

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

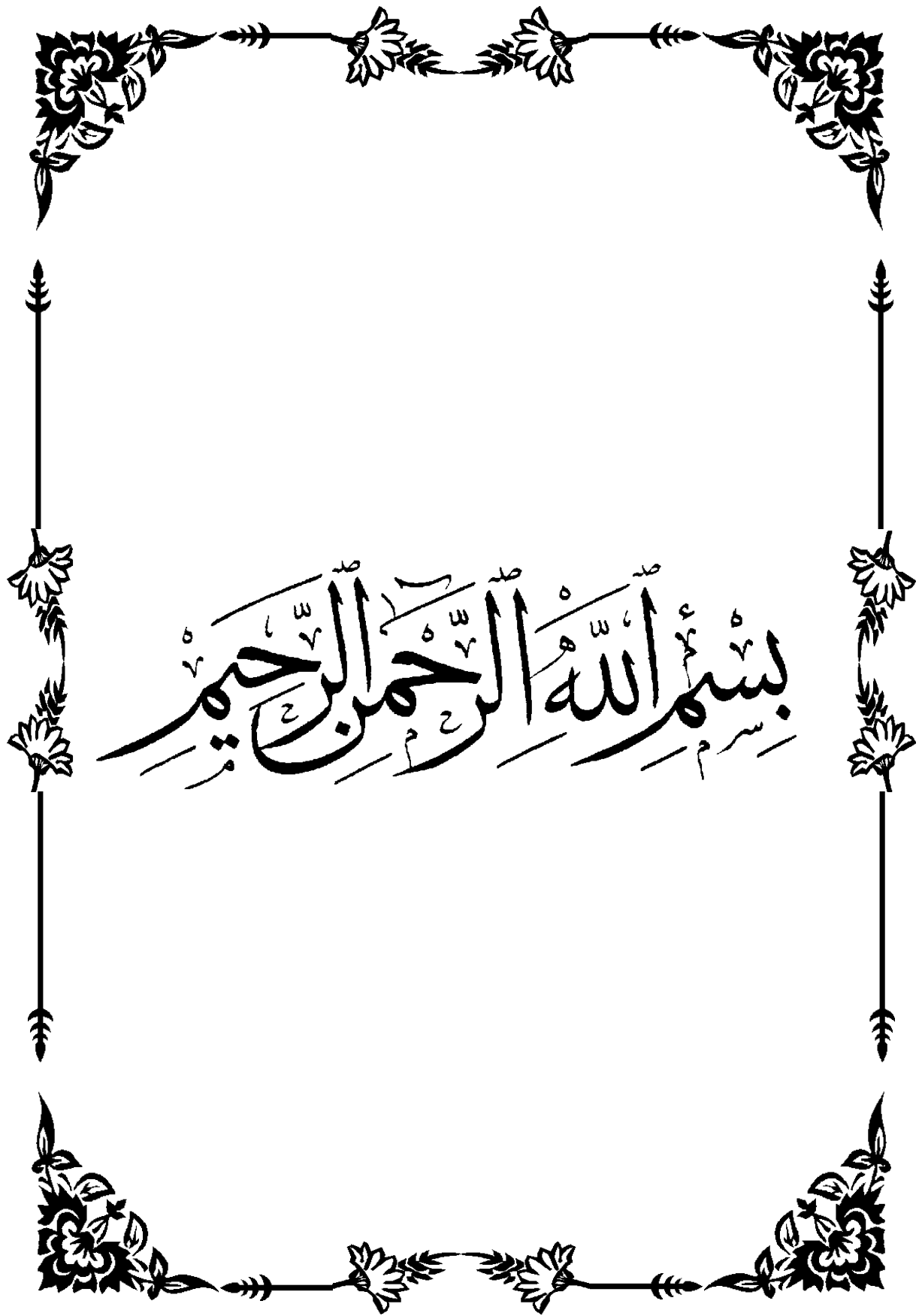
Option : VOIES ET OUVRAGES D'ART

Présenté par : **BARKA ABSAKINE ABDELRASSOUL & MBAINAISSEM SAMBIM DANBE**

**Thème : ETUDE DE LA LIGNE FERROVIAIRE
BOUCHEGOUF – EL KHROUB**

Sous la direction de : **Dr. BOUTELDJA FATHE**

Juin 2016



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous remercions Dieu le Tout Puissant de nous avoir permis d'aller jusqu'à la fin de notre travail et de pouvoir le mettre en forme dans le présent manuscrit.

Nous tenons à remercier notre encadreur, **Dr BOUTELDJA Fathe**, pour son dévouement, ses conseils, son orientation pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions également la direction de transport de Guelma qui a mis à nos dispositions quelques données qui nous ont aidés à réaliser notre projet.

Nous remercions aussi **Dr BENYAGHLA Hacene**, le responsable des stages au Département de Génie Civil et d'Hydraulique de l'Université 08 Mai 1945 de Guelma et la direction de transport de la Wilaya de Guelma.

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus universitaire.

Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions aussi tous ceux qui de près ou de loin nous ont aidés.

Dédicace

Je dédie ce modeste travaille :

- ❖ *A la mémoire de ma chère tante **Hawa barka** qu'Allah l'accueil dans son vaste paradis*
- ❖ *A mon père **ABSAKINE Abdelrassoul**, qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études. Mon modèle de labeur et de persévérance. Q'ALLAH le garde en bonne santé.*
- ❖ *A ma chère maman **HABIBA Barka(Oua)** qui est pour moi une source de réconfort,*
 - ❖ *A tous mes frères et sœurs*
 - ❖ *A tous mes amis(es)*
- ❖ *A toute la communauté estudiantine en Algérie et en particulier a Guelma*

Barka Absakine Abdelrassoul

DEDICACE

A la mémoire de mon feu défunt **MBAILASSEM DANBE JUSTIN** qui restera graver dans nos cœurs.

A mon père **SAMBIM DANBE** pour son soutien et orientation dans mes études et mon éducation.

A ma mère **LARNDOLOUM JACQUELINE** pour toutes ses aides combien de fois démesurées dans ma vie.

A ma chère dulcinée **MAKINGABEYE FELICITE** qui étant une source de réconfort.

A mes frères et sœurs qui ont toujours été là pour moi.

MBAINAISSEM SAMBIM DANBE

RESUME

Le chemin de fer est l'un des moyens de transport qui contribue à l'essor de l'économie d'un pays. Il a fait ses preuves dans le passé dans tous les pays industrialisés et contribue actuellement très efficacement à leur stabilité économique.

Le politique Algérien soucieux des besoins de la nation s'est lancé dans une logique d'investissement à long terme et de modernisation des voies de communication d'où celui des chemins de fer.

L'objectif poursuivi par ce travail c'est de faire une étude de la ligne ferroviaire Bouchegouf – El khroub en vue de son relancement. Dans un premier temps, nous avons fourni une bibliographie bien documentée sur les voies ferrées. Ensuite une étude préliminaire a été réalisée dans le but de dégager la variante du tracé la plus avantageuse. Enfin, une étude détaillée de cette variante a été réalisé.

Mots clés : tracé ferroviaire, Plateforme, Assainissement, Signalisations

ABSTRACT

The railroad is one of the means of transport which contribute to the rise of the saving in a country. It proved reliable in the past in all the industrialized countries and currently contributes very effectively to their economic stability.

The concerned Algerian policy of the needs for the nation launched out in a logic of long-term investment and modernization of the transportation routes from where that of the railroads.

The aim in view by this work is to make a study of the railway line Bouchegouf - Elkhroub for its restarting. Initially, we provided a bibliography documented well on the railways. Then a preliminary study was carried out with an aim of releasing the most advantageous alternative of the layout. Lastly, a detailed study of this alternative was carried out.

Keys words: railway layout, platform, cleansing, indications

SOMMAIRE

Résumé.....	1
Abstract	1
Liste des figures	4
Liste des tableaux	7
Introduction générale.....	8
Chapitre I : Généralités	9
1. Introduction	9
2. Historique	9
3. Réseau ferroviaire Algérien	11
3.1. Consistance du réseau	12
3.2. Stratégie de développement et de modernisation [3]	13
3.3. Aperçu des grands projet en cours de réalisation	15
4. Voies ferrées ballastées [4], [5], [6]	18
4.1. Les rails	19
4.2. Les traverses et les attaches.....	20
4.3. Structure d'assise.....	22
5. Dimensionnement de la plateforme ferroviaire [4], [6], [7].....	24
5.1. Différents types de plateformes ferroviaires	24
5.2. Règles de dimensionnement	26
6. Conclusion.....	31
CHAPITRE II : Paramètres géométriques du tracé ferroviaire.....	31
1. Introduction	31
2. Tracé en plan [4], [5].....	31
2.1. Paramètres de conception.....	32
2.2. Devers.....	32
2.3. Insuffisance de devers	34
2.4. Variation de l'insuffisance de dévers dans les courbes de raccordement	35
2.5. Excès de devers	35
2.6. Rayon minimal des courbes circulaires.....	35
2.7. Raccordement de dévers.....	36
3. Tracé en profil [5], [6].....	38
3.1. Règles à respecter dans le tracé en profil	38
3.2. Déclivités.....	39
3.3. Raccordement en tracé en long	40
4. Profil en travers	41
5. Conclusion.....	43
CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET	44
1. Introduction	44
2. Présentation de la zone d'étude [8]	44
3. état actuel de la ligne existante.....	45
4. Caractéristiques technique du projet [8].....	49
5. Géologie de la zone d'étude [8]	49
6. Intérêts sociaux économiques [8].....	52
6.1. Analyse financière.....	52
6.2. Analyse économique	52
7. Conclusion.....	53
Chapitre iv : Etude préliminaire du tracé	54
1. Introduction	54

2.	Variantes proposées.....	54
3.	Détails des variantes.....	56
3.1.	Tronçon allant de Bouchegouf à Moualkia Mohamed.....	56
3.2.	Tronçons Allant De Moualkia Mohamed A Djebalah Khemissi.....	58
3.3.	Tronçon Djebalah Khemissi – Guelma – Ras Elakba.....	61
3.4.	Tronçon Ras Elakba – Oued Zenati – Ain Regada.....	63
3.5.	Tronçon Ain Regada – Ain Abid – El Khroub.....	66
4.	Les Gares.....	69
5.	Points de croisement.....	69
Chapitre V : Avant-projet détaillé (APD)		71
1.	INTRODUCTION.....	71
2.	Tracé en plan.....	71
2.1.	Paramètres du tracé à respecter.....	71
2.2.	Elaboration du tracé en plan.....	72
2.3.	Vérifications des paramètres géométriques utilisés.....	74
2.4.	Calcul d'axe.....	78
3.	Tracé en profil.....	81
3.1.	Paramètres du tracé à respecter.....	81
3.2.	Elaboration du tracé en profil.....	81
4.	profil en travers.....	83
5.	Calcul des cubatures.....	83
5.1.	description de la méthode des aires.....	83
5.2.	Exemple de calcul :.....	84
6.	Ouvrages d'art.....	85
6.1.	Description de l'ensemble des ouvrages d'art.....	85
6.2.	Ouvrage hydraulique.....	85
6.3.	Ponts à poutres précontraintes [9].....	86
6.4.	pont en poutre-caisson [9].....	87
6.5.	tunnel [10].....	87
6.6.	Ouvrages à réaliser.....	88
7.	Dimensionnement du tronçon Bouchegouf- Guelma.....	88
7.1.	Hypothèse 1 :.....	88
7.2.	Hypothèse 2 :.....	89
7.3.	Hypothèse 3 : plateforme rocheuse.....	90
8.	L'assainissement [11].....	91
8.1.	Dimensionnement hydraulique des ouvrages.....	91
8.2.	Application au projet :.....	92
8.3.	Dimensionnement des fossés.....	94
9.	Signalisation [12].....	95
9.1.	Rôle des installations de signalisation.....	95
9.2.	Implantation des signaux.....	95
9.3.	Le fonctionnement du système général.....	96
9.4.	Type de signalisation.....	96
Conclusion générale.....		100
Références bibliographiques.....		101
Annexe 1 : Axe en plan.....		102
Annexe 2 : Profil En Long Projet.....		108
Annexe 3 : Calcul des cubatures.....		110

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte du réseau ferroviaire Algérien avant 1942.....	9
Figure 2: Organigramme de la SNTF.....	10
Figure 3 : Photo de l'une des réalisations de l'ANESRIF	11
Figure 4 : Carte du réseau ferroviaire Algérien.....	12
Figure 5 : Photos (ligne en travaux & locomotive électrique de transport de banlieue).....	14
Figure 6 : Lignes ferroviaires en cours de travaux.....	14
Figure 7 : Tracé de ligne Oued Tlélat – Tlemcen	15
Figure 8 : Photos du viaduc exceptionnel	16
Figure 9 : tracé de ligne ferroviaire M'Sila - Boughzoul.....	17
Figure 10 : Photo des travaux en cours	17
Figure 11 : Photos des travaux de la ligne Boughezoul - Djelfa.....	18
Figure 12 : Composantes des voies ferrées ballastées.....	19
Figure 13 : Le rail Vignole.....	19
Figure 14 : Rail à gorge.....	20
Figure 15 : Traverses métallique, en bois et en béton.....	20
Figure 16 : Traverses en béton monobloc et mixte bibloc	21
Figure 17 : Attaches Nabla, Pandrol et crapaud élastique.....	21
Figure 18 : Photos d'un ballast.....	23
Figure 19 : Types de plateforme ferroviaire.....	24
Figure 20 : Structures d'une ligne nouvelle (a).....	25
Figure 21 : Structures d'une ligne nouvelle (b).....	25
Figure 22 : Structure d'une ligne existante	26
Figure 23 : Eléments géométriques du tracé en plan	31
Figure 24 : Définition du dévers	32
Figure 25 : Schéma représentant le gauche.....	34
Figure 26 : Raccordement de Nordling	36
Figure 27 : Raccordement entre deux courbes de même sens et de rayons différents.....	37
Figure 28 : Raccordement entre courbe et contre courbe.....	37
Figure 29 : Profil en travers type SNTF	42
Figure 30 : Situation géographique du projet.....	44

Figure 31 : image du tronçon Belkheir-Guelma.....	45
Figure 32 : Image de l'état de la voie à la sortie de belkheir	46
Figure 33 : La ligne à côté d'une mosquée en construction.....	46
Figure 34 : La ligne très proche des habitations.....	46
Figure 35 : La ligne enterrée par la RN 20 à la sortie de Boumahra.....	47
Figure 36 : La ligne partiellement sous la végétation	47
Figure 37 : La ligne existante au niveau de la localité du Nador	47
Figure 38 : L'état de ligne existante entre Nador et Bouchegouf	48
Figure 39 : La gare de Bouchegouf.....	48
Figure 40 : La sortie de la gare de Bouchegouf en direction de Annaba	48
Figure 41 : Carte géologique de la région nord – Est de l'Algérie	51
Figure 42 : Image satellite du couloir complet de ligne des deux variantes	55
Figure 43 : Image satellite montrant le premier tronçon en sortie de la gare de Bouchegouf .	57
Figure 44 : Image satellite de deux variantes au niveau de Nador.....	59
Figure 45 : terrain naturel de la variante 1 qui passe au Nord du Nador	60
Figure 46 : terrain naturel de la variante 2 qui passe par le Sud de Nador	60
Figure 47 : Image satellite montrant le tronçon commun Djebalah Khemissi – Guelma – Ras Elakba.....	62
Figure 48 : Image satellite montrant les deux variantes au niveau de Oued Zenati.....	64
Figure 49 : Terrain naturel de la variante 1 qui passe au Nord de Oued - Zenati	65
Figure 50 : terrain naturel du tronçon qui passe par le Nord de Oued Zenati.....	65
Figure 51 : Image satellite montrant les deux variantes entre Ain Abid et Elkhroub	67
Figure 52 : Terrain naturel de la variante qui passe par le Nord de Ain Abid	68
Figure 53 : Terrain naturel de la variante qui passe par le Sud de Ain Abid	68
Figure 54 : image de deux tracés avec les 4 gares	69
Figure 55 : tracé en plan.....	77
Figure 56 : Profil en travers type pour ligne à sens unique.....	83
Figure 57 : Les sections des profils en travers d'un tracé donné	84
Figure 58 : Les positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné.....	84
Figure 59 : Image d'un dalot sur un projet en cours de réalisation.....	86
Figure 60 : Coupe transversale type tablier poutres précontrainte.....	86
Figure 61 : Image d'un pont en caisson	87
Figure 62 : Tunnel ferroviaire	88

Figure 63 : Plateforme de l'hypothèse 1	89
Figure 64 : Plateforme de l'hypothèse 2	90
Figure 65 : dimensionnement de la plateforme rocheuse.....	91
Figure 66 : Fossé dimensionnée	95
Figure 67 : Exemple d'une signalisation lumineuse	95
Figure 68 : Fonctionnement du système général de signalisation.....	96
Figure 69 : signalisation dans le sens Bouchegouf - Guelma	99
Figure 70 : signalisation dans le sens Guelma-Bouchegouf	100

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des profils de rails utilisés dans la pratique	20
Tableau 2 : Classification des sols fins	27
Tableau 3 : Détermination de la classe de portance de la plateforme ferroviaire	28
Tableau 4 : Epaisseurs minimales des plateformes normales	29
Tableau 5 : Exemple de classification des matériaux rocheux (Classe R1 et R2 : Roches calcaires).....	30
Tableau 6 : Epaisseur minimales de la sous-couche des plateformes rocheuses	30
Tableau 7 : Valeurs limites du dévers pratique	33
Tableau 8 : Valeurs limites universelles du gauche	34
Tableau 9 : Valeurs limites SNTF du gauche	34
Tableau 10 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers.....	34
Tableau 11 : Valeurs limites de l'excès de dévers	35
Tableau 12 : Valeurs limites de déclivités imposées par le freinage	39
Tableau 13 : Valeurs limites de déclivités imposées par le démarrage.....	39
Tableau 14 : Emplacement des gares	69
Tableau 15 : Point de croisement des trains (Haltes).....	70
Tableau 16 : Rayons minimum de l'ensemble du tracé en fonction de la vitesse.....	71
Tableau 17 : Rayons circulaires utilisés dans le tracé en plan	72
Tableau 18 : Raccordements clothoïde utilisé dans le tracé en plan.....	73
Tableau 19 : Vitesses pratiqués pour les différents tronçons	73
Tableau 20 : Dévers pratique à mettre en place pour les courbes circulaires	73
Tableau 21 : tableau des vérifications des paramètres géométrique	76
Tableau 22 : Rayons minimaux verticaux.....	81
Tableau 23 : Rayons des déclivités mises en place	82
Tableau 24 : Tableau récapitulatif des valeurs de déblais et remblais	84
Tableau 25 : Tableau récapitulatif des ouvrages	88
Tableau 26 : valeur de variable de Gauss.....	92
Tableau 27 : valeurs de coefficients de ruissèlement.....	93
Tableau 28 : les signalisations d'arrêt	97
Tableau 29 : Les signalisations d'avertissement d'arrêt	97

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les voies de communication demeurent un facteur clé dans le développement et la croissance socio-économique de toute nation. Cependant l'accompagnement de cette politique de croissance passe par la construction, la rénovation et la préservation de ces infrastructures.

Face aux problèmes que cause l'augmentation démographique dans le monde, les voies ferrées qui longtemps peu développées reviennent à la première ligne dans le renforcement des voies de communications. L'utilisation des chemins fer avec des lignes électrifiées et des tramways dans le transport urbain et des marchandises est d'actualité car c'est un procédé qui permet la protection de l'environnement par la réduction de la pollution par les gaz à effet de serre. C'est la raison pour laquelle nous nous penchons vers ce moyen de transport écologique.

L'Algérie ne reste pas indifférente face à une demande de croissance et une modernisation de son infrastructure de transport d'où plusieurs programmes ont été mis en place pour la construction de nouvelles lignes ainsi la modernisation des anciennes.

Le projet d'étude de la ligne ferroviaire Boucheghouf - El Khroub fait partie de ce large plan établi par le gouvernement pour la modernisation des anciennes lignes ferroviaires. Cette ligne construite en 1878 fut fermée à la circulation suite à de très fortes pluies durant la période 1957-1958 entraînant le débordement des Oueds Seybousse. Il a été choisi dans le cadre de ce projet de fin d'étude de travailler sur cette ligne car elle est d'une importance capitale pour le développement de la région.

Le travail contient cinq chapitres, dans le premier chapitre on a parlé de la généralité du chemin de fer en Algérie avec quelques historiques.

Le deuxième chapitre éclairci les paramètres géométriques qui interviennent dans la voie ferrée.

Le troisième chapitre nous a permis de faire une présentation de notre projet.

Le quatrième chapitre fera l'objet d'une étude préliminaire de la ligne afin de dégager une variante.

Le dernier chapitre nous a permis de choisir une variante et aussi fait l'objet d'une étude détaillée du tronçon Boucheghouf – Guelma.

CHAPITRE I : GENERALITES

CHAPITRE I : GENERALITES

1. INTRODUCTION

Les chemins de fer sont des chemins de roulement pour les convois ferroviaires, constitués d'une ou plusieurs files de rails dont l'écartement est maintenu par une fixation sur des traverses, reposant sur du ballast. Face aux problèmes que cause l'augmentation démographique dans le monde, les voies ferrées qui longtemps peu développées reviennent à la première ligne dans le renforcement des voies de communications.

Dans un premier temps, nous fournissons des généralités sur le développement et les projets ferroviaires en cours en Algérie. Ensuite, une synthèse sur les composantes de la voie ferrée est présentée ainsi que la structure et le dimensionnement d'une plateforme ferroviaire.

2. 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. Outre le transport du charbon, elle s'accommode du transport de voyageurs. Par la suite plusieurs locomotives plus rapides et plus robustes ont été développées et des pays comme la Belgique, la France et l'Allemagne ont réalisés leur propre chemin de fer [1].

En Algérie, le chemin de fer a été introduit vers la seconde moitié du 19^{ème} siècle avec la réalisation et l'ouverture de la ligne Alger – Blida entre 1859 et 1862. Par la suite, plusieurs programmes de construction de chemin de fer ont été réalisés avec un total de 1365 km en 1878 et 3400 km en 1906 puis 6270 km en 1946. La carte fournie ci-dessous illustre l'ensemble du réseau avant 1942 [2].

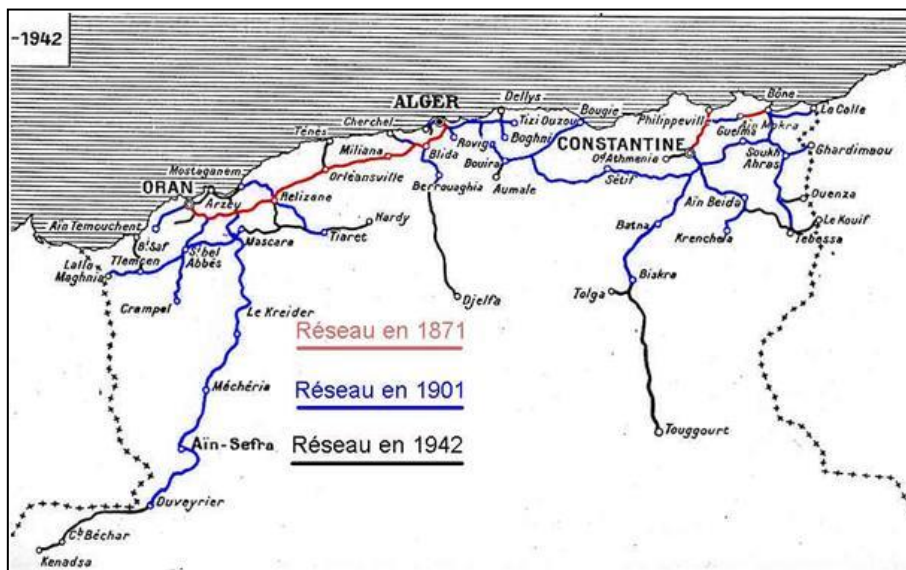


Figure 1: Carte du réseau ferroviaire Algérien avant 1942

Au cours de la période post-indépendance, la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) créé en 1976 est chargée jusqu'à présent de l'exploitation et de l'entretien du réseau ferroviaire. La figure ci-dessous fournit l'organigramme de cette société [2].

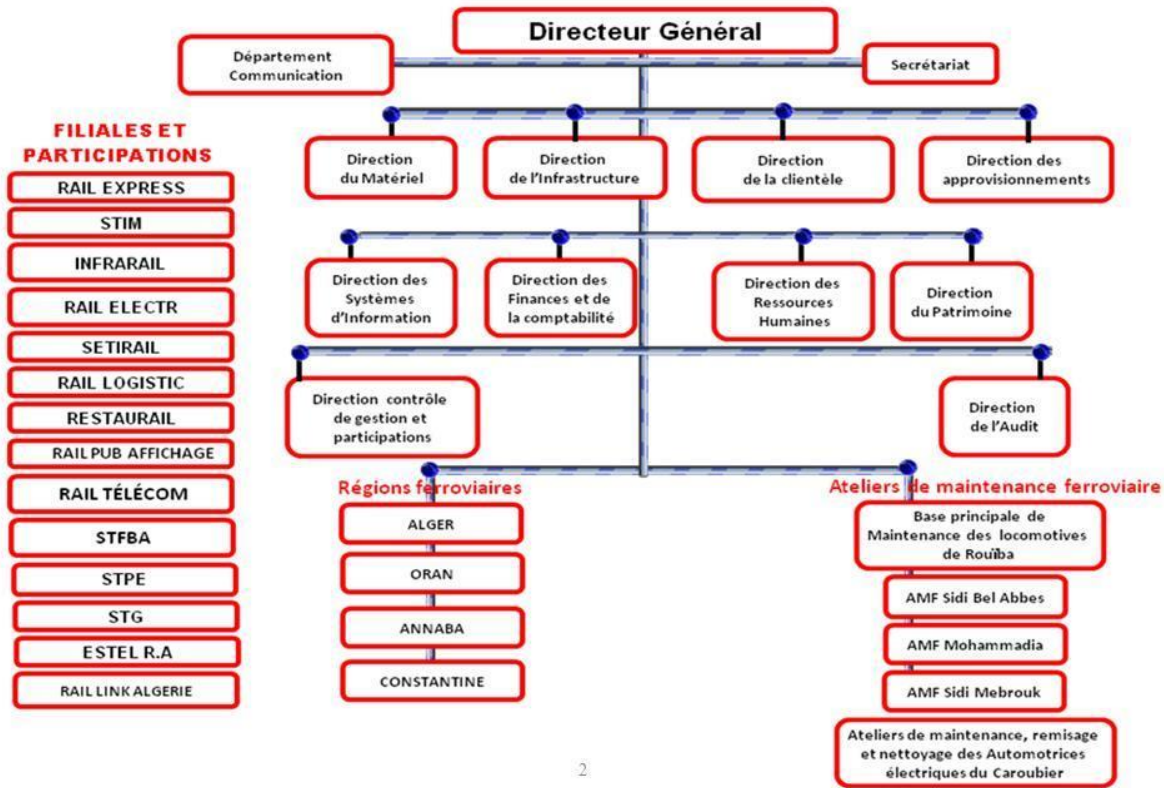


Figure 2: Organigramme de la SNTF

La SNTF dispose d'un parc matériel composé de :

- 416 voitures de transport de voyageurs
- 10873 Wagons de différentes catégories
- 64 automotrices électriques
- 17 autorails Diesel
- 261 locomotives Diesel
- 14 locomotives électriques

Et un effectif total de 10862 et un chiffre d'affaire de : 4 046 944 855.15 DA

Actuellement et de depuis sa création en 2005 et son lancement en 2007, l'Agence Nationale d'Etudes et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (**ANESRIF**) qui travaille sous la tutelle du Ministère des Transports, constitue un outil de management des chantiers ferroviaires, son rôle est de veiller à la bonne réalisation des projets et de s'assurer de leur livraison dans les délais fixés. L'agence a pour principales missions :

- l'étude et le Suivi de la réalisation des investissements ferroviaires,
- lancer les études et faire mener à terme tous les projets ferroviaires,
- mener une politique cohérente et efficace en matière de suivi, de contrôle des réalisations de toutes les installations qui entrent dans son domaine d'activités,

- sélectionner les partenaires qui auront à réaliser le programme de modernisation des voies ferrées,
- étude des projets,
- confectionner et rédiger les avis d'appels d'offres,
- sélectionner les candidats,
- suivre et exécuter les programmes.

L'Agence rassemble les infrastructures, les moyens techniques et les compétences scientifiques et organisationnelles nécessaires à la conception, la préparation et la réalisation des investissements ferroviaires.



Figure 3 : Photo de l'une des réalisations de l'ANESRIF

3. RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN

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.

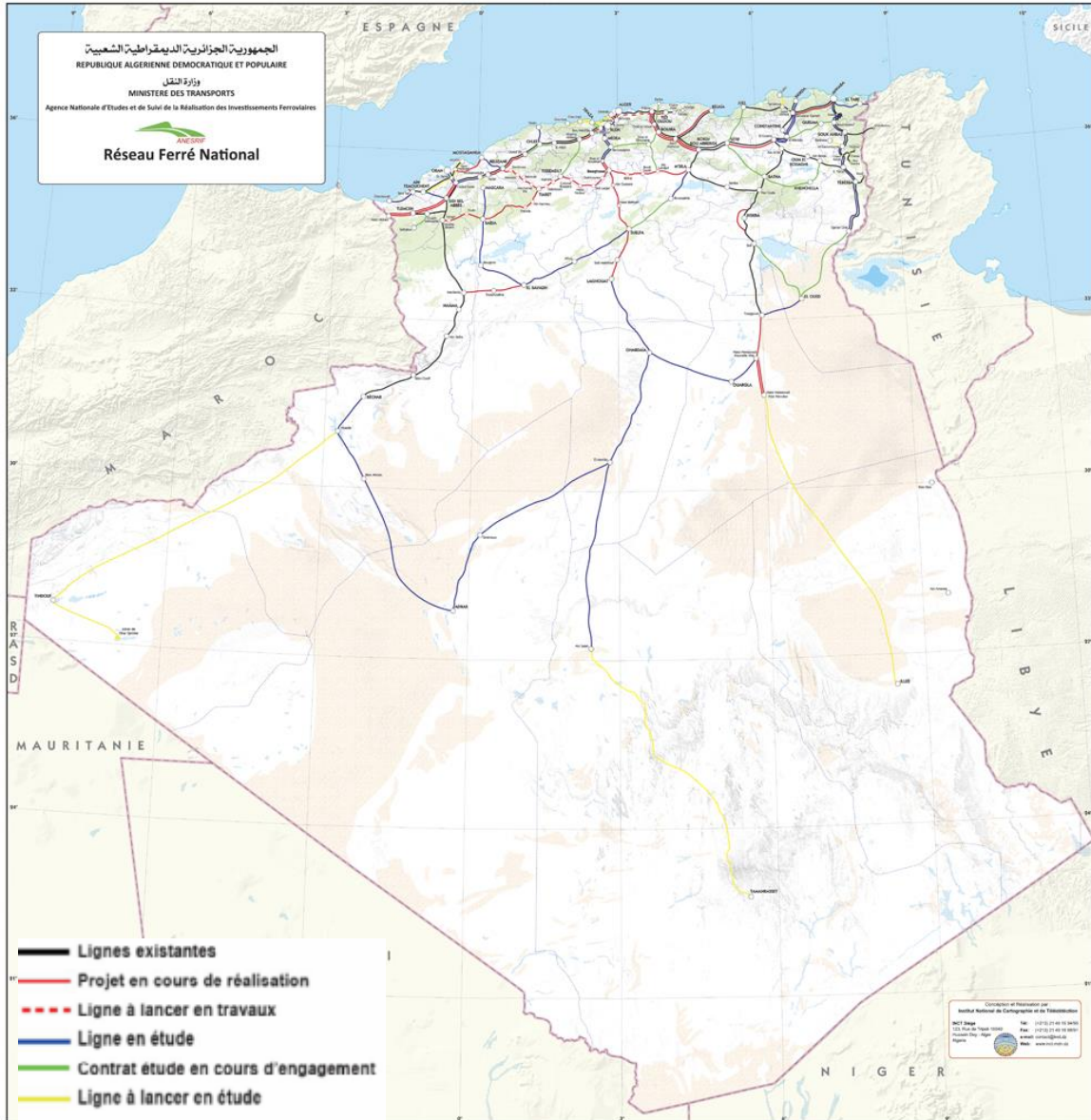


Figure 4 : Carte du réseau ferroviaire Algérien

3.1. CONSISTANCE DU RESEAU

Le réseau ferroviaire algérien est aujourd'hui parmi le plus moderne d'Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. Actuellement ce réseau est de **4498km** dont:

- 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'art 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

3.2. STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION [3]

Soucieux du développement de transport ferroviaire, les pouvoirs publics Algérien ont met en place une stratégie qui a pour but de réduire les temps de parcours des trains dans les différentes lignes, désenclaver de nombreuses régions du pays en les reliant au réseau ferroviaire national existant et augmenter le tonnage à transporter en marchandises à travers le chemin de fer. Ces objectifs permettront d'une part, l'augmentation du nombre de voyageurs à transporter de 40 millions à 80 millions de voyageurs à l'horizon 2020 soit une croissance de 100% (le transport de banlieue représente 93% soit 74,4 millions de voyageurs), et d'autre part, l'accroissement du tonnage transporter en marchandises à 6 millions de Tonnes par an au lieu de 4,2 actuellement soit une augmentation de 43%. Cette augmentation touche l'ensemble des produits (Produits structurants et produits divers dont le conteneur qui est considéré comme produit à fort potentiel de transport). Il faut préciser que les 4,2 millions de tonnes ne représentent que 3% du transport de marchandises par voie terrestre par an, et l'objectif est de passer à 17% de parts de marché dans les années à venir.

Pour atteindre ces objectifs, un programme d'investissement de 30 milliards de dollars a été engagé depuis 2004 afin de :

- modernisation des infrastructures ferroviaires,
- modernisation du matériel roulant ferroviaire par l'acquisition de nouvelles locomotives (diesel, diesel électriques, Autorails, ...),
- remise en état du matériel roulant avec la réhabilitation des voitures de transport de voyageurs,
- mise en place d'équipements modernes de télécommunication et de signalisation.



Figure 5 : Photos (ligne en travaux & locomotive électrique de transport de banlieue)

Plusieurs d'autres projets de soutien ou de continuer de ce programme ont vu le jour. On peut citer à titre d'exemple le programme de partenariats avec des entreprises étrangères comme Alstom (France) qui a permis la création de l'entreprise CITAL à Annaba, Ferrovial et EMA pour la fabrication, l'engineering et la maintenance des tramway et des autorails de dernière génération avec les plus récentes technologies.

En 2008, le linéaire en voies ferrées disponible était de 1700 km. Aujourd'hui, il s'est hissé au niveau de 4000 km après et il sera de l'ordre de 6000 km à la réception des projets de réalisations en cours (2294 km en travaux). Dès l'achèvement de tout le programme ferroviaire national, avec notamment le maillage de tout le Nord, le linéaire total atteindra les 12500 km (voies de service non comprises).



Figure 6 : Lignes ferroviaires en cours de travaux

▪ **Modernisation des anciennes lignes (855 km)**

- Amélioration du tracé Drean - Bouchegouf - Tébessa sur 100 km.
- Amélioration et rectification du tracé de ligne minière entre Ouenza - Tuilerie et Tébessa.
- Rénovation de la ligne minière Annaba - Tebessa - Djebel Onk.

- La modernisation du réseau entre : Biskra – Touggourt, Bouchegouf - El Kouif, Thenia - Tizi Ouzou, Béjaia - Beni mansour, Tlemcen – Redam Demouche, Annaba - Ouenza.

▪ **Doublement des voies existantes (430 km)**

Il concerne les voies entre : Yellel - Mohammadia, Bordj Bou Arréridj - Setif - Khroub. Annaba - Azzaba - Ramdane Djamal.

▪ **Création de nouvelles lignes**

- Le projet de la Boucle du Sud comprend la création de lignes nouvelles permettant de désenclaver les régions suivantes: Touggourt - Hassi Messaoud (ville nouvelle et pôle pétrolier) - Ouargla, Ouargla - Ghardaia, Ghardaia - Laghouat, Laghouat - Djelfa.
- La ligne des hauts plateaux qui s'étend sur 600 km, elle comprend les lignes suivantes : Ain Touta (Batna) - Moulay Slissen (Sidi Bel Abbès) en passant par M'Sila, Boughzoul, Tissemsilt, Tiaret et Saida.
- Création de la ligne El Bayadh - Mecheria sur 170km ensuite Mecheria - Béchar

▪ **Électrification des lignes existantes**

- Electrification de la ligne Ain M'Lila - Tébessa et M'Sila Bordj Bou Arréridj.
- Electrification de la ligne Tiaret - Relizane et Saida - Mouhammadia .

3.3. APERÇU DES GRANDS PROJET EN COURS DE REALISATION

▪ **Projet de voie ferrée Oued Tlélat (Oran) – Tlemcen**

La nouvelle ligne ferroviaire reliant Oued - Tlélat dans la wilaya d'Oran à la ville de Tlemcen sur un linéaire de 132 km sera la première ligne à grande vitesse réalisée en Algérie. C'est une ligne mixte pour les trains de voyageurs et ceux de marchandises qui pourront rouler à une vitesse de croisière de 220 km/h. Cette ligne traversera quatre wilayas : Oran sur 5 km (1 commune), Mascara sur 11 km (2 communes), Sidi Bel Abbès sur 72 km (13 communes) et Tlemcen sur 44 km (7 communes).



Figure 7 : Tracé de ligne Oued Tlélat – Tlemcen

Ce projet grandiose est lancé au début de l'année 2012 pour une durée contractuelle de 46 mois et un montant de plus de 1,7 milliard d'euros. Il a été confié à un groupement d'entreprises italiennes (Condotte et Rizzani) et devrait être réceptionné au courant de l'année 2017. Le tracé de cette voie est neuf car celui de la voie existante est trop sinueux, ce qui ne permet pas aux trains d'atteindre la vitesse de 220 km/h. L'ANESRIF a donc opté pour ce nouveau tracé, en respectant la dénivelée de moins de 16‰ et des courbes peu prononcées.

Pour la réalisation des travaux de cette voie, les entreprises devront ramener plus de 6200000m³ de remblais et évacuer plus de 6500000m³ de déblais. Au total, le projet comportera 50 viaducs (17500 ml), 35 passages supérieurs, 15 passages inférieurs, 2 cadres spéciaux, 148 dalots et 1 tunnel de 640 ml. Pour la voie, la ligne nécessitera la pose de 72 appareils de voie, 32000 tonnes de rails, 466 000 traverses monoblocs et 650 000 m³ de ballast.

Le tracé est ponctué deux viaducs exceptionnels, le premier, long de 1,8 km, traverse la vallée de l'Oued Yesser (Tlemcen) à une hauteur de 130 m. Il est considéré comme le viaduc ferroviaire le plus haut du monde une hauteur de piles de 114 m supportant un tablier avec sa superstructure d'une hauteur de 16 m (soit l'équivalent d'un bâtiment de 4 étages). Des moyens matériels sophistiqués sont mobilisés pour la réalisation des piles. Le deuxième est situé à l'entrée de la ville de Tlemcen et il dispose de la même hauteur que le premier viaduc et long de 700 m.



Figure 8 : Photos du viaduc exceptionnel

L'étude portant sur la réalisation de ces deux viaducs a fait l'objet des recherches au niveau des universités de Lisbonne au Portugal et de Florence en Italie avec des essais en soufflerie pour valider sa résistance aérodynamique. Les fondations spéciales des piles sont profondes de plus de 30 m pour une circonférence de 28 m. La pose du tablier, assemblé par éléments de 10 m, s'effectue par poussage progressif à l'aide de 4 vérins commandés par un système informatisé sur place. Plusieurs calculs ont été faits concernant la vitesse du vent, la sismicité du terrain, le poids des trains, le freinage afin de connaître la réaction exacte aux facteurs précédents permettant le dimensionnement de ces ouvrages exceptionnels. Les concepteurs de cet ouvrage ont pensé à installer une nacelle coulissante le long du viaduc, pouvant atteindre toutes les parties de l'ouvrage, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur du tablier pour l'entretien permanent.

Une fois terminée, la voie comportera un système de signalisation moderne de type ERTMS Niveau 2 (European Rail Traffic Management System) qui permet une gestion optimale de la

signalisation pour éviter toute défaillance humaine ou matérielle. Quant au système de Télécommunication, il est du type GSM-R standardisé sur le plan international. Enfin, la traction des trains est électrique (25 kV – 50 Hz) pour les trains de voyageurs et ceux de marchandises, mais des rames diésel sont autorisées à circuler. Cette traction permettra aux trains de circuler à une vitesse de 220 km/h et parcourir ainsi la distance entre Oued - Tlélat et Tlemcen en 45 minutes.

▪ La ligne ferroviaire à grande vitesse Boughezoul – M'sila

Lancés en 2011 pour un délai contractuel de 60 mois, les travaux de réalisation de la ligne ferroviaire à voie unique Boughezoul – M'sila s'étendent sur 151 km. Confiés au groupe Cosider et Infrarail, les travaux sont presque finis. Ils ont atteint un taux de 95% d'achèvement.



Figure 9 : tracé de ligne ferroviaire M'Sila - Boughezoul

Une fois achevée, cette ligne à grande vitesse de 160 km/h pour le transport des voyageurs et 100 km/h pour la marchandise, devrait desservir M'sila et Boughezoul en moins de 2 heures. Selon l'ANESRIF, cette ligne peut accueillir dans le futur des trains à grande vitesse (TGV).

La ville nouvelle de Boughezoul, située dans la wilaya de Médéa, va avoir l'une des plus grandes gares d'Algérie. Futur carrefour entre plusieurs tracés ferroviaires, la gare comportera 28 voies de services et s'étendra sur une distance de quatre kilomètres.



Figure 10 : Photo des travaux en cours

▪ Ligne ferroviaire Djelfa-Boughezoul

La nouvelle ligne ferroviaire Boughezoul - Djelfa, avec un linéaire de 140 km à double voies électrique, permet la circulation des trains à une vitesse maximale de 220 km/h. Les travaux ont commencé en mars 2013 pour un délai de réalisation de 48 mois. La réalisation de cette ligne est confiée à un groupement d'entreprises algériennes Cosider- Sapta.

Deux tunnels sont en cours de réalisation, long de 800 m et 600 m, les tunnels sont abrités par la région montagneuse de Chbika, à 5 km au nord de Djelfa. Son creusement est assuré grâce à l'exploitation de techniques modernes assurées par des compétences algériennes.

Ce projet constitue un trait d'union entre le nord et le sud du pays après la finalisation de la ligne boughezoul – Boumedfaâ dans la Wilaya de Ain defla.



Figure 11 : Photos des travaux de la ligne Boughezoul - Djelfa

4. VOIES FERREES BALLASTEES [4], [5], [6]

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

Les voies ferrées ballastées sont très largement employées en raison de leur flexibilité par rapport à la construction et à la maintenance, mais également pour leur capacité à répondre aux exigences mécaniques fixées par le transport de lourdes charges sur une grande distance.

Une voie ferrée est un système mécanique complexe composée de :

- deux fils de rails,
- des travers avec leurs attaches,
- la structure d'assise composée d'une couche de ballast et une sous-couche de matériaux grenus avec éventuellement un géotextile.

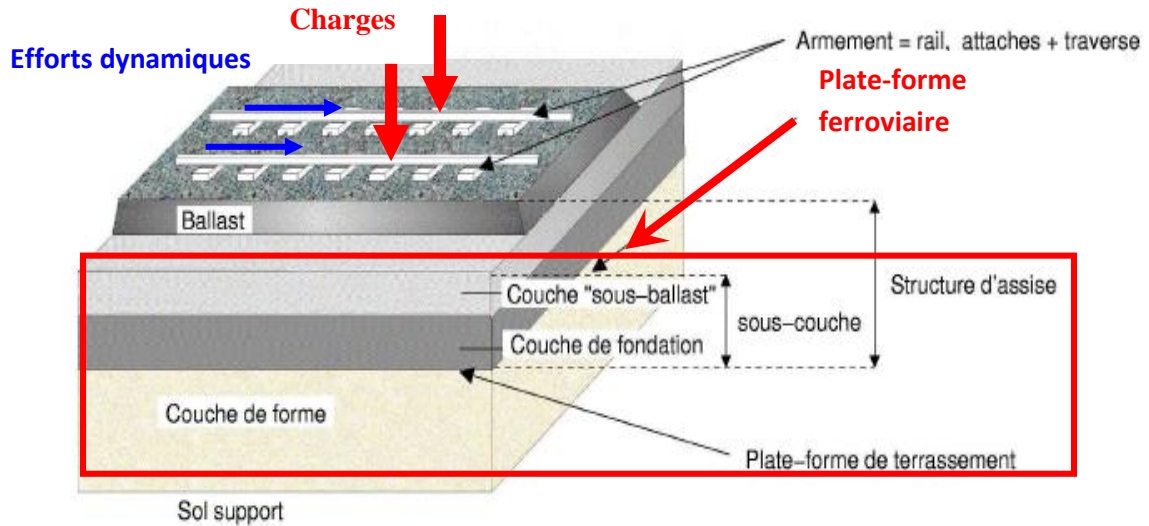


Figure 12 : Composantes des voies ferrées ballastées

4.1. LES RAILS

Après plusieurs évolutions dans le passé, le rail **Vignole** a aujourd'hui entièrement remplacé les différents types de rails pour les voies ferrées ballastées. Ce type de rail comprend trois parties :

- le champignon caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ses faces latérales,
- l'âme et portées d'éclissage. Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison des portées d'éclissage,
- le patin caractérisé par sa largeur ainsi que par l'épaisseur et la forme de ses ailes.

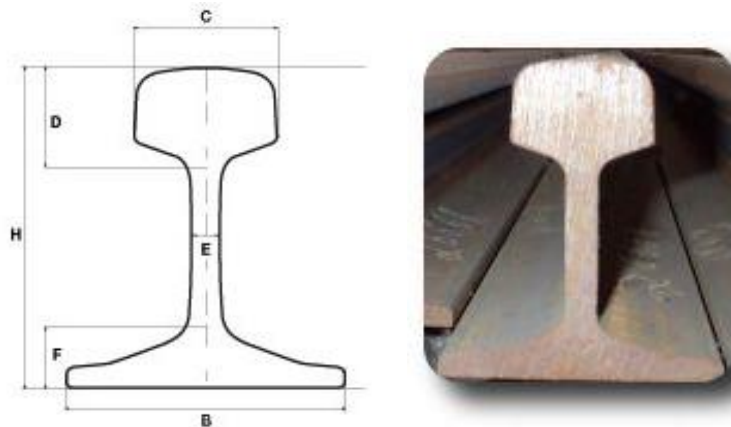


Figure 13 : Le rail Vignole

Les principales caractéristiques des trois profils de rails Vignole unifiés (UIC 54, U 33, U 50) utilisés dans la pratique sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Type	Dimensions (mm)				Poids métrique (kg)
	H	C	B	E	

CHAPITRE I : GENERALITES

UIC 54	159	70	140	16	54,430
U 33	145	62	134	15	46,303
U 50	153	65	140	15,5	50,900

Tableau 1 : Caractéristiques des profils de rails utilisés dans la pratique

Les aciers à rails couramment utilisés sont d'une nuance (résistance à la traction) comprise entre 685 et 835 N/mm². Actuellement, on emploie de plus en plus des rails durs dont la résistance à la traction minimale est de 885 N/mm² et qui va jusqu'à 950 voir 970 N/mm².

Il convient également de mentionner le **profil à gorge** pour l'armement des voies posées dans des sols revêtus. Les sociétés de tramways et les chemins de fer secondaires utilisent dans les agglomérations.



Figure 14 : Rail à gorge

4.2. LES TRAVERSES ET LES ATTACHES

Les rails reposent sur un plancher constitué très souvent des traverses qui sont soit :

- métallique,
- en bois,
- en béton armé ordinaire soit en béton précontraint.

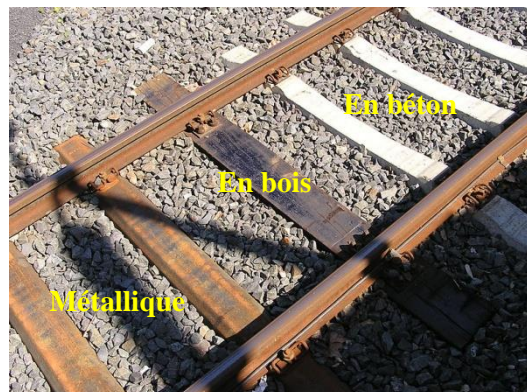


Figure 15 : Traverses métallique, en bois et en béton

a) Traverses en béton et leurs attaches

Ces traverses sont réalisées soit en béton armé ordinaire, soit en béton précontraint. On distingue :

- la traverse monobloc en béton précontraint,
- la traverse mixte bibloc constituée par deux blochets en béton armé reliés par une entretoise métallique,
- la traverse articulée constituée de trois éléments en béton indépendants : blochets et une entretoise.

La SNTF utilise principalement la traverse mixte. La longueur de cette traverse est de 2,24 m et son poids est de 190kg.



Figure 16 : Traverses en béton monobloc et mixte bibloc

Les attaches généralement rencontrées dans les traverses en béton sont :

- l'attache Nabla
- l'attache Pandrol
- le crapaud rigide avec rondelle ressort
- le crapaud élastique RN



Figure 17 : Attaches Nabla, Pandrol et crapaud élastique

b) Traverses en bois et leurs attaches

On rencontre sur le marché les traverses en bois, en chêne et en hêtre provenant d'Europe et les traverses exotiques provenant d'Afrique. La longueur normale des traverses est fixée à 2,60m, l'épaisseur varie de 12 à 15cm suivant leur affectation en voie.

Avant leur mise en service les traverses subissent une préparation qui comprend les étapes suivantes :

- le séchage,
- le frettage,
- l'entaillage et le perçage,

- l'imprégnation à la créosote.

Dans la pose sur traverses en bois, une selle métallique est parfois intercalée entre le patin du rail et la traverse. Cette selle a pour but d'une part de diminuer l'usure de la table d'appui du rail sur la traverse et d'autre part d'assurer une butée latérale du patin du rail et de réduire les risques de renversement des tirefonds.

On rencontre la pose avec attaches rigides et avec attaches élastiques. Dans le cas de la pose avec des attaches rigides, la fixation du rail est réalisée par tirefonds sans interposition de rondelles ressorts ou de lames élastiques. La pose avec des attaches élastiques comporte en plus des tirefonds et éventuellement de la selle la mise en place :

- d'une semelle en caoutchouc entre le rail et la traverse ou entre le rail et la selle ;
- de lames élastiques rectangulaires (griffons) ou trapézoïdales (attache NABLA) intercalées entre les tirefonds et le patin du rail
- de crapauds rigides avec rondelles doubles (attache K)
- de ressorts (attache Pandrol)

c) Traverses métallique et leurs attaches

La traverse métallique est très utilisée dans les pays tropicaux en raison de son immunité aux termites. La traverse métallique est abandonnée en raison de son coût élevé et des difficultés qu'elle suscite pour l'entretien du nivellement et du dressage de la voie.

En Algérie, on rencontre principalement les traverses métalliques dans les anciennes voies.

4.3. STRUCTURE D'ASSISE

4.3.1. Le ballast

Le ballast pour une voie ferrée doit être composé de pierre dure concassée (porphyre, grès, quartzite, calcaire...) de granulométrie 25/50. Le granulat 10/25 est employé pour la correction manuelle du nivellement des voies ferrées. Le ballast :

- assure la transmission et la répartition sur la plateforme des charges exercées par les trains,
- assure l'ancrage des traverses dans le sens longitudinal et transversal,
- contribue à la capacité d'amortissement des charges dynamiques transmises à la voie grâce à la dissipation d'énergie par frottement des grains de ballast entre eux.
- assure le drainage et l'évacuation rapide des eaux de ruissèlement,
- permet au moyen du bourrage-dressage mécanisé la rectification rapide du nivellement et du tracé de la voie.



Figure 18 : Photos d'un ballast

Pour remplir son rôle, le ballast doit posséder les principales qualités suivantes :

- **dureté** : Elle doit lui permettre de résister aux efforts reçus ainsi qu'à l'usure par abrasion. La dureté des granulats de couches d'assise doit être envisagée sous le double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs. la dureté d'un granulat est exprimée au moyen d'un coefficient dit de « Dureté global » qui est une évaluation statistique de la dureté générale du matériau d'une carrière. Les duretés minimales souhaitables sont :
 - lignes classiques avec voyageurs $V \leq 200\text{km}$: DRG = 17
 - lignes sans voyageurs : DRG = 14
 - lignes à grandes vitesses $> 200\text{km}$: DRG = 20
- **bonne granularité** : la grosseur des éléments, leur forme et la proportion relative du nombre d'éléments de différentes grosseurs sont des caractéristiques qui influent non seulement sur la stabilité de la voie et la durée de vie du ballast, mais également sur la mise en œuvre de ce ballast en fonction de la technique adoptée.
- **coût du ballast** : l'aspect économique est à prendre en considération et le coût de la fourniture majoré du coût du transport, facilitera le choix à faire pour le ballast à utiliser.

Le ballast subit deux types d'usure :

- contamination par des matériaux parasites, par exemple de la terre. On procède à des désherbages, mais il est nécessaire de remplacer le ballast régulièrement
- tassement du ballast sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie.

Il est nécessaire de réinjecter du ballast de faible granulométrie (10/25) sous les traverses, ou bien de réaliser une opération d'entretien à l'aide d'une bourreuse. Ce genre d'opération se réalise environ tous les 7 ans.

Le ballast est tamisé chaque 20 ans pour remplacer les pierres brisées. Le ballast présente une durée d'utilisation d'une quarantaine d'années avant d'être intégralement remplacé.

4.3.2. La sous-couche

La sous-couche comprend :

- une couche appelée sous-ballast en grave propre bien graduée 0/31,5mm comportant au moins 30% de concassé et compactée à 100% OPN.,
- une couche fondation en grave propre bien graduée compactée à 100% OPN,
- suivant nécessité, une couche appelée anticontaminante en sable propre.

Cette sous-couche assure :

- la protection de la partie supérieure de la plateforme contre l'érosion qui résulte, soit d'une part du poinçonnement opéré par les éléments de ballast, d'autre part, de l'action des eaux de ruissèlement,
- la protection de la plateforme contre les effets du gel,
- une meilleure répartition des charges transmises, ce qui permet d'obtenir des valeurs admissibles de sollicitations au niveau de la partie supérieure de la plateforme.

5. DIMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME FERROVIAIRE [4], [6], [7]

5.1. DIFFERENTS TYPES DE PLATEFORMES FERROVIAIRES

La classe et la nature de la plateforme conditionnent la structure des couches d'assise situées entre la plateforme et la couche de ballast. On observe deux types de structures distinctes, les structures de lignes nouvelles et celles des lignes existantes.

La structure des lignes à grande vitesse (LGV) est semblable à la structure des lignes classiques nouvelles, mais le niveau de portance est plus élevé surtout pour la plateforme.

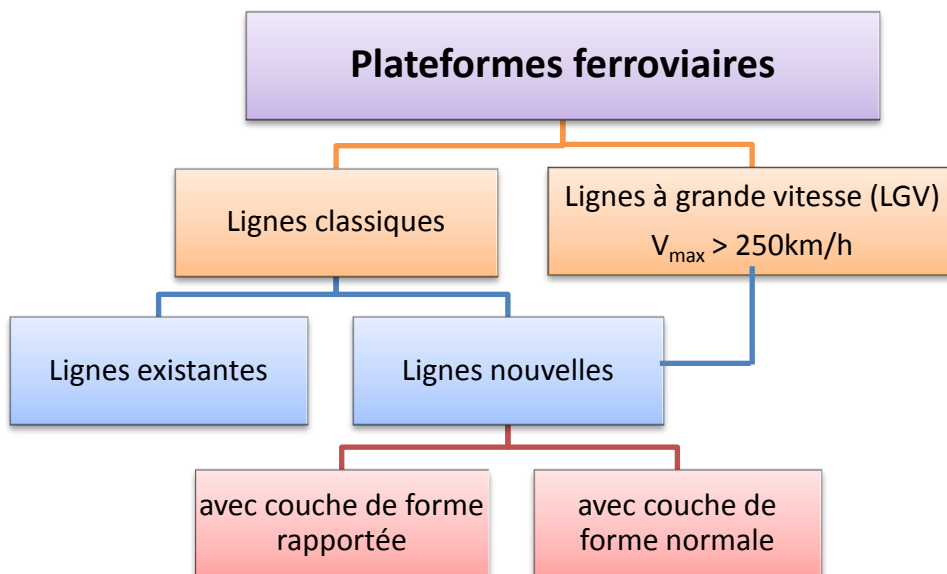


Figure 19 : Types de plateforme ferroviaire

5.1.1. Lignes classiques nouvelles

Elles peuvent avoir deux configurations différentes selon le type de couche de forme utilisée, soit rapportée ou normale (cf. figures ci-dessous).

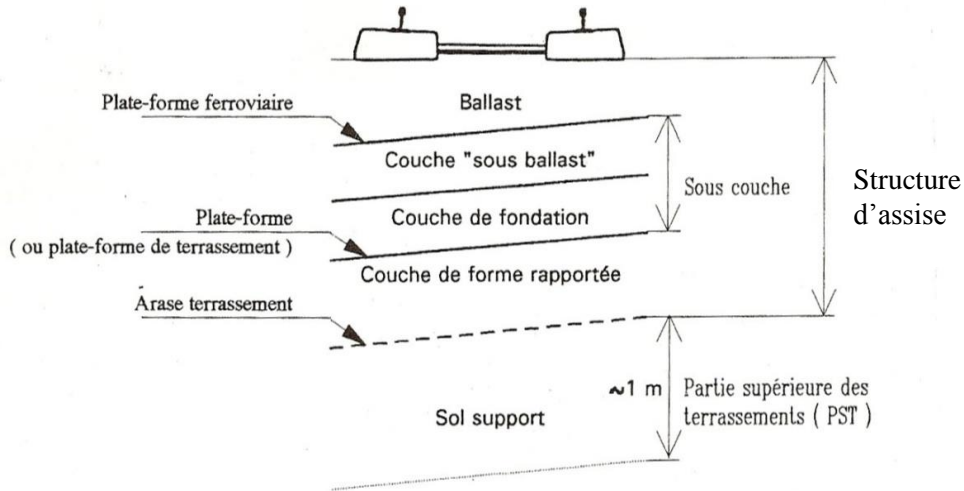


Figure 20 : Structures d'une ligne nouvelle (a)

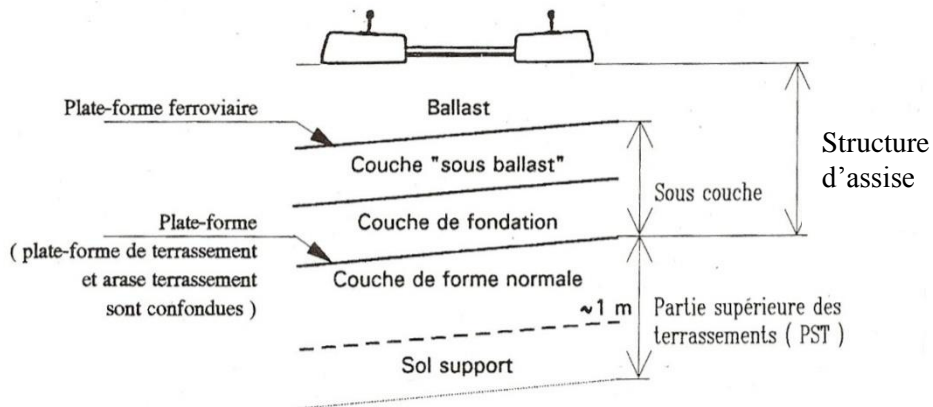


Figure 21 : Structures d'une ligne nouvelle (b)

5.1.2. Lignes classiques existantes

Elles sont les plus anciennes, la structure est généralement composée de ballast directement posé sur le sol support en créant une couche intermédiaire de mélange entre le ballast et le sol support.

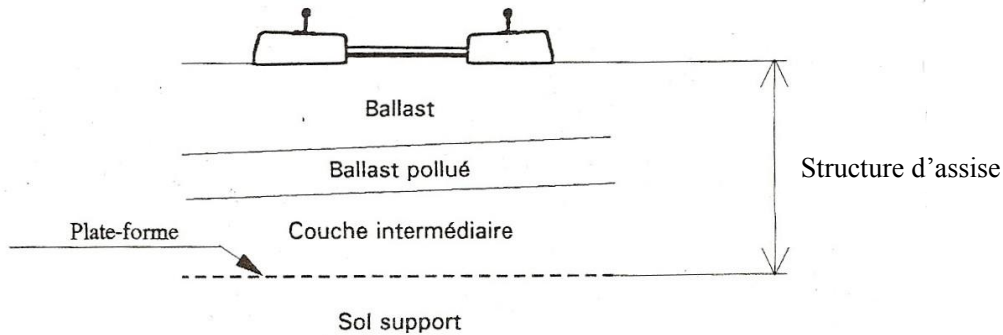


Figure 22 : Structure d'une ligne existante

5.2. REGLES DE DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des structures ferroviaires constitue une étape importante de l'étude d'un projet de chemin de fer. Une fois réalisée, la plateforme devra résister aux agressions des agents extérieurs et à la surcharge d'exploitation (action des essieux des trains, effets des gradients thermiques, pluie, neige, verglas,...Etc). Ce dimensionnement consiste à calculer l'épaisseur minimale du ballast, la sous-couche et la couche de forme. Il dépend principalement de trois paramètres à savoir :

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

Ils existent certaines conditions pour déterminer la classe de portance de la plateforme de terrassement. Une description de ces conditions principales est donnée ci-après.

5.2.1. Conditions extérieures

• Conditions climatiques

Les conditions climatiques sont très importantes pendant la mise en œuvre du matériau parce que son état hydrique (teneur en eau) peut être plus ou moins modifié suivant la situation météorologique au moment des travaux (h : humide, m : moyen, s : sec).

• Conditions hydrologiques

Ces conditions sont jugées bonnes (B. C. Hydro) si la couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle et ceci dans une période climatique défavorable et avant un éventuel rabattement de nappe. On estime que cette condition est remplie lorsque le niveau le plus haut de la nappe se trouve à une profondeur supérieure ou égale à 2 m. Cette valeur peut être inférieure s'il existe un système de drainage ou de fossés pour évacuer correctement les eaux pluviales.

5.2.2. Classe de qualité du sol support

Le sol support peut avoir quatre classes de qualité désignées par « **Si** » pour les sols en place et par « **Rti** » pour les sols réutilisés. L'indice de qualité i qui prend les valeurs suivantes :

$i = 0$: sol impropre à tout utilisation (soit être mis en dépôt et remplacé ou soit subir un traitement pour élever sa qualité).

i = 1 : sol de qualité « médiocre ».

i = 2 : sol de qualité « moyenne ».

i = 3 : sol de qualité « bonne ».

Les sols sont classés de S0 à S3. La classe S0 qualifie les sols de mauvaise qualité que l'on considère comme impropres à la réalisation d'une plateforme correcte. Au contraire, une plateforme de type S3 est caractéristique de bons sols ayant une raideur supérieure à 80 MPa.

La classification en S ou en Rt se fait une fois que l'on connaît la nature et la classe du matériau à étudier ainsi que son état hydrique pour les sols sensibles à l'eau. Le tableau ci-dessous montre un exemple de sol de classe A qui correspond aux sols fins.

Classe A : Sols fins

Classification de la NF P 11300			Classe de qualité en place				Classe de qualité en réutilisation			Sensibilité au gel
			S0	S1	S2	S3	Rt1	Rt2	Rt3	
A1	Dmax ≤ 50mm Passant à 0,08 mm > 35%	VBS ≤ 2,5 (Ip ≤ 12)	A1h	A1m & s	A1s B.C. Hydro Sais. sèche				SGt	
A2		12 < Ip ≤ 25 2,5 < VBS ≤ 6	A2h	A2m & s	A2s B.C. Hydro Sais. sèche				SGt	
A3		25 < Ip ≤ 40 (6 < VBS ≤ 8)	A3h	A3m & s					SGt	
A4		Ip > 40 (VBS > 8)	A4h	A4m & s						

SGn = Sols non gélifs ou insensibles ; SGt = Sols très gélifs ; SGp = Sols peu gélifs
 A ou B ou C : classification des matériaux suivant leur nature ; Sais sèche : saison avec des conditions hydrologiques réduites à normales ; Indice s ou m ou h : état hydrique du matériau ; B.C.Hydro : bonnes conditions hydrologiques et hydrogéologiques ; VBS : valeur de bleu du sol ; Ip : indice de plasticité

Tableau 2 : Classification des sols fins

NB : En pratique, pour l'analyse à effectuer, on doit considérer la partie supérieure du terrassement (PST) et qui prend en compte le mètre supérieur de l'ouvrage en terre. Les sols meubles peuvent être améliorés par traitement à la chaux, afin d'abaisser leur teneur en eau ; dans ce cas, la Partie Supérieure du Terrassement est constituée de deux couches. On considère que la couche supérieure est de meilleure qualité que la couche inférieure.

5.2.3. Classe de portance de la plateforme de terrassement

La classe de portance d'une plate-forme se détermine avec les deux paramètres analysés ci-dessus. En fonction de ces paramètres et du tableau suivant, on déterminera la classe de plateforme. Elles sont classées comme P1 = « médiocre », P2 = « moyenne », P3 = « bonne ».

Classe de qualité du sol support	Qualité de la couche de forme		Epaisseur de la couche de forme rapportée (m)	Classe de portance de la plate forme	Module de calcul (MPa)
	Normale (épaisseur min 0,30 m)	Rapportée			
S1 (ou Rt1)	S1			P1	20

CHAPITRE I : GENERALITES

		Rt2	0,5	P2	50
		Rt3	0,35	P2	50
		Rt3	0,5	P3	120
S2 (ou Rt2)	S2			P2	50
		Rt3	0,35	P3	120
S3 (ou Rt3)	S3			P3	120

Tableau 3 : Détermination de la classe de portance de la plateforme ferroviaire

NB : La classe de portance de la plate-forme ne préjuge en rien du comportement futur de la ligne. On peut obtenir, par exemple, une voie de très bonne qualité sur une plateforme médiocre. Dans ce cas il est important de soigner la structure et l'épaisseur de la couche d'assise.

5.2.4. Dimensionnement des couches

Le dimensionnement des couches d'une plateforme normale se fait selon le tableau ci-dessous.

NB : Après avoir calculé la structure d'assise du point de vue de la portance, il est nécessaire, lorsque les sols sont sensibles au gel, de vérifier que leur protection est assurée.

CHAPITRE I : GENERALITES

	Classe de qualité du sol support	Classe de portance de plateforme recherchée	BALLAST		SOUS - COUCHES				Géotext.	COUCHE DE FORME	
			Epaisseur selon la nature de la traverse		Epaisseur selon la nature de la traverse					Types selon la NGEF 2C20 n°4	Epais.
			bois	béton	bois	bibloc U41	mono-blocs	autres biblocs			
LIGNES NOUVELLES OU A GRANDES VITESSES	S1 (ou Rt1)	P1	0,35	0,35	0,55	0,55	0,55	0,5	A1	0,30	normale
		P2				0,35			A1	0,50	en matériaux rapportés Rt2
		P3				0,20				0,50	en matériaux rapportés Rt3
	S2 (ou Rt2)	P2				0,35				0,30	normale
		P3				0,20				0,50	en matériaux rapportés Rt3
	S3 (ou Rt3)	P3				0,20				0,30	normale
Lignes Parcourues à grandes vitesses (v>160 km/h)	S1 (ou Rt1)	P1	0,25	0,30	0,55	0,55	0,5	A1	0,3	normale	
		P3			0,2	0,2	0,2		0,5	en matériaux rapportés Rt3	
	S2 (ou Rt2)	P2			0,35	0,35	0,3	A1	0,3	normale	
		P3			0,2	0,2	0,2		0,35	en matériaux rapportés Rt3	
	S3 (ou Rt3)	P3			0,2	0,2	0,2		0,3	normale	
GROUPEs UIC 1-2. Parcours vitesses normales (v<160 km/h)	S1 (ou Rt1)	P1	0,2	0,25	0,5	0,5	0,45	A1	0,3	normale	
		P2			0,35	0,35	0,3	A1	0,5	en matériaux rapportés Rt2	
		P2			0,35	0,35	0,3		0,35	en matériaux rapportés Rt3	
		P3			0,2	0,2	0,2		0,5	en matériaux rapportés Rt3	
	S2 (ou Rt2)	P2			0,35	0,35	0,3	A1	0,3	normale	
		P3			0,2	0,2	0,2		0,35	en matériaux rapportés Rt3	
	S3 (ou Rt3)	P3			0,2	0,2	0,2		0,3	normale	

Tableau 4 : Epaisseurs minimales des plateformes normales

5.2.5. Plateformes rocheuses

Ces plateformes sont constituées de matériaux de type R21, R22, R41, R42, R61, R62, conformément à la classification de la ST 590. Le tableau ci-dessous montre un exemple de la classification des matériaux rocheux (roches calcaires).

Classification de la NF P 11300			Classe de qualité en place			Classe de qualité en réutilisation			Sensibilité au gel
			S0	S1	S2	S3	Rt1	Rt2	
R11	Craie dense	$\gamma_d > 17\text{kN/m}^3$			B.C. Hydro				SGp

CHAPITRE I : GENERALITES

R12	Craie de densité moyenne	γ_d compris entre 15 et 17kN/m ³	R12h	R12m & s							SGt
R13	Craie peu dense	$\gamma_d \leq 15$ kN/m ³	R13h	R13m & s B.H. Hydro							SGt
R21	Calcaire dur	MDE ≤ 45			LA+M DE > 80	LA +MDE ≤ 80					
R22	Calcaire de densité moyenne	MDE > 45 et $\gamma_d > 18$ kN/m ³			LA+M DE > 80	LA +MDE ≤ 80					
R23	Calcaire fragmentable	γ_d compris entre 17 et 18kN/m ³									

Tableau 5 : Exemple de classification des matériaux rocheux (Classe R1 et R2 : Roches calcaires).

Le terrassement des plateformes rocheuses s'effectue par déstructuration du matériau jusqu'à une profondeur minimale qui est liée au type de technique utilisée :

- terrassement par défonçage, l'épaisseur minimale est de 0,30 m,
- terrassement par minage (explosif), l'épaisseur minimale est de 0,50 m.

Après la déstructuration, le matériau ainsi ameubli est purgé des éléments de grosseur supérieure à 150 mm par criblage et compacté en place dans les mêmes conditions qu'une couche de forme normale.

Il est souhaitable de mettre en œuvre une sous-couche entre la plateforme de terrassement et la couche du ballast afin d'amortir les sollicitations dynamiques dues au passage des trains. Le tableau suivant définit les différentes épaisseurs que l'on peut adopter pour la sous-couche. Celles-ci sont définies suivant la vitesse envisagée sur la voie et le fond de déroctage sous l'arase des terrassements.

Epaisseur	Fond de déroctage sensiblement confondu avec l'arase terrassement		fond de déroctage 30 à 50 cm sous l'arase terrassement	
	Normale	Exceptionnelle	Normale	Exceptionnelle
Lignes nouvelles à grandes vitesses $V \geq 250$ km/h	0.35	-	0.20	0.15
Lignes parcourues à $V \geq 160$ km/h	0.35	0.20	0.20	0.15
Lignes de groupe UIC de 1 à 4 $V < 160$ km/h	0.20	0.15	0.15	-

Tableau 6 : Epaisseur minimales de la sous-couche des plateformes rocheuses

5.2.6. Plateformes en sol de qualité S0

Sur ce type de sol il n'est pas possible de mettre en œuvre correctement une couche de forme. Le sol de qualité « S0 » doit faire l'objet d'une amélioration pour être élevé à la classe S1. Il faut trouver une solution par rapport aux types de sols avec lesquels on va travailler. Parmi les sols « S0 », il convient de distinguer :

- Matériaux humides (teneur en eau élevée), ils sont de classe A, B ou R1
- Matériaux organiques : F1
- Roches salines : R5 et F4

Dans les sols de classe A, B ou R1, il est possible de faire un traitement à la chaux, de mettre un dispositif de drainage ou d'effectuer une méthode de sur-chargement. Si les conditions du sol sont très mauvaises, la solution peut être de remplacer le sol par un autre de meilleure qualité.

Par rapport aux sols du type F1, qui sont compressibles et souffrent d'une déformation par fluage, il existe plusieurs méthodes pour améliorer leur comportement telles que :

- des pieux de différentes natures (béton, acier, etc.),
- compactage dynamique,
- remblais en matériaux légers,
- sur-chargement,
- substitution des matériaux (partielle ou totale).

Ces méthodes ont déjà été utilisées, il y a longtemps pour améliorer la stabilité des ouvrages en sols des lignes anciennes.

Les sols qui sont constitués de roches salines (R5 et F4) sont classés en S0 parce qu'ils peuvent présenter des risques de dissolution par l'eau provoquant des cavités ou des fontis. Dans ce cas, le traitement nécessaire est de faire une imperméabilisation des zones dangereuses par géomembranes.

6. CONCLUSION

Le choix du type de matériaux et du dimensionnement de la plateforme est dépendant du type de sol et de la condition climatique de la région.

De nos jours, les exigences sécuritaires imposent une étude pointue des composantes et des dispositions de la voie ferrée. L'Algérie révisé ses anciennes lignes en remplaçant par des nouveaux matériaux comme le cas des traverses en métallique sont remplacés par des traverses mixtes bibloc.

Nous aborderons dans le prochain chapitre les paramètres géométriques du tracé.

CHAPITRE II

PARAMETRES GEOMETRIQUES DU TRACE FERROVIAIRE

CHAPITRE II : PARAMETRES GEOMETRIQUES DU TRACE FERROVIAIRE

1. INTRODUCTION

Les paramètres géométriques constituent l'étape nécessaire pour l'élaboration du tracé ferroviaire. Ils sont constitués du :

- tracé en plan,
- tracé en profil,
- profil en travers.

Dans ce chapitre nous aborderons les éléments constitutifs des paramètres géométriques du tracé tout en énonçant les formules ainsi que les normes qui les régissent.

2. TRACE EN PLAN [4], [5]

Le tracé en plan ferroviaire est la projection verticale de l'axe de la voie ferrée sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau. Il est un assemblage d'éléments géométriques établis selon des normes afin d'assurer les critères de confort et de sécurité. Ces éléments sont :

- alignements droits,
- courbes circulaire,
- courbes de raccordement.

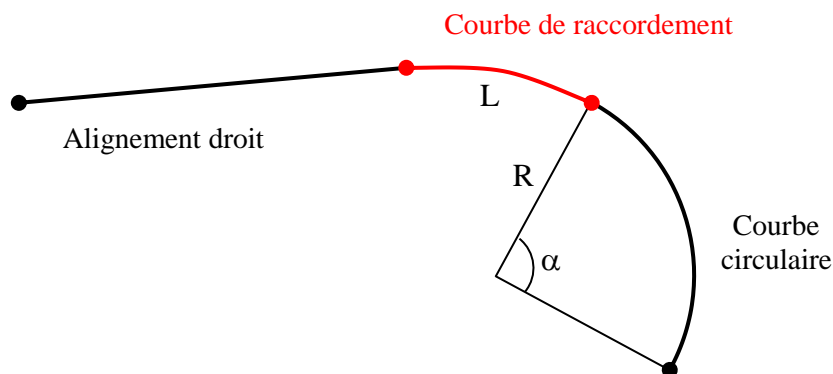


Figure 23 : Eléments géométriques du tracé en plan

L'élaboration du tracé en plan doit se faire dans le respect des recommandations des normes. En Algérie, les règles sont définies par la SNTF et détaillées dans les documents de l'ISFF (Institut supérieur de formation ferroviaire). Le principe est de choisir au maximum des alignements droits et de fixer des valeurs limites admissibles de confort et de sécurité pour les courbes de raccordements et les courbes circulaires (pour éviter le déraillement des trains ou le déripage de la voie c-à-dire son déplacement latéral). Cela conduit à choisir des rayons de courbure les plus grands possibles. Ces valeurs limites dépendent de :

- la vitesse de circulation des trains dans les courbes
- la nature de la voie (principale, de circulation, de service)

NB : il faut préciser que les voies principales (VP) sont affectées à la circulation des trains. Les voies de circulation sont affectées à la desserte interne des grands complexes ferroviaires. Les voies de service sont affectées aux manœuvres.

2.1. PARAMETRES DE CONCEPTION

Les paramètres, pour lesquels le respect de ces valeurs garantit le confort et la sécurité ainsi que l'optimisation du coût de maintenance, sont les suivants :

- Le dévers et sa variation
- L'insuffisance de dévers et sa variation
- L'excès de dévers
- Le rayon minimum en plan
- La longueur des raccords

Les différentes valeurs limites mentionnées ci-après découlent des caractéristiques de l'armement de la voie, de son état et de sa géométrie, ainsi que de celles du matériel roulant, de sa charge à l'essieu et de sa vitesse. Elles s'appliquent à la conception d'une voie d'armement moderne.

2.2. DEVERS

Le dévers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. En courbe, les deux fils de rail sont posés en dévers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur) est surhausser 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.

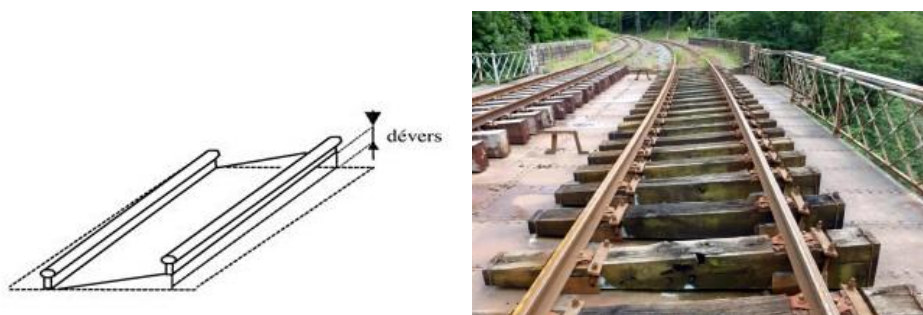


Figure 24 : Définition du dévers

2.2.1. Devers théorique

Considérons un train circulant à une vitesse constante « V » dans une courbe circulaire de rayon « R ». Le dévers théorique appelé également « dévers d'équilibre » noté « d_{th} » ou « d_v » est donné par :

$$\text{Pour un écartement de voie : } 2e = 1,435\text{m} \rightarrow d_{th} = d_v = \frac{11,8 \cdot V^2}{R}$$

Pour un écartement métrique : $2e = 1\text{m} \rightarrow d_{th} = d_v = \frac{8,4 \cdot V^2}{R}$

d_{th} est exprimé en mm ; V est exprimé en km/h ; R est exprimé en m.

2.2.2. 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 « d ». la mise en œuvre du dévers pratique permet de :

- éviter 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 : $d = \frac{R_{min} \cdot d_{Rmin}}{R}$

R_{min} est le rayon minimum

d_{Rmin} et le dévers du rayon minimum qui s'écrit : $d_{Rmin} = \frac{V_{max}^2 \cdot E_{max} + V_{TM}^2 \cdot I_{max}}{V_{max}^2 - V_{TM}^2}$

V_{max} est la vitesse maximale des trains voyageurs,

V_{TM} est la vitesse max de trains marchandises,

I_{max} est l'insuffisance de dévers maximum défini ci-après,

E_{max} est l'excès de dévers maximum défini ci-après.

Les valeurs limites du devers pratique sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Types de voie	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Principale et de circulation	160 mm	180 mm
Service	80 mm	-

Tableau 7 : Valeurs limites du dévers pratique

2.2.3. Variation du dévers dans les courbes de raccordement

L'installation du dévers se fait progressivement entre l'alignement droit et la pleine courbe (courbe circulaire) sur une certaine longueur « L » appelé « rampe de dévers » qui correspond à la longueur du raccordement parabolique. La variation du dévers « Δd » sur une longueur « ΔL » est constante sur toute la longueur de la rampe de dévers ($\Delta d / \Delta L = C^{te}$) pour des raisons de facilité de pose, de contrôle et d'entretien. $\Delta d / \Delta L$ est exprimé en (mm/m), ce rapport est appelé également « gauche » noté « g », il définit la pente relative des deux fils de rails (cf. figure ci-dessous).

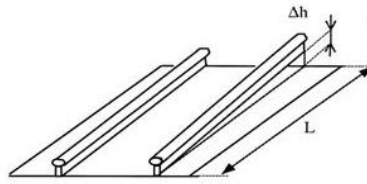


Figure 25 : Schéma représentant le gauche

NB : En pratique, le gauche est mesuré sur la base de 3m de longueur de rail.

Les valeurs limites universelles de variation de dévers dans les raccords sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Types de voie	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Principale et de circulation	$180/V_{\max} \leq 4 \text{ mm/m}$	$216/V_{\max} \leq 4 \text{ mm/m}$
Service	4 mm/m	-

Tableau 8 : Valeurs limites universelles du gauche

Pour la Société Nationale de transport ferroviaire (SNTF), il a été décidé que les valeurs limites de variations de devers dans les raccords ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

Vitesse (km/h)	Valeur normale (mm/m)	Valeur exceptionnelle (mm/m)
≥ 100	≤ 1	$\leq 1,5$
$\geq 80 < 100$	$\leq 1,5$	≤ 2
$\geq 60 < 80$	≤ 2	≤ 3
$\geq 40 < 60$	≤ 3	≤ 4
< 40	≤ 4	-

Tableau 9 : Valeurs limites SNTF du gauche

2.3. INSUFFISANCE DE DEVERS

L'insuffisance de dévers noté « I » est la différence entre le dévers théorique « d_{th} » et le dévers pratique « d » :

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

La circulation d'un train avec insuffisance de dévers se traduit par la génération de forces transversales non compensées qui ont pour effet :

- de tendre au renversement des trains vers l'extérieur du virage,
- de tendre à déplacer la voie vers l'extérieur de la courbe,
- d'imposer fatigue, voir malaises, aux voyageurs.

Pour limiter ces effets, on adopte une valeur limite pour l'insuffisance de dévers (pour les trains les plus rapides). Ces limites sont présentées dans le tableau suivant :

Types de trains	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Train le plus rapide	150 mm	160 mm
Autorails et rames automotrices à centre de gravité bas	160 mm	200 mm

Tableau 10 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers

2.4. VARIATION DE L'INSUFFISANCE DE DEVERS DANS LES COURBES DE RACCORDEMENT

Lors du passage d'un train d'un alignement ($d=0$, $I=0$) à la pleine courbe ($d=C^{te}$, 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 d'insuffisance de dévers doit être limité pour permettre une adaptation progressive et si possible inconsciente du voyageur à ces 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).

Les valeurs limites de la variation de l'insuffisance de dévers sont :

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

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

2.5. EXCES DE DEVERS

Lorsqu'un train de marchandise roule très lentement en courbe, il ressent le dévers installé pour le train rapide comme un excès de dévers noté « E ». ce type de train, pour lequel le dévers théorique est inférieur au dévers pratique ($d_{th} < d$), exercent sur la voie des efforts transversaux dirigés vers l'intérieur de la courbe. Pour limiter ces efforts, on est conduit à fixer des valeurs limites pour l'excès de dévers. Ces valeurs limites dépendent de l'intensité du trafic quotidien des trains marchandises « T_j » exprimé en (tonne/jour). Elles sont déterminées de la manière suivante :

Tj (tonne / jours)	E (mm)	
	Normal	Exceptionnel
$\geq 45\ 000$	70	105
$\geq 25\ 000 < 45\ 000$	80	115
$\geq 10\ 000 < 25\ 000$	90	125
$< 10\ 000$	100	135

Tableau 11 : Valeurs limites de l'excès de dévers

NB : ces valeurs limites sont fixées pour la vitesse normale des trains marchandises.

2.6. RAYON MINIMAL DES COURBES CIRCULAIRES

Le rayon de courbure des voies principales ne descend pas au-dessous de certaines valeurs :

- Ligne à grande vitesse (LGV) avec $V \geq 250$ km/h : $R_{min} = 4000m$
- Les lignes classiques nouvelles parcourues à 160km/h : $R_{min} = 1000m$

- A l'approche des gares et pour les voies de service et de circulation où la vitesse est faible, on peut tolérer des courbes de 150m de rayon et exceptionnellement 135m

Le rayon minimal d'une voie ferrée à trafic mixte est déterminé après le choix des valeurs limites de « I_{max} » et « E_{max} » à partir de la formule suivante :

$$R_{min} = \frac{11,8 * (V_{max}^2 - V_{TM}^2)}{I_{max} + E_{max}}$$

2.7. RACCORDEMENT DE DEVERS

2.7.1. Raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire

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

$$y = \frac{x^3}{6RL}$$

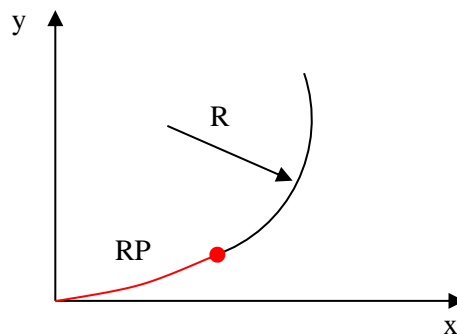


Figure 26 : Raccordement de Nordling

La longueur de se raccordement est calculée comme suit :

- Pour une voie avec écartement $2e = 1,435m$: $L = 8 \text{ à } 10 V_{max} d$
- Pour une voie métrique $2e = 1m$: $L = 16 V_{max} d$

V_{max} est exprimé en (km/h) ; d est exprimé en (m) ; L est exprimé en (m).

La valeur obtenue doit satisfaire les conditions suivantes :

- $L \geq 0,4 V_{max} \geq 30m$
- $L < R/4$

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

- Pour une voie avec écartement $2e = 1,435m$: $L = 6 V_{max} d$
- Pour une voie métrique $2e = 1m$: $L = 12 V_{max} d$

2.7.2. Raccordement entre deux courbes de même sens et de rayons différents

Pour deux courbes circulaires de même sens et de rayons différents ($R_1 > R_2$), on intercale un seul raccordement. L'équation s'écrit :

$$y = \frac{L^2}{2R_1} \left(\frac{x}{L}\right)^2 + \frac{L^2}{6} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right) \times \left(\frac{x}{L} + \frac{1}{2}\right)^3$$

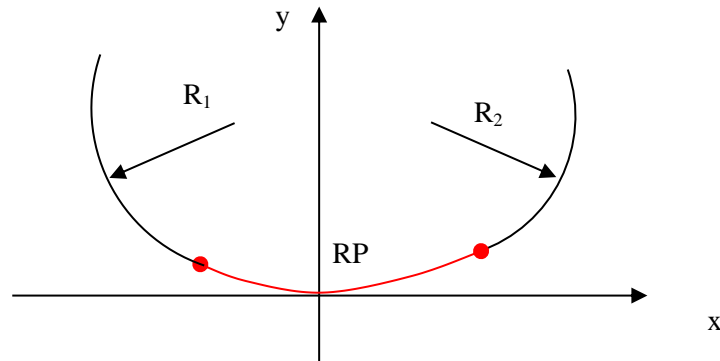


Figure 27 : Raccordement entre deux courbes de même sens et de rayons différents

La longueur de ce raccordement est calculée comme suit :

- $L = 10 V_{\max} (d_1 - d_2)$

La valeur obtenue doit satisfaire la condition suivante :

- $L \geq 6 V_{\max} (I_1 - I_2)$

d_1 et I_1 les paramètres du rayon R_1 exprimés en (m),

d_2 et I_2 les paramètres du rayon R_2 exprimés en (m).

2.7.3. Raccordement entre courbe et contre courbe de rayons différents

En voie principale, des courbes de raccordement de longueur normale sont absolument nécessaires. Entre deux raccordements en contresens, il est nécessaire d'intercaler un alignement droit de longueur $L \geq 0,4 V_{\max} \geq 30m$.

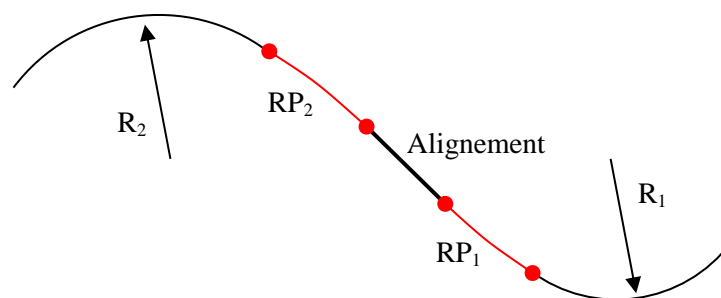


Figure 28 : Raccordement entre courbe et contre courbe

Lorsque les conditions ne permettent pas d'intercaler un alignement de longueur suffisante, on réalise la pose des voies en forme de ciseaux (suppression de l'alignement droit).

2.7.4. Conditions d'installation des courbes de raccordements

Les courbes de raccordement sont recommandées si :

$$\Delta C > \frac{2000}{V_{max}^2}$$

Et elles sont obligatoire si :

- $\Delta C > \frac{9000}{V_{max}^2}$ lorsque $V \leq 100$ km/h
- $\Delta C > \frac{7000}{V_{max}^2}$ lorsque $V > 100 \leq 160$ km/h
- $\Delta C > \frac{4000}{V_{max}^2}$ lorsque $V > 160 \leq 200$ km/h

La valeur « ΔC » est calculée comme suit :

- Alignement – courbe $\rightarrow \Delta C = \frac{1000}{R}$
- Deux courbes de même sens et de rayons différents $\rightarrow \Delta C = \frac{1000}{R_1} - \frac{1000}{R_2}$
- Deux courbes de sens contraire $\rightarrow \Delta C = \frac{1000}{R_1} + \frac{1000}{R_2}$

3. TRACE EN PROFIL [5], [6]

Etant défini comme une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive, le profil en long de la voie est constitué de paliers, de pentes et de rampes (déclivités) reliées entre elles par des raccordements verticaux. Il représente la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

3.1. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PROFIL

Pour que le tracé en profil réponde aux critères de confort et de sécurité, il faut :

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- 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 en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la voie du paysage.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du relief.
- Les changements de déclivité devraient être évités, si possible, aux endroits où il y a des courbes de raccordement et des rampes de dévers car les opérations d'entretien sont difficiles à réaliser dans ces zones à cause de la superposition de plusieurs formes géométriques sur le plan horizontal et vertical.

3.2. DECLIVITES

Les déclivités d'une voie ferroviaire dépendent de :

- L'adhérence des roues en acier des trains sur les rails
- Le freinage
- La vitesse maximale admissible
- La traction des trains marchandises lourds.

3.2.1. Valeurs des déclivités maximales

- En Voie Principale dans les grandes lignes : de 8 à 10‰
- En voie principale dans un terrain montagneux : 30‰
- Pour le cas des lignes à grande vitesse, on peut aller jusqu'à 35‰

3.2.2. Limites imposées par le freinage (pentes)

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

La pente de chaque tronçon à pente constante doit respecter l'une des conditions ci-après :

Pente (‰)	Longueur (m)
≤ 20	quelconque
$> 20 \leq 25$	≤ 2000
$> 25 \leq 30$	≤ 1000
$> 30 \leq 35$	$\leq 400m$

Tableau 12 : Valeurs limites de déclivités imposées par le freinage

3.2.3. Limites imposées par le démarrage (rampes)

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

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

Activité en gare	Déclivité maximale
Service voyageur seul	$\leq 10‰$
Service voyageur et modification de position des rames	$\leq 5‰$
Service voyageur et stationnement de position de rame	$\leq 1‰$

Tableau 13 : Valeurs limites de déclivités imposées par le démarrage

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

3.2.4. Longueur minimale des déclivités

Entre deux accélérations verticales brutales, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir le choc et d'éviter les effets conjugués de plusieurs

accélérations rapprochées, sources d'oscillations importantes du véhicule. Afin d'éviter ces oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir :

- Valeur limite normale : $V_{\max}/2$
- Valeur limite exceptionnelle : $V_{\max}/2,5$

3.3. RACCORDEMENT EN TRACE EN LONG

Dans la pose des voies neuves ou renouvelées on doit s'attacher à réaliser des raccordements de déclivités aux points de changement de pente lorsque la différence algébrique des déclivités est supérieure à 2‰ (2mm/m). Cette valeur peut être portée à 4‰ lorsque la vitesse maximale est inférieure ou égale 60km/h.

Sur voie principale, le rayon de la courbe verticale doit être suffisant pour limiter l'accélération verticale « a_v » à une valeur acceptable pour ne pas compromettre le confort des voyageurs. Il a été reconnu qu'une accélération inférieure à « 0,05 g » était acceptable pour le confort des voyageurs :

- Valeur limite normale : $R = 0,35 \times V_{\max}^2$
- Valeur limite exceptionnelle : $R = 0,25 \times V_{\max}^2$

V_{\max} est exprimée en m/s.

L'application de ces formules permet de limiter l'accélération verticale subie par les voyageurs à respectivement 0,22 et 0,31m/s², ce qui est en dessous de l'accélération limite de 0,05 g = 0,49 m/s².

3.3.1. Valeurs du rayon de raccord des déclivités

En voie principale, lorsque la différence algébrique des déclivités est supérieure ou égale à 4mm/m :

- Si $V \geq 100$ km/h $R = 10000$ m
- Si $V < 100$ km/h $R = 5000$ m

Pour les lignes nouvelles, il a été reconnu qu'une accélération verticale de 0,05g était très acceptable pour le confort voyageur, on en déduit :

- $R = 5\ 000$ m jusqu'à $V = 180$ km/h
- $R = 10\ 000$ m jusqu'à $V = 250$ km/h

En voie de circulation, R est à l'ordre de 1 000 m

En voie secondaire, les rayons adoptés sont :

- Bosse triage : R_{\min} convexe = 250 m ; R_{\min} concave = 300 m
- Voie de service : $R_{\min} = 500$ m

NB : à éviter sauf dans le cas exceptionnel suivant les conditions locales d'implantations de poser les appareils de la voie dans un raccord de déclivités.

3.3.2. Longueur de raccord des déclivités

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

4. PROFIL EN TRAVERS

Profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. Un projet de voies ferrée comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d'abord un profil unique appelé « profil en travers type » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc...).

La plateforme d'une ligne à double voie est en générale à double pente transversale de l'ordre de 4%. Les eaux sont recueillies dans des fossés ou des buses qui les rejettent ensuite dans le réseau hydrographique général. Le profil en travers doit contenir tous les éléments suivants :

a) Éléments de superstructure

- la distance entre les axes des deux voies
- l'épaisseur du ballast
- la longueur des butées du ballast
- la valeur du devers maximale en courbe

b) Éléments d'infrastructure

- les épaisseurs et la nomination de chaque couche
- les pentes de chaque couche
- la pente latérale de la plateforme

c) Éléments du talus

- la pente de chaque talus
- les ouvrages de consolidations éventuelles

d) Éléments d'assainissement

- type et dimension du fossé ou des drains

Le profil type SNTF est présenté dans la figure ci-après.

5. CONCLUSION

Au terme de cette théorie, nous avons pu éclaircir les paramètres géométriques d'une ligne ferroviaire avec quelques règles qui nous permettra de bien mener l'étude de notre tronçon. Cette partie théorique sera donc un appui pour l'élaboration de notre tracé ferroviaire qui sera présenté dans le chapitre IV.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons la présentation du projet, la géologie du terrain dans lequel le projet sera réalisé ainsi que les intérêts socio-économiques en jeu.

CHAPITRE III :

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

1. INTRODUCTION

L'interzone entre les wilayas de Constantine et Guelma est une région agricole par excellence, qui est jointe que par la route nationale N° 20. Cette liaison nécessite d'être renforcée par une ligne ferroviaire qui permettra d'éviter les inconvénients de la route afin de permettre une meilleur efficacité du transport des produits agricoles ainsi que industriels en un temps record.

L'objectif de ce projet de fin d'étude consiste à l'élaboration d'un nouveau tracé ferroviaire allant de Bouchegouf et débouchant à El-khroub ce qui permet de consolider les infrastructures de transport actuelles en prenant en charge une partie du trafic de transit. Cette nouvelle ligne doit répondre aux normes du point de vue tracé moderne, respect des gabarits et de l'environnement. Dans ce présent chapitre, nous présentons le projet et faire un aperçu global sur la faisabilité, la géologie, l'hydrogéologie, géotechnique ainsi que les intérêts socio-économiques.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE [8]

La zone d'étude se trouve dans la partie Est de l'Algérie. Administrativement le tracé traverse les wilayas de Guelma et Constantine. Géographiquement, le secteur d'étude est limité :

- Au Nord par les wilayas d'Annaba et Skikda
- Au Sud par la wilaya d'Oum el Bouaghi.
- À l'Ouest par la wilaya de Mila.
- À l'Est par les wilayas d'ElTaref et Souk Ahras.

La wilaya de Constantine a une population de 1,3 million d'habitants avec un taux croissance de 2,2%. Disposant d'un important potentiel touristique et économique, cette wilaya est un véritable pôle industriel avec des industries agroalimentaires, mécaniques, pharmaceutiques etc. Concernant la wilaya de Guelma constitue un centre stratégique joignant le littoral aux régions intérieures. Elle abrite une population de 600 milles habitants avec un taux de croissance de 1,2% et dispose de plusieurs sites touristes dont les sources thermales et les sites romaines etc. cette wilaya dispose d'un potentiel agro-pastorale important.

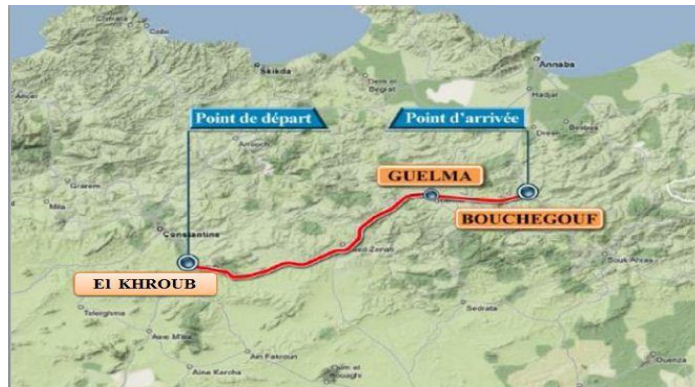


Figure 30 : Situation géographique du projet

3. ETAT ACTUEL DE LA LIGNE EXISTANTE

Historiquement, la ligne ferroviaire reliant Bouchegouf et Elkhroub est construite en 1878 par la compagnie des chemins de fer Bône-Guelma. Cette ligne fut fermée plus tard à la circulation suite à de très fortes pluies durant la période 1957-1958 entraînant des inondations importantes par le débordement des oueds Seybousse, Zenati et Bou Hamdane . En effet, la fermeture de cette ligne a relativement freiné le développement du secteur agricole et industriel de la région. Ces inondations ont déstructuré une bonne partie de la ligne par des glissements de terrain. Malgré cette inondation, certaines structures de la ligne ont tenu dont il est nécessaire de faire leur état de lieu.

La visite effectuée le mercredi 23 décembre 2015 avec notre encadreur nous a permis de dégager l'état de l'infrastructure de la ligne existante entre Guelma et Bouchegouf. Le deuxième tronçon entre Guelma et Constantine n'a pas fait l'objet d'une visite.

Tronçon gare Guelma – Belkheir : la voie est complétement disparue.

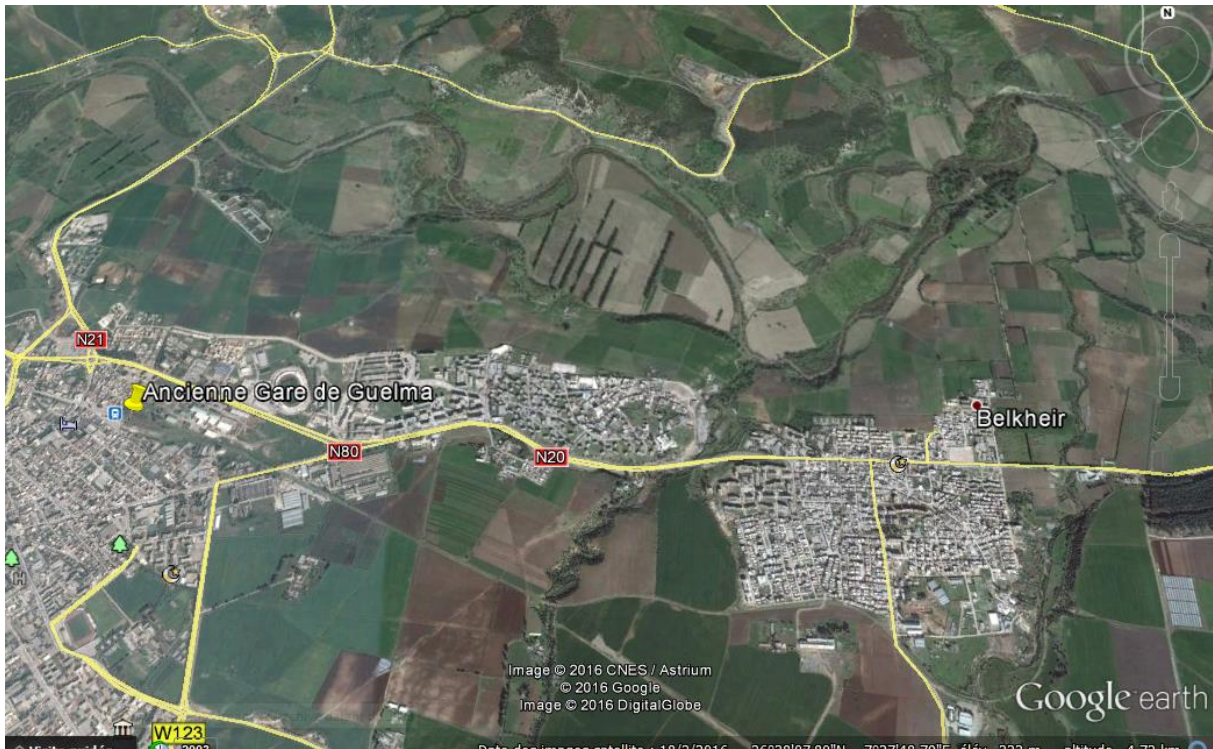


Figure 31 : image du tronçon Belkheir-Guelma

La ligne à la sortie de Belkheir au niveau du Mechta El Hafais : la ligne est partiellement enterrée mais la grande partie ne l'est pas sauf sous la menace de la végétation et avec des ballasts quasi-inexistants.



Figure 32 : Image de l'état de la voie à la sortie de belkeir

A l'intersection avec la RN 20 : la ligne est enterrée sous la chaussée

La partie traversant Boumahra : la ligne est proche des habitations et en certains lieu enterrée mais partiellement sous la végétation à la sortie de la ville.



Figure 33 : La ligne à côté d'une mosquée en construction



Figure 34 : La ligne très proche des habitations



Figure 35 : La ligne enterrée par la RN 20 à la sortie de Boumahra



Figure 36 : La ligne partiellement sous la végétation

Au niveau de Nador : la ligne est enterrée



Figure 37 : La ligne existante au niveau de la localité du Nador

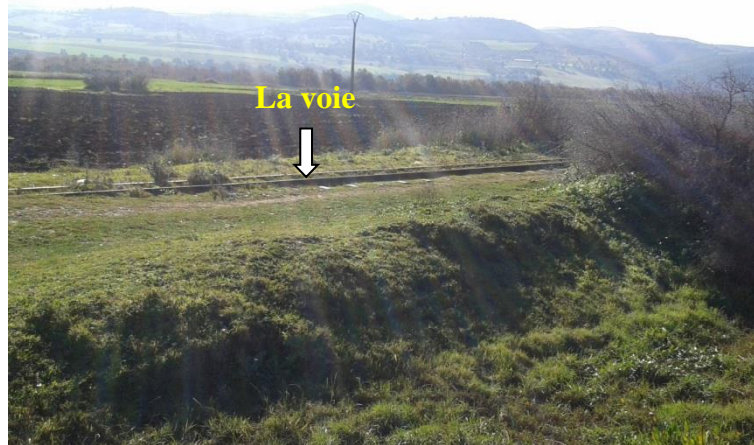


Figure 38 : L'état de ligne existante entre Nador et Bouchegouf

Au niveau de Bouchegouf : à l'entrée de la ville la ligne est sous les végétations mais au niveau de la gare et à sa sortie vers Annaba la ligne est bien entretenue.



Figure 39 : La gare de Bouchegouf



Figure 40 : La sortie de la gare de Bouchegouf en direction de Annaba

Conclusion

Lors de cette visite du tronçon Bouchegouf – Guelma, nous avons constaté que le tronçon est inutilisable car dans certaines parties les rails sont enterrés et aussi passe très proche des agglomérations ou même sont engloutis par cette dernière. Le type de traverse qui est pour les anciennes lignes ne répond pas aux exigences des nouvelles et de la vitesse.

La géométrie du tracé est très ancienne, elle ne répond pas aux nouvelles exigences de vitesses de circulation des trains ainsi que les caractéristiques du nouveau matériel roulant.

Dans ce travail, nous proposerons un nouveau tracé qui sera en conformité avec les nouvelles normes en vigueur.

4. CARACTERISTIQUES TECHNIQUE DU PROJET [8]

Le projet de la ligne Bouchegouf - El Khroub via Guelma devra permettre de créer une nouvelle connexion de la ligne minière Est avec la rocade nord au niveau de Constantine ce qui va raccourcir le trajet qui passe par Annaba. Cette ligne fait environ 140 km de long selon le tracé historique mais elle peut être réduite à 120 km selon un tracé plus court. Cette ligne permet également de connecter le maximum d'agglomérations le long du couloir qui assurent le service de transport ferroviaire voyageur et marchandises.

Les caractéristiques principales de cette ligne sont :

- ligne à voie unique mais prévoir l'assise pour un dédoublement éventuel futur,
- ligne électrifiée (compatible avec une logique de services régionaux et de banlieue et de l'électrification générale du réseau),
- ligne mixte voyageurs – marchandises,
- vitesse maximale de 160 km/h (qui peut arriver à 220 km/h dans les alignements),
- récupération possible de parties du tracé existant,
- selon les contraintes du terrain, il y a possibilité de réduire localement ces exigences pour réduire le coût de l'investissement

5. GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE [8]

Les données géologiques présentées ci-après sont synthétisées à partir d'une étude préliminaire réalisée par l'ANESRIF.

La zone d'étude Bouchegouf – Guelma – El Khroub se situe dans le Nord- Est Algérien, qui fait partie du domaine plissé alpin. Ce dernier est généralement subdivisé en plusieurs domaines structuraux et paléogéographiques bien distincts. Pour la zone d'étude on peut distinguer du Nord vers le Sud, les principaux ensembles suivant :

5.1.1. Le domaine interne et externe de la zone d'étude

Le domaine interne comprend le socle cristallin et sa couverture sédimentaire chevauchant les unités plus méridionales et le domaine des nappes des flyschs est composé de deux types d'unités différentes : les nappes mauritaniennes et massyliennes ; la nappe numidienne, séries gréseuses de l'Oligocène qui affleurent largement suivant une orientation SW-NE, allant de

Constantine-Guelma jusqu'à la Tunisie (Tabarka). Ces sédiments postérieurs à la tectonique fini-éocène forment un étage supérieur nettement moins tectonisé.

5.1.2. Les nappes telliennes

Ces éléments structuraux sont développés sur près de 100 km du Nord au Sud et supportant les empilements normaux des flyschs. Ce sont des « séries épaisses à dominante marneuse issues du sillon tellien, découpées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes unités, du Nord au Sud :

- les unités telliennes sensu stricto, formations marneuses et marno-calcaires du Crétacé avec absence d'intercalations néritiques à caractère prépondérant. Elles couvrent, sur des surfaces considérables, le tiers occidental de la zone étudiée (des chaînons côtiers des Babor au piémont Nord des Monts du Hodna) ;
- les unités ultra-telliennes ;
- les unités péni-telliennes et unités méridionales à nummulites, à faciès néritique prépondérant, d'âge Crétacé supérieur à Eocène. Ces séries montrent de grandes affinités avec l'unité néritique constantinoise et les unités Sud-sétifiennes.

5.1.3. Avant-pays parautochtones Algéro-Tunisiens

Il se présente sous forme de vastes panneaux carbonatés épais, allant d'Ouest en Est de l'ensemble allochtone Sud-sétifien, à la nappe néritique constantinoise, aux formations allochtones de type Sellaoua. Ils présentent plusieurs types de séries différenciées, allant du Trias supérieur au Crétacé et à l'Eocène. A l'Est de Guelma, les séries carbonatées laissent place à de vastes affleurements de Trias allochtone. Ces trois unités se résument comme suit :

- les unités Sud-sétifiennes,
- l'unité néritique constantinoise : elle se présente sous forme de séries carbonatées épaisses du Mésozoïque (épaisseur cumulée dépassant localement 2000m), chevauchant les écailles de Sellaoua et les unités Sud-Sétifiennes (selon Vila J-M., 1980). Seules des cassures et des plissements à grand rayon de courbure ont caractérisé les déformations de ces reliefs calcaires lors des phases tectoniques alpines. Ces derniers constituent l'essentiel des massifs de Tadjenamet, d'Oued Athménia, de Constantine, d'Ain M'lila, d'Hammam Meskhoutine et de Guelma,
- les unités de Sellaoua : ces séries sont développées suivant un axe Sud-Ouest–Nord-Est dans les régions d'Ain M'lila, d'Ain Fakroun, d'Ain Babouche (Chebka Sellaoua) et s'étalent largement de Ksar Sbahi à Souk Ahras. Les faciès sont uniformément constitués de marnes et de marno-calcaires (du Valanginien à la fin du Maestrichtien). Les plissements dateraient de l'Eocène supérieur, les écaillages et les chevauchements du Tortonien. Les contacts de base des écailles sont injectés par des évaporites.

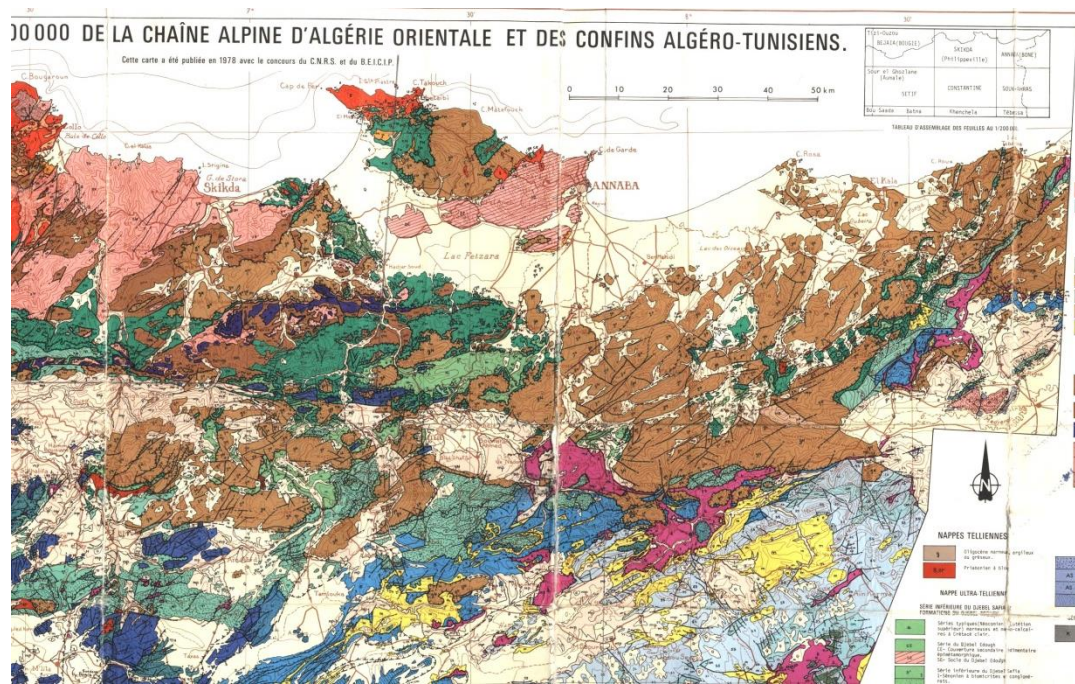


Figure 41 : Carte géologique de la région nord – Est de l’Algérie

Les couches sous-jacentes du sol de la région dans laquelle se trouve le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire Bouzegouf-Guelma-Khroub. Ces roches sédimentaires consistent en dépôts marin, lacustre et alluvien.

Quaternaire

C’est sont les sédiments qui sont déposés pendant la période Pléistocène récente apparaissent en dépôt en terrasses, sédiments alluviaux et dépôts travertinaux. Ces dépôts sont d’une épaisseur considérable et sont retrouvés dans de vastes étendues autour de Bouzegouf et de Guelma. Les sédiments consistent essentiellement en gravier, sable et limon. Les dépôts en terrasses marquent les anciennes alluvions et les sédiments fluvio-glaciaires qui forment actuellement les terrasses de la vallée.

L’épaisseur de ces dépôts varie suivant les régions de Bouzegouf, Guelma et Hammam El Meskoutine, qui est estimée à 100 m environ au-dessus du lit d’oued Seybouse.

Tertiaire

Ces formations manifestent d’une importante variation lithologique et représentent les faciès sédimentaires, marins et continentaux. On y trouve principalement l’argile avec des intercalations de grès, de marne, des galets et des cailloutis.

Parmi ces formations, on a entre- autre :

- Pliocène
- Miocène
- Oligocène
- Eocène

Le Mésozoïque

Parmi le Mésozoïque, les roches crétacées sont de loin les séries de roches dominantes dans la région d'étude. On les retrouve au Sud de Bouchegouf sous forme de brèches argilo-gypsifères. Les roches crétacées constituent le faciès marin et toutes les phases de la période crétacée ont été identifiées dans différents endroits. Les séries de roches trouvées dans la majeure partie de la région d'étude sont décrites ci-après :

- Maestrichtien
- Turonien
- Sénonien
- Cénomanién

Albien – Aptien

Ces formations sont constituées par des calcaires massifs avec des intercalations de marnes calcaires et de marnes grises.

Ces roches sont rencontrées entre El Khroub et Ain Abid où elles forment les chaînes de montagnes de Djebel Mazela, Guebela et Oum Settas et au Nord de Hammam Meskhoutine où elles forment les chaînes de montagnes de KelHahouner et djebel Debar respectivement.

6. INTERETS SOCIAUX ECONOMIQUES [8]

6.1. ANALYSE FINANCIERE

La détermination du flux monétaire nécessaire pour la construction et l'exploitation du projet est faite selon la méthode dite d'analyse financière «sommaire » qui prend en compte :

- Coûts des investissements
- Coûts d'exploitation et d'entretien des infrastructures
- Coûts d'exploitation des véhicules supportés par les opérateurs
- Recettes des gestionnaires d'infrastructure et des opérateurs de services

L'évaluation des coûts du projet est plus souvent difficile à élaborer et est caractérisée par une importante incertitude, dérivant à la fois des incertitudes techniques + ou - 30%, sans toutefois que cette fourchette revête un caractère normatif.

L'estimation des coûts d'exploitation ainsi que l'estimation des recettes est liée à la politique tarifaire arrêtée par le gouvernement en fonction de son budget.

6.2. ANALYSE ECONOMIQUE

Les grands projets en général, sont générateurs de croissance économique pour les régions ainsi que dans la création d'emploi. Ils provoquent aussi un grand impact spatial, et normalement induisent une concentration d'activité autour des gares et ont des incidences différentielles sur le territoire, qui se manifestent principalement par des variations des valeurs foncières. Les projets ferroviaires peuvent autant être le point de convergence de stratégies d'investissement plus larges.

Du point de vue de la cohésion sociale et territoriale et afin d'en optimiser son fonctionnement, le projet sera conçu de façon intégré dans le système de transport globale.

Les principaux bénéfices socio-économiques du projet sont :

- Les gains de temps pour les usagers de la ligne
- La réduction des accidents
- Les économies de coût pour les transporteurs
- La décongestion des routes
- La réduction des émissions de carbone (gaz à effet de serre)
- La réduction des émissions de polluants atmosphériques La réduction de la consommation d'énergie primaire.
- renouveler et / ou renforcer l'économie régionale et urbaine dans le corridor concerné et améliorer le prestige, l'image et l'attractivité pour les investisseurs des régions urbaines dans le corridor.

Les flux de voyageurs Wilaya de Guelma – Annaba sont les plus importants de la zone, surtout au départ de Guelma. Au-delà de Oued Zenati les distances à Annaba se font plus importantes, et c'est plutôt Constantine qui par rail pourrait présenter un attrait. Concernant les distances et les temps de parcours : la distance Guelma – Annaba par route de l'ordre de 40-50 km, tandis que par rail elle serait de l'ordre de 85 km, selon les alternatives étudiées. A noter que le tracé ferroviaire Bouchegouf – Annaba est en moyenne assez mauvais et ne permet pas de bonnes vitesses.

7. CONCLUSION

La Wilaya de Guelma constitue une région privilégiée pour l'agriculture, et disposant d'un potentiel élevé de sites touristiques. Mais ces potentialités sont sous-exploitées, en raison de différents manques dont celles en infrastructures. Cette ligne s'inscrit dans une politique d'intégration du territoire, avec un désenclavement d'une région relativement périphérique et frontalière importante.

La nouvelle ligne n'aurait qu'un attrait limité sans l'ensemble de projets de modernisation de la Rocade Nord, car ce sont ces investissements qui vont permettre de rendre très attractif le train sur les trajets longue distance entre la zone d'étude et le reste du pays.

CHAPITRE IV

Etude préliminaire

CHAPITRE IV : ETUDE PRELIMINAIRE DU TRACE

1. INTRODUCTION

Nous présentons dans ce chapitre une étude préliminaire des tracés ferroviaires proposés pour la ligne Bouchegouf – Elkhroub. Deux variantes du futur passage de la ligne ont été proposées. Les images satellite ci-dessous montrent ces deux variantes, leur élaboration est faite dans le respect des recommandations suivantes :

- suivre au maximum le relief du terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- éviter au mieux de passer sur les terrains agricoles.
- éviter si possible le franchissement des oueds afin minimiser la construction des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, si on n'a pas le choix on essaie de les franchir perpendiculairement pour réduire la longueur de la brèche.
- utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- éviter le passage de ligne sur des sols à problèmes (sols compressibles, failles géologique, zones inondables,...etc).

2. VARIANTES PROPOSEES

Le relief de notre zone d'étude est très varié, il est traversé par plusieurs oueds et plusieurs montagnes donnant place à une topographie très panachée. De plus, plusieurs routes desservissent la zone à savoir : RN 20, RN84, RN16A, RN21, RN80, RN3, RN27, RN102, RN81, RN10. Vue ces obstacles, nous avons proposé deux variantes sur certains tronçons et une seule variante commune pour le reste de la ligne ferroviaire.

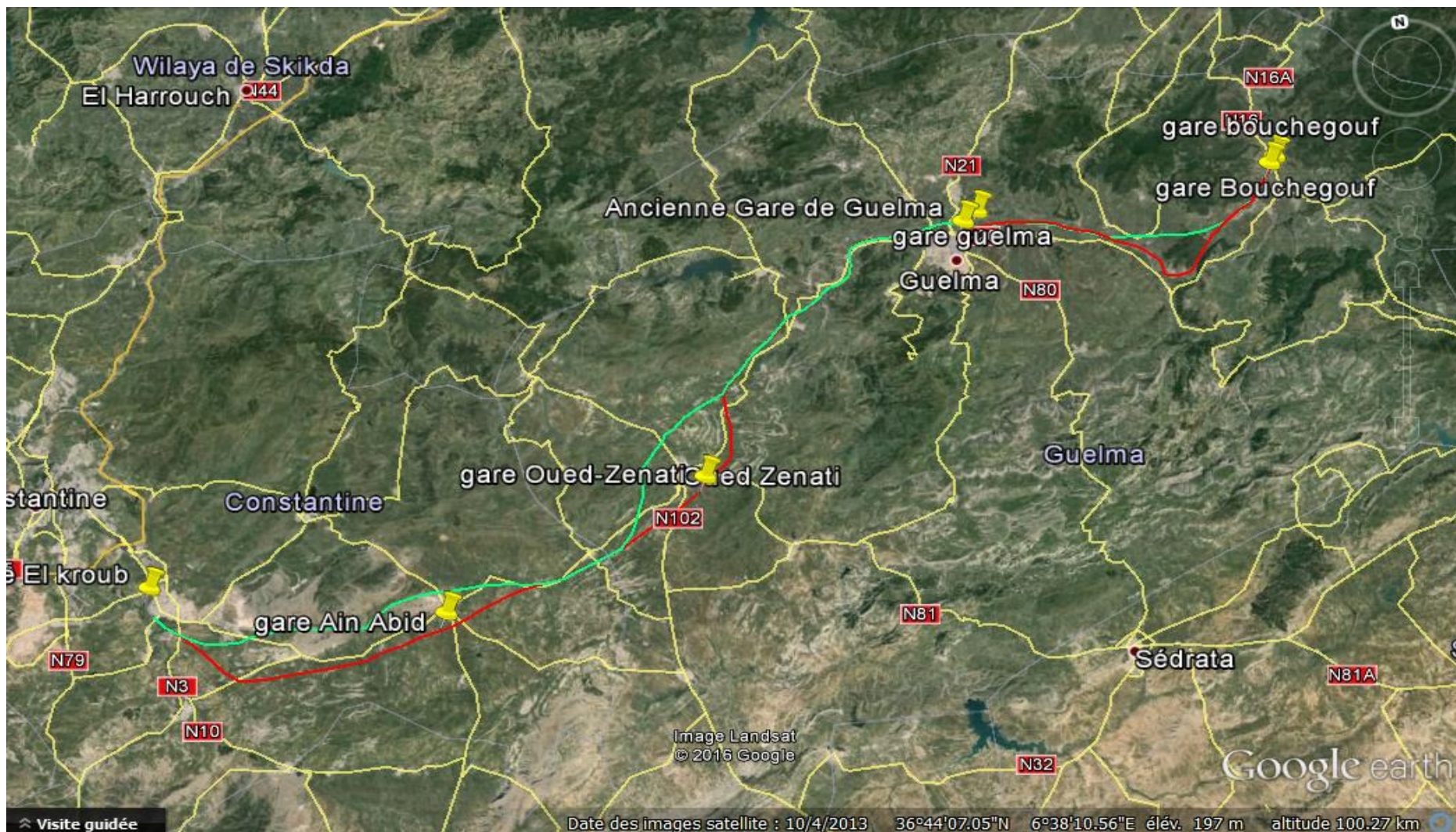


Figure 42 : Image satellite du couloir complet de ligne des deux variantes

3. DETAILS DES VARIANTES

3.1. TRONÇON ALLANT DE BOUCHEGOUF A MOUALKIA MOHAMED

L'origine de notre tracé est le PK 0+000 qui est localisé au niveau de la gare de Bouchegouf. Il passe proche du chemin de Wilaya N°128 avec une seule variante (tronçon commun) jusqu'au PK 04+297. Nous avons proposé une seule variante car le couloir est très restreint et le relief, l'oued et la présence d'habitation n'offre aucune possibilité à plusieurs propositions.



Figure 43 : Image satellite montrant le premier tronçon en sortie de la gare de Bouchegouf

3.2. TRONÇONS ALLANT DE MOUALKIA MOHAMED A DJEBALAH KHEMISSI

Après le passage de la localité de Moualkia Mohamed et exactement au PK 04+297, le tracé se divise en deux variantes. La première passe par le sud de la localité Nador en suivant l'ancien tracé ferroviaire et longeant les cotes de la RN20 avec une longueur totale de 14 km et la deuxième passe par le nord avec une longueur plus courte par rapport à la première variante (10km). Le point de jonction des deux variantes est au PK 19+000 près de la commune de Djebalah Khemissi.

Il semble que la variante 2 est plus avantageuse que la première à cause de sa longueur plus courte et un relief du terrain naturel peu vallonné.

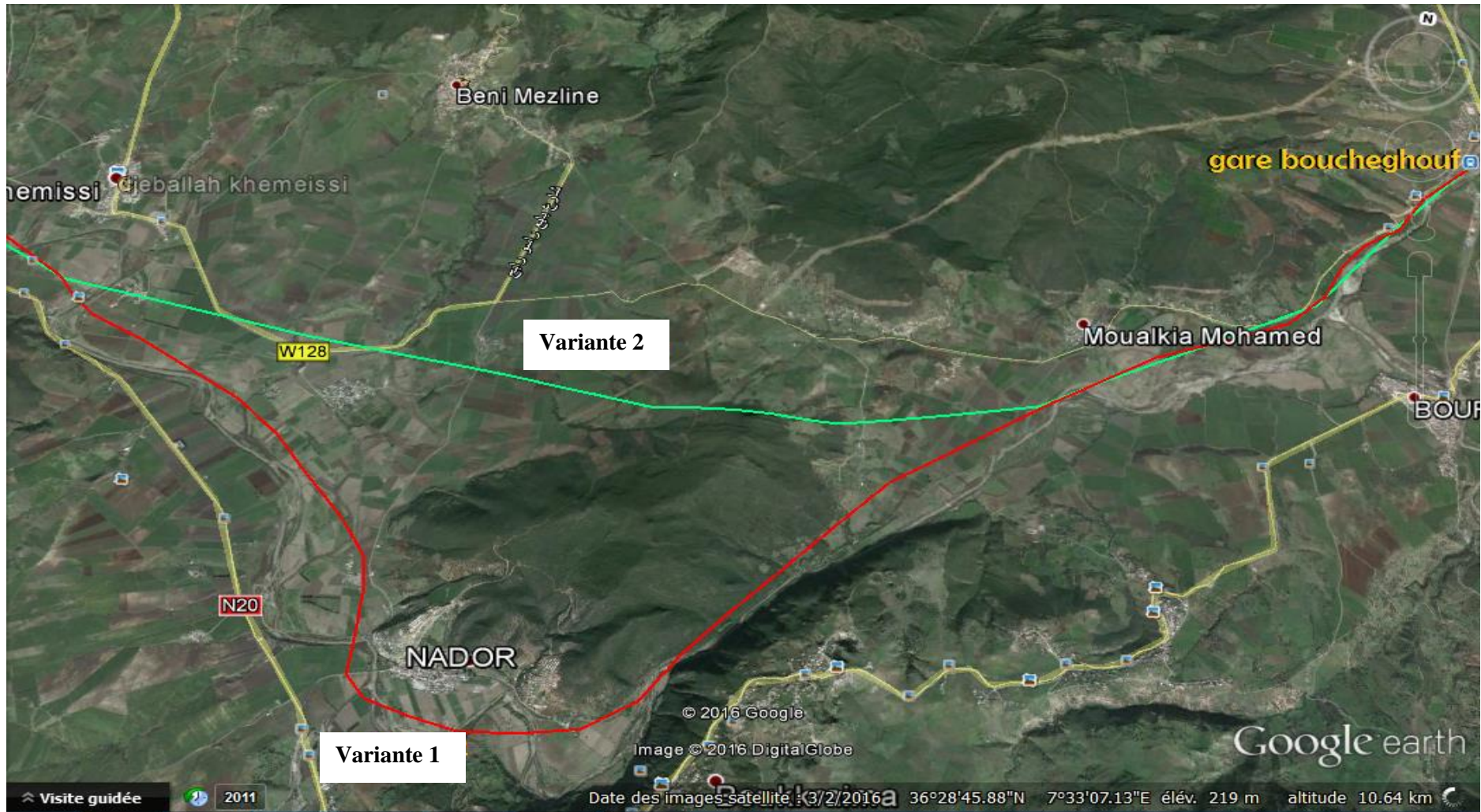


Figure 44 : Image satellite de deux variantes au niveau de Nador

3.3. TRONÇON DJEBALAH KHEMISSI – GUELMA – RAS ELAKBA

Un seul tracé commun est proposé pour ce tronçon long d'environ 40 km. Ce tronçon passe à proximité de : Boumahra, Belkheir, Guelma, Salah Salah, Medjez Amar, Houari Boumediene, Ain Amara, Sellaoua Anouna en arrivant à Ras Elakba. La topographie relativement plane de la zone entre Djebalah Khemissi et Medjez Amar a facilité le choix du couloir du tracé en évitant le passage à l'intérieur des agglomérations. Entre Medjez Amar et Ras Elakba le terrain est relativement vallonné mais il est plus avantageux de passer par cette zone par rapport au tracé de l'ancienne ligne qui traverse une zone de relief très accidentée en passant par Hammam Debagh, Bouhamdane, Bordj Sabath. Cette dernière, nécessite beaucoup de mouvement de terrain ainsi que la réalisation de plusieurs ouvrages d'art (tunnels, pont,...etc) ce qui va gonfler considérablement le portefeuille du projet.

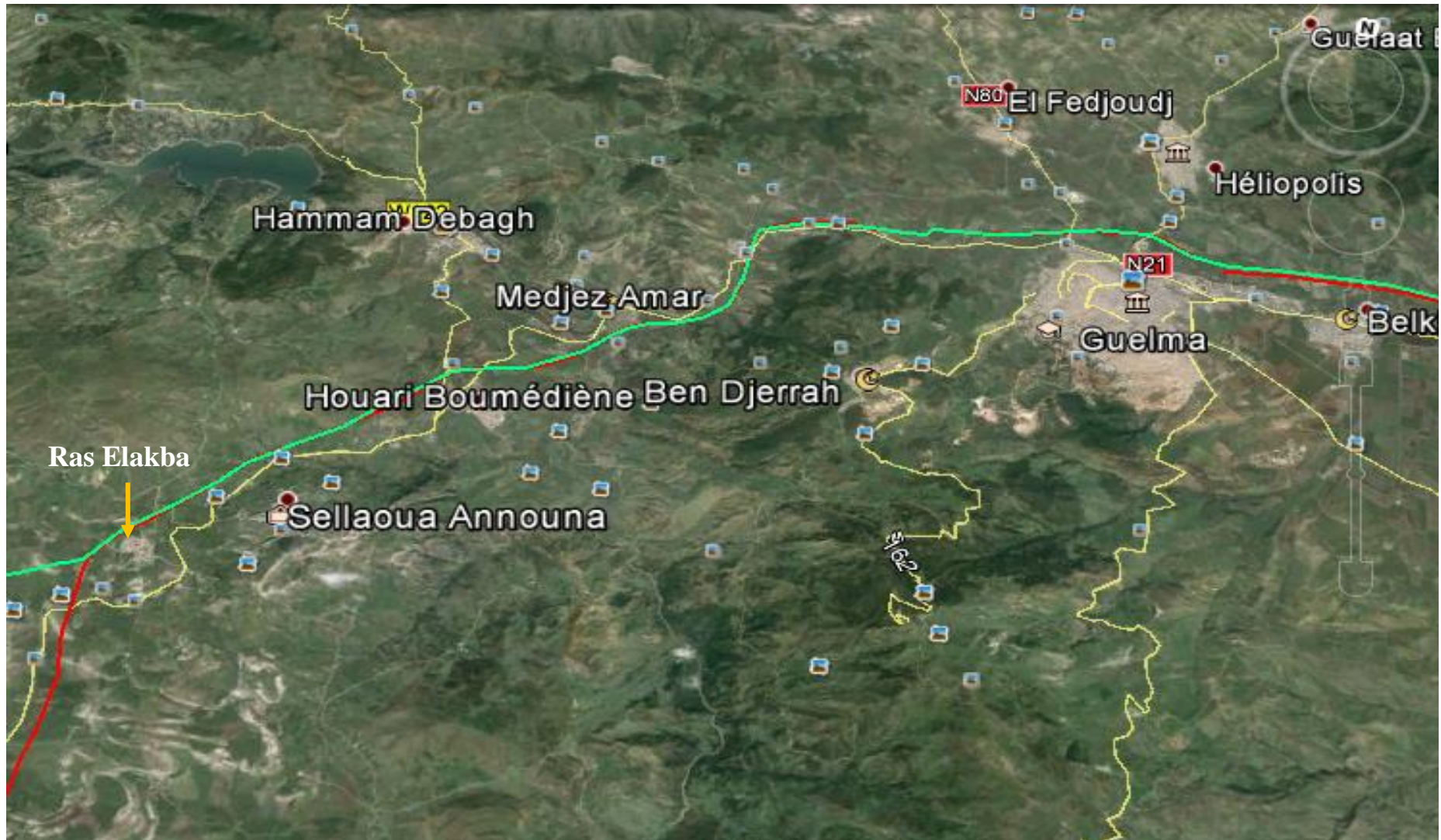


Figure 47 : Image satellite montrant le tronçon commun Djebalah Khemissi – Guelma – Ras Elakba

3.4. TRONÇON RAS ELAKBA – OUED ZENATI – AIN REGADA

Nous proposons deux variantes pour ce tronçon, la première contourne la ville de Oued Zenati par le sud et la deuxième passe par le nord. En première analyse, il semble que la deuxième variante est plus avantageuse que la première car elle passe dans un relief relativement homogène (peu de variation d'altitude) par rapport à la première variante qui contourne la ville de Oued Zenati par le sud (terrain relativement accidenté).



Figure 48 : Image satellite montrant les deux variantes au niveau de Oued Zenati

CHAPITRE IV : ETUDE PRELIMINAIRE DU TRACE

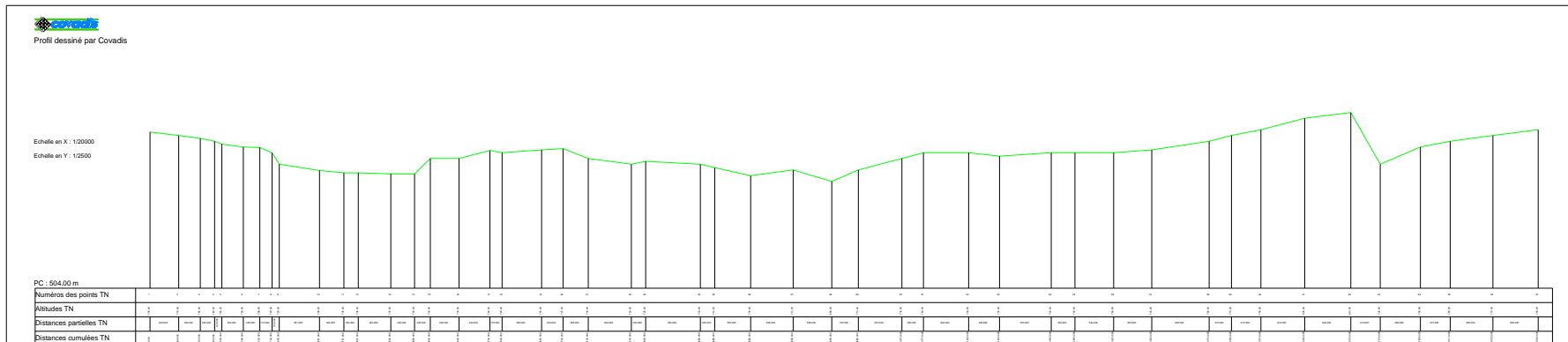


Figure 49 : Terrain naturel de la variante 1 qui passe au Nord de Oued - Zenati

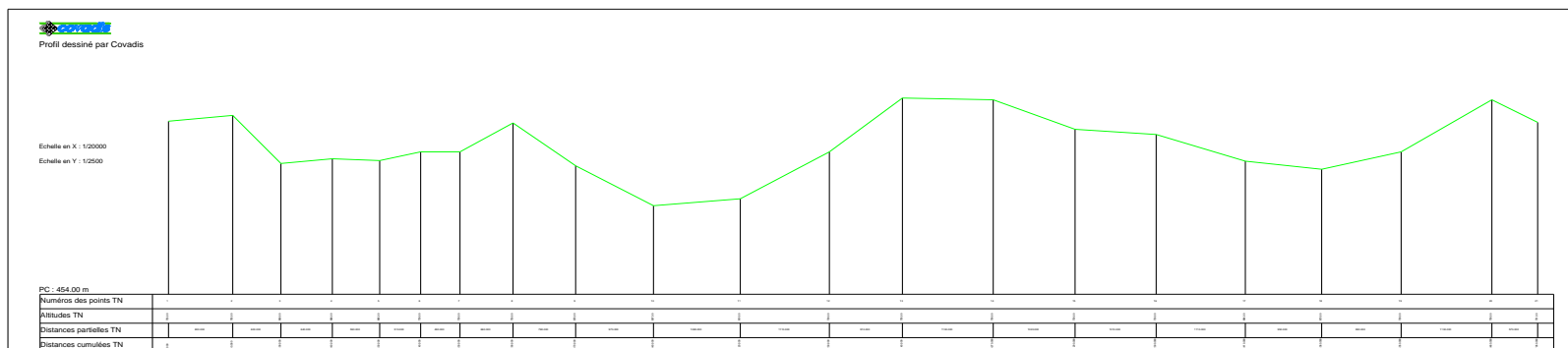


Figure 50 : terrain naturel du tronçon qui passe par le Nord de Oued Zenati

3.5. TRONÇON AIN REGADA – AIN ABID – EL KHROUB

Entre Ain Regada et Ain Abid il y a un petit tronçon commun, puis le tracé se divise en deux parties pour former deux variantes. La première passe par le sud de la ville de Ain Abid et suit la plaine jusqu'à la ville de El Khroub en passant un peu loin du complexe Naftal de stockage et de distribution du carburant de Bounouara, ce qui nécessite la réalisation d'un futur embranchement particulier pour le relier avec cette ligne. La deuxième variante passe par le nord dans un relief accidenté mais elle passe à proximité du complexe de Naftal.

Il semble que la première variante est plus avantage car elle passe dans un terrain relativement plat ce qui facilite la réalisation des terrassements et réduit le nombre d'ouvrages d'art. Cela va donc minimiser le coût global du projet.



Figure 51 : Image satellite montrant les deux variantes entre Ain Abid et Elkhroub

CHAPITRE IV : ETUDE PRELIMINAIRE DU TRACE

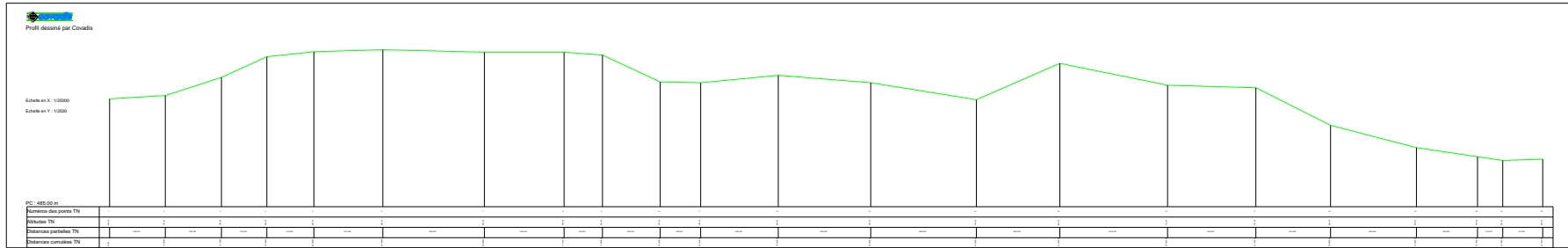


Figure 52 : Terrain naturel de la variante qui passe par le Nord de Ain Abid

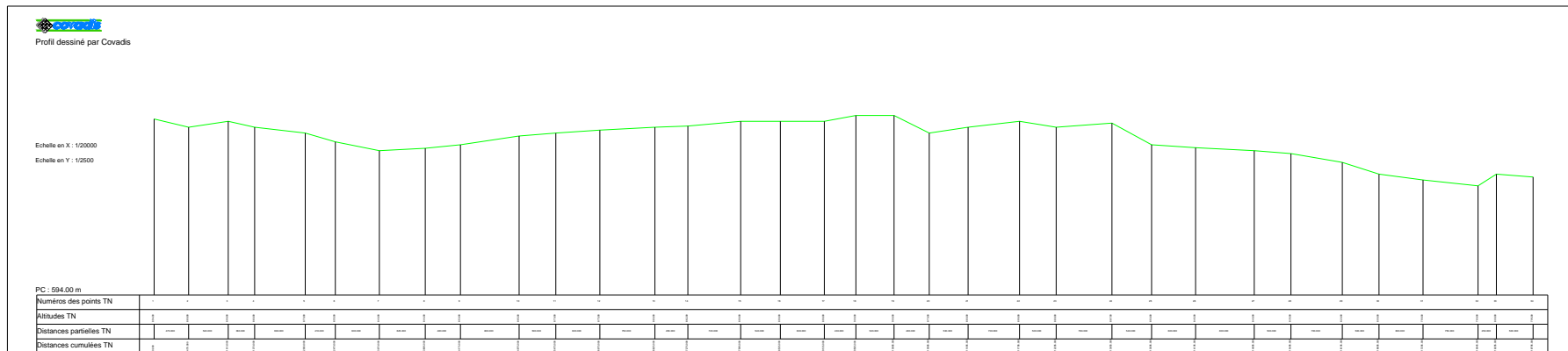


Figure 53 : Terrain naturel de la variante qui passe par le Sud de Ain Abid

4. LES GARES

Les gares sont les lieux d'arrêt des trains permettant la montée et/ou la descente des voyageurs ainsi que le transport des marchandises. Dans notre projet, nous avons définis cinq gares pour tout le trajet cela est dû en premier lieu à la position géographique des villes qui vont les abriter et de leurs importances stratégiques. Ce sont des agglomérations avec une densité de population non négligeable d'où la nécessité de faire des gares voyageurs. De plus, cette région est une zone agricole par excellence et donc ces gares seront mixtes c'est-à-dire des gares disposant d'équipements pour le chargement et le déchargement des marchandises.

Positionnement	villes	Situation
PK 00+000	BOUCHEGOUF	Mixte
PK 28+000	GUELMA	Mixte
PK 51+ 400	OUED ZENATI	Mixte
PK 78+500	AIN ABID	Mixte
PK 100+222	EL KHROUB	Mixte

Tableau 14 : Emplacement des gares

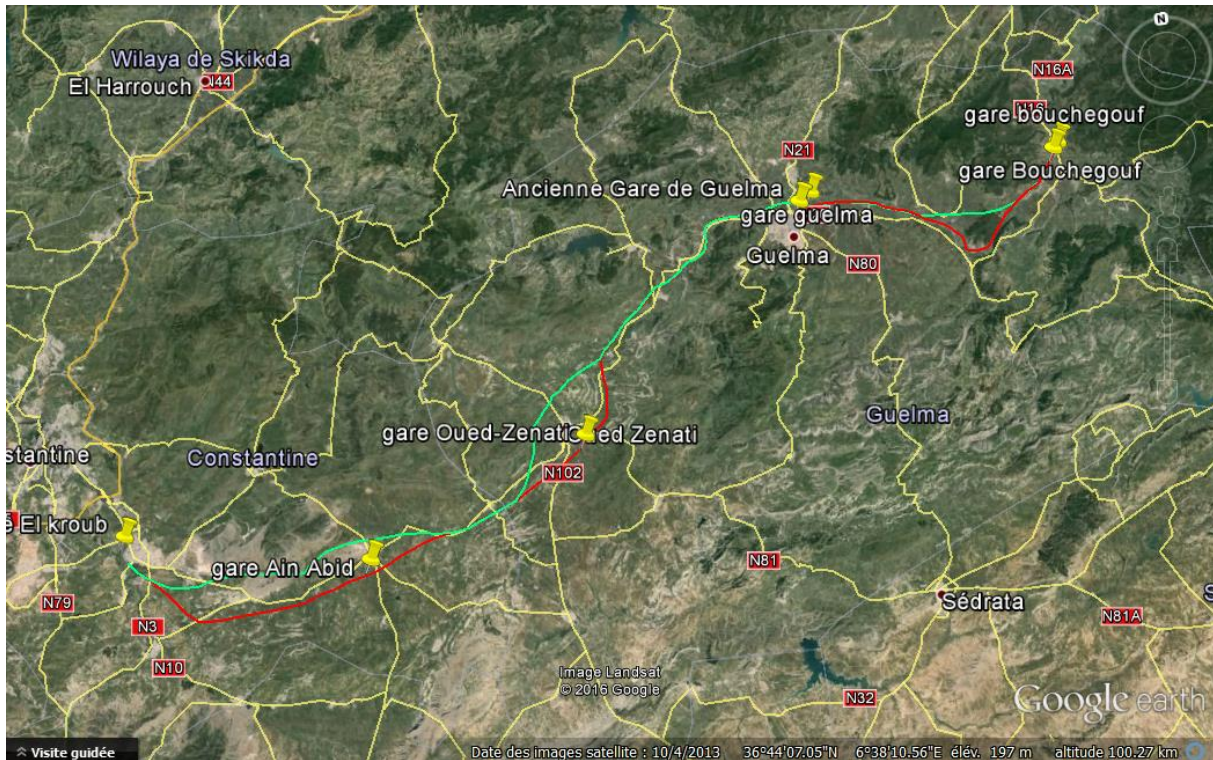


Figure 54 : image de deux tracés avec les 4 gares

5. POINTS DE CROISEMENT

Les points de croisement des trains sont des points disposant des aiguillages et de double voie permettant aux lignes au sens unique de faire passer deux trains qui viennent dans deux directions différentes. Ces points permettent d'économiser le temps nécessaire d'attente d'un train à une gare jusqu'à ce qu'un second libère la ligne. Dans ce projet, nous avons jugé utile de mettre les points de croisement afin de diminuer ce temps d'attente dans les gares.

Positionnement	Localité
PK 20 + 300	DJEBALA KHEMISSI
PK 44+000	AIN AMARA
PK 61+500	AIN REGADA
PK 78+500	AIN ABID
PK 93 + 000	BOUNOUARA

Tableau 15 : Point de croisement des trains (Haltes)

Conclusion :

Au terme de ce travail préliminaire, nous avons pu dégager deux variantes qui malgré tous ont quelques tronçon commun. Ce travail préliminaire devrait être complété par une étude d'avant-projet sommaire (APS) pour comparer les variantes et dégagé la variante la plus avantageuse en utilisant une analyse multicritères. Ce travail de l'APS n'a pas été réalisé à cause de manque de carte topographique fiable pour l'ensemble de la zone d'étude.

Néanmoins, nous avons pu avoir des levés topographiques détaillés pour la variante 1 qui relie Bouchegouf et Guelma. Ce tronçon de la ligne a fait l'objet d'une étude d'avant-projet détaillé qui sera présenté dans ce qui suit.

CHAPITRE V

AVANT PROJET DETAILLE

CHAPITRE V : AVANT-PROJET DETAILLE (APD)

1. INTRODUCTION

Le présent projet s'étend de la Wilaya de Constantine (El khroub) à la Wilaya de Guelma (Bouchegouf). Mais notre étude se situera que sur le tronçon de Bouchegouf-Guelma pour des raisons de manque de données. Cette étude a pour but de définir avec précision le détail des différents éléments du squelette du projet du tronçon étudié.

L'ensemble des résultats présentés dans ce qui suit ont été obtenus par l'application de la partie théorique présentée dans le chapitre 2 (Paramètres géométrique du tracé ferroviaire).

2. TRACE EN PLAN

C'est une projection de l'axe du projet sur le plan horizontal. Les tracés ferroviaires en plan sont composés d'alignements droits, de courbes circulaires et de courbes de raccordement.

Nous présentons dans ce qui suit les paramètres géométriques limites à respecter pour définir notre axe en plan puis élaborer ce dernier en vérifiant si ses caractéristiques respectes ou non les conditions demandés.

2.1. PARAMETRES DU TRACE A RESPECTER

2.1.1. Rayon de courbure minimal

Vu les difficultés de réalisation, d'entretien et de limitations de vitesse...etc, provoquées par le choix de courbes de faible rayon, les courbes doivent être établies avec le rayon de courbure le plus grand possible. On suppose que le futur trafic quotidien des trains marchandises sera moyen c'est-à-dire le tonnage par jour sera compris entre 25000 et 45000 dont le devers maximal est égale à 80mm. On prend la valeur nominale maximale de 150 mm pour l'insuffisance de dévers.

Exemple de calcul : $V_{\max}=160\text{km/h}$ $V_{\text{TM}}=100\text{km/h}$

$$R_{\min} = \frac{11,8(160^2 - 100^2)}{80 + 150} = 800,34 \text{ m}$$

Tableau récapitulatif ci-dessous fourni les rayons minimum pour l'ensemble du tronçon.

V_{\max} (km/h)	V_{TM} (km/h)	E_{\max} (mm)	I_{\max} (mm)	R_{\min} (m)
160,0	100,0	80,0	150,0	800,34m
110,0	50,0	80,0	150,0	492,5
100,0	45,0	80,0	150,0	409,2
80,0	35,0	80,0	150,0	265,5

Tableau 16 : Rayons minimum de l'ensemble du tracé en fonction de la vitesse

2.1.2. Longueur des raccordements

Les raccordements entre une courbe circulaire et un alignement droit ou entre deux courbes circulaires de même sens est nécessaire pour une variation progressive du dévers pratique et de l'insuffisance de dévers. Ces raccordements doivent avoir une longueur minimale telle qu'elle est défini dans le chapitre 2 (§ 2.7).

Exemple de calcul : $V_{\max} = 110\text{km/h}$, le devers est égale à 67mm

$$L = 10 * 110 * 67 * 10^{-3}$$

$$L = 73,7\text{m}$$

Vérification :

$$L = 73,7\text{m} \geq 0,4 * V_{\max} = 44\text{m} \geq 30\text{m}$$

$$L = 73,7\text{ m} < R/4 = 250\text{m}$$

2.1.3. Raccordement entre courbe et contre courbe

Il faut intercaler un alignement droit de longueur $L \geq 0,4 * V_{\max}$ entre deux courbes circulaires de sens contraire.

2.2. ELABORATION DU TRACE EN PLAN

Nous avons défini le trace en plan en utilisant les logiciels Covadis et autopiste. Les étapes réalisées sont :

- générer les données topographiques dans le logiciel Covadis,
- faire le calcul du MNT (Modèle Numérique de Terrain),
- créer un dossier Autopiste,
- tracer l'axe en plan avec des droites,
- ajouter aux droites des courbes circulaires avec des raccordements clothoïde,
- assembler l'axe en plan complet,
- définir la largeur du terrain naturel prise en compte dans le projet

Lors de l'élaboration du tracé de l'axe en plan, nous avons veillé ce que les valeurs des paramètres utilisés comme le rayon de courbure ainsi que la longueur du clothoïde soient conformes aux valeurs limites définies au départ.

2.2.1. Rayon utilisé dans le tracé

Rayon (m)	1100	500	1000	500	1100	500	1000	500
Pk	00+735 au 02+224	02+224 au 03+365	03+962	04+261	04+775	04+261 au 05+564	06+734 au 07+268	07+624
Rayon (m)	1000	500	1100	500	2000	1100	500	1100
Pk	08+566 au 09+600	10+105 au 11+924	12+609	12+923	14+514	19+539 au 23+700	24+021	27+379 au 27+708

Tableau 17 : Rayons circulaires utilisés dans le tracé en plan

2.2.2. Raccordements clothoïde utilisé dans le tracé

Paramètre A	Nombre de Clothoïde	Longueur (m)
300	13	81,818
150	7	160
300	11	160
300	11	90
200	2	90
150	2	90

Tableau 18 : Raccordements clothoïde utilisé dans le tracé en plan

2.2.3. Vitesses pratiqués pour les différents tronçons

Tronçon	Vitesse train voyageur	Vitesse train marchandise
PK : 00+000 au PK : 04+000	80 km/h	35km/h
PK : 04+000 au PK:13+150	110km/h	50km/h
PK : 13+150 au PK : 18+000	160km/h	100km/h
PK : 18+000 au PK : 21+150	100km/h	45km/h
PK: 21+150 au PK : 26+800	110km/h	50km/h
PK : 26+800 au PK : 27+997	80km/h	35km/h

Tableau 19 : Vitesses pratiqués pour les différents tronçons

2.2.4. Devers pratique à mettre en place

Ce devers tient en compte la nature et la vitesse des différents trains circulant sur la ligne en situant une fourchette admissible des exigences.

Pk	R (m) / N ^{bre}	d (mm)
PK : 00+000 au PK : 04+000 V _{max} = 80 km/h V _{TM} = 35 km/h	1100 / 2	32,5
	1000 / 2	35,7
	500 / 3	71,4
PK : 00+000 au PK : 04+000 V _{max} = 110 km/h V _{TM} = 50 km/h	1000 / 6	68,9
	500 / 8	137,8
	1100 / 2	62,6
PK : 13+150 au PK : 21+150 V _{max} = 100 km/h V _{TM} = 45 km/h	2000 / 1	28,3
	1100 / 2	51,5
PK:21+150 au PK : 24+300 V _{max} = 110 km/h V _{TM} = 50 km/h	1100 / 3	62,6
PK : 26+800 au PK : 27+997 V _{max} = 80 km/h V _{TM} = 35 km/h	1100 / 2	32,5

Tableau 20 : Dévers pratique à mettre en place pour les courbes circulaires

2.3. VERIFICATIONS DES PARAMETRES GEOMETRIQUES UTILISES

Les vérifications à effectuer pour notre tracé en plan concerne les trois paramètres suivants :

- Longueur des raccordements
- Variation du dévers dans les raccordements
- Variation de l'insuffisance de dévers dans les raccordements

Les calculs des différentes vérifications sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Le tracé en plan étant validé, il est présenté dans la figure ci-après.

CHAPITRE V : AVANT-PROJET DETAILLE (APD)

Pk	R (m)	d (mm)	I (mm)	L _{clothoïde} utilisé (m)	L _{clothoïde} minimale (m)	$\Delta d/\Delta L$ (mm/m)	$\Delta d/\Delta L$ (limite SNTF)	$\Delta I/\Delta L$ (mm/s)	$\Delta I/\Delta L$ (limite)	Commentaires
PK:00+000 au PK:004+000 V _{max} = 80 km/h V _{TM} = 35 km/h	1100	32,5	150,0	81,818	32,0	0,40	1,50	68,4	75	Conditions vérifiées
	500	71,4	150,0	160	57,1	0,45	1,50	29,6	75	Conditions vérifiées
	1000	68,9	150,0	160	75,8	0,43	1,00	42,2	75	Conditions vérifiées
PK : 04+000 au PK:13+150 V _{max} = 110 km/h V _{TM} = 50 km/h	500	137,8	150,0	160	151,6	0,86	1,00	29,0	75	Conditions vérifiées
	1100	62,6	150,0	160	68,9	0,39	1,00	43,4	75	Conditions vérifiées
	500	137,8	150,0	90	151,6	1,53	1,00	51,6	75	Conditions vérifiées
	1000	68,9	150,0	90	75,8	0,77	1,00	75,0	75	Conditions vérifiées
	500	137,8	150,0	160	151,6	0,86	1,00	29,0	75	Conditions vérifiées
PK :13+150 au PK : 21+150 V _{max} = 100 km/h V _{TM} = 45 km/h	2000	28,3	150,0	90	40,0	0,31	1,00	75,0	75	Conditions vérifiées
	1100	51,5	150,0	160	51,5	0,32	1,00	41,1	75	Conditions vérifiées
	1100	62,6	150,0	81,818	68,9	0,77	1,00	75,0	75	Conditions vérifiées

CHAPITRE V : AVANT-PROJET DETAILLE (APD)

PK:21+150 au PK :24+300 $V_{\max} = 110 \text{ km/h}$ $V_{\text{TM}} = 50 \text{ km/h}$	1100	62,6	150,0	81,818	68,9	0,77	1,00	75,0	75	Conditions vérifiées
	500	137,8	150,0	160	151,6	0,86	1,00	29,0	75	Conditions vérifiées
PK :26+800 au PK : 27+997 $V_{\max} = 80 \text{ km/h}$ $V_{\text{TM}} = 35 \text{ km/h}$	1100	32,5	150,0	81,818	32,0	0,40	1,50	68,4	75	Conditions vérifiées

Tableau 21 : tableau des vérifications des paramètres géométrique

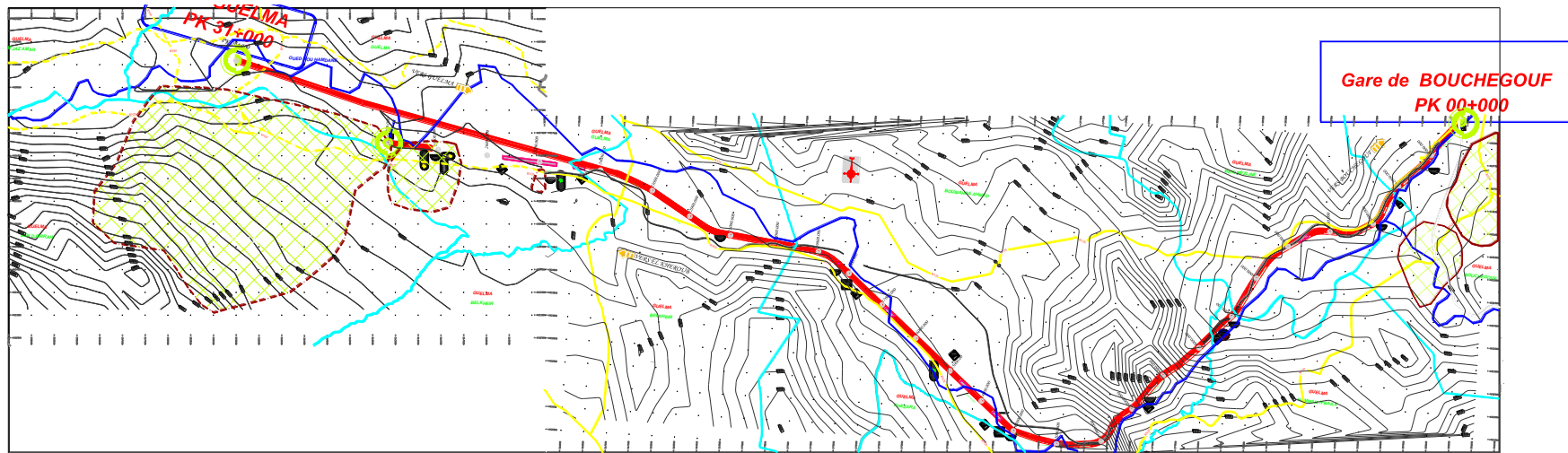


Figure 55 : tracé en plan

2.4. CALCUL D'AXE

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.

Exemple de calcul :

Ces valeurs viennent de la droite 15, du clothoïde 23, et de l'arc 14 (voir annexe 1).

$$S_0 = \{379857.728 ; 4035434.462\}$$

$$S_1 \{379544.406 ; 4035392.257\}$$

$$S_2 \{379455.050 ; 4035381.583\}$$

$$\text{Rayon} = 1000\text{m}, V_{\max} = 110\text{km/h}$$

Calcul du paramètre A :

$$A^2 = L * R$$

On sait aussi que $L \geq 1,19 * d_p$

$d_p = 67\text{mm}$ calculé un peu plus haut

$L = 79,73\text{m}$ (celui disposé dans le tracé est 90m donc vérifiant la condition)

$$\text{Donc } A = \sqrt{79,73 * 1000}$$

$A = 282,36$ (le paramètre utilisé dans le tracé est de 300)

Calcul de ΔR

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R} = 0,265\text{m}$$

Calcul des gisements :

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

$$S_0 S_1 \begin{cases} \Delta x = 313,322\text{m} \\ \Delta y = 42,205\text{m} \end{cases} \quad S_1 S_2 \begin{cases} \Delta x = 89,356\text{m} \\ \Delta y = 10,674\text{m} \end{cases}$$

$$G_{S_1}^{S_0} = \arctg \frac{|\Delta x|}{|\Delta y|} = \arctg \frac{|313,322|}{|42,205|} = 91,98 \text{ grades}$$

$$G_{S_2}^{S_1} = \arctg \frac{|\Delta x|}{|\Delta y|} + 100 = \arctg \frac{|89,356|}{|10,674|} + 100 = 192,43 \text{ grades}$$

Calcul de l'angle γ

$$\gamma = |G_{P_1}^{P_0} - G_{P_2}^{P_1}| = 100,45 \text{ grades}$$

Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{200 \cdot L}{2 \cdot R \cdot \pi} = 2,54 \text{ grades}$$

Vérification du non chevauchement :

$\gamma/2 = 50,225 \text{ grades} > \tau = 2,54 \text{ grades}$ donc pas de chevauchement.

Calcul des distances :

$$S_0 S_1 = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)} = \sqrt{(333,322^2 + 42,205^2)} = 335,983 \text{ m}$$

$$S_1 S_2 = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)} = \sqrt{(89,356^2 + 10,674^2)} = 89,991 \text{ m}$$

Caractéristique de la courbe de raccordement

$$\frac{L}{R} = \frac{79,73}{1000} = 0,0797$$

$$\frac{\Delta R}{R} = 0,000265$$

$$\frac{X_m}{R} = 0,0398$$

$$X_m = 39,86 \text{ m}$$

$$\frac{X}{R} = 0,07971$$

$$\rightarrow X = 79,71 \text{ m}$$

$$\frac{Y}{R} = 0,001059 \rightarrow Y = 1,059 \text{ m}$$

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

$$T = 39,86 + (1000 + 0,265) \text{tg}(50,225)$$

$$T = 1047,22 \text{ m}$$

Calcul de SL

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

$$S_L = \sqrt{79,71^2 + 1,059^2}$$

$$S_L = 79,71 \text{ m}$$

Calcul de σ

$$\sigma = \text{arctg} \frac{Y}{X}$$

$$\sigma = \text{arctg} \left(\frac{1,059}{79,71} \right) = 0,85 \text{ grades}$$

Calcul de l'arc

$$K_{E1}K_{E2} = \frac{[\pi * R * (\gamma - 2\tau)]}{200}$$

$$K_{E1}K_{E2} = \frac{[\pi * 1000 * (100,45 - 2 * 2,54)]}{200}$$

$$K_{E1}K_{E2} = 1497,309\text{m}$$

Calcul des coordonnées aux points singuliers

$$K_{a1} = \begin{cases} x_{ka1} = x_{S0} - (\overline{S_0S_1} - T) * \sin G_{S_1}^{S_0} \\ y_{ka1} = y_{S0} - (\overline{S_0S_1} - T) * \cos G_{S_1}^{S_0} \end{cases}$$

$$K_{a1} = \begin{cases} x_{Ka1} = 379857,728 - (335,983 - 1047,22) * \sin 91,98 \\ y_{Ka1} = 4035434,462 - (335,983 - 1047,22) * \cos 91,98 \end{cases}$$

$$K_{a1} = \begin{cases} x_{Ka1} = \mathbf{380563,1104m} \\ y_{Ka1} = \mathbf{4035523,825m} \end{cases}$$

$$K_{E1} = \begin{cases} x_{kE1} = x_{Ka1} - S_L * \cos(100 - G_{S_1}^{S_0} - \sigma) \\ y_{kE1} = y_{Ka1} - S_L * \sin(100 - G_{S_1}^{S_0} - \sigma) \end{cases}$$

$$K_{E1} = \begin{cases} x_{kE1} = 380563,1104 - 79,71 * \cos(100 - 91,98 - 0,85) \\ y_{kE1} = 4035523,825 - 79,71 * \sin(100 - 91,98 - 0,85) \end{cases}$$

$$K_{E1} = \begin{cases} x_{kE1} = \mathbf{380483,9054m} \\ y_{kE1} = \mathbf{40035514,867m} \end{cases}$$

$$K_{a2} = \begin{cases} x_{ka2} = x_{S2} - (\overline{S_1S_2} - T) * \sin G_{S_2}^{S_1} \\ y_{ka2} = y_{S2} - (\overline{S_1S_2} - T) * \cos G_{S_2}^{S_1} \end{cases}$$

$$K_{a2} = \begin{cases} x_{Ka2} = 379455,050 - (89,991 - 1047,22) * \sin 192,43 \\ y_{Ka2} = 4035381,583 - (89,991 - 1047,22) * \cos 192,43 \end{cases}$$

$$K_{a2} = \begin{cases} x_{Ka2} = \mathbf{380311,804 m} \\ y_{Ka2} = \mathbf{4034431,113 m} \end{cases}$$

$$K_{E2} = \begin{cases} x_{kE2} = x_{Ka2} - S_L * \cos(G_{S_2}^{S_1} - \sigma - 100) \\ y_{kE2} = y_{Ka2} - S_L * \sin(G_{S_2}^{S_1} - \sigma - 100) \end{cases}$$

$$K_{E2} = \begin{cases} x_{kE2} = 380563,1104 - 79,71 * \cos(192,43 - 100 - 0,85) \\ y_{kE2} = 4035523,825 - 79,71 * \sin(192,43 - 100 - 0,8) \end{cases}$$

$$K_{E1} = \begin{cases} x_{kE2} = \mathbf{380552,598m} \\ y_{kE2} = \mathbf{4035444,811m} \end{cases}$$

NB : Le résultat automatique complet du calcul d'axe est joint en annexe 1.

3. TRACE EN PROFIL

C'est une coupe verticale passant par l'axe de la voie ferrée qui permet de visualiser le tracé dans le sens longitudinal. Le tracé en profil d'une ligne ferroviaire est constitué de plan composé de paliers, des pentes et des rampes raccordés par des courbes verticales.

3.1. PARAMETRES DU TRACE A RESPECTER

Les paramètres du tracé en profil projeté doivent respecter les conditions suivantes :

- La déclivité maximale à ne pas dépasser est de 30‰.
- Lorsque la variation de déclivité atteint 2mm/m, une courbe de raccord vertical est insérée entre les deux déclivités différentes.
- Les rayons des courbes verticales doivent être $\geq 5000\text{m}$ lorsque $V \leq 100 \text{ km/h}$ et $\geq 10000\text{m}$ lorsque $V > 100 \text{ km/h}$.
- En cas de terrain difficile (cas de montagnes) $R_{\min} = 550 + 20 \cdot V_{\max} \geq 2000\text{m}$ (pour $V_{\max} \leq 100\text{km/h}$)

Exemple de calcul :

Cas de $V_{\max} = 80\text{km/h}$

$$R_{\min} = 550 + 20 \cdot 80$$

$$R_{\min} = 2150\text{m} \geq 2000\text{m}$$

$$\text{Si } V_{\max} > 100\text{km/h} \rightarrow R_{\min} = \frac{V_{\max}^2}{4}$$

Exemple de calcul :

Cas de $V_{\max} = 110\text{km/h}$

$$R_{\min} = 110^2 / 4 = 3025\text{m}$$

Vitesses (km/h)	Rmin minimum (m)	Rmin minimum en montagne (m)
160	10000	6400
110	10000	3025
100	5000	2550
80	5000	2150

Tableau 22 : Rayons minimaux verticaux

3.2. ELABORATION DU TRACE EN PROFIL

L'élaboration du tracé en profil a été réalisée à l'aide des logiciels Covadis et Autopiste en complément du travail déjà effectué pour le tracé en plan. Les étapes sont les suivantes :

- après avoir terminé le tracé en plan, on construit le tracé profil sur la commande dessin du profil en long.

- définir la ligne du projet avec des droites,
- raccorder les droites avec des raccordements circulaires.
- enfin, assembler la ligne du projet et mentionner les Oueds et les ouvrages sur le tracé en profil.

3.2.1. Déclivités et rayons verticaux utilisés en tracé en profil

PK	Déclivité (‰)		longueur	Rayon de raccordement
	Pentes	rampes		
00+000 à 04+863	-	2,1	4863.607m	15000m
04+832 à 07+361	-	25,7	1756.570m	15000m
07+361 à 08+329	-	24,2	968.951m	15000m
08+329 à 09+684	-	3,2	1354.202m	15000m
09+684 à 11+368	-22,9	-	998.373m	15000m
11+368 à 12+462	-15,3	-	1110.351m	15000m
12+462 à 18+196	-	3,2	5733.711m	15000m
18+196 à 19+514	-	12,9	931.810m	15000m
19+514 à 20+631	-	10,2	1116.390m	15000m
20+631 à 21+783	-4,0	-	1031.099m	15000m
21+783 à 24+184	-	9,9	2400.902m	15000m
24+184 à 26+451	-	18,7	1707.684m	15000m
26+451 à 27+996	-15,5	-	1311.212m	15000m

Tableau 23 : Rayons des déclivités mises en place

NB: les rayons utilisés sont en accord avec les rayons à respecter, donc nous pouvons dire que le tracé en profil respecte les règles de conception.

Le tracé réalisé est présenté dans la figure ci-dessous.

4. PROFIL EN TRAVERS

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe perpendiculaire à l'axe de la voie par un plan vertical. La ligne projetée est à voie unique avec une éventualité de doublement de voie.

Le projet traverse quelques fois des zones inondables dont la surélévation de la voie ou le passage en remblais est la solution la plus convenable afin de protéger la plateforme, mise à part quelques tronçons où le projet passe en déblais.

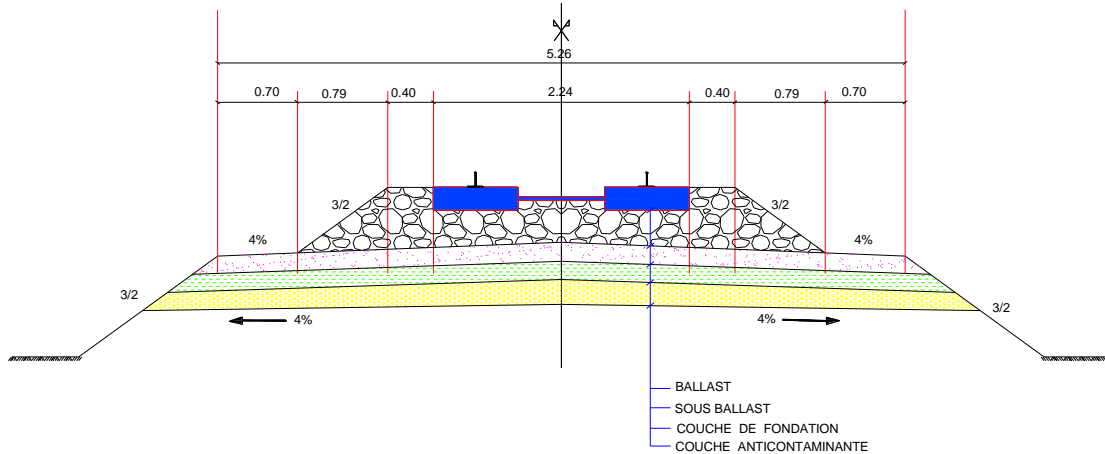


Figure 56 : Profil en travers type pour ligne à sens unique

5. CALCUL DES CUBATURES

Les cubatures sont l'évaluation des cubes de déblais et de remblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet.

Les profils en long, les profils en travers et les distances entre les profils permettent de faire cette évaluation.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes remblai-déblai dont :

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

Dans ce travail, nous avons utilisé la méthode de **la moyenne des aires**.

5.1. DESCRIPTION DE LA METHODE DES AIRES

Le principe de la méthode de la **moyenne des aires** est de calculer le volume compris entre deux profils successifs par la formule suivante :

$$V = \frac{H_m}{6} * (S_1 + S_2 + 4 * S_m)$$

H_m : hauteur moyenne entre deux profils ; S_m : surface limitée à mi- distances des profils.

S_1 : surface de profil en travers P1 ; S_2 : surface de profil en travers P2.

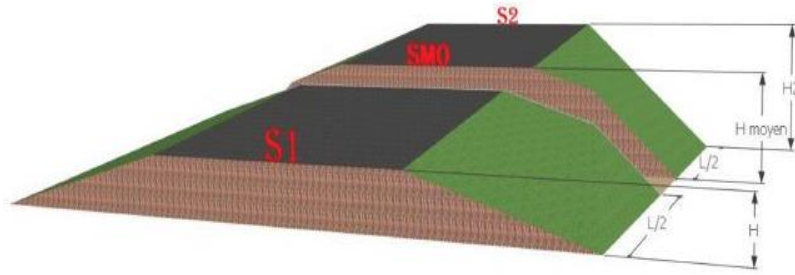


Figure 57 : Les sections des profils en travers d'un tracé donné

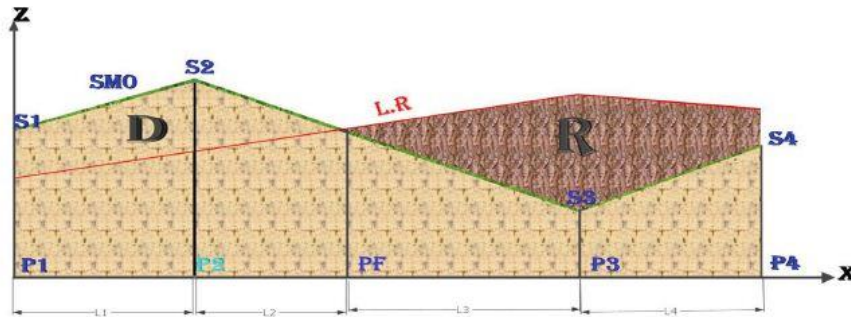


Figure 58 : Les positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné

5.2. EXEMPLE DE CALCUL :

Pour le cas des figures présentées précédemment.

$$V_i = \frac{l_i}{6} * (S_i + S_{i+1} + 4 * S_m) \text{ avec } S_m = \frac{1}{2} * (S_i + S_{i+1})$$

$$\text{Entre P1 et P2 : } V_1 = \frac{l_1}{2} * (S_1 + S_2)$$

$$\text{Entre P2 et PF : } V_2 = \frac{l_2}{2} * (0 + S_2)$$

$$\text{Entre PF et P3 : } V_3 = \frac{l_3}{2} * (S_3 + 0)$$

$$\text{Entre P3 et P4 : } V_4 = \frac{l_4}{2} * (S_3 + S_4)$$

$$V_{\text{Total}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

Le résumé de calcul de cubature automatique figure dans le tableau ci- dessous :

Profil		Nombre de sections	Longueur (m)	Volumes (m ³)	Volume total (m ³)	
Déblais		322	16075	725562	déblais	remblais
Remblais		226	11271,08	208826,583	725917,217	209154,094
Mixtes	déblais	13	650	335,217		
	remblais			327,494		

Tableau 24 : Tableau récapitulatif des valeurs de déblais et remblais

NB : Les résultats de calcul des cubatures sont joints en annexe 3.

6. OUVRAGES D'ART

La wilaya de Guelma est traversée par l'Oued Seybouse qui croise le tracé en plusieurs points ce qui constitue des obstacles mais comme ce sont des écoulements naturels, il faut prévoir des ouvrages afin d'éviter d'altérer le lit.

La démarche de conception des ouvrages d'art sera basée sur l'identification des ouvrages les plus adaptées aux conditions du site et de service, en couvrant tous les aspects à savoir la sécurité, le confort, l'économie et l'esthétique.

6.1. DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE DES OUVRAGES D'ART

Le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées comme le type d'obstacle, la longueur de la brèche, les exigences techniques etc....

Les ouvrages d'art seront dimensionnés pour supporter de façon sécuritaire l'ensemble des actions permanentes, surcharges d'exploitation dues au trafic ferroviaires et routières, actions sismique et climatique. Les effets de freinage-démarrage, dynamique, centrifuge seront également pris en compte.

On distingue cinq (5) catégories d'ouvrages d'art :

- Ponts et viaducs ferroviaires
- Ponts routes
- Trachées couvertes
- Murs de soutènements
- Dalots

6.2. OUVRAGE HYDRAULIQUE

L'ouvrage concerne les points suivants: PK 04+855 au PK 04+861.

Les ouvrages hydrauliques sont des ouvrages utilisés pour le franchissement des petits écoulements où le débit hydraulique ne nécessite pas un pont. Pour notre cas, nous utiliserons un dalot qui désigne un petit canal recouvert d'une dalle.

Avantage :

- Economique du point de vue de consommation des matériaux.
- Le coffrage est standard.
- Nécessite un entretien réduit
- Il peut être préfabriqué.

Inconvénient :

- Consomme plus de béton et d'acier par rapport aux buses métalliques.
- nécessite une opération de nettoyage avant chaque période de pluie.



Figure 59 : Image d'un dalot sur un projet en cours de réalisation

6.3. PONTS A POUTRES PRECONTRAINTES [9]

L'ouvrage concerne les points suivants: PK 13+000 au PK 13+050 et du PK 14+384 au PK 14+434 ; PK : 16+957 au PK : 17+007.

Les ponts à poutres préfabriquées en béton précontraint ont été largement utilisés dans la gamme des ponts de moyenne portée. L'ouvrage, comportant une succession de travées indépendantes et le tablier est constitué de poutres longitudinales de hauteur constante, qui sont solidarisiées entre elles par des entretoises et un hourdis de faible épaisseur supportant la chaussée. Les poutres sont le plus souvent parallèles, équidistantes et comportent une large table de compression. Pour notre projet, nous proposons ce type de pont avec deux travées de 25m et une largeur de 12,80m.

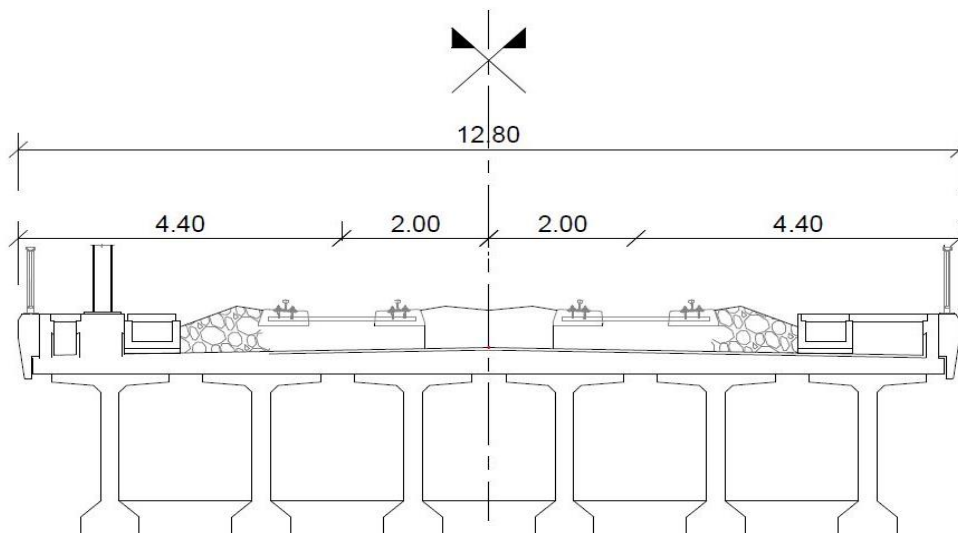


Figure 60 : Coupe transversale type tablier poutres précontrainte

Avantage :

- très adapté au franchissement en viaduc de brèches importantes, en longueur ou en hauteur, et aux sites difficiles d'accès.
- en dessous de 30m, les tabliers en dalle précontrainte ou les tabliers à poutres précontraintes par adhérence deviennent plus économiques.

- son mode de construction qui permet d'éviter le recours aux cintres s'appuyant sur le sol.
- Le recours à la préfabrication apporte un intérêt évident, tant sur le plan technique que sur le plan économique.

Inconvénient :

L'épaisseur relativement importante du tablier en comparaison avec d'autres structures précontraintes (ponts-dalles, ponts-caissons) peut poser des problèmes de gabarit et entraîner un surcoût des remblais d'accès à l'ouvrage.

6.4. PONT EN POUTRE-CAISSON [9]

L'ouvrage concerne les points suivants: PK : 11+986 au PK : 12+486 ; PK : 24+450 au PK : 24+740.

C'est un ouvrage dont la rigidité à la torsion est assurée par un tablier constitué d'un ou plusieurs caissons creux. Il offre une meilleure résistance à la torsion. Le tablier du pont est en béton et il est mis en place sur des cintres provisoires qu'on déplace à l'issue du décoffrage ou bien construit en encorbellement dans le cas d'un caisson préfabriqués.

Dans notre cas, on propose des ponts en poutre-caissons préfabriqués des 100 m de travées.



Figure 61 : Image d'un pont en caisson

Avantage :

Possibilité de construire des caissons de taille importante puisqu'un caisson bicellulaire permet d'utiliser des hourdis plus épais, donc plus résistants, possibilité qui donne par là-même à des portées plus importantes.

Inconvénient :

Les caissons sont plus coûteux à la construction et leur maintenance plus délicate, par ce qu'elle nécessite de faire intervenir les équipe d'entretien dans l'espace souvent réduit qu'offre l'intérieur du caisson.

6.5. TUNNEL [10]

L'ouvrage concerne les points suivants: PK : 07+850 au PK : 09+600.

Un tunnel est un ouvrage souterrain qui doit au moins deux fois plus long qu'il n'est large. Il doit être fermé de tous les côtés, excepté à chacune de ses extrémités, ce qui le différencie

d'un passage en tranchée. Donc le tunnel est une galerie souterraine livrant passage à une voie de communication.

Le tracé de ce projet rencontre un obstacle qui est la Montagne dont la possibilité la plus rentable est de creuser un tunnel de 1750m de long.



Figure 62 : Tunnel ferroviaire

6.6. OUVRAGES A REALISER

Après l'analyse du tracé en profil et en fonction des contraintes et des obstacles à franchir, nous avons choisi les ouvrages suivants (voir tableau ci-après).

N°	PK	Obstacle franchi	Type d'ouvrage	longueur	Nombre travées	largeur
01	04+855	oued	Ouvrage hydraulique (dalot)	7m	-	12,80m
02	07+850	montagne	tunnel	1750m	-	D=15m
03	11+986	oued	pont en poutre-caisson mixte	500m	5	12,80m
04	13+000	oued	Pont à poutre précontraintes	50m	2	12,80m
05	14+384	oued	Pont à poutre précontraintes	50m	2	12,80m
06	16+957	oued	Pont à poutre précontraintes	50m	2	12,80m
07	24+450	oued	pont en poutre-caisson mixte	300m	3	12,80m
08	24+980	oued	pont en poutre-caisson mixte	800m	8	12,80m

Tableau 25 : Tableau récapitulatif des ouvrages

7. DIMENSIONNEMENT DU TRONÇON BOUCHEGHOUF- GUELMA

7.1.HYPOTHESE 1 :

On considère que la classe de sol est B₅ c'est-à-dire sol sableux et graveleux avec fines.

D'après le tableau de classification on a les caractéristiques suivantes :

- $D_{max} \leq 50$ mm
- Passant à 0.08 mm entre 12 et 35%
- Passant à 2mm > 70%

- $VBS \leq 1.5$
- $I_p \leq 12$

Les conditions climatiques : temps de la saison printanière → sol dans un état hydrique moyen.

D'après ces données, le tableau nous donne un sol support de **classe S₁**

Epaisseur de couche de forme :

Lorsque la couche de forme est normale, l'épaisseur d'après le tableau du dimensionnement est :

$$E_{cf} = 0.30 \text{ m}$$

Finalement la classe de portance plateforme est **P₁**.

Epaisseur minimale de plateforme :

Dans ce projet, la vitesse est de 160 km/h donc et d'après le tableau de dimensionnement l'épaisseur du ballast est :

$$E_{ballaste} = 0.25 \text{ m}$$

On utilise des traverses bibloc, le tableau nous donne l'épaisseur de la sous-couche :

$$E_{sc} = 0.5 \text{ m}$$

Il faut intercaler un géotextile entre la couche de forme et la couche de fondation.

L'épaisseur totale de la plateforme est égale à **1,05m**

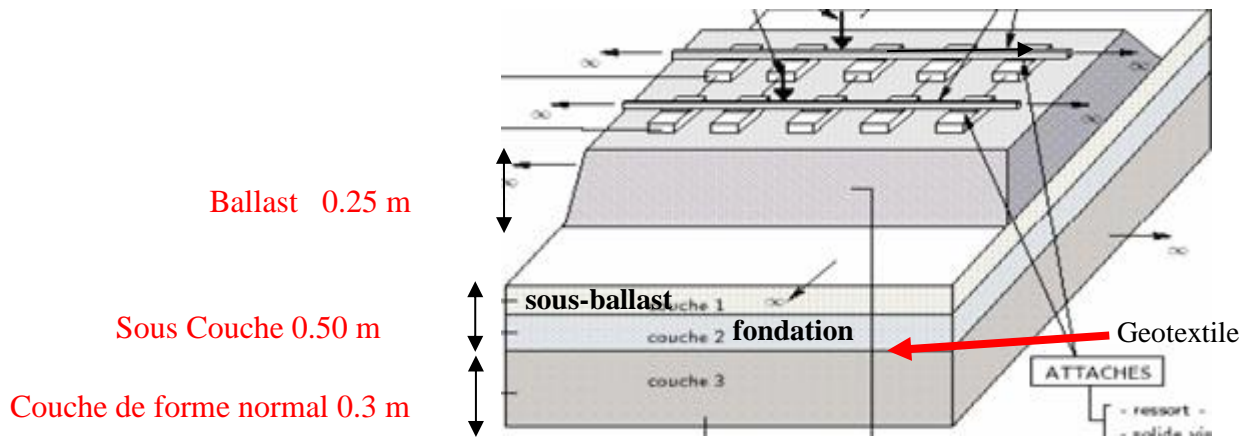


Figure 63 : Plateforme de l'hypothèse 1

7.2. HYPOTHESE 2 :

Dans ce dimensionnement, le sol support est considéré comme un sol fin de **classe A₂** en réutilisation :

- $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$
- Passant à 0.08 mm > 35% ; et $12 < I_p \leq 25$

- Condition climatique : pendant l'été

D'après ces paramètres, on est en présence d'un sol de **classe A2s**.

La classe de qualité en place est **S2**.

Epaisseur de couche de forme :

Lorsque la couche de forme est normale, le tableau nous donne l'épaisseur de :

$$E_{cf} = 0.3 \text{ m}$$

La classe de portance est **P₂**.

Epaisseur minimale de plateforme :

D'après le tableau l'épaisseur du ballaste est :

$$E_{ballaste} = 0.35 \text{ m}$$

Epaisseur de sous-couche est :

$$E_{sc} = 0.3 \text{ m}$$

L'épaisseur totale de la plateforme est égale à **0,95m**

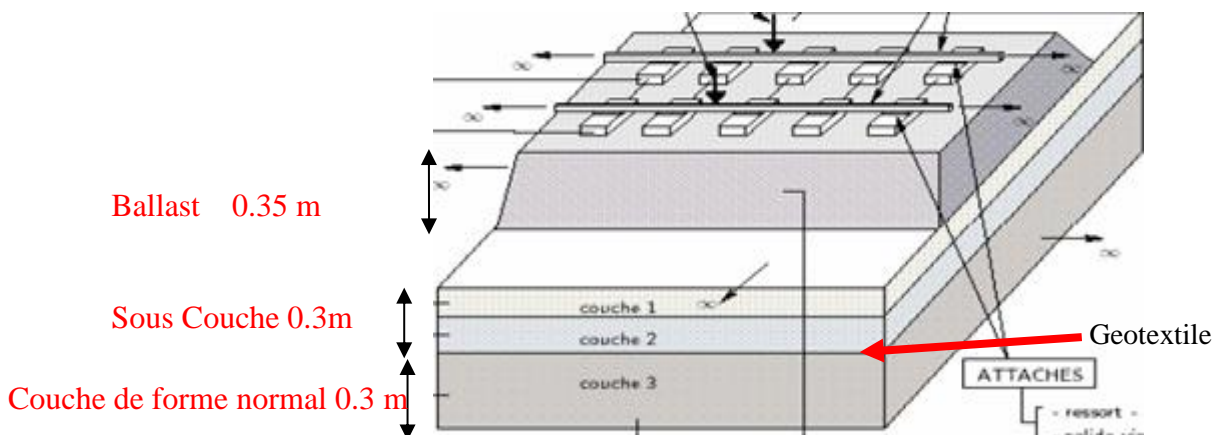


Figure 64 : Plateforme de l'hypothèse 2

7.3. HYPOTHESE 3 : PLATEFORME ROCHEUSE

On considère que la roche sur place est un calcaire de densité moyenne :

- $MDE > 45$ et $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- $LA + MDE > 80$
- Roche déstructurée par défonçage (épaisseur 30 cm)

Epaisseur minimale de la sous-couche :

Le tableau de dimensionnement nous donne :

$$E_{sc} = 0.20 \text{ m}$$

L'épaisseur de couche de ballaste d'après le tableau est :

$$E_{ballast} = 0.25 \text{ m}$$

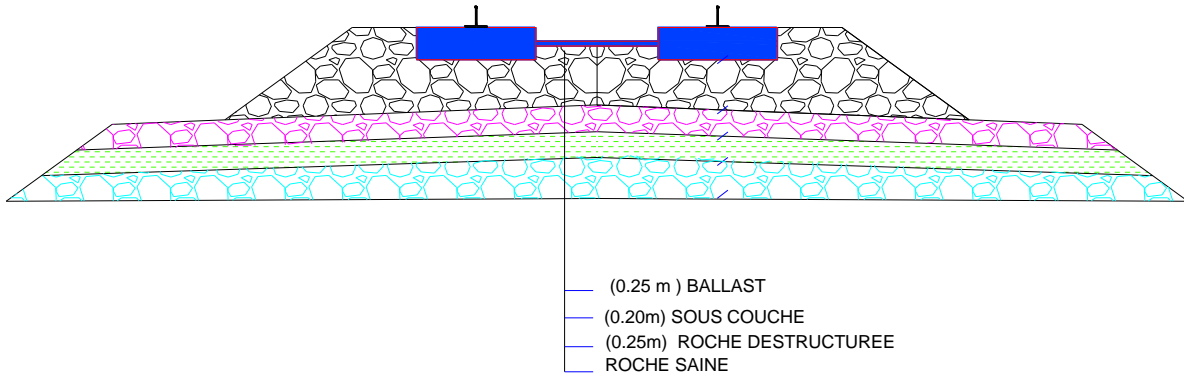


Figure 65 : dimensionnement de la plateforme rocheuse

8. L'ASSAINISSEMENT [11]

L'assainissement est l'ensemble des techniques utilisés pour résoudre le problème de la collecte et l'évacuation des eaux superficielles et des eaux internes sur l'emprise de la plateforme ferroviaire mais aussi ceux de rétablissement des petits écoulements naturels qui devraient se faire sur l'infrastructure ferroviaire ne s'était pas implanté.

8.1. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DES OUVRAGES

8.1.1. Contrainte hydraulique

Les contraintes hydraulique au quelle l'infrastructure doit être soumise sont essentiellement des contraintes de pentes moyennes inférieures pour éviter de générer les fortes vitesses d'écoulement des eaux capable de produire l'érosion de la plateforme. Dans les zones où l'on désire éviter les infiltrations, il est recommandé de mettre en place des ouvrages hydrauliques revêtus.

8.1.2. Assainissement de la plateforme

L'assainissement de la plateforme doit assurer :

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

8.1.3. Données pluviométriques

La région Guelma est régie par un climat méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche avec une saison froide, humide et pluvieuse.

Les pluies sont importantes en automne et en hiver, elles tombent d'octobre à Mai avec un maximum en Novembre et un autre en Février.

Les données pluviométriques nous ont été estimées comme suit :

- **Pluie moyenne journalière $P_j \approx 50$ mm.**
- **L'exposant climatique $b = 0.36$**
- **Le coefficient de variation climatique $C_v = 0,37$**

Superficie des bassins versant :

Calcul des précipitations maximales journalières de fréquence donnée P (%) :

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

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

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

Fréquence	Période de retour (ans)	Variable de GAUSS
0.1	10	1.282
0.2	50	2.057
0.01	100	2.327

Tableau 26 : valeur de variable de Gauss

8.2. APPLICATION AU PROJET :

$$P_j(\%) = \frac{50}{\sqrt{0.37^2 + 1}} e^{1.282\sqrt{\ln(0.37^2+1)}}$$

$P_j = 27.50$ mm

8.2.1. Estimation de débit d'apport Q_a

$Q_a = K \cdot C \cdot I_t \cdot A$ selon la méthode rationnelle

K : coefficient qui permet la conversion des unités (mm/h en l/s). **K= 0.2778.**

I_t : intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).

C : coefficient de ruissellement.

A : aire du bassin versant (m²)

8.2.2. Détermination de l'intensité de la pluie I_t

$$I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^\beta \quad \text{avec} \quad \beta = b - 1$$

I : Intensité de la pluie (mm/h).

T_c : temps de concentration (h).

$$I = \frac{P_j}{24} \quad \text{avec : } P(j) : \text{Hauteur de la pluie de durée } T_c \text{ (mm).}$$

8.2.3. Coefficient de ruissellement

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

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

Tableau 27 : valeurs de coefficients de ruissèlement

8.2.4. Intensité de la pluie

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

Hauteur de la pluie journalière maximale annuelle :

$$P_j(\%) = \frac{P_{jMOY}}{\sqrt{Cv^2+1}} \times \sqrt{\exp(Cv^2 + 1)}$$

PJ moy : pluie journalière moyenne (mm).

CV : Coefficient de variation.

U : variable de gauss il est de 1.282 pour une période de retour de 10 ans.

Ln : log Népérien.

8.2.5. Calcul de l'intensité de l'averse

$$P(t) = p_j \cdot (TC/24)^b$$

Avec :

Pj : Hauteur de la pluie journalière (mm)

Pt : pluie journalière maximale annuelle.

b : Exposant de climatique.

TC: Temps de concentration (heure).

8.2.6. Débit de saturation

Le débit de saturation est donné par la formule de Manning- Strickler :

$$Q_c = K_s \times I^{1/2} \times R^{2/3} \times S$$

Avec Ks avec coefficient de STRICKLER

- K_s= 30 paroi en terre
- K_s = 70 paroi en bétons (dalot)

- $K_S = 80$ pour en bétons (buse préfabriquées)

Rh: rayon hydraulique (m). $Rh = S / P$.

J: la pente moyenne de l'ouvrage

8.3. DIMENSIONNEMENT DES FOSSES

La section transversale des fossés peut avoir de diverses formes, les plus utilisées en Algérie sont de forme trapézoïdale et triangulaire.

Les dimensions des fossés sont obtenues en écrivant l'égalité du débit d'apport et débit d'écoulement au point de saturation.

Calcul de la surface mouillée:

$$S_m = bh + 2 \frac{eh}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \quad \text{d'où } e = n.h$$

$$S_m = bh + n.h^2 = h. (b + n.h)$$

$$S_m = h. (b + n. h)$$

Calcul du périmètre mouillé :

$$P_m = b + 2.C$$

D'après PYTAGORE:

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \quad \text{d'ou } e = n.h$$

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

$$\text{Donc : } P_m = b + 2.h. \sqrt{n^2 + 1}$$

$$R = \frac{S_m}{P_m}$$

A la saturation, la débit max est :

$$Q_{\max} = K.I^{1/2}.S_m.R^{2/3}$$

•

$$Q_{\max} = 1.226 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pour le la Calcul de dimensionnement, on fixe les valeurs suivantes:

b= 30 et K= 70

ET d'après la méthode par iteration on a trouvé:

H ≈ 25 cm

Donc par precaution, on prend :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{b = 30 \text{ cm}} \\ \mathbf{H = 30 \text{ cm}} \end{array} \right.$$



Figure 66 : Fossé dimensionnée

9. SIGNALISATION [12]

La signalisation ferroviaire est l'ensemble des signaux conventionnels du réseau ferré, destinés à assurer la sécurité des usagers du rail.

Dans ce projet on propose d'utiliser le système européen de surveillance du trafic ferroviaire (European Rail Traffic Management System ERTMS). Ce système a permis l'harmonisation de la signalisation ferroviaire européenne.

9.1. ROLE 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).



Figure 67 : Exemple d'une signalisation lumineuse

9.2. 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 ligne, 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.

9.3. LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME GENERAL

La gestion optimale de la circulation dans les grands centres ferroviaires comme sur les lignes se fait par un système automatique informatisé et centralisé. Les numéros des trains, identifiés à la périphérie d'une zone équipée, sont affichés sur un écran et/ou sur un tableau de contrôle optique classique. En progressant, les trains actionnent sur le terrain des localisateurs qui font déplacer les numéros sur le support de visualisation et en fonction de son avancement les signaux se déclenchent sur le trajet.

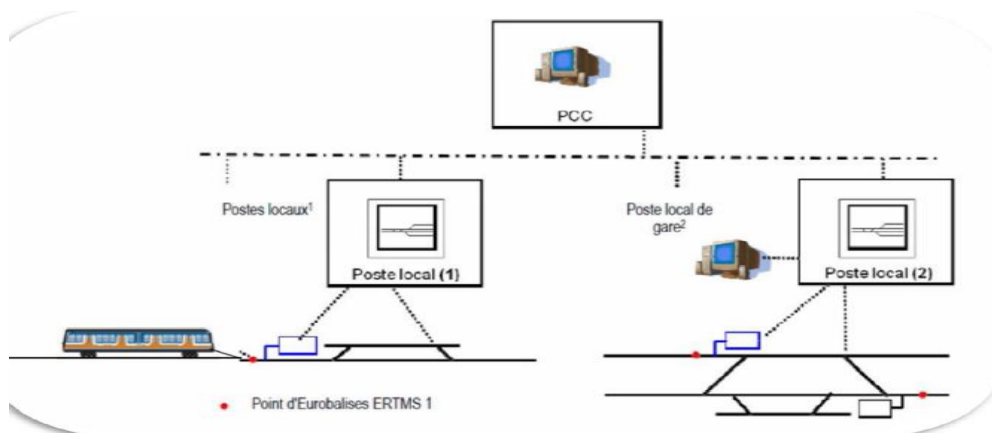




Figure 68 : Fonctionnement du système général de signalisation

9.4. TYPE DE SIGNALISATION

9.4.1. La signalisation d'arrêt

désignation	Image	Explications
Le carré (C)		Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Utilisé sur les voies principales, sa fonction essentielle est d'assurer la protection des circulations dans les zones comportant des appareils de voie
Le sémaphore		Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est affecté essentiellement à la fonction d'espacement des circulations sur les lignes à double voie et d'espacement et de protection du nez à nez sur certaines lignes à voie unique.


<p>Le feu rouge clignotant</p>		<p>Le feu rouge clignotant est franchissable sans arrêt à la vitesse maximale de 15 km/h. Il commande au mécanicien de circuler en marche à vue.</p> <p>Son implantation est à moins de 500m en aval du signal d'arrêt.</p>
--------------------------------	---	---

Tableau 28 : les signalisations d'arrêt

9.4.2. La Signalisation D'annonce D'arrêt






désignation	Image	Explications
<p>L'avertissement (A)</p>		<p>Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêt (ou assimilés) annoncés.</p> <p>L'avertissement est implanté, en principe, à une distance égale ou supérieure à la distance d'arrêt du signal qu'il annonce. Cette distance ne doit cependant pas dépasser 3 000 m.</p>
<p>Le feu jaune clignotant</p>		<p>Lorsque l'avertissement ne peut être implanté à la distance d'arrêt du signal annoncé, il est précédé du feu jaune clignotant qui sera à 500m de l'arrêt</p>
<p>Le feu vert clignotant ((VL))</p>		<p>Ce signal vient en complément de la signalisation de base normalement établie pour la vitesse maximale de 160 km/h.</p>

Tableau 29 : Les signalisations d'avertissement d'arrêt

9.4.3. La Signalisation de limitation de vitesse

indication	Image	Explications
<p>Limitations permanentes de vitesse signalisée</p>		<p>Des pancartes «Z» et «R», non éclairées la nuit, à lettre blanche sur fond noir, repèrent l'origine et la fin de la partie de voie à franchir à vitesse limitée.</p>
<p>Vitesse égale à 30 km/h</p>		<p>La signalisation comporte un ralentissement 30 (R), présentant deux feux jaunes sur une ligne horizontale, à distance de ralentissement de la pointe du premier aiguillage pris en pointe.</p>



<p>Vitesse égale à 60 km/h</p>		<p>Les signaux de ralentissement 60 ((R)) et de rappel de ralentissement 60 (I) sont caractérisés par le clignotement simultané des feux utilisés pour constituer respectivement le ralentissement 30 et le rappel 30).</p>
<p>Vitesse supérieure à 60 km/h</p>		<p>implanté à distance de ralentissement du premier aiguillage pris en pointe,</p>

Tableau 30 : Les signalisations de limitation des vitesses

Nous avons appliqué l'ensemble des signaux présentés ci-dessus pour notre tronçon de la ligne Bouchegouf – Guelma. Les positions des signaux dans les deux sens de circulation sont présentées dans les schémas suivants.

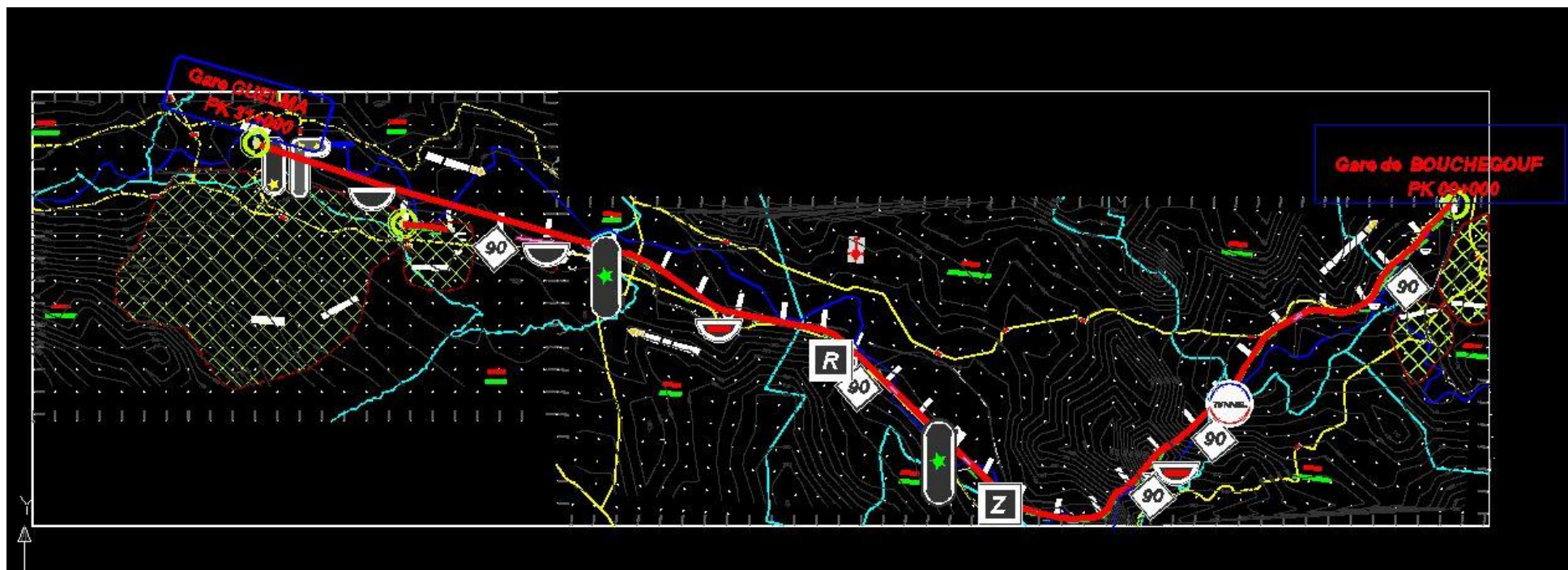


Figure 69 : signalisation dans le sens Bouchegouf - Guelma

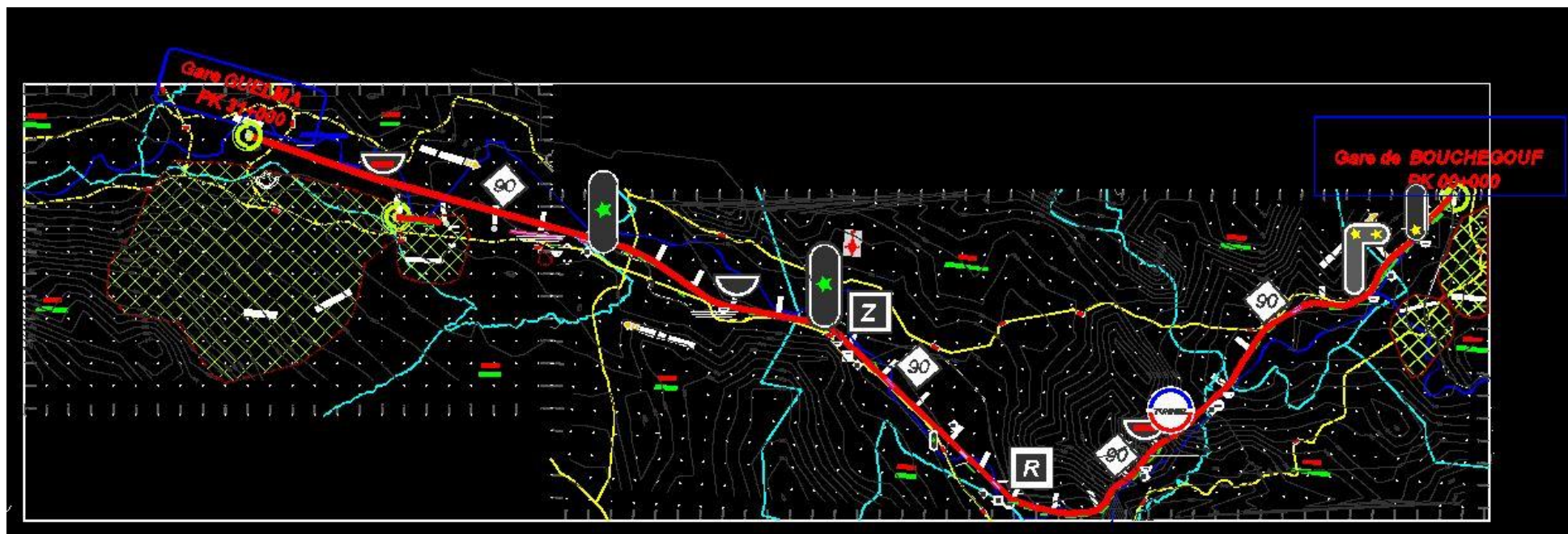


Figure 70 : signalisation dans le sens Guelma-Bouchegouf

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le travail réalisé, qui a consisté à l'étude de la ligne ferroviaire Bouchegouf – El khroub qui est d'une importance capitale pour la région.

Nous avons réalisé un aperçu sur la revue bibliographique qui nous a permis d'élaborer notre tracé et une vue générale de la voie ferrée en Algérie.

Après la présentation de notre projet nous avons fait une étude préliminaire dont nous avons dégagé deux variantes du tracé. Suite aux études de ces deux variantes nous avons retenues la variante disposant de données topographiques qui a été l'objet de l'étude détaillée.

Pour notre étude nous avons utilisé de logiciel Covadis et Autopiste en respectant toutes les recommandations de la SNTF. Le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'environnement ont été pris en compte dans le tracé.

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.

Ce travail est juste une étude d'avant- projet donc d'autres études complémentaire seront nécessaires à son élaboration finale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] André Larané, **NAISSANCE DU CHEMIN DE FER**. Publié ou mis à jour le : 2014-02-24 09:23:26
- [2] www. Wikipédia. com, **Histoire des chemins de fer algériens**, consulté 02/11/2015 à 21h12 ;
- [3] Ammar BENNACER, **INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES EN ALGERIE, DEVELOPPEMENT ET PERSPECTIVES**, midi de l'export beci bruxelles 27 avril 2010
- [4] ISFF ROUIBA, **LA VOIE FERREE** tome 1
- [5] ISFF ROUIBA, **LA VOIE-TRACE-DEVERS-RACCORDEMENT**
- [6] Ulysse Lamalle, **COURS D'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER TOME III**. Fascicule 1
- [7] Bouteldja F, **COURS DE CHEMIN DE FER master 1 Voies et Ouvrages d'Art**, 2014/2015
- [8] Groupent SETIRAIL- BETEUR-LCPT, **PROJET D'ETUDE DE LA LIGNE FERROVIAIRE BOUCHEGHOUF-EL KHROUB**
- [9] Bouteldja F, **COURS DE PONT master 1 Voies et Ouvrages d'Art**, 2014/2015
- [10] Benamara, **COURS DES OUVRAGES SOUTERRAINS master 2 Voies et Ouvrages d'Art**, 2015/2016
- [11] B. Kerloc'h, **ASSAINISSEMENT ROUTIER**
- [12] Roger Rétiveau, **LA SIGNALISATION FERROVIAIRE**, 2^{eme} édition
- [13] www.SNTF.dz
- [14] www.ANESRIF.dz

ANNEXES

ANNEXE 1 : AXE EN PLAN

Axe En Plan					
Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 244.9888 g	653.162	0.000	385292.811	4038765.766
Clothoïde 1	Paramètre 300.000	81.818	653.162	384868.704	4038269.024
Arc 1	Rayon 1100.000 m Centre X 385678.907 m Centre Y 4037523.502 m	79.248	734.980	384816.356	4038206.150
Clothoïde 2	Paramètre -300.000	81.818	814.228	384769.456	4038142.291
Droite 2	Gisement 235.6672 g	153.911	896.047	384725.124	4038073.530
Clothoïde 3	Paramètre -300.000	81.818	1049.957	384643.335	4037943.150
Arc 2	Rayon -1100.000 m Centre X 383689.553 m Centre Y 4038493.177 m	197.521	1131.775	384599.003	4037874.389
Clothoïde 4	Paramètre 300.000	81.818	1329.296	384473.864	4037721.909
Droite 3	Gisement 251.8338 g	387.671	1411.115	384415.072	4037665.015
Clothoïde 5	Paramètre 300.000	81.818	1798.786	384133.166	4037398.899
Arc 3	Rayon 1100.000 m Centre X 384858.685 m Centre Y 4036570.737 m	121.960	1880.604	384074.374	4037342.006
Clothoïde 6	Paramètre -300.000	81.818	2002.564	383993.852	4037250.489
Droite 4	Gisement 240.0403 g	58.063	2084.382	383944.905	4037184.933
Clothoïde 7	Paramètre 300.000	81.818	2142.445	383910.747	4037137.981
Arc 4	Rayon 1100.000 m Centre X 384776.396 m Centre Y 4036457.626 m	178.318	2224.263	383863.441	4037071.232
Clothoïde 8	Paramètre -300.000	81.818	2402.581	383776.375	4036915.838
Droite 5	Gisement 224.9850 g	186.165	2484.399	383744.150	4036840.639
Clothoïde 9	Paramètre -150.000	160.000	2670.564	383672.948	4036668.628
Arc 5	Rayon -500.000 m Centre X 383202.203 m Centre Y 4036839.138 m	101.675	2715.564	383655.117	4036627.316
Clothoïde 10	Paramètre 150.000	160.000	2817.239	383603.007	4036540.214
Droite 6	Gisement 243.6603 g	5.075	2862.239	383575.037	4036504.968
Clothoïde 11	Paramètre -150.000	160.000	2867.314	383571.823	4036501.040
Arc 6	Rayon -500.000 m Centre X 383170.492 m Centre Y 4036800.387 m	140.230	2912.314	383542.808	4036466.649
Clothoïde 12	Paramètre 150.000	160.000	3052.544	383435.882	4036376.632
Droite 7	Gisement 267.2445 g	222.317	3097.544	383397.049	4036353.904
Clothoïde 13	Paramètre -150.000	160.000	3319.861	383203.515	4036244.498

ANNEXES

Arc 7	Rayon	-500.000 m	192.058	3364.861	383164.017	4036222.944
	Centre X	382937.787 m				
	Centre Y	4036668.837 m				
Clothoïde 14	Paramètre	150.000	160.000	3556.919	382980.439	4036170.659
Droite 8	Gisement	297.4277 g	71.746	3601.919	382935.512	4036168.167
Droite 9	Gisement	300.5457 g	197.981	3673.665	382863.824	4036165.269
Clothoïde 15	Paramètre	300.000	160.000	3871.646	382665.850	4036166.966
Arc 8	Rayon	1000.000 m	171.891	3961.646	382575.860	4036166.388
	Centre X	382612.280 m				
	Centre Y	4035167.051 m				
Clothoïde 16	Paramètre	-300.000	160.000	4133.537	382405.464	4036145.431
Droite 10	Gisement	283.8732 g	37.610	4223.537	382318.016	4036124.187
Arc 9	Rayon	500.000 m	145.389	4261.147	382281.607	4036114.761
	Centre X	382406.916 m				
	Centre Y	4035630.718 m				
Droite 11	Gisement	265.3617 g	368.685	4406.536	382148.093	4036058.515
Arc 10	Rayon	1100.000 m	68.462	4775.221	381832.648	4035867.667
	Centre X	382402.058 m				
	Centre Y	4034926.513 m				
Droite 12	Gisement	261.3995 g	377.426	4843.683	381775.213	4035830.429
Clothoïde 17	Paramètre	-150.000	90.000	5221.108	381465.066	4035615.349
Arc 11	Rayon	-500.000 m	84.777	5266.108	381427.711	4035590.265
	Centre X	381161.552 m				
	Centre Y	4036013.538 m				
Clothoïde 18	Paramètre	150.000	90.000	5350.885	381352.470	4035551.423
Droite 13	Gisement	277.9232 g	123.248	5395.885	381310.387	4035535.497
Clothoïde 19	Paramètre	-300.000	160.000	5519.133	381194.475	4035493.608
Arc 12	Rayon	-500.000 m	124.913	5564.133	381151.933	4035478.952
	Centre X	381003.322 m				
	Centre Y	4035956.356 m				
Clothoïde 20	Paramètre	300.000	160.000	5689.047	381029.288	4035457.031
Droite 14	Gisement	299.5572 g	910.425	5734.047	380984.303	4035456.043
Clothoïde 21	Paramètre	300.000	90.000	6644.472	380073.900	4035449.711
Arc 13	Rayon	1000.000 m	36.939	6734.472	379983.930	4035447.735
	Centre X	380035.862 m				
	Centre Y	4034449.084 m				
Clothoïde 22	Paramètre	-300.000	90.000	6771.411	379947.085	4035445.136
Droite 15	Gisement	291.4760 g	316.152	6861.411	379857.728	4035434.462
Clothoïde 23	Paramètre	-300.000	90.000	7177.562	379544.406	4035392.257
Arc 14	Rayon	-1000.000 m	119.529	7267.562	379455.050	4035381.583
	Centre X	379366.272 m				
	Centre Y	4036377.634 m				
Clothoïde 24	Paramètre	300.000	90.000	7387.091	379335.642	4035378.103
Droite 16	Gisement	304.8150 g	101.419	7477.091	379245.816	4035383.557

ANNEXES

Clothoïde 25	Paramètre	-300.000	160.000	7578.510	379144.687	4035391.220
Arc 15	Rayon	-500.000 m	73.521	7623.510	379099.876	4035395.293
	Centre X	379160.047 m				
	Centre Y	4035891.659 m				
Clothoïde 26	Paramètre	300.000	160.000	7697.030	379027.802	4035409.465
Droite 17	Gisement	319.9055 g	734.108	7742.030	378984.785	4035422.662
Clothoïde 27	Paramètre	300.000	90.000	8476.138	378286.271	4035648.478
Arc 16	Rayon	1000.000 m	221.371	8566.138	378200.237	4035674.872
	Centre X	377935.747 m				
	Centre Y	4034710.484 m				
Clothoïde 28	Paramètre	-300.000	90.000	8787.509	377982.034	4035709.412
Droite 18	Gisement	300.0830 g	43.816	8877.509	377892.055	4035710.879
Clothoïde 29	Paramètre	300.000	90.000	8921.325	377848.239	4035710.936
Arc 17	Rayon	1000.000 m	216.964	9011.325	377758.255	4035709.704
	Centre X	377801.937 m				
	Centre Y	4034710.658 m				
Clothoïde 30	Paramètre	-300.000	90.000	9228.289	377544.219	4035676.879
Droite 19	Gisement	280.5411 g	192.176	9318.289	377458.002	4035651.088
Clothoïde 31	Paramètre	-300.000	90.000	9510.465	377274.733	4035593.258
Arc 18	Rayon	-1000.000 m	61.714	9600.465	377188.516	4035567.468
	Centre X	376930.799 m				
	Centre Y	4036533.688 m				
Clothoïde 32	Paramètre	300.000	90.000	9662.179	377128.434	4035553.413
Droite 20	Gisement	290.1995 g	307.532	9752.179	377039.724	4035538.281
Clothoïde 33	Paramètre	200.000	90.000	10059.711	376735.828	4035491.125
Arc 19	Rayon	500.000 m	127.693	10104.711	376691.473	4035483.559
	Centre X	376790.291 m				
	Centre Y	4034993.421 m				
Clothoïde 34	Paramètre	-200.000	90.000	10232.404	376570.860	4035442.699
Droite 21	Gisement	268.2116 g	1199.133	10277.404	376531.039	4035421.748

ANNEXES

Axe En Plan					
Els Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Clothoïde 35	Paramètre -300.000	160.000	11476.537	375478.317	4034847.557
Arc 20	Rayon -500.000 m Centre X 375219.066 m Centre Y 4035275.884 m	29.397	11521.537	375438.496	4034826.606
Clothoïde 36	Paramètre 150.000	160.000	11550.933	375411.718	4034814.489
Droite 22	Gisement 277.6841 g	282.702	11595.933	375369.695	4034798.405
Clothoïde 37	Paramètre -300.000	160.000	11878.635	375104.184	4034701.324
Arc 21	Rayon -500.000 m Centre X 374911.295 m Centre Y 4035163.351 m	6.189	11923.635	375061.698	4034686.508
Clothoïde 38	Paramètre 300.000	160.000	11929.824	375055.784	4034684.683
Droite 23	Gisement 284.2017 g	551.951	11974.824	375012.337	4034672.978
Clothoïde 39	Paramètre -300.000	160.000	12526.776	374477.294	4034537.408
Arc 22	Rayon -1100.000 m Centre X 374167.396 m Centre Y 4035593.909 m	125.000	12608.594	374397.744	4034518.298
Clothoïde 40	Paramètre 300.000	160.000	12733.594	374274.293	4034499.115
Droite 24	Gisement 296.1712 g	62.817	12815.412	374192.695	4034493.186
Clothoïde 41	Paramètre -300.000	160.000	12878.229	374129.992	4034489.410
Arc 23	Rayon -500.000 m Centre X 374077.470 m Centre Y 4034987.322 m	81.327	12923.229	374085.041	4034487.380
Clothoïde 42	Paramètre 300.000	160.000	13004.556	374003.982	4034492.752
Droite 25	Gisement 312.2556 g	1419.612	13049.556	373959.693	4034500.698
Clothoïde 43	Paramètre -300.000	90.000	14469.168	372566.306	4034772.303
Arc 24	Rayon -2000.000 m Centre X 372926.877 m Centre Y 4036739.703 m	183.511	14514.168	372522.170	4034781.078
Clothoïde 44	Paramètre 300.000	90.000	14697.679	372344.410	4034826.400
Droite 26	Gisement 319.5293 g	1960.823	14742.679	372301.460	4034839.828
Droite 27	Gisement 319.5033 g	2835.480	16703.502	370432.178	4035431.952
Arc 25	Rayon 1100.000 m Centre X 367396.976 m Centre Y 4035238.315 m	73.603	19538.982	367728.722	4036287.097
Droite 28	Gisement 315.2436 g	1710.184	19612.585	367657.856	4036306.932
Droite 29	Gisement 315.5999 g	1139.192	21322.769	365996.464	4036712.525
Clothoïde 45	Paramètre 300.000	81.818	22461.961	364891.303	4036988.891
Arc 26	Rayon 1100.000 m Centre X 364584.698 m Centre Y 4035931.430 m	280.879	22543.779	364811.694	4037007.754
Clothoïde 46	Paramètre -300.000	81.818	22824.658	364532.477	4037030.189
Droite 30	Gisement 294.6090 g	240.331	22906.476	364450.878	4037024.281

ANNEXES

Arc 27	Rayon	1100.000 m	51.787	23146.807	364211.408	4037003.954
	Centre X	364304.447 m				
	Centre Y	4035907.895 m				
Droite 31	Gisement	291.6119 g	419.868	23198.594	364159.929	4036998.361
Clothoïde 47	Paramètre	-300.000	81.818	23618.462	363743.701	4036943.198
Arc 28	Rayon	-1100.000 m	192.760	23700.280	363662.470	4036933.456
	Centre X	363558.597 m				
	Centre Y	4038028.541 m				
Clothoïde 48	Paramètre	300.000	81.818	23893.040	363469.961	4036932.118
Droite 32	Gisement	307.5030 g	46.260	23974.859	363388.602	4036940.730
Arc 29	Rayon	-500.000 m	110.576	24021.118	363342.663	4036946.169
	Centre X	363401.455 m				
	Centre Y	4037442.701 m				
Droite 33	Gisement	321.5819 g	1477.363	24131.694	363235.179	4036971.158
Droite 34	Gisement	321.9425 g	1687.709	25609.057	361841.900	4037462.458
Clothoïde 49	Paramètre	-300.000	81.818	27296.766	360253.451	4038032.714

ANNEXES

Axe En Plan						
Elts Caractéristiques			Points de Contacts			
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y	
Arc 30	Rayon	-1100.000 m	48.289	27378.584	360176.799	4038061.310
	Centre X	360586.712 m				
	Centre Y	4039082.080 m				
Clothoïde 50	Paramètre	300.000	81.818	27426.874	360132.397	4038080.282
Droite 35	Gisement	329.4724 g	199.662	27508.692	360058.748	4038115.909
Arc 31	Rayon	-1100.000 m	52.193	27708.353	359880.103	4038205.076
	Centre X	360371.353 m				
	Centre Y	4039189.288 m				
Droite 36	Gisement	332.4930 g	235.531	27760.546	359833.975	4038229.484
				27996.077	359628.463	4038344.546
Longueur totale de l'axe 27996.077 mètre(s)						

ANNEXE 2 : PROFIL EN LONG PROJET

Profil En Long Projet				
Elt's Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 0.21 %	4863.607	0.000	92.367
Parabole 1	Pente 0.21 %	354.837	4863.607	102.467
	Rayon 15000.000 m			
	Sommet Absc. 4832.456 m			
	Sommet Alt. 102.435 m			
Pente 2.57 %				
Pente 2	Pente 2.57 %	1756.570	5218.444	107.401
Parabole 2	Pente 2.57 %	23.240	6975.014	152.602
	Rayon -15000.000 m			
	Sommet Absc. 7361.001 m			
	Sommet Alt. 157.568 m			
Pente 2.42 %				
Pente 3	Pente 2.42 %	968.951	6998.254	153.182
Parabole 3	Pente 2.42 %	315.245	7967.205	176.615
	Rayon -15000.000 m			
	Sommet Absc. 8329.953 m			
	Sommet Alt. 181.001 m			
Pente 0.32 %				
Pente 4	Pente 0.32 %	1354.202	8282.450	180.926
Parabole 4	Pente 0.32 %	390.540	9636.652	185.214
	Rayon -15000.000 m			
	Sommet Absc. 9684.155 m			
	Sommet Alt. 185.289 m			
Pente -2.29 %				
Pente 5	Pente -2.29 %	998.373	10027.191	181.367
Parabole 5	Pente -2.29 %	97.116	11025.565	158.535
	Rayon 15000.000 m			
	Sommet Absc. 11368.601 m			
	Sommet Alt. 154.613 m			
Pente -1.64 %				
Pente 6	Pente -1.53 %	1110.351	11122.681	156.629
Parabole 6	Pente -1.53 %	277.328	12233.032	139.618
	Rayon 15000.000 m			
	Sommet Absc. 12462.827 m			
	Sommet Alt. 137.858 m			
Pente 0.32 %				
Pente 7	Pente 0.32 %	5733.711	12510.361	137.933

ANNEXES

Parabole 7	Pente	0.32 %	145.775	18244.072	156.103
	Rayon	15000.000 m			
	Sommet Absc.	18196.539 m			
	Sommet Alt.	156.028 m			
	Pente	1.29 %			
Pente 8	Pente	1.29 %	931.810	18389.847	157.273
Parabole 8	Pente	1.29 %	40.490	19321.657	169.282
	Rayon	-15000.000 m			
	Sommet Absc.	19514.966 m			
	Sommet Alt.	170.527 m			
	Pente	1.02 %			
Pente 9	Pente	1.02 %	1116.390	19362.147	169.749
Parabole 9	Pente	1.02 %	213.286	20478.537	181.122
	Rayon	-15000.000 m			
	Sommet Absc.	20631.356 m			
	Sommet Alt.	181.901 m			
	Pente	-0.40 %			
Pente 10	Pente	-0.40 %	1031.099	20691.823	181.779

Profil En Long Projet					
Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Parabole 10	Pente	-0.40 %	208.703	21722.922	177.622
	Rayon	15000.000 m			
	Sommet Absc.	21783.390 m			
	Sommet Alt.	177.501 m			
	Pente	0.99 %			
Pente 11	Pente	0.99 %	2400.902	21931.625	178.233
Parabole 11	Pente	0.99 %	131.645	24332.528	201.960
	Rayon	15000.000 m			
	Sommet Absc.	24184.292 m			
	Sommet Alt.	201.227 m			
	Pente	1.87 %			
Pente 12	Pente	1.87 %	1707.684	24464.172	203.838
Parabole 12	Pente	1.87 %	513.009	26171.856	235.702
	Rayon	-15000.000 m			
	Sommet Absc.	26451.736 m			
	Sommet Alt.	238.313 m			
	Pente	-1.55 %			
Pente 13	Pente	-1.55 %	1311.212	26684.865	236.501
				27996.077	216.122
Longueur totale de l'axe 27996.077 mètre(s)					

ANNEXE 3 : CALCUL DES CUBATURES

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	25.00	4.90	0.00	122.500	0.000	123	0
P.2	50.000	50.00	3.28	0.00	164.148	0.000	287	0
P.3	100.000	50.00	0.24	0.69	11.855	34.724	299	35
P.4	150.000	50.00	0.02	1.71	0.756	85.645	299	120
P.5	200.000	50.00	0.00	2.05	0.000	102.330	299	223
P.6	250.000	50.00	0.00	5.27	0.000	263.492	299	486
P.7	300.000	50.00	0.00	5.81	0.000	290.646	299	777
P.8	350.000	50.00	0.00	6.02	0.000	300.821	299	1078
P.9	400.000	50.00	0.00	2.92	0.000	146.079	299	1224
P.10	450.000	50.00	9.80	0.00	489.807	0.000	789	1224
P.11	500.000	50.00	9.25	0.00	462.387	0.000	1251	1224
P.12	550.000	50.00	29.20	0.00	1459.816	0.000	2711	1224
P.13	600.000	50.00	42.72	0.00	2136.033	0.000	4847	1224
P.14	650.000	50.00	46.11	0.00	2305.610	0.000	7153	1224
P.15	700.000	50.00	40.72	0.00	2035.907	0.000	9189	1224

P.16	750.000	50.00	25.05	0.00	1252.730	0.000	10442	1224
P.17	800.000	50.00	10.60	0.00	530.049	0.000	10972	1224
P.18	850.000	50.00	4.59	0.00	229.339	0.000	11201	1224
P.19	900.000	50.00	23.89	0.00	1194.295	0.000	12395	1224
P.20	950.000	50.00	35.53	0.00	1776.551	0.000	14172	1224
P.21	1000.000	50.00	34.40	0.00	1719.965	0.000	15892	1224
P.22	1050.000	50.00	32.41	0.00	1620.645	0.000	17512	1224
P.23	1100.000	50.00	29.97	0.00	1498.397	0.000	19011	1224
P.24	1150.000	50.00	24.77	0.00	1238.307	0.000	20249	1224
P.25	1200.000	50.00	19.14	0.00	956.786	0.000	21206	1224
P.26	1250.000	50.00	27.25	0.00	1362.555	0.000	22568	1224
P.27	1300.000	50.00	51.10	0.00	2554.781	0.000	25123	1224
P.28	1350.000	50.00	54.12	0.00	2706.064	0.000	27829	1224
P.29	1400.000	50.00	62.24	0.00	3112.028	0.000	30941	1224
P.30	1450.000	50.00	59.18	0.00	2958.943	0.000	33900	1224
P.31	1500.000	50.00	50.38	0.00	2518.852	0.000	36419	1224
P.32	1550.000	50.00	44.15	0.00	2207.419	0.000	38627	1224
P.33	1600.000	50.00	37.91	0.00	1895.613	0.000	40522	1224
P.34	1650.000	50.00	29.98	0.00	1498.883	0.000	42021	1224
P.35	1700.000	50.00	24.26	0.00	1212.808	0.000	43234	1224
P.36	1750.000	50.00	14.51	0.00	725.321	0.000	43959	1224

ANNEXES

P.37	1800.00 0	50.00	10.94	0.00	546.958	0.000	44506	1224
P.38	1850.00 0	50.00	8.64	0.00	432.143	0.000	44938	1224
P.39	1900.00 0	50.00	8.28	0.00	414.128	0.000	45352	1224
P.40	1950.00 0	50.00	5.61	0.00	280.741	0.000	45633	1224
P.41	2000.00 0	50.00	0.00	4.85	0.000	242.261	45633	1466
P.42	2050.00 0	50.00	0.00	5.32	0.000	266.230	45633	1732
P.43	2100.00 0	50.00	0.00	3.21	0.000	160.626	45633	1893
P.44	2150.00 0	50.00	0.00	2.02	0.000	100.881	45633	1994
P.45	2200.00 0	50.00	0.09	0.74	4.648	36.762	45638	2030
P.46	2250.00 0	50.00	1.10	0.01	55.045	0.305	45693	2031
P.47	2300.00 0	50.00	2.97	0.00	148.257	0.000	45841	2031
P.48	2350.00 0	50.00	3.74	0.00	186.982	0.000	46028	2031
P.49	2400.00 0	50.00	5.74	0.00	286.795	0.000	46315	2031
P.50	2450.00 0	50.00	7.36	0.00	368.095	0.000	46683	2031
P.51	2500.00 0	50.00	8.70	0.00	435.202	0.000	47118	2031
P.52	2550.00 0	50.00	10.00	0.00	499.803	0.000	47618	2031
P.53	2600.00 0	50.00	11.18	0.00	558.846	0.000	48177	2031
P.54	2650.00 0	50.00	13.00	0.00	650.205	0.000	48827	2031
P.55	2700.00 0	50.00	13.25	0.00	662.686	0.000	49490	2031
P.56	2750.00 0	50.00	8.93	0.00	446.620	0.000	49936	2031
P.57	2800.00 0	50.00	2.59	0.00	129.552	0.000	50066	2031

P.58	2850.00 0	50.00	1.09	0.00	54.750	0.000	50121	2031
P.59	2900.00 0	50.00	0.45	0.12	22.588	5.785	50143	2037
P.60	2950.00 0	50.00	0.25	0.55	12.354	27.292	50156	2064
P.61	3000.00 0	50.00	1.74	0.00	87.163	0.000	50243	2064
P.62	3050.00 0	50.00	2.76	0.00	138.017	0.000	50381	2064
P.63	3100.00 0	50.00	11.26	0.00	563.184	0.000	50944	2064
P.64	3150.00 0	50.00	10.68	0.00	533.943	0.000	51478	2064
P.65	3200.00 0	50.00	10.09	0.00	504.705	0.000	51983	2064
P.66	3250.00 0	50.00	11.30	0.00	565.067	0.000	52548	2064
P.67	3300.00 0	50.00	15.64	0.00	781.769	0.000	53329	2064
P.68	3350.00 0	50.00	19.86	0.00	993.020	0.000	54322	2064
P.69	3400.00 0	50.00	20.95	0.00	1047.27 2	0.000	55370	2064
P.70	3450.00 0	50.00	21.92	0.00	1096.10 7	0.000	56466	2064
P.71	3500.00 0	50.00	24.30	0.00	1215.16 6	0.000	57681	2064
P.72	3550.00 0	50.00	23.60	0.00	1180.23 5	0.000	58861	2064
P.73	3600.00 0	50.00	21.61	0.00	1080.51 1	0.000	59942	2064
P.74	3650.00 0	50.00	17.63	0.00	881.574	0.000	60823	2064
P.75	3700.00 0	50.00	14.22	0.00	711.205	0.000	61534	2064
P.76	3750.00 0	50.00	23.74	0.00	1187.12 7	0.000	62722	2064
P.77	3800.00 0	50.00	12.93	0.00	646.480	0.000	63368	2064
P.78	3850.00 0	50.00	5.17	0.00	258.744	0.000	63627	2064

ANNEXES

P.79	3900.00 0	50.00	0.04	1.38	1.960	69.095	63629	2133
P.80	3950.00 0	50.00	0.00	6.11	0.000	305.717	63629	2439
P.81	4000.00 0	50.00	0.00	6.69	0.000	334.609	63629	2773
P.82	4050.00 0	50.00	0.00	6.77	0.000	338.459	63629	3112
P.83	4100.00 0	50.00	0.00	7.50	0.000	374.800	63629	3487
P.84	4150.00 0	50.00	0.00	11.33	0.000	566.611	63629	4053
P.85	4200.00 0	50.00	0.00	17.57	0.000	878.624	63629	4932
P.86	4250.00 0	50.00	0.00	23.69	0.000	1184.53 1	63629	6116
P.87	4300.00 0	50.00	0.00	24.42	0.000	1220.95 6	63629	7337
P.88	4350.00 0	50.00	0.00	22.75	0.000	1137.70 1	63629	8475
P.89	4400.00 0	50.00	0.00	20.65	0.000	1032.69 3	63629	9508
P.90	4450.00 0	50.00	0.00	18.98	0.000	948.893	63629	10457
P.91	4500.00 0	50.00	0.00	16.75	0.000	837.530	63629	11294
P.92	4550.00 0	50.00	0.00	11.80	0.000	590.243	63629	11884
P.93	4600.00 0	50.00	0.00	7.66	0.000	383.004	63629	12267
P.94	4650.00 0	50.00	0.00	4.94	0.000	247.244	63629	12515
P.95	4700.00 0	50.00	0.00	7.79	0.000	389.472	63629	12904
P.96	4750.00 0	50.00	0.00	8.49	0.000	424.268	63629	13328
P.97	4800.00 0	50.00	0.00	5.71	0.000	285.430	63629	13614
P.98	4850.00 0	50.00	0.00	9.04	0.000	452.121	63629	14066
P.99	4900.00 0	50.00	0.00	7.88	0.000	393.774	63629	14460

P.100	4950.00 0	50.00	0.00	3.08	0.000	154.176	63629	14614
P.101	5000.00 0	50.00	0.00	0.94	0.000	46.883	63629	14661
P.102	5050.00 0	50.00	0.00	3.46	0.000	173.232	63629	14834
P.103	5100.00 0	50.00	0.00	9.84	0.000	491.761	63629	15326
P.104	5150.00 0	50.00	0.00	17.37	0.000	868.631	63629	16194
P.105	5200.00 0	50.00	0.00	26.08	0.000	1303.83 5	63629	17498
P.106	5250.00 0	50.00	0.00	35.95	0.000	1797.73 8	63629	19296
P.107	5300.00 0	50.00	0.00	44.28	0.000	2213.95 4	63629	21510
P.108	5350.00 0	50.00	0.00	50.21	0.000	2510.65 0	63629	24021
P.109	5400.00 0	50.00	0.00	55.61	0.000	2780.25 2	63629	26801
P.110	5450.00 0	50.00	0.00	60.91	0.000	3045.30 8	63629	29846
P.111	5500.00 0	50.00	0.00	63.69	0.000	3184.73 9	63629	33031
P.112	5550.00 0	50.00	0.00	71.59	0.000	3579.32 3	63629	36610
P.113	5600.00 0	50.00	0.00	76.03	0.000	3801.45 5	63629	40412
P.114	5650.00 0	50.00	0.00	81.93	0.000	4096.39 3	63629	44508
P.115	5700.00 0	50.00	0.00	80.38	0.000	4018.85 1	63629	48527
P.116	5750.00 0	50.00	0.00	78.31	0.000	3915.73 9	63629	52443
P.117	5800.00 0	50.00	0.00	82.28	0.000	4114.20 4	63629	56557
P.118	5850.00 0	50.00	0.00	88.35	0.000	4417.43 5	63629	60974
P.119	5900.00 0	50.00	0.00	92.54	0.000	4626.99 8	63629	65601
P.120	5950.00 0	50.00	0.00	91.96	0.000	4598.21 8	63629	70199

ANNEXES

P.121	6000.00 0	50.00	0.00	89.59	0.000	4479.26 5	63629	74679
P.122	6050.00 0	50.00	0.00	87.68	0.000	4384.09 7	63629	79063
P.123	6100.00 0	50.00	0.00	88.17	0.000	4408.65 8	63629	83471
P.124	6150.00 0	50.00	0.00	88.76	0.000	4437.83 3	63629	87909
P.125	6200.00 0	50.00	0.00	82.59	0.000	4129.49 7	63629	92039
P.126	6250.00 0	50.00	0.00	71.48	0.000	3574.03 2	63629	95613
P.127	6300.00 0	50.00	0.00	63.71	0.000	3185.55 3	63629	98798
P.128	6350.00 0	50.00	0.00	64.13	0.000	3206.61 6	63629	102005
P.129	6400.00 0	50.00	0.00	64.74	0.000	3236.91 3	63629	105242
P.130	6450.00 0	50.00	0.00	58.76	0.000	2937.86 1	63629	108180
P.131	6500.00 0	50.00	0.00	47.26	0.000	2363.23 7	63629	110543
P.132	6550.00 0	50.00	0.00	35.77	0.000	1788.60 7	63629	112332
P.133	6600.00 0	50.00	0.00	24.28	0.000	1213.96 2	63629	113546
P.134	6650.00 0	50.00	0.00	13.24	0.000	661.984	63629	114208
P.135	6700.00 0	50.00	8.87	0.00	443.731	0.000	64073	114208
P.136	6750.00 0	50.00	33.56	0.00	1678.07 7	0.000	65751	114208
P.137	6800.00 0	50.00	59.71	0.00	2985.61 3	0.000	68736	114208
P.138	6850.00 0	50.00	89.34	0.00	4467.24 1	0.000	73203	114208
P.139	6900.00 0	50.00	118.43	0.00	5921.41 1	0.000	79125	114208
P.140	6950.00 0	50.00	138.57	0.00	6928.37 6	0.000	86053	114208
P.141	7000.00 0	50.00	139.30	0.00	6964.86 2	0.000	93018	114208

P.142	7050.00 0	50.00	142.09	0.00	7104.34 4	0.000	10012 2	114208
P.143	7100.00 0	50.00	142.43	0.00	7121.48 7	0.000	10724 4	114208
P.144	7150.00 0	50.00	140.37	0.00	7018.66 1	0.000	11426 3	114208
P.145	7200.00 0	50.00	135.33	0.00	6766.28 3	0.000	12102 9	114208
P.146	7250.00 0	50.00	124.82	0.00	6241.06 0	0.000	12727 0	114208
P.147	7300.00 0	50.00	114.80	0.00	5740.11 5	0.000	13301 0	114208
P.148	7350.00 0	50.00	110.17	0.00	5508.67 3	0.000	13851 9	114208
P.149	7400.00 0	50.00	113.57	0.00	5678.58 7	0.000	14419 7	114208
P.150	7450.00 0	50.00	119.68	0.00	5983.78 7	0.000	15018 1	114208
P.151	7500.00 0	50.00	129.94	0.00	6497.04 3	0.000	15667 8	114208
P.152	7550.00 0	50.00	128.73	0.00	6436.67 0	0.000	16311 5	114208
P.153	7600.00 0	50.00	119.53	0.00	5976.61 3	0.000	16909 1	114208
P.154	7650.00 0	50.00	97.06	0.00	4853.13 1	0.000	17394 5	114208
P.155	7700.00 0	50.00	55.65	0.00	2782.53 6	0.000	17672 7	114208
P.156	7750.00 0	50.00	32.27	0.00	1613.47 8	0.000	17834 1	114208
P.157	7800.00 0	50.00	42.73	0.00	2136.67 2	0.000	18047 7	114208
P.158	7850.00 0	50.00	64.07	0.00	3203.52 0	0.000	18368 1	114208
P.159	7900.00 0	50.00	90.21	0.00	4510.31 0	0.000	18819 1	114208
P.160	7950.00 0	50.00	116.13	0.00	5806.26 1	0.000	19399 7	114208
P.161	8000.00 0	50.00	137.64	0.00	6881.97 9	0.000	20087 9	114208
P.162	8050.00 0	50.00	159.80	0.00	7989.79 2	0.000	20886 9	114208

ANNEXES

P.163	8100.00 0	50.00	176.82	0.00	8841.19 9	0.000	21771 0	114208
P.164	8150.00 0	50.00	177.16	0.00	8858.22 2	0.000	22656 9	114208
P.165	8200.00 0	50.00	187.91	0.00	9395.35 1	0.000	23596 4	114208
P.166	8250.00 0	50.00	197.44	0.00	9872.12 3	0.000	24583 6	114208
P.167	8300.00 0	50.00	213.47	0.00	10673.7 21	0.000	25651 0	114208
P.168	8350.00 0	50.00	225.89	0.00	11294.5 93	0.000	26780 4	114208
P.169	8400.00 0	50.00	243.43	0.00	12171.4 60	0.000	27997 6	114208
P.170	8450.00 0	50.00	274.18	0.00	13708.9 61	0.000	29368 5	114208
P.171	8500.00 0	50.00	294.77	0.00	14738.3 09	0.000	30842 3	114208
P.172	8550.00 0	50.00	300.60	0.00	15030.2 39	0.000	32345 3	114208
P.173	8600.00 0	50.00	321.97	0.00	16098.2 96	0.000	33955 2	114208
P.174	8650.00 0	50.00	349.37	0.00	17468.6 39	0.000	35702 0	114208
P.175	8700.00 0	50.00	378.08	0.00	18903.8 22	0.000	37592 4	114208
P.176	8750.00 0	50.00	415.61	0.00	20780.5 28	0.000	39670 5	114208
P.177	8800.00 0	50.00	458.94	0.00	22946.8 66	0.000	41965 1	114208
P.178	8850.00 0	50.00	490.75	0.00	24537.3 24	0.000	44418 9	114208
P.179	8900.00 0	50.00	508.02	0.00	25401.0 16	0.000	46959 0	114208
P.180	8950.00 0	50.00	529.26	0.00	26463.2 23	0.000	49605 3	114208
P.181	9000.00 0	50.00	540.64	0.00	27031.9 97	0.000	52308 5	114208
P.182	9050.00 0	50.00	535.36	0.00	26767.8 50	0.000	54985 3	114208
P.183	9100.00 0	50.00	511.28	0.00	25563.8 23	0.000	57541 7	114208

P.184	9150.00 0	50.00	475.83	0.00	23791.4 39	0.000	59920 8	114208
P.185	9200.00 0	50.00	441.55	0.00	22077.3 51	0.000	62128 5	114208
P.186	9250.00 0	50.00	403.35	0.00	20167.7 36	0.000	64145 3	114208
P.187	9300.00 0	50.00	360.74	0.00	18037.0 65	0.000	65949 0	114208
P.188	9350.00 0	50.00	321.03	0.00	16051.3 18	0.000	67554 2	114208
P.189	9400.00 0	50.00	269.94	0.00	13497.0 91	0.000	68903 9	114208
P.190	9450.00 0	50.00	222.15	0.00	11107.2 59	0.000	70014 6	114208
P.191	9500.00 0	50.00	178.66	0.00	8933.06 5	0.000	70907 9	114208
P.192	9550.00 0	50.00	142.67	0.00	7133.36 3	0.000	71621 2	114208
P.193	9600.00 0	50.00	111.48	0.00	5574.20 3	0.000	72178 7	114208
P.194	9650.00 0	50.00	81.53	0.00	4076.41 9	0.000	72586 3	114208
P.195	9700.00 0	50.00	53.43	0.00	2671.41 1	0.000	72853 4	114208
P.196	9750.00 0	50.00	27.81	0.00	1390.66 3	0.000	72992 5	114208
P.197	9800.00 0	50.00	11.68	0.00	584.190	0.000	73050 9	114208
P.198	9850.00 0	50.00	10.26	0.00	513.153	0.000	73102 2	114208
P.199	9900.00 0	50.00	21.75	0.00	1087.62 3	0.000	73211 0	114208
P.200	9950.00 0	50.00	33.00	0.00	1649.84 7	0.000	73376 0	114208
P.201	10000.0 00	50.00	36.03	0.00	1801.57 8	0.000	73556 1	114208
P.202	10050.0 00	50.00	36.60	0.00	1830.01 9	0.000	73739 1	114208
P.203	10100.0 00	50.00	47.83	0.00	2391.44 9	0.000	73978 3	114208
P.204	10150.0 00	50.00	55.47	0.00	2773.35 9	0.000	74255 6	114208

ANNEXES

P.205	10200.00	50.00	57.47	0.00	2873.577	0.000	745430	114208
P.206	10250.00	50.00	53.61	0.00	2680.676	0.000	748111	114208
P.207	10300.00	50.00	58.78	0.00	2938.814	0.000	751049	114208
P.208	10350.00	50.00	64.51	0.00	3225.691	0.000	754275	114208
P.209	10400.00	50.00	68.98	0.00	3448.852	0.000	757724	114208
P.210	10450.00	50.00	69.78	0.00	3489.235	0.000	761213	114208
P.211	10500.00	50.00	62.71	0.00	3135.463	0.000	764349	114208
P.212	10550.00	50.00	56.34	0.00	2817.006	0.000	767166	114208
P.213	10600.00	50.00	52.15	0.00	2607.680	0.000	769773	114208
P.214	10650.00	50.00	43.27	0.00	2163.291	0.000	771937	114208
P.215	10700.00	50.00	40.51	0.00	2025.544	0.000	773962	114208
P.216	10750.00	50.00	44.01	0.00	2200.596	0.000	776163	114208
P.217	10800.00	50.00	56.45	0.00	2822.620	0.000	778985	114208
P.218	10850.00	50.00	61.44	0.00	3072.070	0.000	782057	114208
P.219	10900.00	50.00	64.67	0.00	3233.461	0.000	785291	114208
P.220	10950.00	50.00	65.45	0.00	3272.728	0.000	788564	114208
P.221	11000.00	50.00	66.24	0.00	3311.986	0.000	791876	114208
P.222	11050.00	50.00	66.89	0.00	3344.279	0.000	795220	114208
P.223	11100.00	50.00	68.95	0.00	3447.256	0.000	798667	114208
P.224	11150.00	50.00	80.50	0.00	4024.897	0.000	802692	114208
P.225	11200.00	50.00	94.54	0.00	4726.854	0.000	807419	114208

P.226	11250.00	50.00	108.15	0.00	5407.334	0.000	812826	114208
P.227	11300.00	50.00	118.43	0.00	5921.307	0.000	818747	114208
P.228	11350.00	50.00	124.21	0.00	6210.440	0.000	824958	114208
P.229	11400.00	50.00	132.04	0.00	6601.785	0.000	831560	114208
P.230	11450.00	50.00	142.31	0.00	7115.681	0.000	838675	114208
P.231	11500.00	50.00	147.93	0.00	7396.456	0.000	846072	114208
P.232	11550.00	50.00	145.75	0.00	7287.495	0.000	853359	114208
P.233	11600.00	50.00	131.75	0.00	6587.529	0.000	859947	114208
P.234	11650.00	50.00	99.65	0.00	4982.417	0.000	864929	114208
P.235	11700.00	50.00	47.86	0.00	2392.909	0.000	867322	114208
P.236	11750.00	50.00	0.00	6.41	0.000	320.529	867322	114528
P.237	11800.00	50.00	0.00	48.40	0.000	2419.767	867322	116948
P.238	11850.00	50.00	0.00	74.57	0.000	3728.393	867322	120676
P.239	11900.00	50.00	0.00	67.53	0.000	3376.645	867322	124053
P.240	11950.00	50.00	0.00	63.32	0.000	3165.849	867322	127219
P.241	12000.00	50.00	0.00	57.36	0.000	2867.843	867322	130087
P.242	12050.00	50.00	0.00	50.80	0.000	2540.043	867322	132627
P.243	12100.00	50.00	0.00	44.24	0.000	2212.244	867322	134839
P.244	12150.00	50.00	0.00	38.23	0.000	1911.344	867322	136750
P.245	12200.00	50.00	0.00	28.80	0.000	1439.948	867322	138190
P.246	12250.00	50.00	0.00	16.26	0.000	813.091	867322	139003

ANNEXES

P.247	12300.00	50.00	0.00	6.97	0.000	348.477	867322	139352
P.248	12350.00	50.00	0.00	3.00	0.000	150.212	867322	139502
P.249	12400.00	50.00	0.11	0.07	5.732	3.674	867328	139506
P.250	12450.00	50.00	2.18	0.00	109.180	0.000	867437	139506
P.251	12500.00	50.00	0.71	0.00	35.262	0.000	867472	139506
P.252	12550.00	50.00	0.00	1.27	0.000	63.357	867472	139569
P.253	12600.00	50.00	2.96	0.00	148.049	0.000	867620	139569
P.254	12650.00	50.00	0.00	0.72	0.000	36.017	867620	139605
P.255	12700.00	50.00	0.00	4.77	0.000	238.385	867620	139843
P.256	12750.00	50.00	0.00	4.56	0.000	227.791	867620	140071
P.257	12800.00	50.00	0.01	0.00	0.591	0.214	867621	140071
P.258	12850.00	50.00	3.16	0.00	158.195	0.000	867779	140071
P.259	12900.00	50.00	2.67	0.00	133.736	0.000	867913	140071
P.260	12950.00	50.00	0.69	0.00	34.397	0.000	867947	140071
P.261	13000.00	50.00	0.00	4.41	0.000	220.727	867947	140292
P.262	13050.00	50.00	0.00	5.93	0.000	296.552	867947	140589
P.263	13100.00	50.00	0.00	9.46	0.000	472.957	867947	141062
P.264	13150.00	50.00	0.00	9.75	0.000	487.711	867947	141549
P.265	13200.00	50.00	0.00	11.25	0.000	562.391	867947	142112
P.266	13250.00	50.00	0.00	10.37	0.000	518.514	867947	142630
P.267	13300.00	50.00	0.00	10.26	0.000	513.179	867947	143143

P.268	13350.00	50.00	0.00	5.05	0.000	252.623	867947	143396
P.269	13400.00	50.00	0.00	4.41	0.000	220.554	867947	143617
P.270	13450.00	50.00	0.00	7.39	0.000	369.429	867947	143986
P.271	13500.00	50.00	0.00	8.50	0.000	424.885	867947	144411
P.272	13550.00	50.00	0.00	5.20	0.000	259.842	867947	144671
P.273	13600.00	50.00	0.00	5.40	0.000	270.163	867947	144941
P.274	13650.00	50.00	0.00	5.70	0.000	284.934	867947	145226
P.275	13700.00	50.00	0.00	3.09	0.000	154.398	867947	145380
P.276	13750.00	50.00	0.00	0.78	0.000	38.997	867947	145419
P.277	13800.00	50.00	0.00	3.03	0.000	151.630	867947	145571
P.278	13850.00	50.00	0.00	9.23	0.000	461.397	867947	146032
P.279	13900.00	50.00	0.00	10.36	0.000	518.139	867947	146550
P.280	13950.00	50.00	0.00	11.47	0.000	573.594	867947	147124
P.281	14000.00	50.00	0.00	11.02	0.000	550.830	867947	147675
P.282	14050.00	50.00	0.00	12.28	0.000	614.164	867947	148289
P.283	14100.00	50.00	0.00	8.94	0.000	447.151	867947	148736
P.284	14150.00	50.00	0.00	8.56	0.000	427.842	867947	149164
P.285	14200.00	50.00	0.00	8.95	0.000	447.453	867947	149611
P.286	14250.00	50.00	0.00	7.62	0.000	380.917	867947	149992
P.287	14300.00	50.00	0.00	2.57	0.000	128.356	867947	150121
P.288	14350.00	50.00	0.00	2.83	0.000	141.415	867947	150262

ANNEXES

P.289	14400.00	50.00	0.00	4.85	0.000	242.587	867947	150505
P.290	14450.00	50.00	0.00	7.41	0.000	370.526	867947	150875
P.291	14500.00	50.00	0.00	3.71	0.000	185.531	867947	151061
P.292	14550.00	50.00	0.00	3.78	0.000	189.219	867947	151250
P.293	14600.00	50.00	0.00	4.80	0.000	240.134	867947	151490
P.294	14650.00	50.00	0.00	4.03	0.000	201.735	867947	151692
P.295	14700.00	50.00	0.00	1.18	0.000	58.867	867947	151751
P.296	14750.00	50.00	2.10	0.00	104.943	0.000	868052	151751
P.297	14800.00	50.00	0.00	3.04	0.000	152.015	868052	151903
P.298	14850.00	50.00	0.00	3.49	0.000	174.568	868052	152077
P.299	14900.00	50.00	0.00	3.07	0.000	153.644	868052	152231
P.300	14950.00	50.00	0.00	7.60	0.000	380.014	868052	152611
P.301	15000.00	50.00	0.00	15.21	0.000	760.619	868052	153372
P.302	15050.00	50.00	0.00	23.91	0.000	1195.716	868052	154567
P.303	15100.00	50.00	0.00	27.92	0.000	1396.232	868052	155964
P.304	15150.00	50.00	0.00	24.50	0.000	1225.140	868052	157189
P.305	15200.00	50.00	0.00	16.97	0.000	848.376	868052	158037
P.306	15250.00	50.00	0.00	9.27	0.000	463.567	868052	158501
P.307	15300.00	50.00	0.00	1.27	0.000	63.649	868052	158564
P.308	15350.00	50.00	0.19	0.01	9.696	0.660	868062	158565
P.309	15400.00	50.00	0.00	3.58	0.000	179.209	868062	158744

P.310	15450.00	50.00	0.00	11.08	0.000	553.907	868062	159298
P.311	15500.00	50.00	0.00	6.04	0.000	301.898	868062	159600
P.312	15550.00	50.00	0.00	0.58	0.000	28.954	868062	159629
P.313	15600.00	50.00	3.76	0.00	188.220	0.000	868250	159629
P.314	15650.00	50.00	6.88	0.00	344.057	0.000	868594	159629
P.315	15700.00	50.00	5.77	0.00	288.604	0.000	868883	159629
P.316	15750.00	50.00	4.66	0.00	233.144	0.000	869116	159629
P.317	15800.00	50.00	9.80	0.00	489.772	0.000	869606	159629
P.318	15850.00	50.00	14.92	0.00	746.066	0.000	870352	159629
P.319	15900.00	50.00	23.38	0.00	1168.861	0.000	871521	159629
P.320	15950.00	50.00	31.30	0.00	1565.143	0.000	873086	159629
P.321	16000.00	50.00	26.38	0.00	1319.086	0.000	874405	159629
P.322	16050.00	50.00	14.84	0.00	741.984	0.000	875147	159629
P.323	16100.00	50.00	8.30	0.00	414.760	0.000	875562	159629
P.324	16150.00	50.00	3.94	0.00	196.838	0.000	875759	159629
P.325	16200.00	50.00	0.19	0.13	9.572	6.307	875768	159635
P.326	16250.00	50.00	0.00	5.15	0.000	257.415	875768	159893
P.327	16300.00	50.00	0.00	7.54	0.000	376.837	875768	160269
P.328	16350.00	50.00	0.00	3.38	0.000	169.094	875768	160439
P.329	16400.00	50.00	2.28	0.00	114.191	0.000	875882	160439
P.330	16450.00	50.00	3.15	0.00	157.552	0.000	876040	160439

ANNEXES

P.331	16500.00	50.00	2.04	0.00	102.096	0.000	876142	160439
P.332	16550.00	50.00	0.00	3.40	0.000	170.236	876142	160609
P.333	16600.00	50.00	0.00	3.16	0.000	157.962	876142	160767
P.334	16650.00	50.00	0.00	2.58	0.000	128.873	876142	160896
P.335	16700.00	50.00	0.00	2.58	0.000	128.769	876142	161024
P.336	16750.00	50.00	0.00	3.50	0.000	175.184	876142	161200
P.337	16800.00	50.00	0.00	5.12	0.000	255.779	876142	161455
P.338	16850.00	50.00	0.00	11.68	0.000	583.922	876142	162039
P.339	16900.00	50.00	0.00	18.24	0.000	912.064	876142	162951
P.340	16950.00	50.00	0.00	20.90	0.000	1045.056	876142	163996
P.341	17000.00	50.00	0.00	20.48	0.000	1023.798	876142	165020
P.342	17050.00	50.00	0.00	14.67	0.000	733.519	876142	165754
P.343	17100.00	50.00	0.00	13.26	0.000	662.897	876142	166417
P.344	17150.00	50.00	0.00	13.65	0.000	682.480	876142	167099
P.345	17200.00	50.00	0.00	9.32	0.000	466.088	876142	167565
P.346	17250.00	50.00	0.00	1.14	0.000	57.115	876142	167622
P.347	17300.00	50.00	0.09	0.43	4.389	21.306	876146	167644
P.348	17350.00	50.00	0.00	4.58	0.000	229.022	876146	167873
P.349	17400.00	50.00	0.00	7.80	0.000	389.843	876146	168262
P.350	17450.00	50.00	0.00	5.02	0.000	250.775	876146	168513
P.351	17500.00	50.00	0.00	6.36	0.000	317.853	876146	168831

P.352	17550.00	50.00	0.00	13.69	0.000	684.504	876146	169516
P.353	17600.00	50.00	0.00	8.01	0.000	400.462	876146	169916
P.354	17650.00	50.00	0.00	0.21	0.000	10.394	876146	169926
P.355	17700.00	50.00	9.42	0.00	471.203	0.000	876618	169926
P.356	17750.00	50.00	9.46	0.00	472.932	0.000	877090	169926
P.357	17800.00	50.00	9.31	0.00	465.255	0.000	877556	169926
P.358	17850.00	50.00	12.43	0.00	621.312	0.000	878177	169926
P.359	17900.00	50.00	13.03	0.00	651.693	0.000	878829	169926
P.360	17950.00	50.00	11.92	0.00	596.237	0.000	879425	169926
P.361	18000.00	50.00	10.82	0.00	540.781	0.000	879966	169926
P.362	18050.00	50.00	9.71	0.00	485.328	0.000	880451	169926
P.363	18100.00	50.00	12.72	0.00	636.152	0.000	881087	169926
P.364	18150.00	50.00	15.78	0.00	788.862	0.000	881876	169926
P.365	18200.00	50.00	25.49	0.00	1274.305	0.000	883150	169926
P.366	18250.00	50.00	31.85	0.00	1592.551	0.000	884743	169926
P.367	18300.00	50.00	31.50	0.00	1575.167	0.000	886318	169926
P.368	18350.00	50.00	28.47	0.00	1423.251	0.000	887741	169926
P.369	18400.00	50.00	24.74	0.00	1237.082	0.000	888978	169926
P.370	18450.00	50.00	38.48	0.00	1923.936	0.000	890902	169926
P.371	18500.00	50.00	43.01	0.00	2150.721	0.000	893053	169926
P.372	18550.00	50.00	39.42	0.00	1970.952	0.000	895024	169926

ANNEXES

P.373	18600.00	50.00	33.78	0.00	1689.108	0.000	896713	169926
P.374	18650.00	50.00	33.40	0.00	1670.083	0.000	898383	169926
P.375	18700.00	50.00	28.50	0.00	1424.771	0.000	899808	169926
P.376	18750.00	50.00	26.74	0.00	1336.770	0.000	901145	169926
P.377	18800.00	50.00	32.19	0.00	1609.491	0.000	902754	169926
P.378	18850.00	50.00	30.51	0.00	1525.504	0.000	904280	169926
P.379	18900.00	50.00	22.57	0.00	1128.679	0.000	905408	169926
P.380	18950.00	50.00	13.58	0.00	678.882	0.000	906087	169926
P.381	19000.00	50.00	3.24	0.00	162.198	0.000	906250	169926
P.382	19050.00	50.00	0.00	4.31	0.000	215.429	906250	170142
P.383	19100.00	50.00	2.03	0.00	101.468	0.000	906351	170142
P.384	19150.00	50.00	5.04	0.00	251.980	0.000	906603	170142
P.385	19200.00	50.00	13.22	0.00	660.860	0.000	907264	170142
P.386	19250.00	50.00	22.26	0.00	1112.786	0.000	908377	170142
P.387	19300.00	50.00	31.06	0.00	1553.045	0.000	909930	170142
P.388	19350.00	50.00	40.32	0.00	2016.029	0.000	911946	170142
P.389	19400.00	50.00	42.86	0.00	2142.771	0.000	914088	170142
P.390	19450.00	50.00	48.69	0.00	2434.508	0.000	916523	170142
P.391	19500.00	50.00	60.23	0.00	3011.282	0.000	919534	170142
P.392	19550.00	50.00	69.98	0.00	3498.871	0.000	923033	170142
P.393	19600.00	50.00	77.39	0.00	3869.589	0.000	926903	170142

P.394	19650.00	50.00	80.93	0.00	4046.534	0.000	930949	170142
P.395	19700.00	50.00	82.31	0.00	4115.497	0.000	935065	170142
P.396	19750.00	50.00	82.43	0.00	4121.269	0.000	939186	170142
P.397	19800.00	50.00	72.57	0.00	3628.326	0.000	942814	170142
P.398	19850.00	50.00	66.81	0.00	3340.317	0.000	946155	170142
P.399	19900.00	50.00	59.30	0.00	2964.752	0.000	949119	170142
P.400	19950.00	50.00	50.59	0.00	2529.556	0.000	951649	170142
P.401	20000.00	50.00	45.53	0.00	2276.646	0.000	953926	170142
P.402	20050.00	50.00	45.43	0.00	2271.419	0.000	956197	170142
P.403	20100.00	50.00	45.37	0.00	2268.521	0.000	958466	170142
P.404	20150.00	50.00	42.66	0.00	2133.060	0.000	960599	170142
P.405	20200.00	50.00	35.83	0.00	1791.608	0.000	962390	170142
P.406	20250.00	50.00	13.88	0.00	693.772	0.000	963084	170142
P.407	20300.00	50.00	0.00	15.40	0.000	770.204	963084	170912
P.408	20350.00	50.00	0.00	28.09	0.000	1404.518	963084	172317
P.409	20400.00	50.00	0.00	21.47	0.000	1073.352	963084	173390
P.410	20450.00	50.00	2.70	0.00	134.801	0.000	963219	173390
P.411	20500.00	50.00	35.88	0.00	1794.199	0.000	965013	173390
P.412	20550.00	50.00	58.89	0.00	2944.455	0.000	967957	173390
P.413	20600.00	50.00	53.83	0.00	2691.329	0.000	970649	173390
P.414	20650.00	50.00	35.96	0.00	1797.949	0.000	972447	173390

ANNEXES

P.415	20700.00	50.00	29.78	0.00	1489.037	0.000	973936	173390
P.416	20750.00	50.00	30.91	0.00	1545.540	0.000	975481	173390
P.417	20800.00	50.00	29.06	0.00	1452.973	0.000	976934	173390
P.418	20850.00	50.00	19.50	0.00	975.137	0.000	977909	173390
P.419	20900.00	50.00	0.00	8.75	0.000	437.305	977909	173827
P.420	20950.00	50.00	0.00	24.53	0.000	1226.450	977909	175054
P.421	21000.00	50.00	0.00	31.88	0.000	1594.097	977909	176648
P.422	21050.00	50.00	0.00	23.60	0.000	1180.208	977909	177828
P.423	21100.00	50.00	0.00	15.70	0.000	784.802	977909	178613
P.424	21150.00	50.00	0.00	11.97	0.000	598.498	977909	179211
P.425	21200.00	50.00	0.00	11.04	0.000	552.160	977909	179763
P.426	21250.00	50.00	0.00	15.21	0.000	760.326	977909	180524
P.427	21300.00	50.00	0.00	19.49	0.000	974.303	977909	181498
P.428	21350.00	50.00	0.00	26.00	0.000	1299.899	977909	182798
P.429	21400.00	50.00	0.00	35.47	0.000	1773.744	977909	184572
P.430	21450.00	50.00	0.00	47.30	0.000	2364.826	977909	186937
P.431	21500.00	50.00	0.00	43.84	0.000	2191.760	977909	189128
P.432	21550.00	50.00	0.00	42.71	0.000	2135.626	977909	191264
P.433	21600.00	50.00	0.00	40.94	0.000	2046.886	977909	193311
P.434	21650.00	50.00	0.00	34.17	0.000	1708.516	977909	195019
P.435	21700.00	50.00	0.00	34.11	0.000	1705.398	977909	196725

P.436	21750.00	50.00	0.00	28.95	0.000	1447.331	977909	198172
P.437	21800.00	50.00	0.00	20.65	0.000	1032.653	977909	199205
P.438	21850.00	50.00	0.00	9.44	0.000	472.104	977909	199677
P.439	21900.00	50.00	10.66	0.00	532.921	0.000	978442	199677
P.440	21950.00	50.00	30.93	0.00	1546.567	0.000	979989	199677
P.441	22000.00	50.00	42.02	0.00	2101.122	0.000	982090	199677
P.442	22050.00	50.00	52.12	0.00	2605.783	0.000	984696	199677
P.443	22100.00	50.00	59.75	0.00	2987.363	0.000	987683	199677
P.444	22150.00	50.00	64.16	0.00	3207.934	0.000	990891	199677
P.445	22200.00	50.00	68.00	0.00	3400.143	0.000	994291	199677
P.446	22250.00	50.00	71.18	0.00	3559.172	0.000	997850	199677
P.447	22300.00	50.00	75.24	0.00	3762.021	0.000	1001612	199677
P.448	22350.00	50.00	77.34	0.00	3867.145	0.000	1005480	199677
P.449	22400.00	50.00	62.22	0.00	3111.039	0.000	1008591	199677
P.450	22450.00	50.00	51.40	0.00	2570.016	0.000	1011161	199677
P.451	22500.00	50.00	39.51	0.00	1975.266	0.000	1013136	199677
P.452	22550.00	50.00	34.87	0.00	1743.677	0.000	1014880	199677
P.453	22600.00	50.00	29.34	0.00	1467.127	0.000	1016347	199677
P.454	22650.00	50.00	24.55	0.00	1227.405	0.000	1017574	199677
P.455	22700.00	50.00	10.23	0.00	511.330	0.000	1018085	199677
P.456	22750.00	50.00	8.45	0.00	422.343	0.000	1018508	199677

ANNEXES

P.457	22800.00	50.00	11.92	0.00	595.995	0.000	1019104	199677
P.458	22850.00	50.00	13.95	0.00	697.413	0.000	1019801	199677
P.459	22900.00	50.00	11.67	0.00	583.407	0.000	1020385	199677
P.460	22950.00	50.00	9.13	0.00	456.549	0.000	1020841	199677
P.461	23000.00	50.00	14.15	0.00	707.706	0.000	1021549	199677
P.462	23050.00	50.00	14.78	0.00	738.898	0.000	1022288	199677
P.463	23100.00	50.00	19.53	0.00	976.411	0.000	1023264	199677
P.464	23150.00	50.00	25.58	0.00	1278.972	0.000	1024543	199677
P.465	23200.00	50.00	35.15	0.00	1757.621	0.000	1026301	199677
P.466	23250.00	50.00	44.99	0.00	2249.336	0.000	1028550	199677
P.467	23300.00	50.00	54.82	0.00	2741.053	0.000	1031291	199677
P.468	23350.00	50.00	64.11	0.00	3205.336	0.000	1034496	199677
P.469	23400.00	50.00	75.10	0.00	3754.891	0.000	1038251	199677
P.470	23450.00	50.00	81.60	0.00	4080.133	0.000	1042331	199677
P.471	23500.00	50.00	89.65	0.00	4482.486	0.000	1046814	199677
P.472	23550.00	50.00	99.12	0.00	4955.899	0.000	1051770	199677
P.473	23600.00	50.00	104.40	0.00	5219.759	0.000	1056990	199677
P.474	23650.00	50.00	106.30	0.00	5315.153	0.000	1062305	199677
P.475	23700.00	50.00	109.65	0.00	5482.303	0.000	1067787	199677
P.476	23750.00	50.00	114.47	0.00	5723.656	0.000	1073511	199677
P.477	23800.00	50.00	109.65	0.00	5482.489	0.000	1078993	199677

P.478	23850.00	50.00	99.09	0.00	4954.312	0.000	1083948	199677
P.479	23900.00	50.00	84.02	0.00	4201.139	0.000	1088149	199677
P.480	23950.00	50.00	63.42	0.00	3170.927	0.000	1091320	199677
P.481	24000.00	50.00	37.60	0.00	1880.205	0.000	1093200	199677
P.482	24050.00	50.00	12.59	0.00	629.711	0.000	1093830	199677
P.483	24100.00	50.00	0.00	6.80	0.000	340.159	1093830	200017
P.484	24150.00	50.00	0.00	7.31	0.000	365.565	1093830	200383
P.485	24200.00	50.00	2.18	0.61	108.852	30.545	1093938	200413
P.486	24250.00	50.00	0.00	7.65	0.000	382.404	1093938	200796
P.487	24300.00	50.00	0.00	30.12	0.000	1506.007	1093938	202302
P.488	24350.00	50.00	0.00	74.23	0.000	3711.640	1093938	206013
P.489	24400.00	50.00	0.00	112.72	0.000	5635.953	1093938	211649
P.490	24450.00	50.00	0.00	124.35	0.000	6217.331	1093938	217866
P.491	24500.00	50.00	0.00	99.36	0.000	4967.816	1093938	222834
P.492	24550.00	50.00	0.00	60.06	0.000	3002.829	1093938	225837
P.493	24600.00	50.00	0.00	37.12	0.000	1855.798	1093938	227693
P.494	24650.00	50.00	0.00	32.00	0.000	1600.199	1093938	229293
P.495	24700.00	50.00	0.00	30.76	0.000	1537.948	1093938	230831
P.496	24750.00	50.00	0.00	31.34	0.000	1567.226	1093938	232398
P.497	24800.00	50.00	0.00	33.49	0.000	1674.399	1093938	234073
P.498	24850.00	50.00	0.00	38.89	0.000	1944.588	1093938	236017

ANNEXES

P.499	24900.00	50.00	0.00	38.03	0.000	1901.417	1093938	237919
P.500	24950.00	50.00	0.00	37.13	0.000	1856.679	1093938	239775
P.501	25000.00	50.00	0.00	38.46	0.000	1923.190	1093938	241699
P.502	25050.00	50.00	0.00	42.64	0.000	2132.050	1093938	243831
P.503	25100.00	50.00	0.00	52.95	0.000	2647.610	1093938	246478
P.504	25150.00	50.00	0.00	64.01	0.000	3200.506	1093938	249679
P.505	25200.00	50.00	0.00	75.51	0.000	3775.675	1093938	253454
P.506	25250.00	50.00	0.00	78.17	0.000	3908.270	1093938	257363
P.507	25300.00	50.00	0.00	77.86	0.000	3893.101	1093938	261256
P.508	25350.00	50.00	0.00	81.60	0.000	4080.063	1093938	265336
P.509	25400.00	50.00	0.00	90.11	0.000	4505.579	1093938	269841
P.510	25450.00	50.00	0.00	96.35	0.000	4817.576	1093938	274659
P.511	25500.00	50.00	0.00	94.53	0.000	4726.733	1093938	279386
P.512	25550.00	50.00	0.00	97.06	0.000	4852.855	1093938	284239
P.513	25600.00	50.00	0.00	84.78	0.000	4239.223	1093938	288478
P.514	25650.00	50.00	0.00	66.10	0.000	3305.127	1093938	291783
P.515	25700.00	50.00	0.00	45.85	0.000	2292.515	1093938	294075
P.516	25750.00	50.00	0.00	29.88	0.000	1494.228	1093938	295570
P.517	25800.00	50.00	0.00	18.14	0.000	906.861	1093938	296476
P.518	25850.00	50.00	0.00	5.31	0.000	265.368	1093938	296742
P.519	25900.00	50.00	8.06	0.00	402.856	0.000	1094341	296742

P.520	25950.00	50.00	9.83	0.00	491.557	0.000	1094833	296742
P.521	26000.00	50.00	19.41	0.00	970.623	0.000	1095803	296742
P.522	26050.00	50.00	22.94	0.00	1147.073	0.000	1096950	296742
P.523	26100.00	50.00	20.07	0.00	1003.350	0.000	1097954	296742
P.524	26150.00	50.00	14.09	0.00	704.545	0.000	1098658	296742
P.525	26200.00	50.00	5.98	0.00	299.119	0.000	1098958	296742
P.526	26250.00	50.00	11.11	0.00	555.559	0.000	1099513	296742
P.527	26300.00	50.00	31.35	0.00	1567.642	0.000	1101081	296742
P.528	26350.00	50.00	62.87	0.00	3143.567	0.000	1104224	296742
P.529	26400.00	50.00	72.24	0.00	3611.761	0.000	1107836	296742
P.530	26450.00	50.00	72.34	0.00	3617.041	0.000	1111453	296742
P.531	26500.00	50.00	69.74	0.00	3487.156	0.000	1114940	296742
P.532	26550.00	50.00	64.91	0.00	3245.524	0.000	1118186	296742
P.533	26600.00	50.00	58.45	0.00	2922.640	0.000	1121108	296742
P.534	26650.00	50.00	59.18	0.00	2959.019	0.000	1124067	296742
P.535	26700.00	50.00	66.79	0.00	3339.479	0.000	1127407	296742
P.536	26750.00	50.00	64.49	0.00	3224.713	0.000	1130632	296742
P.537	26800.00	50.00	52.39	0.00	2619.738	0.000	1133251	296742
P.538	26850.00	50.00	43.45	0.00	2172.429	0.000	1135424	296742
P.539	26900.00	50.00	35.59	0.00	1779.729	0.000	1137204	296742
P.540	26950.00	50.00	28.23	0.00	1411.523	0.000	1138615	296742

ANNEXES

P.541	27000.000	50.00	16.52	0.00	826.115	0.000	1139441	296742
P.542	27050.000	50.00	13.49	0.00	674.593	0.000	1140116	296742
P.543	27100.000	50.00	18.88	0.00	943.870	0.000	1141060	296742
P.544	27150.000	50.00	19.89	0.00	994.429	0.000	1142054	296742
P.545	27200.000	50.00	18.68	0.00	933.973	0.000	1142988	296742
P.546	27250.000	50.00	16.16	0.00	807.773	0.000	1143796	296742
P.547	27300.000	50.00	11.20	0.00	560.163	0.000	1144356	296742
P.548	27350.000	50.00	10.13	0.00	506.708	0.000	1144863	296742
P.549	27400.000	50.00	8.80	0.00	440.225	0.000	1145303	296742
P.550	27450.000	50.00	1.76	0.11	87.770	5.394	1145391	296747
P.551	27500.000	50.00	0.00	13.38	0.000	669.154	1145391	297416
P.552	27550.000	50.00	0.00	28.05	0.000	1402.343	1145391	298819
P.553	27600.000	50.00	0.00	35.05	0.000	1752.680	1145391	300571
P.554	27650.000	50.00	0.00	36.35	0.000	1817.466	1145391	302389
P.555	27700.000	50.00	0.00	32.03	0.000	1601.527	1145391	303990
P.556	27750.000	50.00	0.00	33.84	0.000	1692.074	1145391	305683
P.557	27800.000	50.00	0.00	23.02	0.000	1151.077	1145391	306834
P.558	27850.000	50.00	0.00	17.24	0.000	861.783	1145391	307695
P.559	27900.000	50.00	0.00	18.19	0.000	909.466	1145391	308605
P.560	27950.000	48.04	0.00	20.54	0.000	986.663	1145391	309591
P.561	27996.077	23.04	0.00	42.64	0.000	982.296	1145391	310574