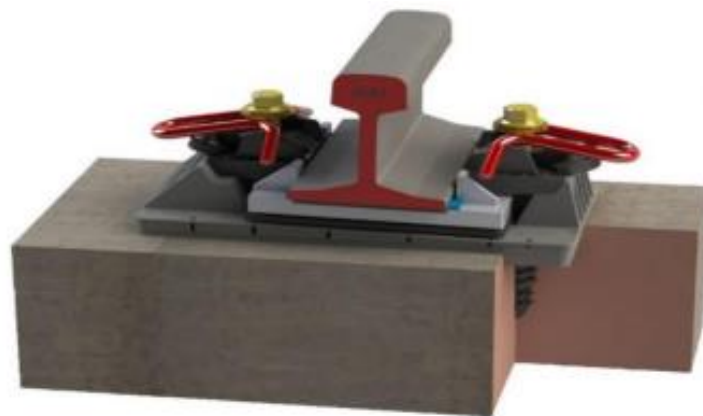


Figure21 : Fixation Fastclip Type Pandrol DEE SD

- **Fixation Fastclip Type Pandrol DFF-ADH** : Pour les voies courantes et en versions adaptées aux zones d'appareils de voie, DFF ADH permet de réduire considérablement les vibrations lors du passage des trains et de supprimer l'usure ondulatoire.



Figure22 : Fixation Fastclip Type Pandrol DFF-ADH

- **L'attache de type NABLA** : Le système d'origine Nabla fournit une fixation sûre et fiable sur les voies Tram, LRT, Métro, les Grandes Lignes et les lignes à Grande Vitesse. La forme particulière de la lame Nabla génère un effort d'application dynamique stable sur le rail une fois l'écrou serrée. L'attache nabla est constitué par un crapaud (lame-ressort) maintenue par un écrou « tirefond » vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet de traverse.

Le rail repose généralement sur une semelle cannelée en caoutchouc qui joue le rôle d'un amortisseur. Ce type d'attache est le plus répandu au monde, il convient aux longs rails soudés sur traverses en béton.

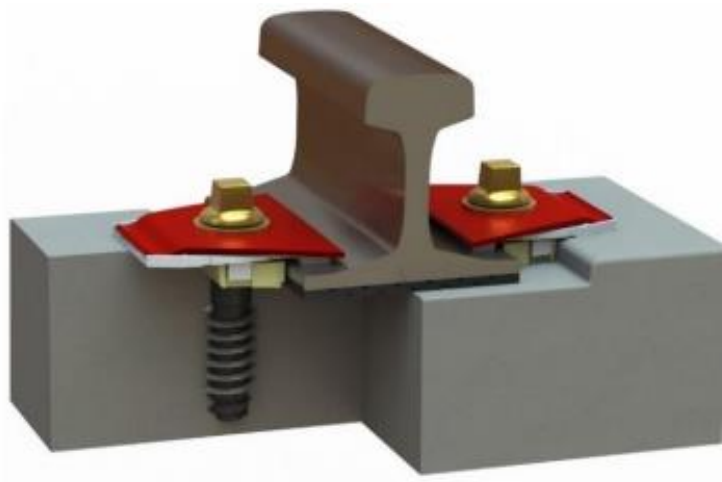


Figure23 : L'attache de type NABLA

❖ Pour notre projet :

Les systèmes d'attache rail - traverse seront de type élastique et seront composés, en général, de :

- Une attache élastique capable de maintenir le rail attaché à la traverse sans rupture aucune sous l'effet des vibrations des charges (desserrage des connexions, déformation etc. ...).
- Une butée isolante capable d'isoler le rail électriquement et de résister à la sollicitation exercée par l'intermédiaire de l'attache élastique.
- Une semelle en caoutchouc élastique sous rail qui a pour rôle d'amortisseur de vibrations dues aux charges roulantes sur rail, d'assurer une meilleure transmission des charges du rail au traverses en béton et permettre un isolement électrique entre rail et traverse.

Les systèmes d'attache doivent répondre aux exigences des normes suivantes :

- EN 13481 série "Railway Applications - Track - Performance requirements for fastening systems".
- EN 13146 série "Railway Applications - Track - Test Methods for fastening systems".

K. Caténaire :

La caténaire est l'ensemble des installations qui permettent aux locomotives électriques d'utiliser l'énergie produite par les sous stations de traction. Cette dernière comprend :

_ Les lignes de contact à suspension caténaire.

_ Les feeders.

_ Diverses adjonctions de caractère électrique à la voie de roulement, servant au retour du courant.



Figure 24 : caténaire.

*** Les éléments de la caténaire :**

1.a. Les Support : le support est fréquemment en H en acier galvanisé, l'ancrage au sol est réalisé par une fouille bétonnée par des tiges.

Généralement les supports utilisés pour la caténaire 25Kv sont de type HE-A, HE-B ou parfois jumelées (JHEA, JHEB) fixés au sol par un massif en béton à une profondeur qui dépend de la nature du sol et de la force qu'exerce la caténaire sur le poteau. Un petit dé en mortier couvre le pied du poteau pour le protéger de la corrosion.

Le volume du massif dépend de :

- 1- Les caractéristiques géotechniques du sol
- 2- La charge du support (simple, sectionneur, contre poids)
- 3- La force du vent.

1.b. Le fil de contact : le fil de contact rainuré fait partie du sous-système caténaire pour pouvoir transmettre l'énergie électrique aux locomotives, il doit être conforme aux normes EN50149.

Sa section circulaire comprend deux rainures pour la prise des griffes de suspension, suivant la tension d'alimentation et la puissance demandée, la section varie de 107mm^2 à 150mm^2 .

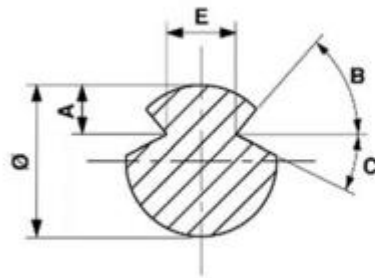


Figure25 : Fil de contact 107mm² rainures pour caténaire 1x25Kv

1.c. Le Câble porteur : Le porteur peut être en cuivre, bronze, ou en Al-acier, en fonction des critères dynamiques et des résultats du dimensionnement électrique.

Dans le cadre de ce projet, le porteur recommandé est de 65mm² de section en bronze.

1.d. Circuit de retour : Le circuit de retour du courant de la traction est composé du câble CDPA (câble de protection aérien) et les rails, des connexions rail – poteaux sont établis, afin de mettre la liaison équipotentielle de l'ensemble du système. Les types de câbles à utiliser peuvent être en Aluminium ou Al-acier.

1.e. Les pendules : Le fil de contact est suspendu au câble porteur par les pendules, reliant de leur part un cavalier sur le câble porteur, et d'autre part, une griffe sur le fil du contact.

L. Les appareils de voie :

Les appareils de voie sont un moyen de franchissement ou de passage d'un train (de voyageur ou de marchandise) d'une voie principale à une voie de service ou de franchissement d'une voie de croisement.

Généralement on utilise deux types d'appareils de voie selon l'UIC 54 :

_Appareil branche simple 1/9 : c'est-à-dire que la tangente de l'angle de l'appareil $tga = 1/9$, utilisé dans le cas d'un passage de voie principale à une voie de service ou de stationnement.

_Appareil branche simple 1/12 : c'est-à-dire que la tangente de l'angle de l'appareil $tga = 1/12$ utilisé dans le cas d'un passage de voie principale à une autre voie principale et dans les entrées des gares ferroviaire.

7. Les branchements :

1.a. Branchement simple :

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

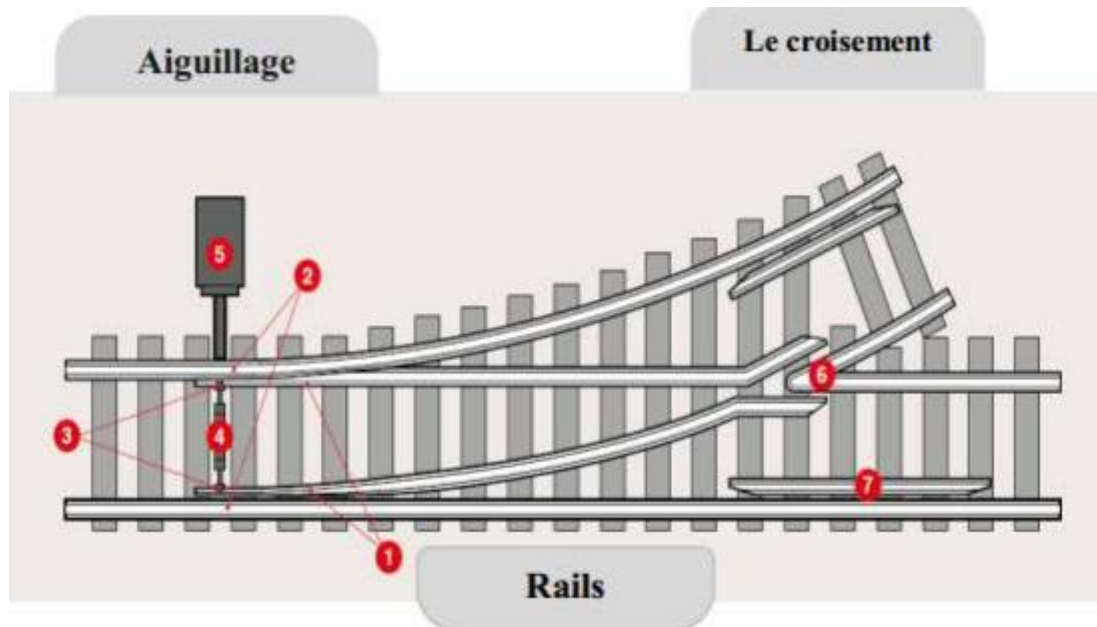


Figure26 : appareil de voie branchement simple.

1.b. Branchements symétriques :

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

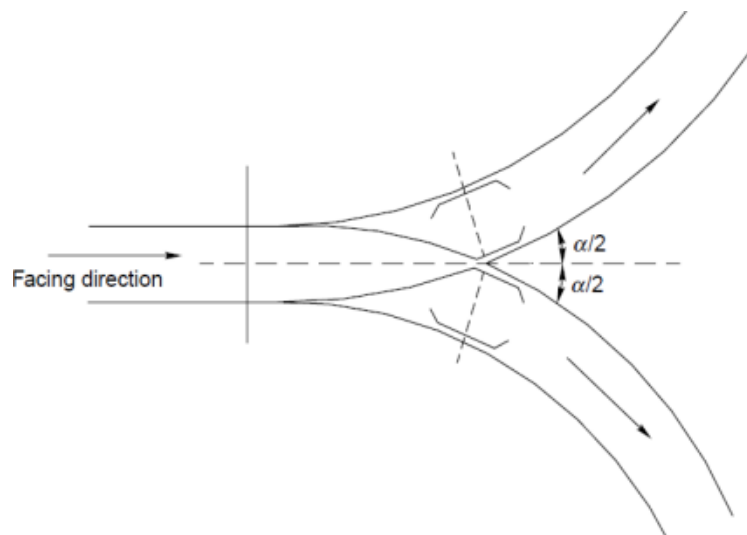


Figure27 : branchement symétrique

1.c. Branchements doubles :

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

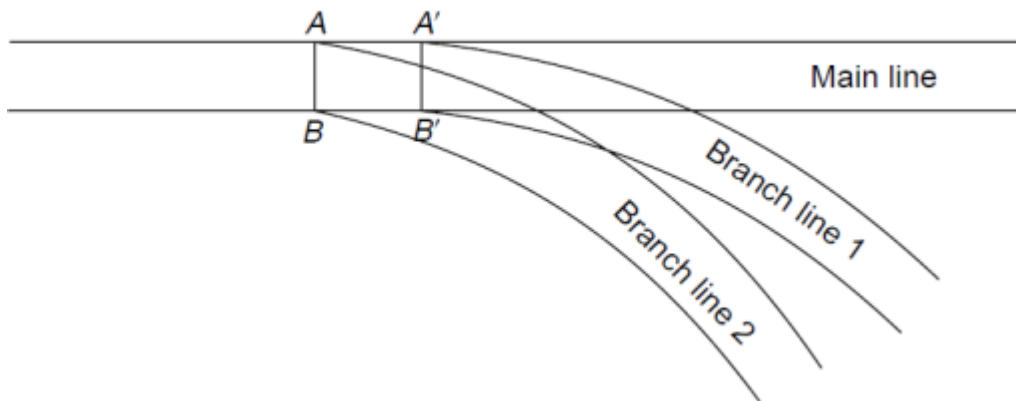


Figure28 : branchement double.

8. Les traversés :

Les traversées simples permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre.

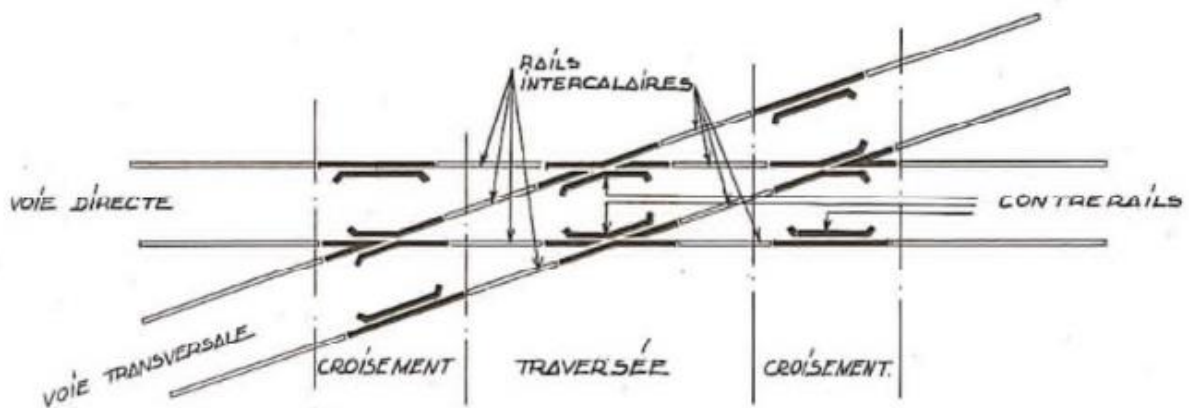


Figure29 : appareil de voie type traversés.

2.1. La traversée oblique ordinaire :

Elle permet l'intersection de deux voies en alignement ou en courbes de même rayon (cas de l'enroulement) l'intersection se fait sous un angle compris entre 6° et 90°.

La traversée oblique ordinaire est constituée d'une traversée proprement dite, de deux croisements. Elle comporte également deux groupes de quatre files de rails intermédiaires.

Les différentes parties d'une traversée oblique sont dites à droite ou à gauche, suivant leurs positions par rapport à un observateur situé au centre et dirigé suivant l'axe longitudinal.

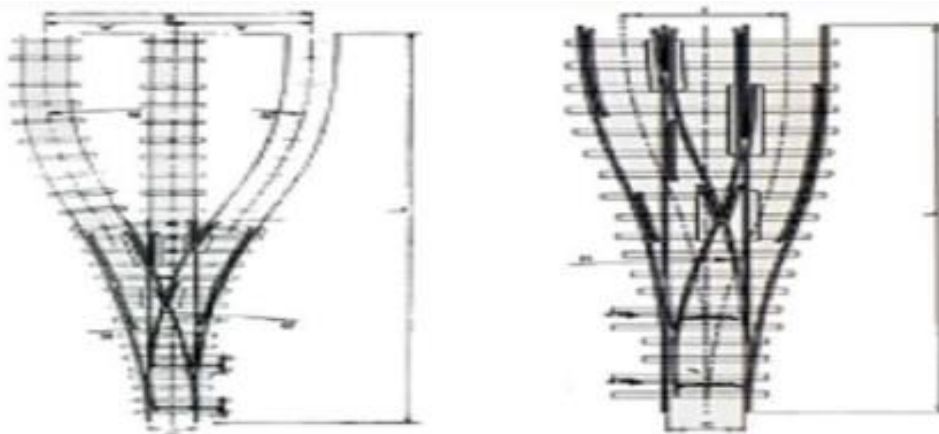


Figure 30 : traversées obliques.

2.2. Les traversés jonction simple :

La traversée jonction simple est une traversée oblique qui grâce à l'adjonction d'aiguillages, permet de relier entre elles les deux voies qui se croisent d'une seule côte, par rapport à l'axe longitudinal de la traversée oblique.

Elle est constituée de deux croisements, d'une traversée proprement dite, de deux aiguillages et de voie intermédiaire.

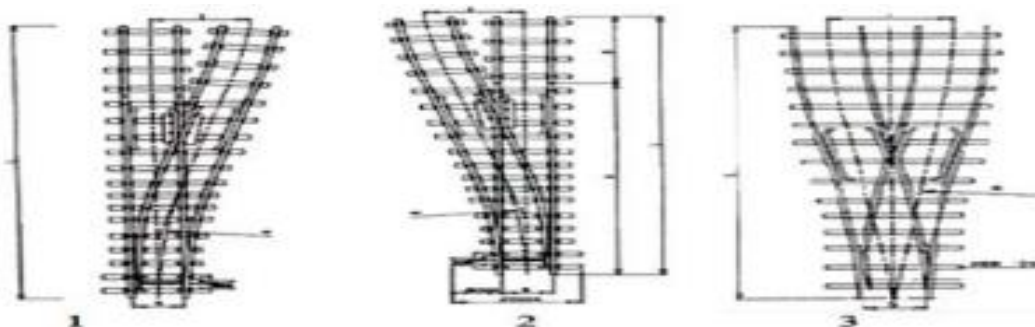


Figure 31 : type de croisement

- 1 : Croisement déviation à droite.
- 2 : Croisement déviation à gauche.
- 3 : Croisement à symétrique à deux voies.

2.3. La traversée jonction double (TJD) :

La traversée jonction double à en plus des éléments de la traversée jonction simple, deux aiguillages permettant à cet appareil de relier les deux voies qui se croisent de deux cotés par rapport à l'axe de l'appareil.

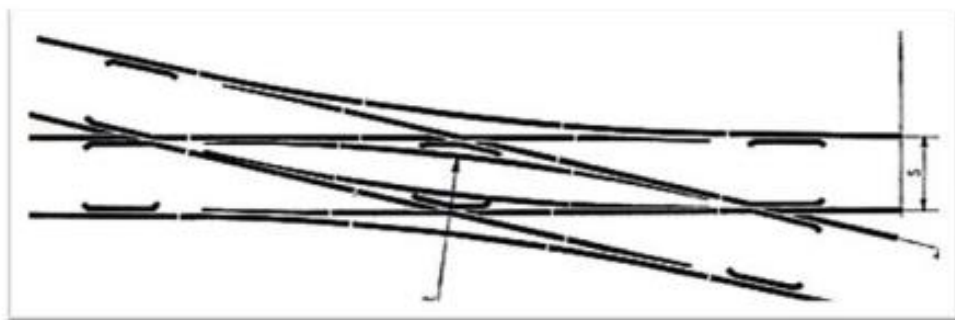


Figure32 : Croisement intersection double.

❖ Pour notre projet :

Choisi dans la gamme ci-après :

- UIC-60 500- 1 :12

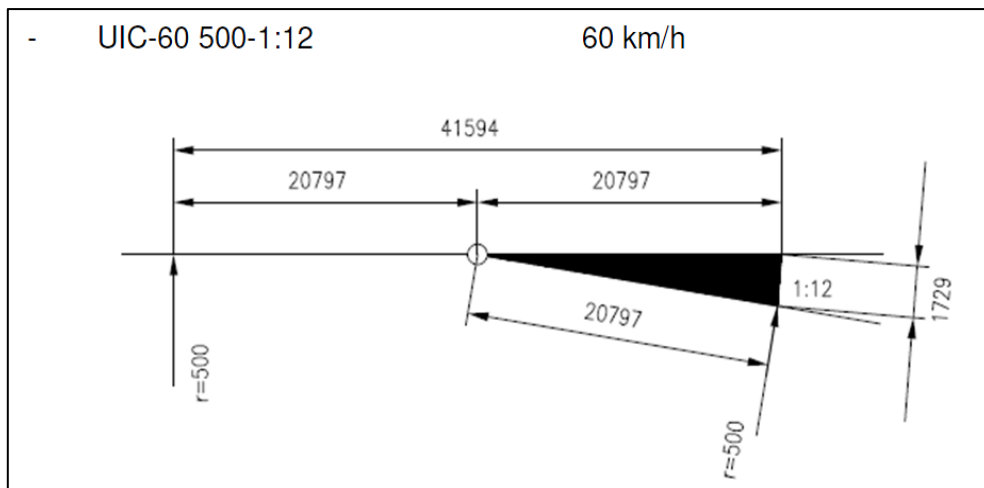


Figure33 : Appareil de voie

- UIC-60 300- 1 :9

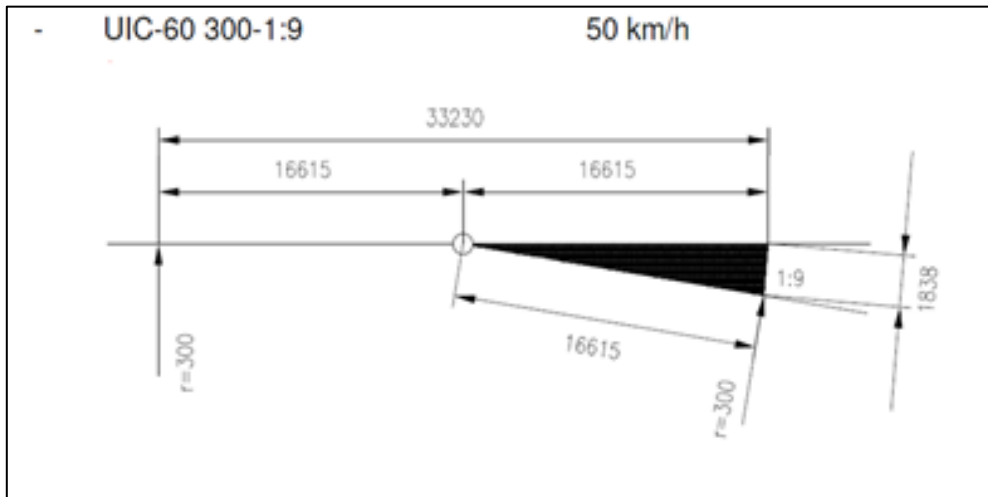


Figure34 : Appareil de voie

IV. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu les éléments formant la superstructure. Dans le tableau suivant, on résume les systèmes de superstructures utilisés pour notre projet.

Les systèmes de la superstructure de notre projet	
Rail type	Rails Vignole type UIC60 E1
Ecartement	1435 m
Traverses type	monobloc en béton armé précontraint.
Système de fixation	Fixation élastique Nabla

Chapitre IX
Hydraulique et assainissement

I. Introduction :

Le tronçon de la ligne ferroviaire étudié franchit des oueds et talwegs qui seront rétablis à l'aide d'ouvrages hydrauliques conçus et dimensionnés pour perturber le moins possible les écoulements, et ne générer aucune menace pour l'infrastructure, la sécurité des voyageurs et les riverains.

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

II. Description du site du projet :

Le site du projet de la nouvelle ligne ferroviaire est dans le nord de Sahara algérien .la région à un climat caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense.

III. Etude hydrologique :

Cette partie se résume à l'étude des eaux superficielles. Elle a pour but de rassembler et exploiter les données permettant d'évaluer le débit d'apport de chaque bassin versant correspondant à son écoulement principal.

La conception adéquate d'une étude hydrologique doit nécessairement s'appuyer sur une bonne compréhension des principes hydrologique de façon à pouvoir bien évaluer les différents paramètres afin de fournir les données de base permettant de dimensionner le réseau de drainage (transversal et longitudinal)

A. Le bassin versant :

Le bassin versant ou bassin d'alimentation au droit d'une section de mesure, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par le cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Chaque bassin versant est séparé des autres par la ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur carte topographique. L'axe du tracé représente l'autre limite du bassin versant.

- **Caractéristiques des bassins versants :**

La détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants consiste à calculer, et/ou à évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues.

Les principaux paramètres qu'on doit identifier pour la modélisation des bassins sont :

S [m²]	surface de Bassin versant
P [m]	périmètre du Bassin versant
L [m]	longueur du l'oued
H_{max} [m]	altitude maximale
H_{min} [m]	altitude minimale

À partir de ces données, on calcule d'autres paramètres importants qui définissent le bassin :

H_{moy} [m]	altitude moyenne
----------------------------	------------------

$$H_{\text{moy}} = \frac{H_{\text{max}} + H_{\text{min}}}{2}$$

ΔH [m] Différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin

$$\Delta H = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$$

J [m/m] pente du bassin

$$J = \frac{L}{\Delta H}$$

K_c : coefficient de compacité de Gravelius

$$K_c = \frac{P}{P_{\text{cercleéquivalent}}} = 0.2821 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Lr [m] longueur du rectangle équivalent

$$\frac{Lr}{\sqrt{S}} = \frac{Kc}{1.12838} + \sqrt{\left(\frac{Kc}{1.12838}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots Kc \geq 1.12$$

Si $Kc \leq 1.12$, le bassin a une forme circulaire et la transformation géométrique en rectangle équivalent n'est plus réalisable, le bassin sera assimilé à un carré (longueur = largeur).

B. Données pluviométriques :

Les données pluviométriques sont :

a) Pluies annuelles :

La pluviométrie des pluies annuelles, sont déterminantes pour dimensionner les installations de drainage, a également été donnée par le Centre Climatologique National.

Après l'analyse détaillée des observations (ajustement à une loi normale des pluies annuelles de la région).

Tableau 1 : pluies annuelles de Laghouat

I(t ; T)	2	5	10	20	50	100
1	12.3	17.6	21.2	24.6	29	32.3
2	7	10.1	12.1	14	16.6	18.4
3	5	7.2	8.7	10.1	11.9	13.3
6	2.9	4.1	5.0	5.8	6.8	7.6
12	1.6	2.4	2.8	3.3	3.9	4.3
24	0.9	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5

b) Précipitations mensuelles :

Avec la température, les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat. Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

Pour l'étude de la précipitation on a obtenu une série pluviométrique de l'ONM de Ghardaïa pour une période de (1998-2018).

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 30.54mm Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 6.21 mm seulement.

Tableau2 : précipitations moyennes mensuelles de Laghouat (2008-2018).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aout
P (mm)	30.54	25.24	12.02	11.77	10.0	8.96	10.44	18.79	14.8	8.35	6.21	10.21

c) Pluie journalière maximale :

D'après la formule de « GALTON » on a :

$$P_j(\%) = \frac{P_{j\text{moy}}}{\sqrt{(CV^2 + 1)}} \times e^{u \sqrt{\ln(CV^2 + 1)}}$$

PJ moy : pluie journalière moyenne (mm).

Cv : Coefficient de variation.

U : Variable de Gauss.

Ln : Log. Népérien.

La pluie de référence pour le calcul de dimensionnement des ouvrages correspond à une durée de pluie t minute et une période de retour de 10 ans, 50 ans, 100 ans.

Soit le tableau suivant qui donne les valeurs des variables de gauss, en fonction de la fréquence :

Tableau3 : variables de gauss en fonction de la période de retour

Fréquence	50	20	10	2	1
Période de retour	2	5	10	50	100
Variable de Gauss (U)	0.00	0.84	1.287	2.05	2.327

C. La fréquence d'averse :

Pour obtenir une estimation de la quantité de pluie maximale en 24 h il faut multiplier la valeur journalière par un coefficient de majoration.

Si on ne dispose pas d'autres indications, on utilisera la valeur proposée par l'OMM (organisation météorologique mondiale) qui est de 1,13.

$$P(t) = 1,13 P_j \% \cdot \left(\frac{T_c}{24}\right)^b$$

P : pluie journalière maximale annuelle.

b : Exposant de climatique.

Tc : temps de concentration (heure).

D. Intensité des pluies :

La loi Intensité-Durée-Fréquence est établie à partir des relevés des pluviographes, ensuite traitée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) par des méthodes statistiques.

L'ajustement de ces séries de données et les pluies journalières se fait avec la loi de Gumel.

L'intensité $I(T, T_c)$ moyenne de la pluie sur le temps de concentration t_c pour une période de retour T est représentée par la formule suivante :

$$I(t, T) = a(T)/t^b$$

Avec :

$I(t, T)$: Intensité de pluie en mm/h

T : période de retour

t : temps en heures.

a et b : paramètres de Montana avec $b=0.64$;

Le paramètre « a » pour les différentes fréquences sont :

Tableau4 : valeurs du paramètre de Montana "a".

T	2	5	10	20	50	100
a (T)	17	23.8	28.3	32.6	38.2	42.3

On tire l'intensité des pluies à partir de ces courbes I.D.F pour une durée égale au temps de concentration de chaque bassin versant. Pour notre projet on a utilisé les données des deux stations proches du tracé.

1. Formule Crupédix :

Pour les bassins versants de surface supérieure à 50 km².

Cette méthode a été menée à partir de 630 bassins versants pour lesquels on a pu évaluer le débit décennal instantané. Ces différentes valeurs de débits ont été mises en régression avec les principaux facteurs pouvant jouer un rôle. Parmi les plus significatifs, on a retenu la surface du bassin S en km² ; la pluie journalière décennale P_{10} en mm/j et un coefficient régional R . Le débit décennal de pointe de crue Q_d en m³/s est donné par la relation :

$$Q_{10} = S^{0.8} \left[\frac{P}{80} \right]^2 R$$

2. Évaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule Crupédix

On obtient le débit centennal à partir de la corrélation :

$$Q_{100} = b' \times Q_{10}$$

Avec : $1.4 \leq b' \leq 4$

Le paramètre b' est dépendant de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 km^2 , b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q_{10} et Q_{100} comme si la formule rationnelle était applicable) ;
- Au-delà de 20 km^2 , b' est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet. Tenant compte des données observées dans la région, nous avons pris $b' = 4$.

Le coefficient régional R varie selon la nature du sol.

- $R = 0,2$ pour des terrains perméables
- $R = 1,5$ à $1,8$ pour des terrains imperméables
- $R = 1$ pour des terrains intermédiaires.

3. Évaluation du débit Q_T de période de retour T :

L'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans peut être obtenue Par la formule suivante en admettant que la répartition statistique des valeurs observées suive la loi de Gumbel :

$$Q_T = Q_{10} + \Delta Q \left(\left(\frac{y}{2.3} \right) - 1 \right)$$

Avec : $\Delta Q = Q_{100} - Q_{10}$

$$y = \left(-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)$$

Si $T = 20$ ans $y = 2.97$

E. Méthode rationnelle :

Pour les bassins versants de surface inférieure à 10 km²

$$Q_{\max} = \frac{C \cdot I \cdot S}{3.6}$$

Q_{\max} : débit de crue de période de retour voulue (en m³/s)

C : coefficient de ruissellement

I [mm/h] : intensité de la pluie (exprimée en mm/h) pour le temps de concentration

1) Le coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement Cr, est un paramètre exprimant la fonction de ruissellement d'eau sur un sol saturé d'eau par rapport aux précipitations totales tombées sur le bassin. Dans la méthode Kenessey le coefficient Cr est la somme des trois composantes (**C₁** ; **C₂** et **C₃**), détaillé comme suit :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

C₁ : Dépend de la pente I du talweg principal considéré être égal au rapport de différentes d'altitude (point haut et le point bas) par la longueur du talweg.

C₂ : Dépend de la perméabilité du sol obtenue en fonction de sa nature lithologique.

Le sol en surface constitué de deux nature (alluvionnaire ou encroutement calcaire) en surface reposant sur un substratum de calcaire caractérisé par une imperméabilité très faible, pour cela on prend **C₂** égale à 0.30 (cas le plus défavorable).

C₃ : Est un coefficient dépendant de la couverture végétale du bassin versant. Comme la zones d'étude ne contient pas une couverture végétale riche la majorité de la surface des deux wilayas Laghouat et Ghardaïa est constituée de sables et de roche. Donc on prend **C₃** égale 0.22

Les valeurs des coefficients sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau5 : Coefficients de ruissellement selon la méthode de Kenessey.

Pente I (%)	La valeur de C ₁	Nature du sol	La valeur de C ₂	Couverture végétale	La valeur de C ₃
I < 3.5	0.01- 0.05	Imperméable	0.22 - 0.30	Roche	0.22 - 0.30
3.5 < I < 11	0.06 - 0.1	Pas assez perméable	0.10 - 0.20	Prairie	0.17 - 0.25
11 < I < 35	0.12 - 0.20	Perméable	0.06 - 0.10	Champs de labour	0.07 - 0.15
I > 35	0.22 - 0.30	Très perméable	0.06 - 0.05	Forêts et sols sableux	0.03 - 0.05

2) Temps de concentration :

C'est la durée que met une goutte d'eau qui tombe du point le plus élevé du bassin versant pour atteindre l'exutoire, il est exprimé par les formules suivantes qui varient selon la superficie du bassin versant :

- **Formule de Ventura : (B.V inférieur à 5 Km²)**

$$T_c = 0.1272 \times \sqrt{\frac{S}{J}}$$

T_c [h] temps de concentration

S [km²] surface du bassin versant

J [m/m] pente brute du bassin

- **Formule de Passini : (B.V entre 5 Km² et 25 Km²)**

$$T_c = \frac{0.108(S.L)^{1/3}}{\sqrt{J}}$$

T _c [h]	temps de concentration
S [km ²]	surface du bassin versant
L [km]	longueur de l'oued principal
J [m/m]	penne brute du bassin

- **Formule de Giandotti : (B.V supérieur à 25 Km²)**

$$T_c = \frac{1.5.L + 4.\sqrt{S}}{0.8.\sqrt{H}}$$

T _c [h]	temps de concentration
S [km ²]	surface du bassin versant
L [km]	longueur de l'oued principal
H [m]	différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin

Les résultats sont présentés dans les tableaux récapitulatifs suivants :

Tableau6 : Temps de concentration des bassins versant traversés par le By PASS01 Hassi R'mel

BV	PK	S (m ²)	L(m)	dh (m)	J(m/m)	Formule		
						Ventura(h)	Passini(h)	Giandotti(h)
2-1	2+294	1 200 435	1 582	16	0.0102	1.383	-	-
6-1	6+251	845 647	1 189	20	0.0168	0.902	-	-
7-1	7+440	59 777	248	11	0.0429	0.250	-	-
7-2	7+543	96 078	364	15	0.0410	0.250	-	-
7-3	7+685	42 911	226	13	0.0562	0.250	-	-
7-4	7+970	143 904	368	13	0.0363	0.253	-	-
8-1	8+687	1 764 279	1 515	24	0.0161	1.334	-	-
9-1	9+904	133 232	381	16	0.0424	0.250	-	-
9-2	9+993	118 564	256	12	0.0478	0.250	-	-

13-1	13+43 3	55 814 367	10 320	47	0.004 5	-	-	8.287
14-1	14+67 0	571 050	1 531	29	0.018 9	0.698	-	-
14-2	14+80 6	99 019	580	12	0.020 2	0.282	-	-
15-1	15+01 4	341 276	777	19	0.024 7	0.473	-	-
15-2	15+98 0	1 054 616	1 350	21	0.015 7	1.043	-	-
16-1	16+58 0	16 963	112	6	0.053 7	0.250	-	-
18-1	18+18 8	63 662	157.5 9	7.60	0.048 2	0.250	-	-

Les résultats de calcul des caractéristiques des bassins versants sont présentés dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 7 : caractéristiques physiques des bassins versant traversés par le by PASS 01 Hassi R'mel

N°BV	PK	S (m ²)	P (m)	L (m)	H max (m)	H min (m)	H moy (m)	dh (m)	J(m/m)	Kc	Lr(m)
2-1	2+294	1 200 435	4 579	1 582	753	737	745	16	0.0102	1.18	1 477
6-1	6+251	845 647	3 603	1 189	769	749	759	20	0.0168	1.11	920
7-1	7+440	59 777	1 039	248	773	762	768	11	0.0429	1.20	348

7-2	7+543	96 078	1 239	364	776	761	769	15	0.0410	1.13	310
7-3	7+685	42 911	968	226	777	764	771	13	0.0562	1.32	367
7-4	7+970	143 904	1 540	368	777	764	770	13	0.0363	1.15	451
8-1	8+687	1 764 279	5 503	1 515	781	757	769	24	0.0161	1.17	1 735
9-1	9+904	133 232	1 659	381	776	760	768	16	0.0424	1.28	612
9-2	9+993	118 564	1 578	256	771	759	765	12	0.0478	1.29	587
13-1	13+433	55 814 367	31 820	10 320	785	738	762	47	0.0045	1.20	10 688
14-1	14+670	571 050	3 726	1 531	775	747	761	29	0.0189	1.39	1 476
14-2	14+806	99 019	1 590	580	758	746	752	12	0.0202	1.43	640
15-1	15+014	341 276	2 348	777	767	748	757	19	0.0247	1.13	644
15-2	15+980	1 054 616	4 706	1 350	771	750	760	21	0.0157	1.29	1 750
16-1	16+580	16 963	540	112	764	758	761	6	0.0537	1.17	171
18-1	18+188	63 662	1 005	158	770	762	766	8	0.0482	1.12	252

IV. Assainissement :

Le but principal de l'étude est de fournir les éléments hydrologiques nécessaires à la réalisation de l'extension de la ligne Ghardaïa Laghouat afin de déterminer un système opérationnel d'évacuation des eaux pour assurer la stabilité de l'infrastructure et pour améliorer la portance de la plateforme.

Le réseau d'assainissement longitudinal est composé principalement par des fossés implantés aux limites de l'emprise de chemin de fer, que ce soit dans les hauts talus de déblai et dans les bas talus de remblai.

Un autre dispositif de fossés est également prévu aussi bien à l'intérieur de la plate-forme

de chemin de fer aux limites extérieures des bermes ainsi qu'à l'intérieur du terre –plein central. En plus des fossés, le réseau d'assainissement longitudinal, prévoit aussi l'utilisation d'autres dispositifs linéaires apparents ou enterrés, notamment les cunettes et les drains sous chaussée.

A. Objectifs de l'assainissement et du drainage :

La construction des assainissements et du drainage d'un projet a pour but :

- L'évacuation optimale des eaux pluviales ;
- L'économie de coût d'entretien ;
- La protection de la voie contre l'inondation ;
- La lutte contre la corrosion des éléments de la superstructure de la voie surtout le rail.

Le projet d'assainissement doit être conçu en respectant la biodiversité et l'environnement en tenant compte de la vulnérabilité du site pour :

- Assurer le franchissement des cours d'eaux croisés par l'infrastructure en respectant les contraintes hydrauliques (conservation des débits, gestion des crues ...) ;
- Recueillir les eaux pluviales et les éventuelles pollutions puis les stocker, les traiter et les réguler avant de les rejeter dans le milieu naturel.
- Le dimensionnement des ouvrages d'assainissement doit prendre en compte plusieurs contraintes telles que :
 - La typologie des terrains rencontrés ;
 - La topographie du site ;
 - La pluviométrie du bassin et les débits pluviaux desquels on veut se protéger ;
 - Les critères d'implantation des ouvrages d'assainissement au regard des règles de sécurité des usagers et du personnel d'exploitation et d'entretien.

B. Ouvrages d'assainissement transversaux :

Ils permettent le transit, d'un côté à l'autre de la plateforme ferroviaire, des écoulements des eaux des bassins versants. Ils peuvent être constitués de :

- **Buses** : les ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé sur les points bas du terrain, d'un diamètre de 1000 à 2000 mm
- **Dalots** : les ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifié par la largeur de (B) et la hauteur (H).
- **Ponts et viaducs** : les ouvrages d'assainissement transversaux doivent véhiculer des débits de crue centennaux, donc les dimensions retenues pour ces ouvrages (présentées dans le tableau ci-dessous) sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_{100} \leq Q_s.$$

- Q_{100} : Débit de crue centennial (débit d'apport) en m^3/s .
- Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s .

a. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les ouvrages d'assainissement de sont clairement identifiés et alimentés par les oueds repérés sur cartes. Plusieurs cours d'eaux importants ont été identifié pour lesquels nous avons projetés des ouvrages de drainage.

Ces ouvrages d'assainissement doivent faire transiter des débits donnés dans des conditions satisfaisantes : curage, vitesse maximale pour limiter l'érosion.

Le calcul du débit est déterminé par la formule de MANING STRICKLER :

$$Q_s = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

I : Pente de pose de l'ouvrage

S : Section mouillée (m²)

Rh : Rayon hydraulique moyen avec :

$$R_h = \frac{\text{section mouillée}}{\text{périmètre mouillée}}$$

K : Coefficient de MANNING-STRICKLER.

Tableau 8 : Coefficients de MANNING-STRICKLER

Nature d'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
K	30	40	50	70	80

b. Critères de dimensionnement :

Les critères suivants sont tenus en compte pour dimensionnement des différents ouvrages :

- L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit de crue correspondant.
- La pente des ouvrages doit être limitée pour éviter des vitesses trop élevées.
- Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluviale)
- Ecoulement uniforme et permanent

Hauteur de remplissage

Dalot: hr = 0.50 h

Buse: hr = 0.50 Ø

Dimensions des ouvrages

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes :

➤ $Q_a < Q_s$

Q_a : Débit d'apport (m³/s).

Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage (m³/s).

La vitesse maximale d'écoulement dans l'ouvrage est limitée à 5 m/s selon le référentiel technique SNTF.

Les résultats de dimensionnement sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 9 : Résultats de dimensionnement

BV	PK	Q 100ans	CFE	CPF	zone	Nbrs Cellules	b (m)	H (m)	hr (m)	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	pen te m/m	Q sat (m ³ /s)	V écoul (m/s)
2-1	2+2 94	4.47	736. 93	739. 36	Rem blai	1	2.00	2.0 0	1.0 0	2.00	4.00	0.50	0.005	6.24	3.12
6-1	6+2 51	4.54	748. 99	755. 81	Rem blai	1	2.00	2.0 0	1.0 0	2.00	4.00	0.50	0.005	6.24	3.12
7-1	7+4 40	0.96	762. 34	764. 25	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57
7-2	7+5 43	1.54	761. 09	764. 49	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57
7-3	7+6 85	0.70	764. 28	764. 87	Zone de Déblai										
7-4	7+9 70	2.28	762. 82	765. 52	Rem blai	2	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	4.55	2.57

8-1	8+6 87	6.90	756. 69	765. 66	Rem blai	2	2.00	2.0 0	1.0 0	2.00	4.00	0.50	0.005	12.47	3.12
9-1	9+9 04	2.13	759. 85	764. 19	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57
9-2	9+9 93	1.93	758. 76	763. 13	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57
13- 1	13+ 433	44.94	738. 18	740. 58	Rem blai	8	3.00	2.0 0	1.0 0	3.00	5.00	0.60	0.005	84.51	3.52
14- 1	14+ 670	3.77	746. 63	748. 99	Rem blai	2	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	4.55	2.57
14- 2	14+ 806	1.36	746. 30	749. 40	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57
15- 1	15+ 014	3.15	747. 78	750. 07	Rem blai	2	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	4.55	2.57
15- 2	15+ 980	5.03	749. 85	757. 77	Rem blai	1	2.00	2.0 0	1.0 0	2.00	4.00	0.50	0.005	6.24	3.12
16- 1	16+ 580	0.28	757. 86	762. 24	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57
18- 1	18+ 188	1.04	762. 40	765. 74	Rem blai	1	Buse Ø 1500		0.7 5	0.88	2.36	0.38	0.005	2.27	2.57

- **Calcul des niveaux les plus hautes d’eaux des oueds principaux :**

Le calcul hydraulique des NPHE est basé sur le calcul de canaux ouverts avec lame d’eau libre déterminé sur la base des conditions de continuité en combinaison avec la formule de Manning-Strickler :

$$Q = S \times V$$

$$V = \frac{R_h^{2/3} \times J^{1/2}}{n}$$

Où :

Q : débit (m³/s)

S_m : surface mouillée (m²)

V : vitesse de l'eau (m/s)

n : numéro de Manning (0,033 pour terrain naturel)

R_h : rayon hydraulique (m) où **R = S_m / P_m**

P_m : périmètre mouillé (m)

J : pente de la ligne d'énergie en valeur absolue. Elle est égale à la pente du sol du caniveau puisque tous les calculs sont effectués en régime uniforme.

- **Méthodologie du calcul des NPHE :**

- Dessin de profil en travers de cours d'eau au niveau du croisement avec le tracé de la voie ferrée sur la base du levé topographique existant.
- Détermination de la pente de cours.
- Détermination des surfaces mouillées et des périmètres mouillés pour la différente hauteur d'eau.
- Calcul des débits capable du cours d'eau pour la différente hauteur d'eau.

Dessin des graphiques débits en fonction des hauteurs ensuite déterminé l'équation de la courbe. À partir de cette équation on tire la valeur de la hauteur d'eau pour le débit d'apport de cours d'eau

V. Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

L'assainissement longitudinal pour le but de recevoir et de drainer les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme ferroviaire et les talus ainsi que les eaux interne (eaux infiltrées dans les structures d'assise ou nappe phréatique) afin de garantir la pénétration dans la voie. Ils peuvent être constitués de :

- **Fossés :**

Ils assurent la collecte et l'évacuation des ruissellements superficiels générées par de la plate-forme ferroviaire, les bermes et les talus vers les exutoires naturels ou les ouvrages d'assainissement.

• **Choix type des fossés :**

Les types de fossés adoptés (en respectant la condition $Q_a \leq Q_s$) sont :

- Les fossés en déblai
- Les fossés de crête de déblai



Figure01: Fossé béton armé

1. Fossé de pied du talus de déblai :

Ces fossés sont prévus au pied du talus de déblai afin de drainer la plate-forme et les talus vers des exutoires. Ils sont en terre ou en béton, ils sont en terre lorsque la pente en profil en long ne dépasse pas les 3 %.

2. Fossé de crête de déblai :

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penché vers l'emprise de la voie, afin de protéger les talus de déblai des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher des eaux d'atteindre la plate-forme.

3. Fossé de pied du talus de remblai :

Ces fossés sont, soit en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement), ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plate- forme. Il permet de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée en remblai par l'intermédiaire des descentes d'eau.

4. Descentes d'eaux :

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

A. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux :

Un fossé est une structure linéaire qui transporte les eaux de surface drainées par un canal .écoulement de surface libre pour les infrastructures et les bassins versants en interagissez avec le projet pour l'acheminer vers des points de sortie en dehors de l'emprise de la voie ferrée.

Rappel de la formule de Manning Strickler :

$$Q_s = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec :

S_m : La surface mouillée : $S_m = (b + z \cdot h) \cdot h$

Z : pente du talus : $z = \frac{1}{n}$

R_h : Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

P_m : le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h\sqrt{1 + z}$

VI. Application sur notre projet :

Pour les dalots (béton armé) nous avons pris un coefficient de rugosité égal à 70.

$K_s = 70$ %.

Hauteur de remplissage égal à $H_r = 1$

Périmètre mouillé $P_m = 2 \cdot 0.75 \cdot h + L$

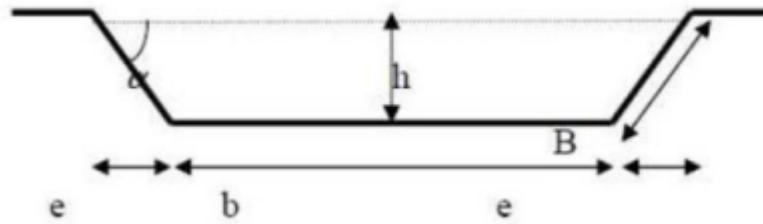


Figure02 : dimensions d'un fossé trapézoïdal

Calcul de la surface mouillée :

$$S_m = bh + 2 \frac{eh}{2}$$

$$\text{tng } \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \text{ d'où } e = n \cdot h$$

$$S_m = b \cdot h + n \cdot h^2 = h (b + n \cdot h)$$

$$S_m = h (b + n \cdot h)$$

Calcul du périmètre mouillé :

$$P_m = b + 2 \cdot c$$

D'après Pythagore :

$$\text{Tng } \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \text{ d'où } e = n \cdot h$$

$$c = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + n^2 h^2} = h \cdot \sqrt{1 + n^2}$$

$$\text{Donc : } P_m = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + n^2}$$

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

Section mouillée : $S_m = 0.75 \cdot h \cdot L$

Rayon hydraulique : $R_h = R_h = \frac{0.75 \cdot h \cdot L}{1.5h + L}$

Alors :

$$Q = K \times (0.75 \times h \times L) \times \left(\frac{0.75hL}{1.5H + L} \right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

I=0.5%

Avec $Q_a \leq K_s \times I^{1/2} \times 0.75hL \times \left(\frac{0.75hL}{1.5h+L} \right)^{2/3}$

VII. Conclusion :

L'étude hydraulique est une étape importante dans la conception du projet ferroviaire. Pour notre projet, le terrain de cet itinéraire (By pass1) est particulièrement complexe et nous avons un nombre record de bassins versants.

Chapitre X

Profil en travers

I. Introduction :

Une section de voie ferrée est une section selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie. Il existe deux types de profils :

Section transversale typique : Il s'agit d'une représentation graphique qui contient fidèlement et décrit en détail tous les éléments qui composent la voie, notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche de fondation, ses composants et son épaisseur.

Section actuelle : Il s'applique à un PK donné et récupère et nomme toutes les données caractérisant le tronçon de voie du PK considéré, notamment le Niveau de Terrain Naturel (TN) et le Niveau de Projet.

II. Etablissement du profil en travers type :

Le profil en travers doit contenir tous les éléments suivants :

- Élément de superstructure :
 - Le rail et son type.
 - La valeur de l'écartement de la voie.
 - L'entraxe de la voie
 - Les traverses et leur type.
 - Poteaux caténaires et caniveaux à câble (pour les voies électrifiées).
 - L'épaisseur de la couche de ballast.
 - La pente latérale de la couche de ballast.
- Éléments de l'infrastructure :
 - La pente transversale de chaque couche.
 - La pente latérale de la plate-forme.
 - Les épaisseurs et les nominations de chaque couche.
- Élément de talus :
 - La pente de chaque talus.
 - Les ouvrages de consolidation éventuels, tels que les murs de soutènement.
- Éléments d'assainissement :
 - Type et dimension des fossés ou des drains

III. Elément du profil en travers :

- **Emprise** : c'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette** : c'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme** : elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.
- **La voie** : c'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme** : supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations ...).sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement de type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé** : c'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

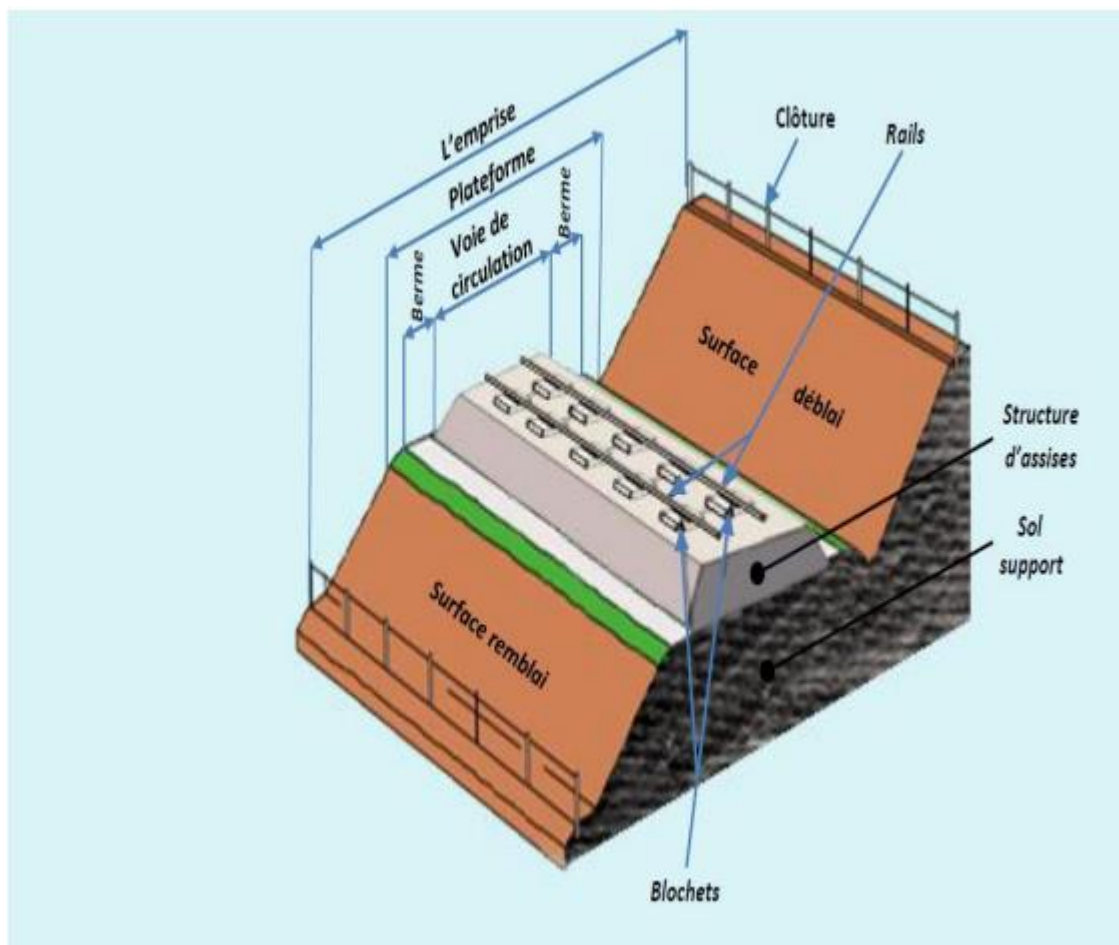


Figure01: les éléments de profil en travers.

IV. Profil type de notre projet :

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

Type de la ligne : vie unique

Ecartement de la voie de : 1435 mm

Rampes et pentes max en pleine voie : Maximale 16‰, Souhaitable 12‰ au niveau des gares : 0‰

Pente latérale de la couche de ballast : 2/3

Les talus de déblais 2 H/1V et de remblais 3K/2V

Épaisseur de ballast 300 mm

Épaisseur de la sous-couche 250mm

L'épaisseur de la couche de forme est de 300mm

V. Les cubatures :

1. Définition :

Les formes sont définies par le nombre de formes de déblai et de remblai que le projet inclut pour obtenir une surface essentiellement uniforme prés et en dessous de la ligne rouge de notre projet. La coupe longitudinale et transversale doit comporter un certain nombre de points suffisamment rapprochés pour que les lignes reliant ces différents points soient le moins nombreuses possible par rapport à la ligne de terre qu'elle représente.

2. Calcul des cubatures :

Les cubes de terrassement sont des cubes découpés et dépliés nécessaires à un projet pour obtenir une surface uniforme parallèle aux lignes du projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.
- Les profils en travers.

- Les distances entre les profils.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux, on peut citer :

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

Aucune de ces méthodes ne donne de résultats précis. Pour se rapprocher de la précision, nous devons autoriser une certaine erreur pour augmenter le résultat (selon l'estimation de l'ingénieur). Les résultats obtenus sont utilisés pour estimer le coût du projet.

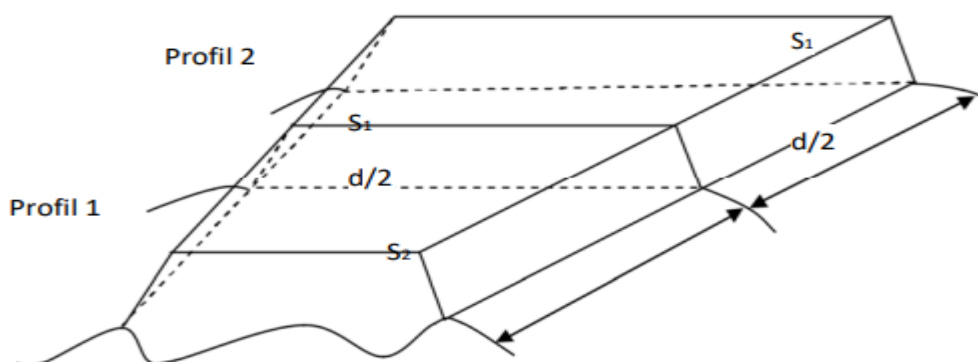


Figure02 : les sections d'un profil en travers d'un tracé donné.

3. Méthode de la moyenne des aires :

En utilisant la formule h, S_1 , S_2 et S désignant respectivement :

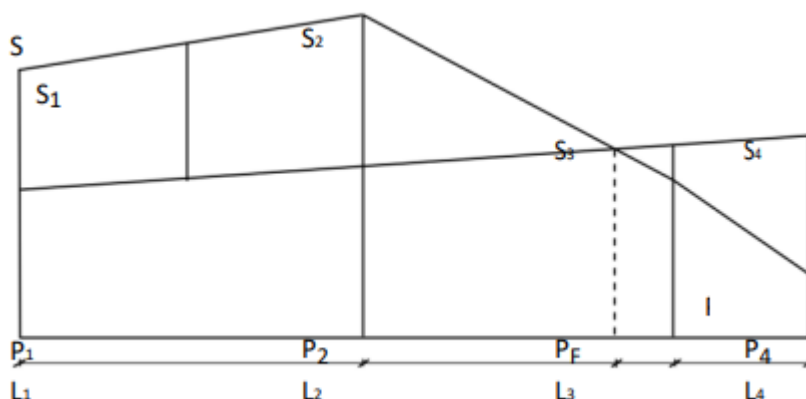


Figure03 : les positions des sections dans un profil en long donné

- Hauteur entre deux profils.
- Hauteur des deux profils en travers P1 et P2.
- Surface limitée à mi-distances des profils S1 et S2.

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions S_{moy} et $(S_1 + S_2)/2$.

Donc les volumes seront :

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

$$\text{Entre P2 et PF : } V' = \frac{L_2}{2} \times (S_2 + S_3)$$

$$\text{Entre PF et P3 : } V'2 = \frac{L_3}{2} \times (S_3 + S_4)$$

$$\text{Entre P3 et P4 : } V'3 = \frac{L_4}{2} \times (S_4 + S_5)$$

Le volume total des terrassements :

$$V = \left(\frac{L_1}{2} \times S_1 + L_1 + \frac{L_2}{2} \right) + L_2 + \frac{L_3}{2} \times S_3 + L_3 + \frac{L_4}{2} \times S_4 + \frac{L_4}{2} \times S_5$$

4. Exemple de profil en travers type :

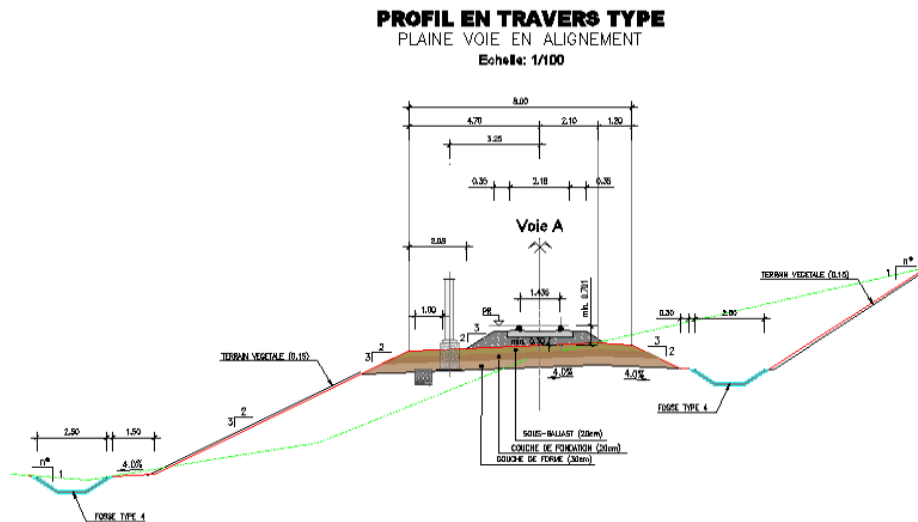


Figure04 : profil en travers type SNTF

VI. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de déterminé les différents éléments du profil en travers type tels que éléments d’infrastructure, éléments de superstructure, éléments du talus (remblai ou déblai)...etc, ainsi de déduire le volume de remblai et de déblai.

NB : le calcul de cubature est fait par logiciel Covadis V16 et Autocad 2016.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Déblai	Remblai
283302 m3	2360616 m3

Chapitre XI
Les gares et les ouvrages d'arts

I. Introduction :

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction : permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises ainsi que pour certaines d'entre elle, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

Il existe certaines gares où il n'y a pas de desserte ni pour les voyageurs, ni pour les marchandises.

En général, ces gares permettent de commander des bifurcations ou bien des évitements : ce sont des voies parallèles aux voies principales qui permettent de faire stationner les trains, pour laisser passer un train plus rapide par exemple.

II. Les différents types de gares

1. Gares des voyageurs :

Ces gares voyageuses, souvent perçues comme des bâtiments, sont en fait des ensembles fonctionnels plus larges, conçus pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage. Pour certaines gares, le passage de nombreux voyageurs justifie l'installation de fonctions annexes au déplacement proprement dit, tels que des commerces et services variés, le plus répandu étant la vente de journaux et de livres. Les formes de restaurations rapides tendent à remplacer la restauration traditionnelle à la place, les buffets, qui ne subsistent que dans un petit nombre de gares. Des services aux voyageurs tels que l'enregistrement-expédition des bagages ont disparu, d'autres tels que les consignes ne sont plus présents que dans un petit nombre de gares, les plus importantes.

2. Gares à marchandises :

Une gare à marchandises appelée gare de fret, est une gare ferroviaire destinée uniquement au trafic des marchandises. Elle assure la totalité du traitement du trafic de marchandises, et peut être dotée de halles à marchandises et de vastes cours de débord, sans équipements pour les voyageurs qui n'y ont d'ailleurs pas accès, cette dernière comporte un bâtiment principal à vocation administrative, des halles à marchandises et des entrepôts, Généralement seules les villes importantes qui sont dotées des gares à marchandises.

Les marchandises sont pour la plupart transportées selon le principe du train massif ou du transport combiné, de moins en moins souvent en wagons isolés et se traitent pour l'essentiel :

- Soit dans des embranchements particuliers qui relient directement les installations industrielles (usines, mines, carrières, entrepôts...) au réseau ferré principal.
- Soit dans les installations portuaires (voies ferrées desservant directement les quais maritimes ou fluviaux)



Figure01: gare à marchandises

3. Gares terminus :

Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé symétriquement : un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivées.

4. Gares de passage :

Le bâtiment est généralement le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un souterrain. Il arrive qu'il soit placé au-dessus des quais. Les installations d'accueil des voyageurs peuvent aussi se trouver sous les quais.

5. Gares de triage :

Un cas particulier est celui des gares de triage, dont la fonction est d'assurer la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

6. Gares de croisement :

Ce sont des stations éloignées des autres stations. Elle est aménagée en voie unique afin que les trains puissent passer sans se heurter.

III. La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs, elle est donnée par la formule suivante :

$$LU = LG + LS + LT + LA + LC$$

- LU : longueur utile.
- LG : longueur de glissement.
- LS : longueur de sécurité.
- LT : longueur maximale de train.
- LA : marge de tolérance d'arrêt.
- LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle

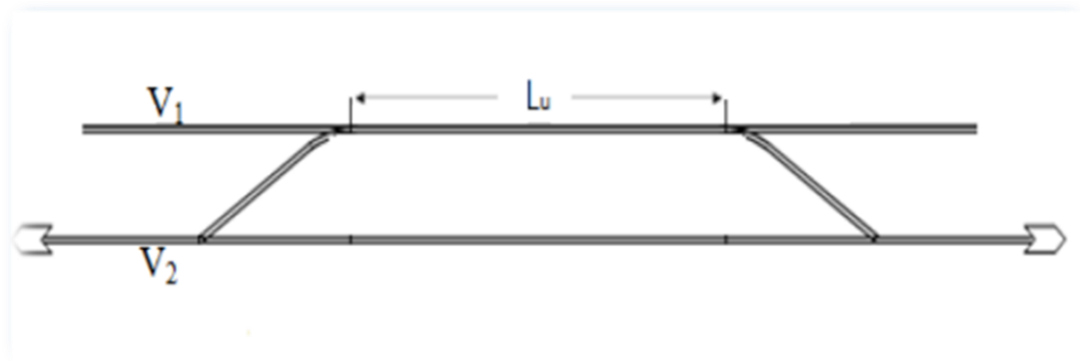


Figure02 : longueur utile.

IV. Structure d'une gare :

Une gare se compose d'un ensemble d'installations dont on nomme :

a. Bâtiment à voyageurs (BV)

Le BV est l'élément central d'une gare à voyageurs, ce dernier est principalement destiné à l'accueil des voyageurs, il comporte des halls d'attente des guichets de billetterie et une partie administrative.

b. Halle à marchandise :

C'est l'élément le plus important dans une gare à marchandise, ce dernier est un bâtiment conçu spécialement pour le stockage (charge et décharge) des wagons portants de la marchandise.

c. Les Abords

Ils permettent de faciliter le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode et vice-versa.

d. Heurtoirs :

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferroviaire en cul-de-sac afin d'arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie. Les heurtoirs préconisés sont de type chevalet et type béton monobloc.

e. Quais :

C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains. Généralement, les gares possèdent au moins un quai, les plus grandes en ayant de nombreux. Un quai peut être central et donc bordé par deux voies ou bien latéral (souvent le long du BV) et ne comporter qu'une seule voie.

1. Quais voyageurs :

- ✓ Longueur utile : 225 m
- ✓ Largeur des quais :
 - Quai intermédiaire : $\geq 8,00$ m avec passage souterrain
 - Quai extérieur : $\geq 6,00$ m avec passage souterrain

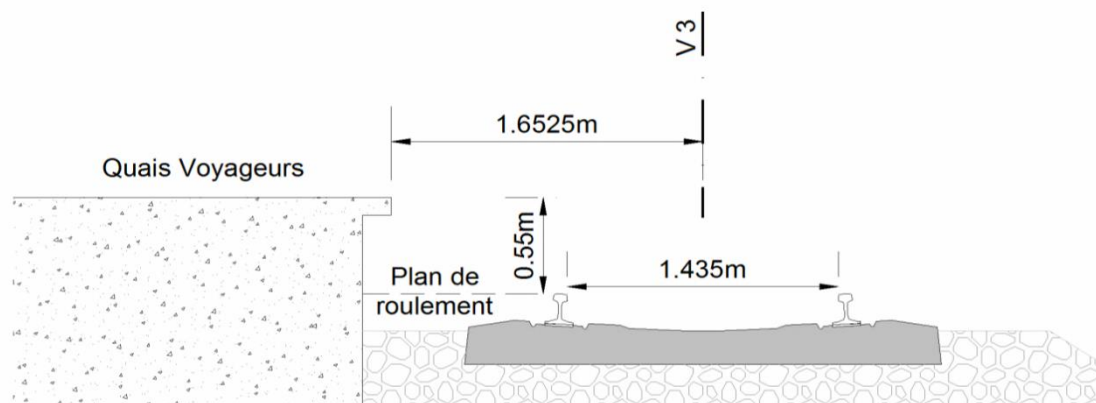


Figure03 : Quai voyageurs

2. Quais marchandises :

Ayant en compte que les véhicules de marchandises passent aussi dans les lignes générales, où la distance entre l'axe de la voie et le bord du quai est de 1.65m, nous considérons que cette valeur doit aussi être retenue pour les plateformes de marchandises.

Concernant la hauteur entre le plan de roulement et le bout du quai, la valeur de 1.150m sera considérée, telle qu'on peut l'observer dans la figure suivante.

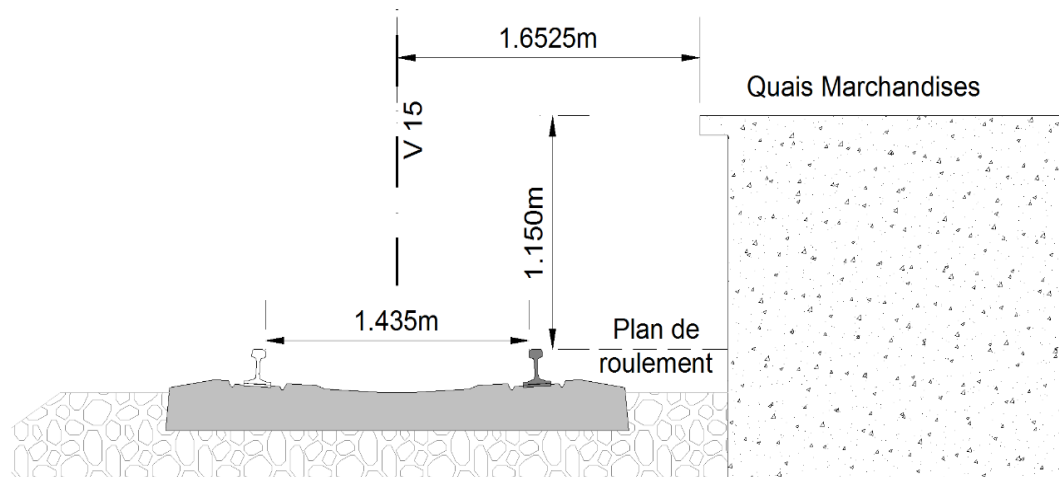


Figure04 : Quai marchandises

V. Caractéristiques géométriques des gares de voyageurs :

En gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet, la déclivité est de 16 ‰ afin d'éviter tous déplacements possibles des trains.

1) La longueur de quai (normes SNTF) :

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m.
- Banlieue 225 m

2) La largeur des quais :

La largeur des quais est donnée par la formule suivante :

$$B_{\min} = (1.5 \times N_{\min} + S)/L$$

N_{\min} : nombre de voyageurs sur le quai qui est égale à 80 % des voyageurs au départ du train.

S : surface prise par les bâtiments de voyageurs sur les quais.

L : longueur d'un quai est égale à la longueur du plus grand train.

1.5 : surface prise par un voyageur.

Cependant, la SNTF recommande pour une telle gare

- Quai intermédiaire $B > 8$ m
- Quai extérieur $B \geq 6$ m

3) Hauteur des quais :

- Quai bas $h = 35 \text{ cm}$
- Quai mi- haut $h = 55 \text{ cm}$ (Normes SNTF)
- Quai haut $76 \leq h \leq 100 \text{ cm}$

4) L'entre axe des quais :

- E normal $> 11.3 \text{ m}$
- e minimal $> 9.3 \text{ m}$. (Normes SNTF)

VI. Ouvrages d'arts prévus :

Le tracé de la ligne Laghouat-Hassi R'mel traverse des pistes, des CW, la RN51, la RN49, la RN03, des zones de dépression, des pipelines...etc. De fait, des ouvrages d'art de franchissement et des ouvrages hydrauliques sont projetés compte tenu des croisements avec ces obstacles.

VII. Croisement avec une route-rail :

En général, les problèmes de croisement doivent prendre en considération la nature et le débit de chaque voie traversée afin d'analyser cas par cas tous les types de croisements en fonction de la vitesse de base maximale.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- **Passage supérieur :** Si la vitesse des trains est importante $\geq 100 \text{ km/h}$ et si la topographie ne le permet pas.
- **Passage à niveau :** pour les routes de faibles débits
- **Passage inférieur de la route :** rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

VIII. Etude de stabilité au glissement :**a) La stabilité :**

La sécurité au glissement, tant à court terme qu'est à long terme, doit être montrée par le calcul à partir des caractéristiques du sol.

b) Tassement :

L'étude de tassement des remblais doit vérifier néanmoins que les tassements à attendre après mise en service sont facilement maîtrisables par reprises habituelles sur la ligne considérée.

c) Pentés de talus :

Remblais : pour la protection des talus de remblai résultant du contact avec les eaux superficielles, nous préconisons l'exécution de protection de ces talus .Plusieurs solutions seront proposées : perrés, gabions, plantation d'arbres, engazonnement .Ces protections seront prévues principalement dans les zones de forte présence d'eaux : accès des ouvrages hydrauliques, proximité des zones inondables.

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

- Mur en gabions
- Végétation
- enrochement

IX. Compactage :

La technique de compactage est déterminante concernant la qualité des ouvrages en terre, les taux de compactage et les modules de déformations minimaux prescrits dépendent de la nature du sol, du type de compacteur et de l'état d'humidité.

L'épaisseur des couches élémentaires à prévoir et l'énergie de compactage nécessaire, des dispositions particulières peuvent également être recommandées (arrosage, essorage ...etc.) la technique de compactage est définie soit, à l'aide de planches d'essais, soit en utilisant les recommandations mises au point à cet effet : par exemple, le document référencé (sétra LCPC, recommandation pour les terrassements routiers).

X. Application sur notre projet :

Gare mixte de Hassi R'mel :

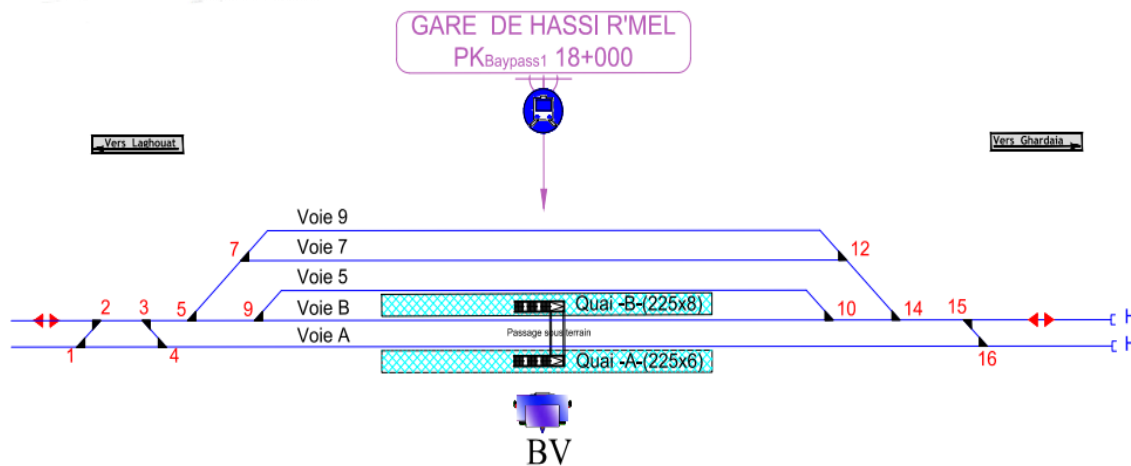


Figure05 : schéma de la gare de Hassi R'mel

Longueur des quais :

Selon la SNTF les quais prennent une largeur de 6 m

La hauteur des quais et leur distance par rapport à l'axe de la voie selon UIC741 :

La distance par rapport à l'axe de la voie $L = 1650 + S$

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit $R = \infty$)

I : écartement de la voie = 1435 mm

Donc $S = 0 \rightarrow L = 1650 \text{ mm}$ dans notre projet

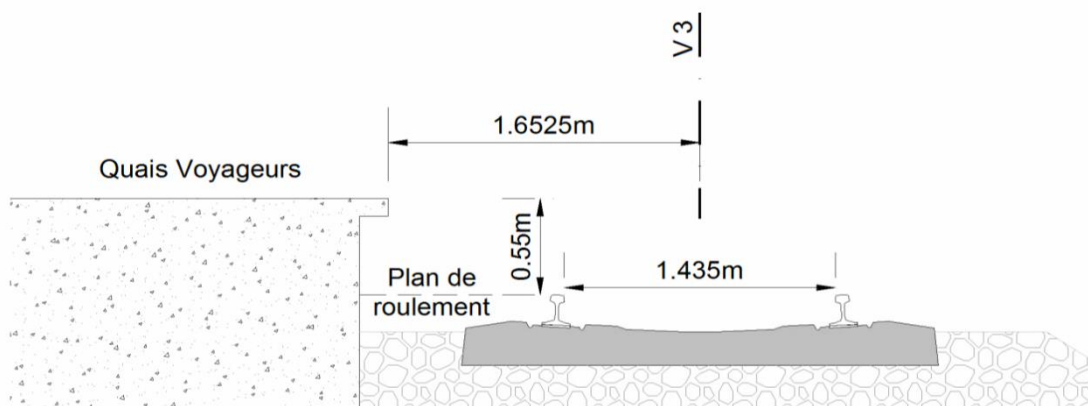


Figure06 : Quais voyageurs (source UIC 741)

Entraxe entre les quais :

Selon SNTF :

Normale en ≥ 11.3

Minimal en ≥ 9.3

Dans notre projet l'entraxe entre les quais égal 9.3 m

- Ouvrages d'arts :

Garage franc : Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément GF : $GF = 3.57 \times N + 1$

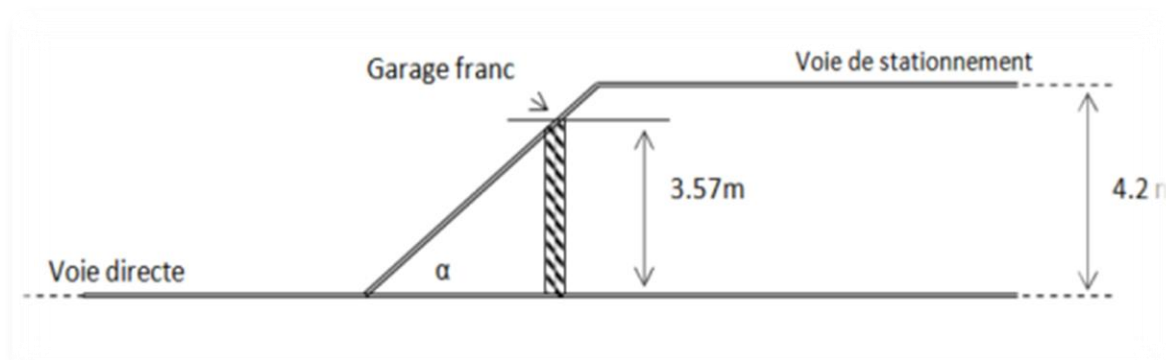


Figure07 : garage franc

Passerelle supérieure :

Selon la SNTF :

La largeur est $B \geq 2.4$ en prend $B = 2.5$ m

La hauteur est : $H > 6.2$ m en prend $H = 6.5$ m (pour mieux placer les caténaires)

Longueur du garage franc :

La formule suivante permet de calculer la longueur du garage :

$$G_f = 3.57 \times N + 1$$

Les appareils de voies de notre projet :

UIC 60 500 1/12

UIC 60 300 1/9

(V.O.A ; UMMTO)

Calcul de garage franc situé en alignement :

$$\text{tng } \alpha = \frac{3.57}{G_{th}} \rightarrow G_{th} = \frac{3.57}{\text{tng } \alpha}$$

Pour UIC 60 500 1/12 : $G_f = 3.57 \times 12 + 1 = 43.84 \text{ m}$

Pour UIC 60 300 1/9 : $G_f = 3.57 \times 9 + 1 = 33.13 \text{ m}$

Calcul de garage franc situé en pleine courbe :

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

$$y = \alpha - 3.57$$

$$1 = 2 \rightarrow x = \sqrt{2 \times R \times (\alpha - 3.57)}$$

Pour UIC 60 500 1/12 : $x = \sqrt{2 \times 500 \times (4.2 - 3.57)} = 25.1 \text{ m}$

Pour UIC 60 300 1/9 : $x = \sqrt{2 \times 300 \times (4.2 - 3.57)} = 19.44 \text{ mm}$

$$G_f = x - 1$$

Le tableau suivant, récapitule les autres ouvrages d'arts implantés au tracé du By passe 1, leurs situations, essais préconisé, unités géotechniques, ainsi que leurs modes de fondation :

Tableau 1 : liste des ouvrages d'art

Ouvrage	PK	Essais in situ	Nature des terrains	Unité géotechnique	Mode de fondation probable
Pont rail	5+800	F67-L-G	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.30 – 2.70 : Encroutement calcaire graveleux à caillouteux. ➤ 2.70 -12.0 : Calcaire dur fracturé altérée en profondeur 	(ENC) (CA)	Superficielle
Protection pipe	6+736	F69-L-G	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.30 – 3.20: Carapace calcaire fracturée. ➤ 3.20 -12.0 : Sable rougeâtre à passages carbonatés. 	(CA) (SA)	Semi-profonde à profonde

Pont rail	6+736	F69-L-G	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.40 – 2.70 : Encroutement calcaire graveleux à caillouteux. ➤ 2.70 -20.0 : Calcaire dur fracturé 	(ENC) (CA)	Superficielle
Pont rail	17+300	F74-L-G	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.40 – 3.50 : Encroutement calcaire graveleux à caillouteux. ➤ 3.50-20.0 : Calcaire fracturé à aspect conglomératique 	(ENC) (CA)	Superficielle
Gare de Hassi Rmel	17+500	F74-L-G	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.40 – 3.50 : Encroutement calcaire graveleux à caillouteux. ➤ 3.50-20.0 : Calcaire fracture à aspect conglomératique 	(ENC) (CA)	Superficielle

I. Coupe transversal et longitudinal des ouvrages d'arts :

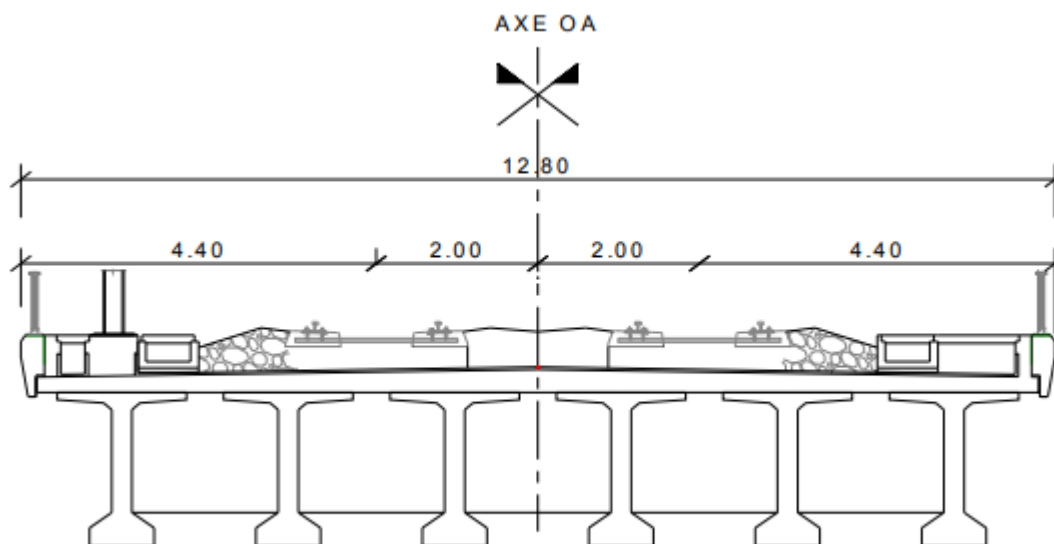


Figure08 : Coupe transversale type tablier poutres précontraintes (pont rail)

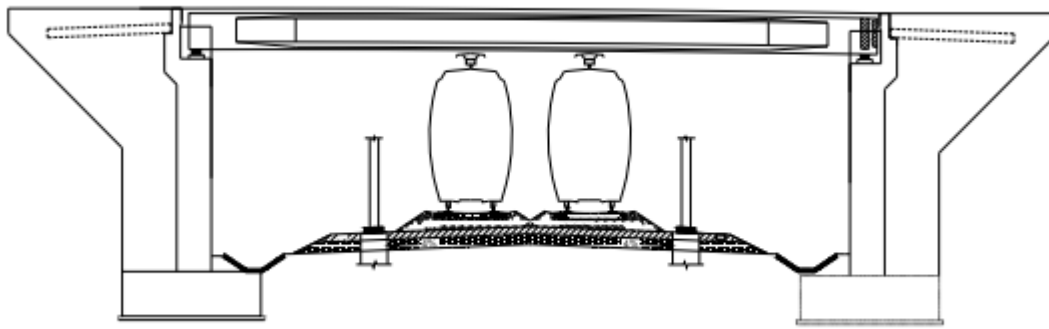


Figure09 : coupe longitudinale pont à poutres

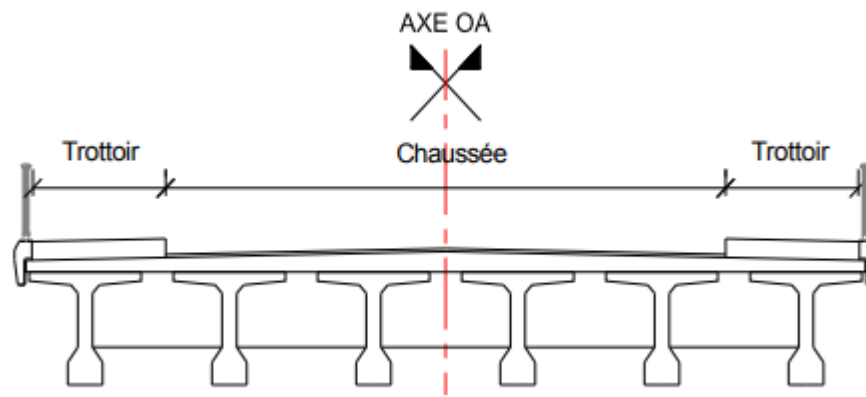


Figure10 : Coupe transversale pont route type à poutres

XI. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons discuté des stations en général, puis de la station de Hassi R'mel particulier. Nous avons présenté aussi les différents ouvrages d'art pour le tronçon By pass1, objet de notre étude.

Chapitre XII
La signalisation ferroviaire

I. Introduction :

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le mécanicien (agent de conduite) d'une circulation ferroviaire. Elle fournit, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleurs diverses, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité. Les informations données par ce moyen, peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter, l'information d'une direction géographique vers laquelle le convoi va s'engager et des prescriptions concernant la traction électrique, etc. La signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

La signalisation ferroviaire mise en œuvre aujourd'hui sur les lignes classiques est lumineuse. Il est fait usage de panneaux, portant un ou plusieurs feux de couleurs, en principe disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire. La signalisation comporte également des tableaux lumineux, ainsi que des tableaux ou pancartes.

II. Rôle des installations de signalisation :

Les installations de signalisation permettent de résoudre les cinq grands problèmes suivants :

- L'espace des circulations, pour éviter les rattrapages (cantonement ou block),
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...),
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez),
- Les risques de déraillement par excès de vitesse,
- Le franchissement des voies ferrées, par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

III. Système de signalisation :

L'Institut Européen de la Recherche Ferroviaire (ERRI) a considéré l'idée de développer un système commun aux pays Européens. Ce système ERTMS (Européen Railways Traffic Management System), est devenu le standard de la signalisation Européenne et pour le monde entier. L'ERTMS est créé pour mettre en œuvre une plate-forme interopérable commune pour les systèmes de signalisation des chemins de fer, et donc : faciliter le passage des frontières, ouvrir le marché de la signalisation ferroviaire, augmenter les vitesses commerciales, réduire les intervalles entre deux trains, diminuer les coûts de maintenance et assurer une sécurité maximale. L'ERTMS est actuellement la technologie la plus utilisée dans la signalisation des

nouvelles lignes ferroviaires. ERTMS se compose essentiellement du système de contrôle/commande ETCS (European Train Control System) et du système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways)

A. ETCS (European Train Control System) :

ETCS calcule en permanence, pour chaque train, une vitesse maximale de sécurité, avec signalisation en cabine à l'intention du conducteur et met en œuvre des systèmes embarqués, qui reprennent le contrôle en cas de dépassement de la vitesse autorisée. Il y a, dans le cadre d'ETCS, normalisation des équipements au sol et des systèmes embarqués à bord des trains en respect des différents niveaux que connaît l'ETCS.

1. ETCS niveau 1 :

L'ETCS Niveau 1 se superpose facilement sur le système de signalisation national existant et assure une signalisation en cabine. Les autorisations de circulation peuvent être accordées par des Eurobalises fixes et commutables. Elles envoient également des données d'itinéraire à l'unité embarquée. Sur la base des données reçues il y a, à tout moment, calcul de la vitesse maximale, ainsi que les courbes de freinage. Il est possible, en plus d'Eurobalises, de mettre en œuvre Euroloop (loop infill = remplissage par boucle) ou une solution radio (remplissage par radio ou sans fil), qui transmet des données en continu sur une distance plus importante.

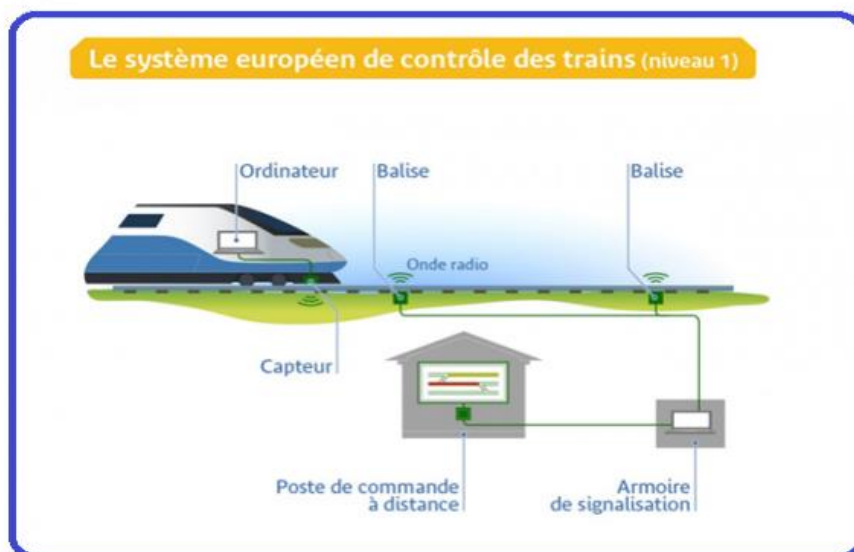


Figure01 : Le système européen de contrôle des trains niveau 1

- Ce système, assure les fonctions suivantes :
 - Contrôler l'aspect de la signalisation latérale par l'Euro-balise standard.
 - Donner l'autorité de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en basant sur le principe de blocage fixé.
 - Transformer les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de contrôle latéral (LEU), afin de les transmettre par la balise jusqu'au train.
 - Protection des trains : Communication discontinue voie-train via les Euro balises

2. ETCS niveau2 :

Le niveau 2, est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique, qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les installations de signalisation extérieures deviennent donc superflues, à l'exception de quelques indicateurs. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central (Radio Block Centre RBC), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

L'autorisation de circuler est transmise en permanence au véhicule via GSM-R, avec les données concernant la vitesse et le parcours. Les Euro balises font dorénavant office de balises de localisation passives, à l'instar de «bornes kilométriques électroniques». Entre deux balises de localisation, le train signale sa position par l'intermédiaire de capteurs (capteurs d'essieux, accéléromètre et radar). Les balises de localisation servent alors de points de référence permettant la correction d'éventuelles erreurs de mesure du parcours.

L'information reçue par radio et par les Euro balises est traitée à bord, puis présentée au conducteur. L'ordinateur embarqué contrôle en permanence les données transmises et la vitesse maximum autorisée.

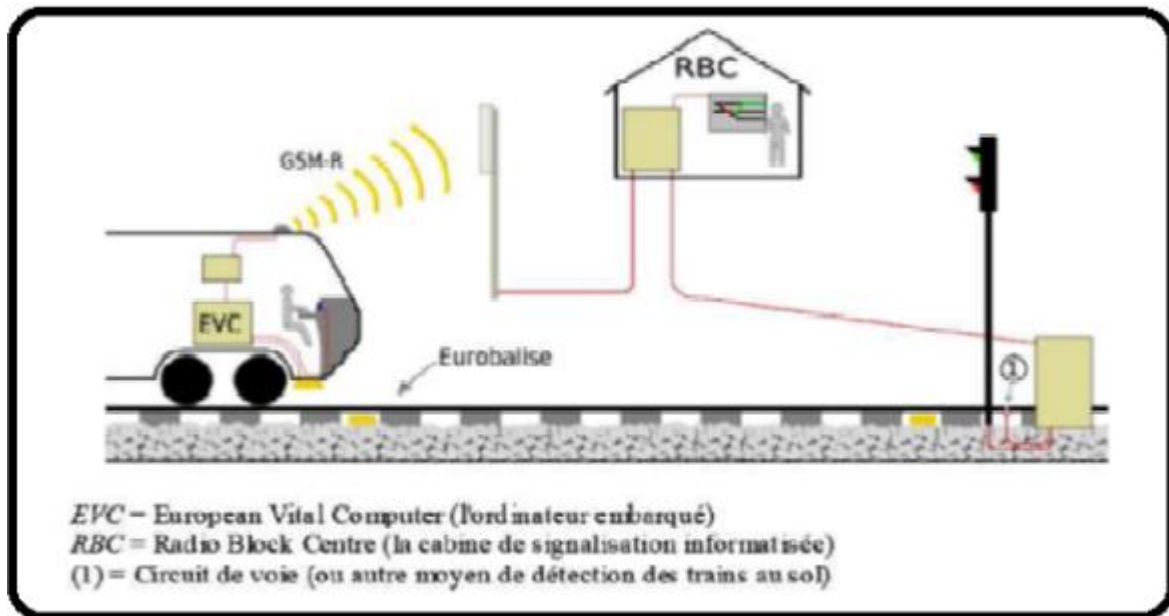


Figure02 : Le système européen de contrôle des trains niveau2.

3. ETCS niveau3 :

Le niveau 3, est davantage révolutionnaire au niveau des autorisations de mouvements. Cette fois, il n'y a plus de section/cantonnement et les trains circulent par blocs mobiles. L'information sur la sécurité, l'intégrité et l'occupation de la voie est fournie par un jeu de satellites. Il n'y a plus de circuit de voie.

B. Système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles-Railways) :

Le système GSM, est le système mobile le plus répandu dans le monde. Les réseaux GSM, sont synonymes de fiabilité, de disponibilité et de flexibilité élevée et leur entretien est relativement simple.

Les projets EIRENE et MORANE lancés par les chemins de fer et les industries des télécommunications dans les années 1990 se fondent sur le GSM, pour satisfaire les exigences ferroviaires courantes dans des fonctions standardisées.

Le système GSM-R en résultant est considéré comme répondant aux exigences ferroviaires.

Le GSM-R a également été conçu sous la forme d'une plate-forme destinée aux applications de données, fournissant de l'espace pour de nouveaux services.

A l'avenir, le GSM-R devrait notamment permettre de proposer des fonctions telles que les billets automatiques, les services d'informations et le suivi de marchandises.

IV. Types de signalisation :

A. Signalisation classique ou latérale :

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

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

1. La signalisation lumineuse :

En signalisation lumineuse, il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleurs, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire.

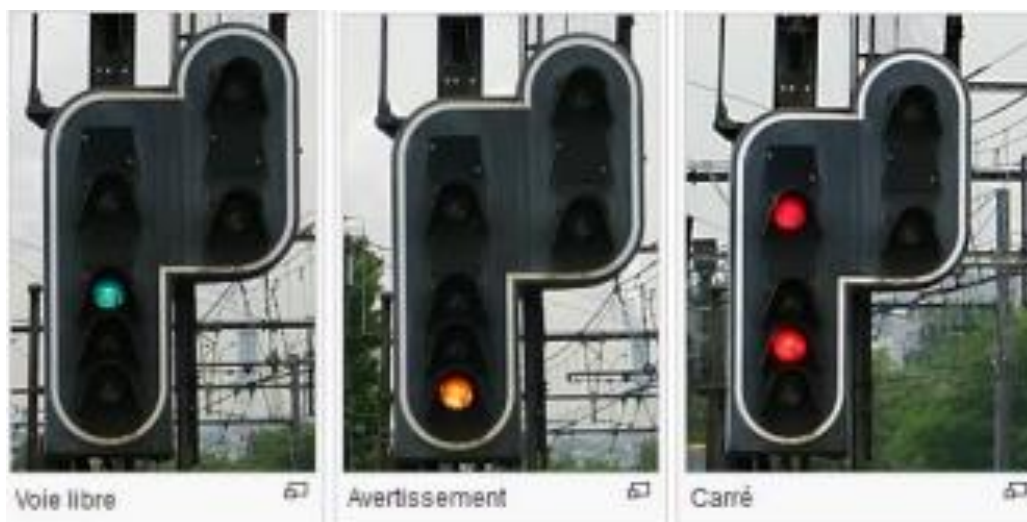


Figure03 : Exemple d'une signalisation lumineuse

2. Signalisation mécanique :

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur.



Figure04 : exemple d'une signalisation mécanique.

3. Signaux combinés :

Lorsque plusieurs signaux lumineux ou mécaniques sont groupés, ils sont généralement combinés.

4. Signalisation à main :

Les employés qui peuvent être appelés par leurs fonctions à donner des signaux à main, doivent avoir les accessoires voulus, les garder en bon état et prêts à un usage immédiat. Il faut utiliser les signaux de nuit du coucher au lever du soleil et lorsque les signaux de jour ne peuvent être vus distinctement.

B. Signalisation en cabine :

La signalisation en cabine, consiste à afficher les informations habituellement données par la signalisation latérale directement en cabine. Ceci est devenu nécessaire avec l'avènement des trains à grande vitesse, ouvrant des vitesses commerciales très élevées : le temps de présence d'un signal dans le champ de vision du conducteur est considéré comme insuffisant, aux vitesses supérieures à 160 km/h, pour avoir l'assurance qu'il soit vu et correctement interprété. Le tableau VIII.1, ci-dessous, illustre les signaux de cabine :




Signal	Description
	Repère d'arrêt ETC European train control system (système européen de contrôle commande des trains)
	Repère Nf (Non franchissable)
	Jalon de manœuvre de la TVM (Transmission voie machine)

Tableau VIII.1 : les signaux de cabine.

V. Les fonctions des signaux :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

- signalisation d'arrêt,
- signalisation de limitation de vitesse,
- signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel.

L'usage veut que la signalisation d'arrêt (exécution et annonce) soit explicitée séparément, alors que les deux dernières forment un tout.

En outre, l'expression «la signalisation d'arrêt» est réservée à la signalisation d'exécution d'arrêt.

A. Signalisation d'arrêt :

Pour assurer la protection dans les établissements, pour le cantonnement..., il peut être nécessaire d'arrêter, voire de retenir les circulations. A cet effet, les signaux d'arrêt suivants sont utilisés :

- carré ou carré violet,
- guidon d'arrêt,
- sémaphore,
- feu rouge clignotant (signal assimilé à un signal d'arrêt),
- disque,
- signal d'arrêt à main.

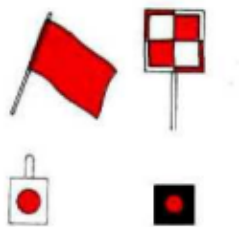


Figure05 : exemples de signalisation d'arrêt.

B. Signalisation de limitation de vitesse :

Au franchissement de certains points particuliers (aiguillages, courbes, ouvrages d'arts, ...) ou sur certaines parties de voie de plus ou moins grande étendue, il peut être nécessaire de limiter la vitesse des circulations.

Ces limitations de vitesse peuvent avoir un caractère permanent ou temporaire.

Les limitations permanentes de vitesse sont :

- ou bien simplement mentionnées au livret de la marche des trains (LMTr) (document connu des mécaniciens),
- ou bien signalisées sur le terrain.

Les limitations temporaires de vitesse sont signalisées sur le terrain.



Figure06 : Pancarte (point de transition de la vitesse-limite d'une section de ligne).

C. Signalisation d'indication de direction :

Aux bifurcations, lorsqu'une limitation de vitesse ne suffit pas à renseigner le mécanicien sur la direction géographique, on installe un indicateur de direction comportant autant de feux que de directions géographiques possibles.

L'indicateur de direction, en principe, groupé avec le signal de protection de la bifurcation, est constitué par un écran noir à bordure blanche présentant, de jour comme de nuit, des feux blancs disposés horizontalement ; le nombre de ces feux correspond habituellement au numéro d'ordre, à partir de la gauche, de la direction donnée.



Figure07 : Indicateur de direction indiquant que la direction géographique donnée est la deuxième à partir de la gauche.

VI. Implantation des signaux :

L'implantation des signaux se fait normalement du côté où les trains circulent : généralement à gauche, car les trains circulent le plus souvent à gauche.

Dans certains établissements ou sur certaines sections de lignes, lorsque la configuration du lieu l'impose, les signaux peuvent être implantés à droite. Ils sont alors équipés d'une flèche blanche désignant la voie à laquelle ils s'adressent.

Dans certains cas, notamment dans les entre-voies réduites, il peut être fait usage de signaux de type bas installés au ras du sol.

VII. La visibilité des signaux :

La sécurité reposant essentiellement sur l'observation des signaux, il importe que :

- toute indication présentée par un signal, quel qu'il soit, sollicite par elle-même l'attention du mécanicien,
- l'environnement ne puisse pas être une cause de gêne, de distraction ou de confusion pour le mécanicien, tant de jour que de nuit,

- la qualité de la visibilité soit maintenue en permanence.

Tableau VII.2 : visibilité des signaux.

Visibilité des signaux hauts	Visibilité des signaux bas
visible à une distance ≥ 10 m du plan de front des tampons	continus jusqu'au plan de front des tampons.
supposé implanté à droite ou à gauche à 2.42m de l'axe de la voie, avec une hauteur qui varie entre 2.8 et 6.3m au-dessus du plan de roulement	supposé implanté à droite ou à gauche à 1.75 m de l'axe de la voie et à 0.24 m au-dessus du plan de roulement.

VIII. Voie unique :

Sur les lignes à voie unique, la sécurité est assurée par les agents des gares au moyen :

- Soit du block manuel de voie unique (BMVU),
- Soit du cantonnement téléphonique ; c'est le cas notamment des lignes à signalisation simplifiée.

Sur ces lignes, autres que celles à signalisation simplifiée, l'avertissement, lorsqu'il précède une gare, peut être utilisé pour annoncer un signal d'arrêt à main présenté au voisinage du point habituel d'arrêt des trains en gare, ainsi que pour annoncer, s'il y a lieu, un TIV (tableau indicateur de vitesse) de rappel 30 (ou 40) implanté au droit de l'aiguillage d'entrée.

Un tel avertissement fermé commande en plus au mécanicien, de s'arrêter obligatoirement en gare. S'il existe un signal de cantonnement (sémaphore ou carré) commandant la sortie de la gare, et si ce signal est ouvert, le mécanicien peut ensuite reprendre sa marche normale.

S'il n'en est pas ainsi, le mécanicien ne peut se remettre en marche qu'après avoir reçu l'autorisation de départ, donnée soit localement (signal à main de départ,...), soit à distance (transmission par téléphone d'une dépêche enregistrée).

IX. Critères de signalisation de la ligne de notre projet :

Les critères de conception proposés pour la signalisation de la ligne ferroviaire Laghouat Hassi R'mel (by pass1) sont résumés dans le tableau suivant :

Item	Critère proposé
Type d'enclenchement	Enclenchements informatisés
Maintenance	Terminaux portables pour les demandes liées à la sécurité
Signalisation	Signalisation latérale lumineuse
	ETCS N°2 associé à une signalisation latérale de type SNTF
Équipement embarqué	ERTMS embarquées (système d'aide à la conduite)
	GSM-R pour les communications radio
Détection des trains en ligne	Compteurs d'essieux
Aiguilles de voie principale ou y donnant accès	Aiguilles enclenchées par les zones et verrouillées
	Commande électrique des aiguilles
	Calage, verrouillage et contrôles des lames d'aiguilles
Alimentation	Alimentations par le réseau public secouru par batterie et groupe Electrogène

X. Conclusion :

Les lois de la circulation des trains ferroviaires, sont très complexes et différentes de toutes les autres lois de la circulation, pour raison de la restriction des trains par chemin de fer. Donc pour garantir la sécurité, on doit prévoir la signalisation ferroviaire, qui contribue, avec une grande part, dans la diminution des accidents et la facilité de circulation du matériel roulant.

Chapitre XIII
Etude de l'impact sur l'environnement

I. Introduction :

Techniquement, l'étude de l'impact sur l'environnement d'un projet, vise à déterminer son insertion dans son environnement, l'étude d'impact sur l'environnement est un outil d'identification, de prédiction, d'estimation et de gestion relatifs aux éventuels impacts d'un projet sur l'environnement biophysique, social et économique. Elle prend en compte l'ensemble des facteurs environnementaux tout en se focalisant sur les éléments les plus significatifs.

Les conséquences sont réduites ou compensées par un ensemble de mesures et dispositions contractualisant du projet.

II. L'état initial de l'environnement :

A. Le milieu physique :

1. Relief :

Le projet se situe dans une région très peu accidentée et tectoniquement stable.

La région se distingue :

- o Le grand Erg oriental : vaste dépôt de sable éolien, à l'Est et au Sud.
- o Au centre : régions de vallées, où prédominent les dépôts d'alluvions
- o Le plateau du M'Zab à l'Ouest
- o La Hamada et Plaines.



Figure01 : formation traversée par le tracé.

2. Hydrogéologie :

La zone d'étude est serpenté d'oueds qui forment l'origine de l'Oued Djedi ; les plus important sont oued Messaad et oued Bel Haroug, ils sont caractérisés par un large lit et ils sont généralement secs, ils se manifestent suite à des averses orageuses.

B. Milieu naturel :

Les contraintes liées à la faune et la flore, existantes dans la zone d'étude, qui est caractérisée par un couvert végétal très faible et éparpillé, vu la géomorphologie de la région et son climat, d'une part, et l'action anthropique, d'autre part, ce qui nécessite sa protection, vu sa vulnérabilité et son importance. Cependant une attention particulière pour l'emplacement des bases de vie, prenant en compte des efforts et des coûts supplémentaires exigés par la réglementation, pour la protection de la biodiversité rare et endémique.



Figure02 : rareté du couvert végétal.

En milieu désertique, la faune y est rare. On rencontre dans la région des mammifères insectivores (hérisson, rat à trompe), carnivores (fennec, chacal), rongeurs (gerbilles, souris, gerboises, lièvres), ainsi que des ongulés (gazelles). Les espèces d'oiseaux sont peu nombreuses. On rencontre aussi des reptiles et des arachnides (scorpions ...). Les insectes constituent quant à eux la population animale la plus variée et la plus nombreuse.

Au niveau des zones humides (Chotts, Sebchas, Lacs, ...) la faune y est plus abondante et plus diversifiée. On y rencontre :

- Les oiseaux : Canard Colvert, Flamant Rose, Barge à queue, Faucon, Buse, Aigle

- Les mammifères : Chacal, Hyène, Sanglier
- Les reptiles : vipère, Couleuvre, lézard, etc...



Figure03 : Quelques espèces faunistiques de la zone d'étude.

III. Impacts du projet sur l'environnement et mesures proposées :

A. L'ensablement :

Le vent est le facteur principal de la topographie des régions désertiques. Selon sa compétence, il modèle, façonne le paysage et trie les sédiments. Des traces multiples de l'érosion éolienne sont observées un peu partout au niveau des formations superficielles.

- **Identification et maîtrise du risque d'ensablement le long du tracé :**

Dans la zone d'étude, on remarque des accumulations de sable éolien, sur le plateau des dayas et sur le plateau rocheux de Ghardaïa. La matrice sableuse se trouve généralement :

- Piégée dans les dayas ;
- Piégée dans le couvert végétal ;

- Sur les bassins versants et les lits d'oueds, cela est dû à la dynamique fluviale qui soutire les sables piégés des versants et les redistribue le long du réseau hydrographique, au cours des crues ;

- Auteurs des reliefs, ces derniers constituent un obstacle, ce qui fait que le sable éolien épouse la forme des reliefs.

- **Procédés de lutte contre l'ensablement :**

- **Fixation de sable ou stabilisation des dunes et des sables volants :**

Parfois très loin de la voie ferrée pour éviter la création des dunes mouvantes (barkhanes).

Cette fixation peut être obtenue par :

a. Stabilisation chimique :

Des moyens chimiques colloïdaux organiques et anorganiques, offrent une protection temporaire contre le transport du sable. Le traitement chimique de la surface des dunes de sable et des surfaces limitrophes du tracé est possible à l'aide de dispersions polymères, de polyuréthanes ou de verre solubles. Quant aux surfaces limitrophes du tracé, il serait aussi pensable de procéder à une stabilisation à l'aide de ciments rapides spéciaux.

b. Stabilisation à l'aide de produits pétroliers :

Une stabilisation de sables de dunes par la création d'une croûte en fuel lourd. La pulvérisation superficielle avec de l'huile lourde est possible dans cette région et à recommander à partir de différents points de vue, par exemple en relation avec la plantation ultérieure.

c. Plantation :

Stabilisation des dunes de sables par plantation notamment des oyats si les conditions climatiques s'y prêtent.

d. Stabilisation par des recouvrements face au vent (cailloux, pierrailles).

e. Stabilisation par des revêtements :

en mailles de 2m × 2m de tresse d'herbes séchées.



Figure04 : Pin d'Alep



Figure05 : Cyprès vert



Figure06 : Parcelle d'Eucalyptus



Figure07 : Parcelle de Tamarix

- **Création d'écrans :**

Ces écrans placés le long de la voie ferrée, à environ 100m de celle-ci, face au vent, créeront une zone privilégiée d'accumulation du sable, qui protégera la voie ferrée pendant un certain temps.

Ces écrans peuvent être constitués :

- De simples palissades ;
- De vieux rails dressés verticalement avec des traverses usagées ;
- De plaques de béton ;

(V.O.A ; UMMTO)

- De merlons en sable protégés par des cailloux.

- **Dispositifs pour éviter l'accumulation dans la zone de la voie ferrée :**

Il s'agit en fait d'éviter des zones de turbulence favorisant l'amenée de sable et son dépôt.

Le meilleur moyen est de poser la voie ferrée légèrement en remblai, en protégeant de part et d'autre par des talus de très faible pente.

La voie constitue alors un très faible obstacle et le sable ira se déposer plus loin.

- **Désensablement :**

L'opération de désensablement quand elle est possible reste la meilleure de tous les procédés de lutte mécanique. Cependant, les menaces renouvelables de ce phénomène naturel défient la majorité des méthodes et techniques de désensablement utilisées seules.

On distingue quatre procédés principaux d'évacuation de sable pratiqués pour protéger les différents objectifs menacés à savoir : le désensablement manuel et mécanique, le désensablement par le vent, le désensablement par l'eau et le désensablement par la méthode de fossés de transfert.

B. Autres impacts :

Thème	Impact	Mesure proposé
Sol	<ul style="list-style-type: none"> • Déblais, • Pollution, • Vibration 	<ul style="list-style-type: none"> • Protections mises en place dès la conception de l'infrastructure ferroviaire • Stockage définitif à terre. • Dépôt en décharge agréé. • Mise en place d'un écran acoustique.
Eaux superficielles	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux pluviales de plates-formes ferroviaires créées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Création des ouvrages de collecte et de rétention des eaux. • Réalisation de décapage juste avant terrassement.

L'air	<ul style="list-style-type: none"> • Gaz d'échappement des engins et des camions, • Emission de poussières, • Dispersion accidentelle de produits chimiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Respect des normes d'émission des engins • Limitation des aires de chantier • Eviter les opérations de chargement et déchargement des matériaux par vent fort.
Activités agricoles	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de surface agricole pour les exploitants du fait des nouvelles emprises ferroviaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Remise en état des terres pour leur réutilisation, pour les cultures dans les sites de dépôts. • Limitation des émissions de poussière (arrosage de piste en cas de besoin). • Rétablissement des cheminements agricoles.
Infrastructure de transport	<ul style="list-style-type: none"> • Circulation des poids lourds en période de chantier, • Construction de nouveaux ouvrages d'arts. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de circulation spécifique au chantier • Réhabilitation des voies si nécessaire.
Population	<ul style="list-style-type: none"> • Nuisance des chantiers (bruits, poussière,...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'une bute en terre, nommée merlon.

IV. Suivi et bilans environnementaux :

Le projet de construction de la voie ferrée inclut un plan de gestion environnementale et social, dont le but est d'assurer le respect de dispositions prévues à l'égard de l'environnement, à chacune des phases du projet (phase de construction et phase d'exploitation).

- **Programme de surveillance environnementale :** il vise principalement à assurer le respect des éléments suivants :
 - Lois et règlement patinant
 - Mesure proposée dans l'étude d'impact sur l'environnement, notamment les mesures d'atténuation.

- Conditions fixées par les autorités réglementaires.
- Suivi de la phase travaux : assurer la mise en œuvre et le suivi des mesures d'élimination ou de réduction des impacts.
- Suivi du bilan : contrôler la mise en place et l'efficacité des dispositions prises pour améliorer l'insertion environnementale du projet.

V. Conclusion :

Le projet du by pass1 de la ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa, s'intègre dans le réseau ferroviaire national et constitue ainsi, un axe structurant pour le développement économique et social de l'Algérie. Cet impact positif majeur, justifie à lui seul le projet, il existe, néanmoins, des impacts négatifs significatifs, décrits plus haut, mais pour lesquels des mesures d'atténuation ou de compensation sont à prévoir.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude est une phase très importante dans le cycle de notre formation, il nous a permis de nous familiariser avec les différentes normes et règlements régissant l'étude des chemins de fer tels que l'UIC, la SNTF,... et aussi les différents logiciels de calcul et de dimensionnement (AUTOCAD, COVADIS).

L'extension LAGHOUAT vers HASSI R'MEL est une ligne qui va contribuer au développement de l'infrastructure de transport voyageur, et qui va relancer l'activité économique de la ville de LAGHOUAT.

Dans notre travail, on a abordé l'étude sur un linéaire de 18km en faisant les études nécessaires tel que l'étude géométrique pour préciser un tracé au projet, l'étude géotechnique et géologique pour définir la portance du sol et ses caractéristiques mécaniques et l'étude hydraulique dont on détermine les ouvrages d'évacuation des eaux pluviales et souterraines.

Aussi, on a accompagné notre étude d'un dimensionnement d'assise et terrassements ou on a défini les déblai et remblais pour finalement étudier la signalisation ferroviaire et l'impact sur l'environnement.

Ce projet de voie ferrée nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nos connaissances acquises durant les cinq années de notre formation, mais aussi de mieux appréhender notre avenir dans le monde professionnel.

Bibliographie

- _ Fascicule II SETRA guide de terrassement routier (GTR)
- _ Fiche UIC703R. Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides. 2^{ème} édition de 01-01-1989.
- _ <https://www.sntf.dz/> Société national de transport ferroviaire
- _ Rapport Hydraulique L.GH Sétirail, Par Mme A.Meridji.
- _ Rapport géotechnique et géologique L.GH Sétirail. Par, Mme A.Meridji.
- _ Polycopier de cour chemin de fer, Université Mohamad Khidar Biskra, Dr. Ben Ammar Ben Khedda (2021/2022),
- _ Livre andré larné (Naissance du chemin de fer .publier le 24/02/2014)
- _ Guide de Maturation CNED (12/2008)
- _ Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Supérieur des Travaux Publics, par Mr. Ghaffar
- _ Cours de chemins de fer de l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, par Mr.Boulifa
- _ ZAABAR.H KAILALI.A Etude de la nouvelle ligne ferroviaire entre Ouargla et Hassi messaoud du PK00+000 au PK21+000 avec aménagement de la gare de Ouargla et Ain el beida école nationale des travaux publics (2020/2021).
- _ BIDI.M DJOUAI.SE Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire voie unique (DJELFA-LAGHOUAT) (Du pk 00+000 au pk 08 +000) Avec L'aménagement de la gare mixte de DJELFA. Université Ziane Achour de Djelfa (2017/2018).
- _ SAIM.L SIDALI.T Thème étude du tracé de la voie ferrée Thénia Tizi Ouzou tronçon Thénia Naciria du PK 0+000 au PK 26+200. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (2021/2022).
- _ Fiche UIC 719 : ouvrages en terre et couches d'assises ferroviaires (2^{ème} éditions du 01/01/1994)
- _ Fiche SNCF : conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ Km/h (Version 1 du 12/09/2006)

Annexes

ANNEXE 1 : Axe en plan

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Axe En Plan

Axe : Axe

Table courante : IN 3278 - LGV - 220

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	384.12gr	4997.741	0.000	526519.460	3647545.307
Clothoïde 1	Paramètre	-409.339	76.163	4997.741	525286.051	3652388.459
Arc 1	Rayon	-2200.000 m	35.179	5073.904	525267.681	3652462.372
	Centre X	527408.709 m				
	Centre Y	3652968.335 m				
Clothoïde 2	Paramètre	409.339	76.163	5109.083	525259.864	3652496.671
Droite 2	Gisement	387.35gr	1881.682	5185.246	525244.395	3652571.246
Clothoïde 3	Paramètre	409.339	76.163	7066.927	524872.850	3654415.881
Arc 2	Rayon	2200.000 m	53.155	7143.090	524857.381	3654490.455
	Centre X	522708.536 m				
	Centre Y	3654018.792 m				
Clothoïde 4	Paramètre	-409.339	76.163	7196.245	524845.359	3654542.232
Droite 3	Gisement	383.60gr	2282.032	7272.408	524826.385	3654615.992
Clothoïde 5	Paramètre	-409.339	76.163	9554.440	524245.144	3656822.762
Arc 3	Rayon	-2200.000 m	324.852	9630.603	524226.171	3656896.522
	Centre X	526362.993 m				
	Centre Y	3657419.962 m				
Clothoïde 6	Paramètre	409.339	76.163	9955.455	524172.413	3657216.596
Droite 4	Gisement	395.21gr	2161.698	10031.618	524166.248	3657292.508
Clothoïde 7	Paramètre	-409.339	76.163	12193.316	524003.709	3659448.087
Arc 4	Rayon	-2200.000 m	413.893	12269.479	523998.421	3659524.065
	Centre X	526194.727 m				
	Centre Y	3659651.488 m				
Clothoïde 8	Paramètre	409.339	76.163	12683.372	524013.343	3659937.078
Droite 5	Gisement	9.39gr	2288.123	12759.535	524024.101	3660012.477
Clothoïde 9	Paramètre	409.339	76.163	15047.658	524360.356	3662275.757
Arc 5	Rayon	2200.000 m	455.423	15123.821	524371.114	3662351.156
	Centre X	522189.730 m				
	Centre Y	3662636.746 m				
Clothoïde 10	Paramètre	-409.339	76.163	15579.244	524383.240	3662805.605
Droite 6	Gisement	394.01gr	2025.338	15655.407	524376.518	3662881.469
				17680.745	524186.136	3664897.840
Longueur totale de l'axe 17680.745 mètre(s)						

ANNEXE 2 : Profil en long

Abscisse Sommets et Raccordement

Profil En Long Projet

Axe : Axe


Table courante : IN 3278 - LGV - 220

Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente -0.04 %	2093.836	0.000	770.000
Pente 2	Pente -0.30 %	5191.816	2093.836	769.103
Pente 3	Pente 0.12 %	4827.109	7285.653	753.373
Pente 4	Pente -0.37 %	5567.984	12112.762	759.343
			17680.745	738.995
Longueur totale de l'axe 17680.745 mètre(s)				
Longueur développée totale de l'axe 17680.810 mètre(s)				


ANNEXE 3 : les résultats des essais géotechniques

Rapports laboratoire des forages

Sondage F66-L-GH PK01+660


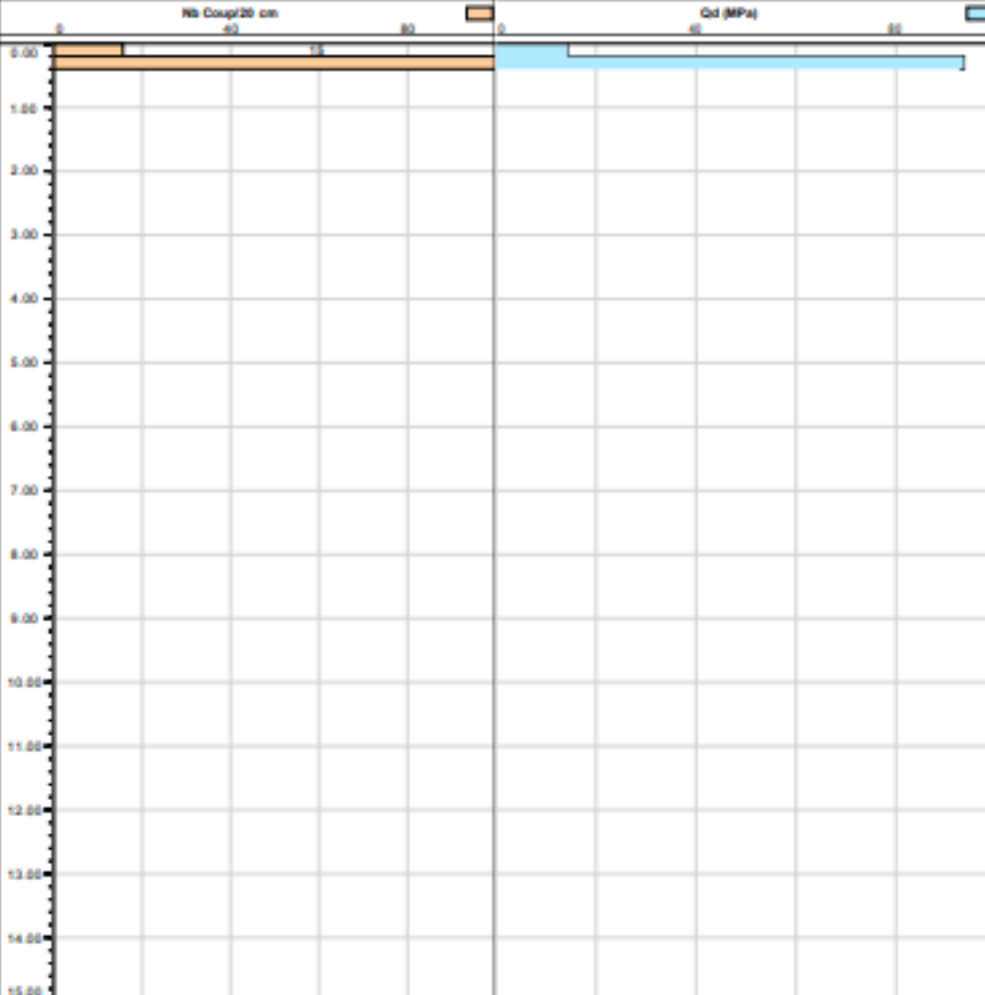
 المختبر المركزي للأشغال العمومية LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS		RAPPORT DE FORAGE Sondage : F66 L-GH													
Projet : Ligne ferroviaire de la Boucle Sud Est Endroit : PK 01+ 660 By-pass Entrée		Dossier N° : 31-16-0129 Client : setrail													
Date début : 17.03.2020 Date fin : Profondeur forée (m) : 12 Niveau d'eau (m) : /		Coordonnées GPS: X : 523268 Y : 3004596 Z :													
		Boue de forage : EAU Type forage : ROTATIF Foreuse :													
		Etat des échantillons : Intact <input type="checkbox"/> Remanié <input type="checkbox"/> Paraffiné <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/>													
Echelle (m)	Elevation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (H + N2)	FGD	Tubage	Carottier	Etat	Profondeur échantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	ESSAIS DE LABORATOIRE		
	-0.50	0.50	25 %									Tout-venant de reg.			
1.0									3.00			Encroûtement calcaire à passages rocheux.			
2.0									6.00						
3.0									9.00			Grès tendre à éléments carbonatés, de couleur rougeâtre.			
4.0									12.00						
5.0												Fin du forage à une profondeur de 12 m.			
6.0															
7.0															
8.0															
9.0															
10.0															
11.0															
12.0															
13.0															
14.0															
15.0															
16.0															
17.0															
REMARQUES :		TYPE CAROTTIER :		ABREVIATIONS :											
		CP : Carottier hélico TM : Tube à percussion PS : Tube à position fixe CR : Tube carottier		AG : Analyse granulométrique S : Scléromètre L : Limites d'Atterberg (LL, PL) W : Teneur en eau PV : Poids volumique (D _s , D _w) AC : Analyse chimique		GB : Cisaillement rectiligne TR : Cisaillement triaxial Rc : Résistance à la compression oed : Essai oedométrique S _v : Gonflement libre R _v : Retus à l'effort normal									
Préparé par : M.C.		Vérifié par : A.M.		30/06/2021		Page : 1 de 1									

Sondage F70-L-GH PK08+700

 المختبر المركزي للأشغال العمومية LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS		RAPPORT DE FORAGE Sondage : F70 L-GH													
Projet : Ligne ferroviaire de la Boucle Sud Est Endroit : PK 08+700 By-pass Entrée		Dossier N° : 21-16-0129 Client : aertail													
Date début : 23.05.2020 Date fin : 25.05.2020 Profondeur forée (m) : 20 Niveau d'eau (m) : /		Coordonnées GPS: X : 824080 Y : 3887671 N : /													
Boue de forage : Eau Type forage : RCD/RF Foreuse :		Etat des échantillons : Intact <input type="checkbox"/> Ramené <input type="checkbox"/> Réaffiné <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/>													
Echelle (m)	Elevation (m) Profondeur (m)	Récupération				SPT (M + RCD)	RCD	Tubage	Carotier	Etat	Profondeur Echantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	ESSAIS DE LABORATOIRE
		M	R	M	R										
0.0	0.00													Tout-venant de rag.	
1.5	1.50														
3.0	3.00														
4.5	4.50														
6.0	6.00														
7.5	7.50														
9.0	9.00														
10.5	10.50														
12.0	12.00														
13.5	13.50														
15.0	15.00														
16.5	16.50														
18.0	18.00														
19.5	19.50														
21.0	21.00														
22.5	22.50														
24.0	24.00														
25.5	25.50														
REMARQUES :												TYPE CAROTIER : CP - Carotier tendu TM - Tube à parois fines RS - Tube à parois fines CR - Tube carotier		ABBREVIATIONS : AG - Analyse géochimique B - Bétonnière L - Limites d'absorption (L) P - Pénètre au 50 PV - Pression volumique (Pa, GPa) AG - Analyse chimique CR - Qualité des roches TR - Caractéristiques triaxiales R _c - Résistance à la compression SBC - Béton géochimique G _v - Coefficient de gonflement R _v - Réaction de gonflement	
Projet par : M.C						Version par : A.M						30/05/2021		Page : 1 de 1	

Fiches des essais pénétrométriques :

PDL36 PK01+660

المختبر المركزي للأشغال العمومية LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS	
Sondage au pénétromètre dynamique PDB <i>Effectué conformément à la norme NF P 94-115</i>	
Equipement : APAFOR 100	
Client :	Lieu :
Chantier : E/G BOUCLE SUD EST TRANCON GHARDAIA L Type de pointe : Perdue	
Dossier : E/G BOUCLE SUD EST TRANCON GHARI Longueur d'une tige : 1 m	
Sondage : PDL 36 Masse enclume + guide : 9.2 kg	
Date : 07/09/2020 14:25:31 Masse d'une tige : 5.8 kg	
X : Y : Z : Masse de la pointe : 0.7 kg	
Nb Coup/20 cm Gd (MPa)	
	
Observation :	

PDL 38 PK05+800

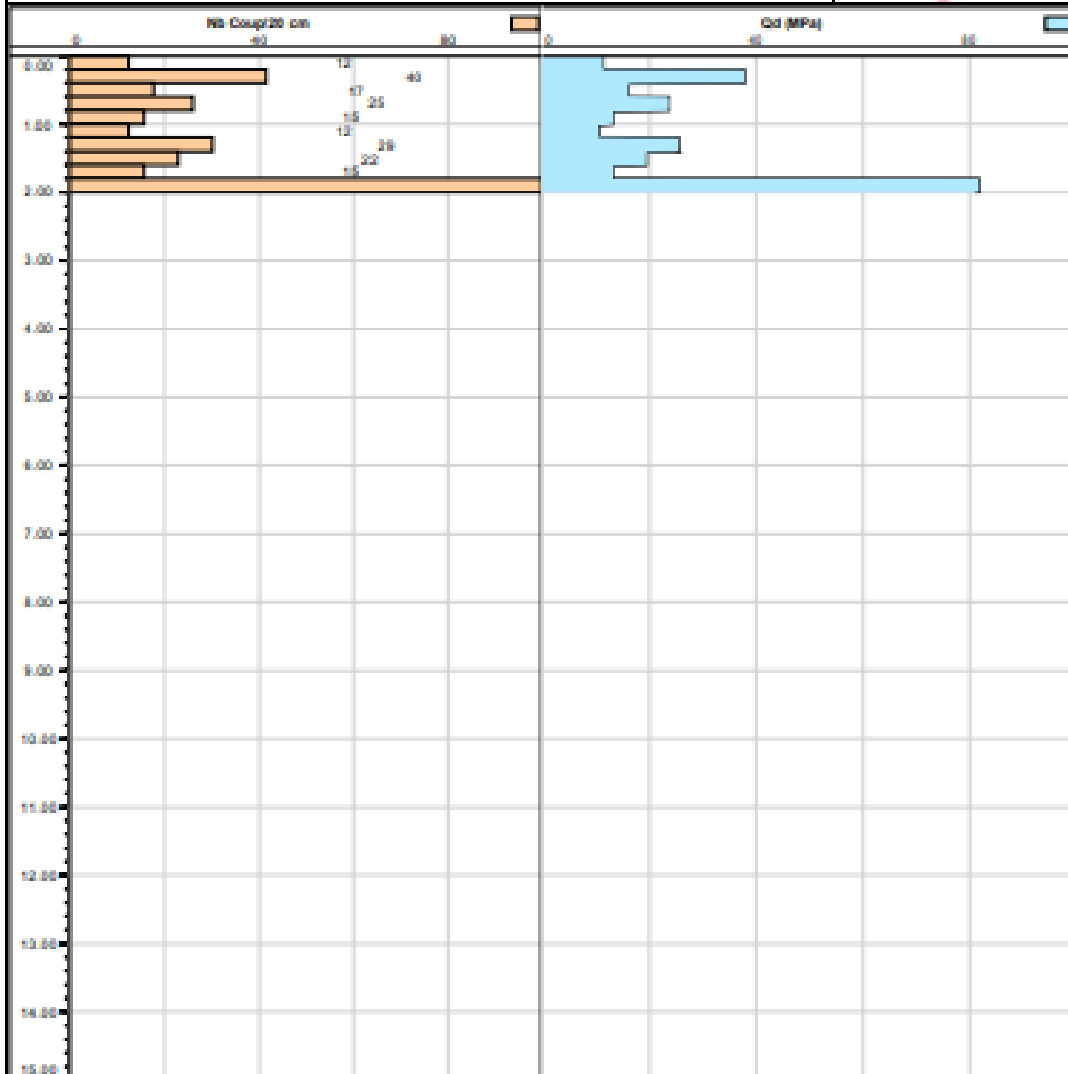


Sondage au pénétromètre dynamique PDB

Effectué conformément à la norme NF P 94-115

Equipement : APAPOR 100

Client :	Lieu :			
Chantier :	E/G BOUCLE SUD EST TRANCON GHARDAM	Type de pointe :	Perdue	
Dossier :	E/G BOUCLE SUD EST TRANCON GHARI	Longueur d'une tige :	1 m	
Sondage :	PDL 38	Masse enclume + guide :	9.2 kg	
Date :	07/09/2020 14:25:31	Masse d'une tige :	5.8 kg	
X :	Y :	Z :	Masse de la pointe :	0.7 kg



Observation :

ANNEXES 4 : coefficient de ruissèlement

<u>By Pass 01 Hassi R'mel</u>			
BV	PK	Pente (%)	C1
2-1	2+277	1.02	0.02
6-1	6+235	1.68	0.03
7-1	7+424	4.29	0.06
7-2	7+526	4.10	0.06
7-3	7+685	5.62	0.07
7-4	7+954	3.63	0.06
8-1	8+670	1.61	0.03
9-1	9+888	4.24	0.06
9-2	9+977	4.78	0.07
13-1	13+417	0.45	0.02
14-1	14+653	1.85	0.03
14-2	14+792	2.02	0.03
14-3	14+999	2.47	0.04
15-1	15+963	1.57	0.03
16-1	16+563	4.60	0.07
18-1	18+171	4.82	0.07

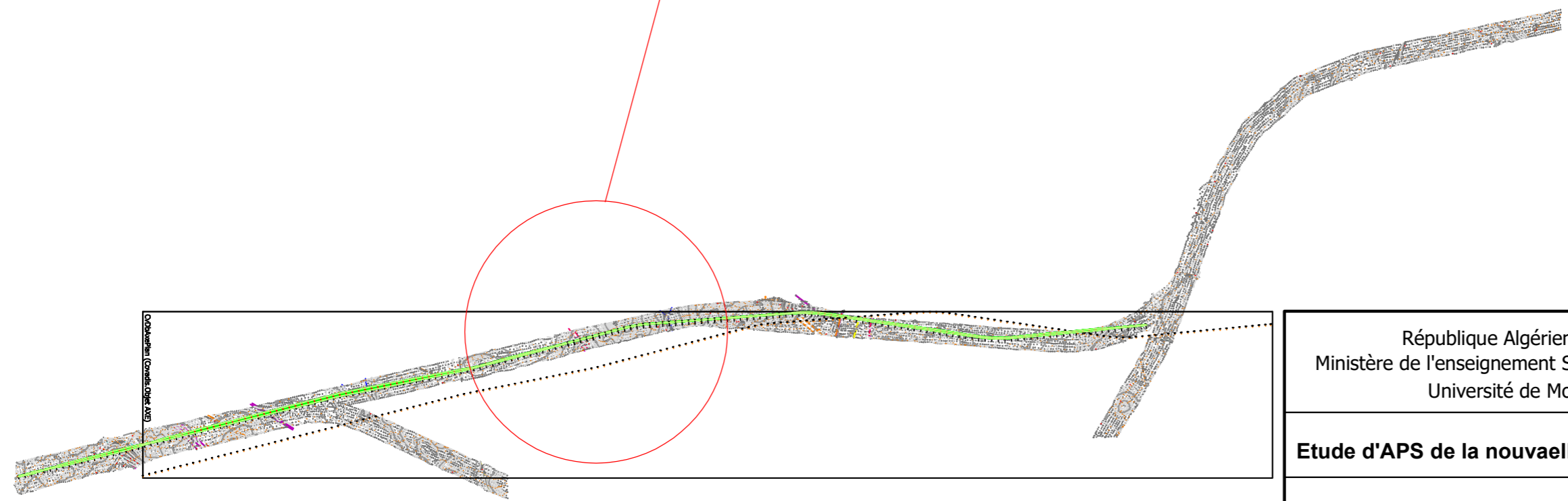
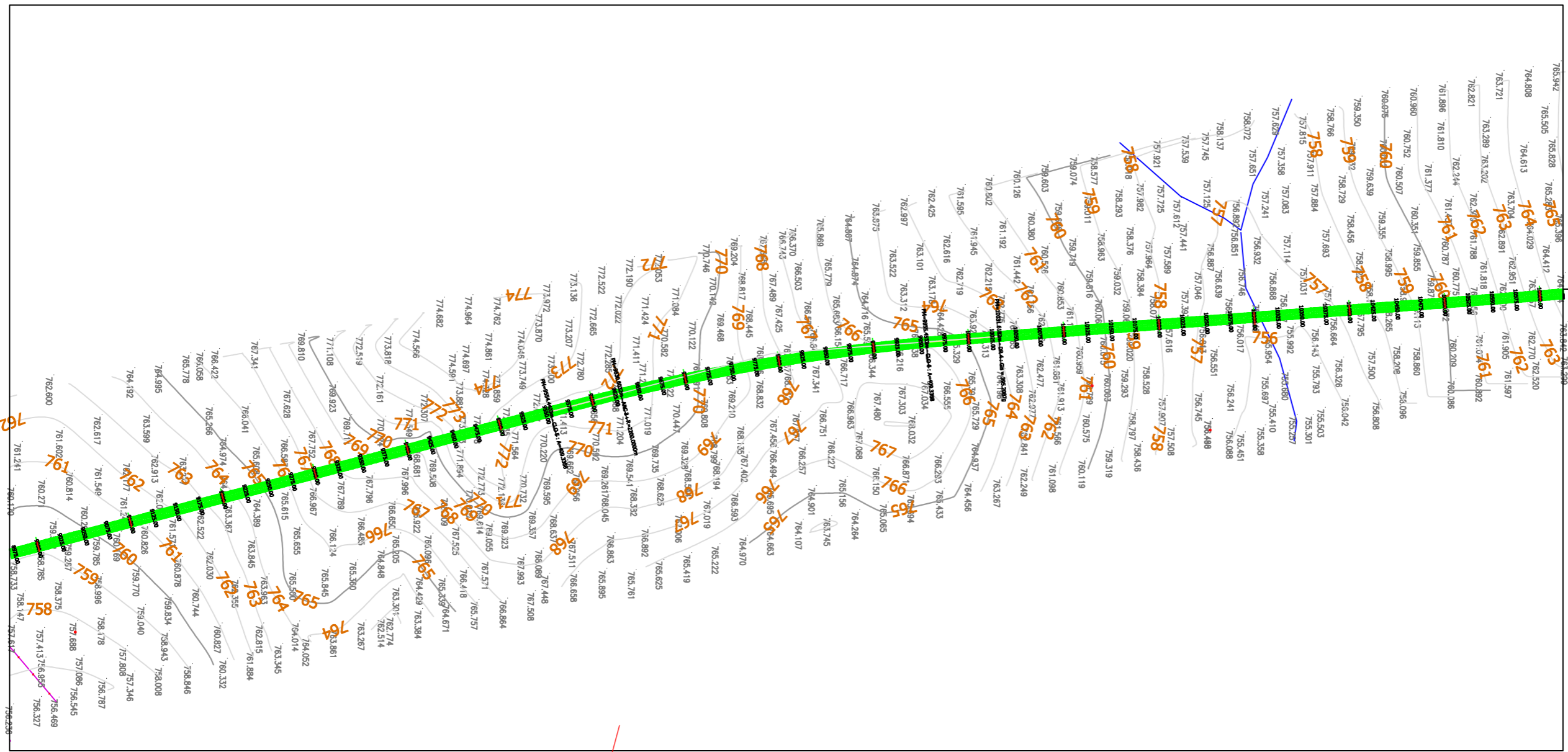
ANNEXES 5 : Terrassement et calcul des cubatures.

CUMULEES	SURFACE	VOLUME	VOLUME	DIF,	VOLUME	VOLUME	VOLUME
	NETTE	NET	Cumulé		Cumulé	Cumulé	Cumulé
M	M2	M3	M3	M3	M3	M3	M3
	Remblai	Remblai	Remblai				
	2-Déblai	2-Déblai	Déblai	(1)_(2)	Arable	Végéta	Ballast
	0.00	0.00	0.00	309.6	14.70	56.72	26.52
25.00	25.48	409.48	719.1				
	0.00	0.00	0.00	719.1	34.14	130.31	60.62
32.14	25.77	322.08	1041.2				
	0.00	0.00	0.00	1401.2	49.42	187.76	87.15
50.00	26.55	568.92	1610.1				
	0.00	0.00	0.00	1610.1	766.40	287.21	132.61
75.00	28.25	706.19	2316.3				
	0.00	0.00	0.00	2316.3	109.79	405.64	185.66
100.00	30.54	763.58	3079.9				
				3079.9	145.74	527.25	238.71
125.00	33.01	825.13	3905.00				
	0.00	0.00	0.00	3905.00	184.38	652.21	291.75
150.00	34.32	858.00	4763.00				
	0.00	0.00	0.00	4763.00	224.35	778.83	344.80
175.00	34.18	854.57	5617.6				
	0.00	0.00	0.00	5617.6	264.30	905.44	397.84
200.00	37.95	894.58	6512.1				

	0.00	0.00	0.00	6512.1	305.01	1028.62	447.86
222.14	39.10	488.71	7000.8				
	0.00	0.00	0.00	7000.8	327.49	1095.05	474.38
225.00	39.18	545.73	7546.6				
	0.00	0.00	0.00	7546.6	352.60	1169.14	503.93
250.00	40.22	1005.49	8552.1				
	0.00	0.00	0.00	8552.1	398.68	1303.40	556.98
275.00	41.42	1035.61	9587.7				
	0.00	0.00	0.00	9587.7	445.94	1439.12	610.03
300.00	44.19	1104.76	10692.4				
	0.00	0.00	0.00	10692.4	495.90	1578.23	663.07
325.00	46.41	1160.13	11852.6				
	0.00	0.00	0.00	11852.6	548.02	1720.02	716.12
350.00	50.70	1267.48	13120.0				
	0.00	0.00	0.00	13120.0	604.10	1866.75	769.16
375.00	51.93	1298.27	14418.3				
	0.00	0.00	0.00	14418.3	661.28	2014.86	822.21
400.00	49.08	930.19	15348.5				
	0.00	0.00	0.00	15348.5	702.69	2124.72	862.42
412.90	49.67	620.81	15969.3				
	0.00	0.00	0.00	15969.3	730.28	2197.54	888.94
425.00	50.27	932.41	16901.7				

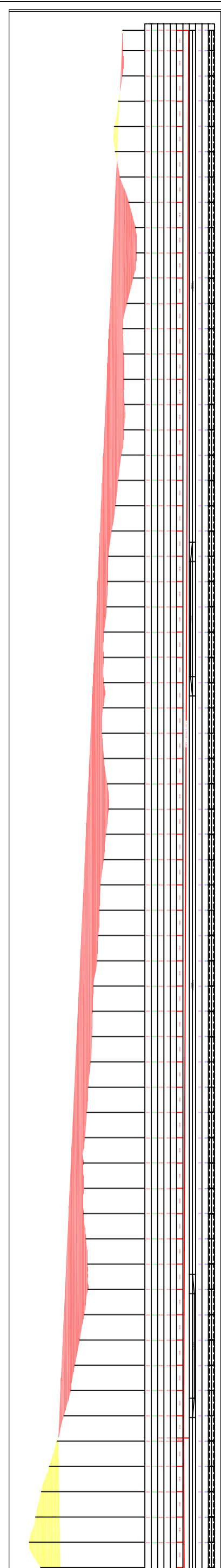
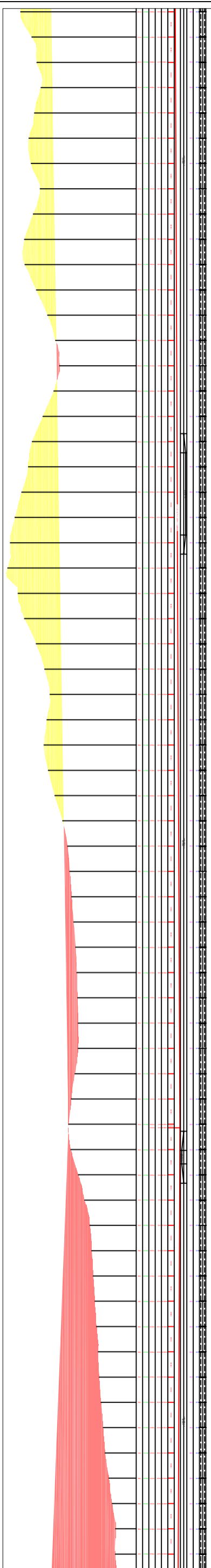
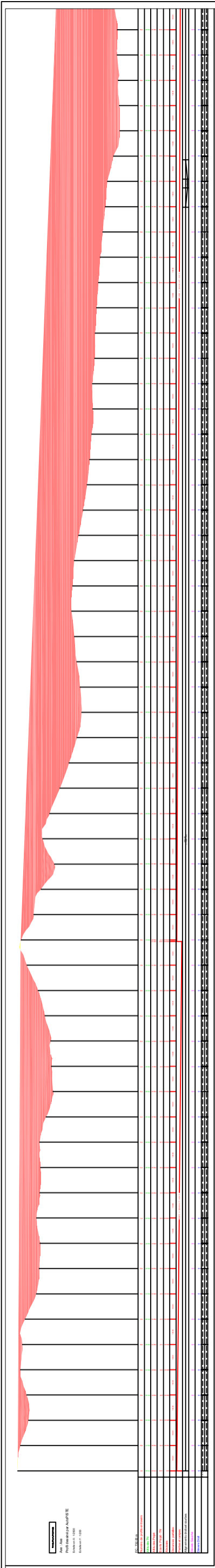
	0.00	0.00	0.00	16901.7	771.75	2306.26	928.30
450.00	52.46	1311.57	18213.3				
	0.00	0.00	0.00	18213.3	829.66	2455.28	981.35
475.00	60.99	1524.77	19738.1				
	0.00	0.00	0.00	19738.1	894.78	2613.33	1034.39
500.00	67.75	1693.83	21431.9				
	0.00	0.00	0.00	21431.9	965.49	2778.39	1087.44
525.00	63.06	1232.76	22664.7				
	0.00	0.00	0.00	22664.7	1017.85	2903.78	1128.91
539.10	61.09	763.60	23428.3				
	0.00	0.00	0.00	23428.3	1050.39	2982.79	1155.44
550.00	58.91	1057.63	24485.9				
	0.00	0.00	0.00	24485.9	1096.00	3094.85	1193.53
575.00	58.42	1460.48	25946.4				
	0.00	0.00	0.00	25946.4	1158.76	3249.96	1246.57
600.00	63.41	1585.31	27531.7				
	0.00	0.00	0.00	27531.7	1226.00	3410.67	1299.62
625.00	73.09	1827.22	29358.9				
	0.00	0.00	0.00	29358.9	1301.38	3581.54	1352.67
650.00	73.73	1843.25	31202.2				
	0.00	0.00	0.00	31202.2	1376.89	3752.52	1405.71
675.00	63.90	1597.45	32799.6				

	0.00	0.00	0.00	32799.6	1444.41	3913.56	1458.76
700.00	60.60	1515.12	34314.7				
	0.00	0.00	0.00	34314.7	1509.18	4071.15	1511.80
725.00	52.32	1308.12	35622.8				
	0.00	0.00	0.00	35622.8	1566.84	4219	1564.85



tracé en plan

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'enseignement Supérieur de et de la recherche Scientifique Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou	
Etude d'APS de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat-Ghardaïa	
Profil en Long	
Réalisé par	MALKI Chahineze AMOURI Sihem
Vérifié par	Mme KHAL Nassima

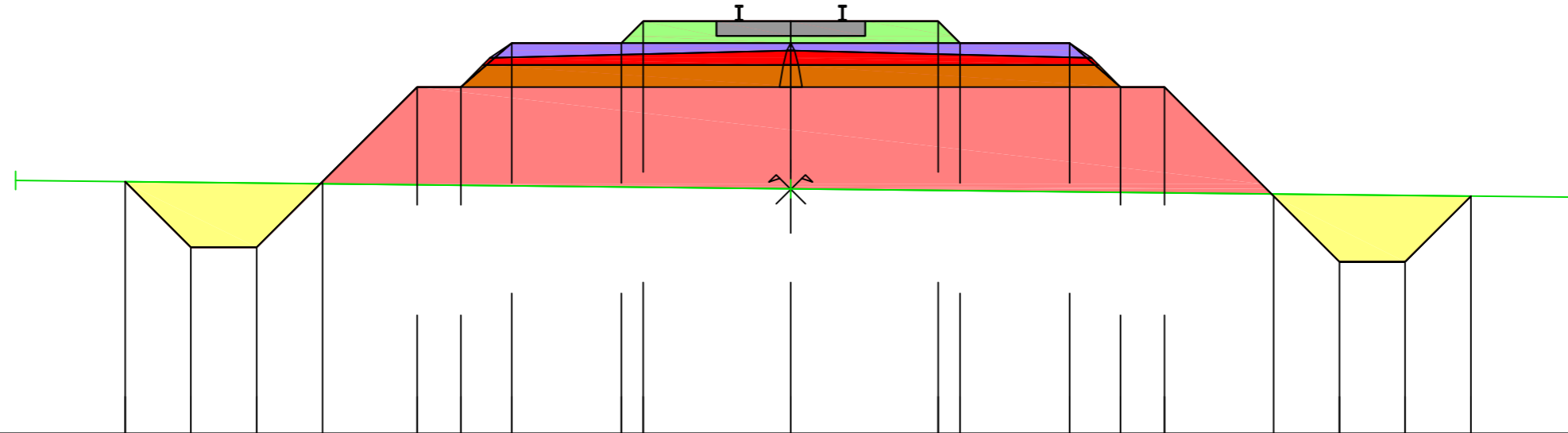


Profil dessiné par AutoPISTE

- Remblai
- Déblai
- BB
- BETON
- FONDATION
- GNT_0_40
- SC2
- STABILISE

Axe : Axe
 Profil n°: P76
 Abscisse : 7500.00 m
 Echelle des longueurs : 1/100
 Echelle des altitudes : 1/100

X= 524768.42
 Y= 3654836.08
 Gisement : 83.60 gr
 PC : 748.00 m



Altitudes TN	-10.61															0.00															10.81
Distances à l'axe TN	-10.61															0.00															10.81
Altitudes Projet		751.44	750.54	750.54	751.44	752.74	752.74	753.34	753.34	753.64	753.64	753.34	753.34	752.74	752.74	751.24	750.34	750.34	751.24												
Distances à l'axe Projet		-9.11	-8.21	-7.31	-6.41	-5.11	-4.51	-3.82	-2.32	-2.02	0.00	2.02	2.32	3.82	4.51	5.11	6.61	7.51	8.41	9.31											
Distances partielles Projet		0.90	0.90	0.90	1.29	0.60	0.70	1.50	2.02	2.02	0.30	1.50	0.70	0.60	1.49	0.90	0.90	0.90													
Distances à l'axe Arase		-9.11	-8.21	-7.31		-5.11	-4.51	-3.82	-2.32	-2.02	0.00	2.02	2.32	3.82	4.51	5.11		7.51	8.41	9.31											
Altitude Arase		751.44	750.54	750.54		752.74	752.74	753.34	753.34	753.64	753.64	753.34	753.34	752.74	752.74	751.24	750.34	750.34	751.24												

Date : 27/06/2023

Fichier : LEVE COMPLET-BYPASS-L-GH

République Algérienne Démocratique et Populaire
 Ministère de l'enseignement Supérieur de et de la recherche Scientifique
 Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Etude d'APS de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat-Ghardaïa

Profil en travers type

Réalisé par	MALKI Chahineze AMOURI Sihem
Vérifié par	Mme KHAL Nassima