

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	a
TABLE DES MATIERES.....	b
LISTE DES TABLEAUX.....	h
LISTE DES FIGURES	j
LISTE DES PHOTOS.....	k
LISTE DES ABREVIATIONS.....	l
LISTE DES NOTATIONS.....	m
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : ETUDES SOCIO-ECONOMIQUES	
ChapI. Généralités sur le projet.....	2
I.1. Localisation.....	2
I.2. Contexte et objectifs du projet	2
I.3. Présentation du projet.....	3
I.3.1. Présentation des promoteurs	3
I.3.2. Description du projet et de la zone d'étude.....	3
I.3.3. Zone d'influence du projet	4
ChapII. Monographie de la Région Atsimo-Andrefana.....	5
II.1. Milieu physique.....	5
II.1.1. Approche géographique	5
II.1.2. Gisements miniers.....	5
II.1.3. Faune et flore	6
II.2. Milieu Humain	6
II.2.1. Démographie	6
II.2.1.1. Effectif de la population	6
II.2.1.2. Projection démographique.....	6
II.2.2. Ethique et sécurité	7
II.2.3. Equipement sanitaire.....	8
II.2.4. Equipement scolaire	8
II.3. Milieu économique	9
II.3.1. Agriculture	9
II.3.2. Elevage	10
II.3.3. Production halieutique	11
II.3.4. Tourisme et Hôtellerie	12

II.3.5.	Transport	13
II.3.5.1.	Infrastructure routier	13
II.3.5.2.	Transport aérien	13
II.3.5.3.	Transport maritime	13
ChapIII.	Etude de trafic	15
III.1.	Trafic passé et trafic actuel	15
III.2.	Estimation du trafic futur	16
III.2.1.	Trafic normal	16
III.2.2.	Trafic dévié	16
III.2.3.	Trafic induit	17
III.2.4.	Trafic estimé	17
PARTIE II : ETUDES TECHNIQUES		
ChapIV.	Diagnostic de la chaussée	19
IV.1.	Environnement du projet	19
IV.1.1.	Aspect géographique	19
IV.1.2.	Aspect hydrologique	19
IV.1.2.1.	Principaux fleuves drainés	19
IV.1.2.2.	Nappes phréatiques	19
IV.1.2.3.	Lacs	20
IV.1.3.	Aspect climatologique	20
IV.2.	Dégradations observées	20
IV.2.1.	Dégradation de la route à aménager	20
IV.2.2.	Dégradation des ouvrages d'assainissements	22
IV.2.3.	Dégradation des ouvrages de franchissements	22
IV.3.	Caractéristiques Géométriques de la route	23
IV.3.1.	Les vitesses	24
IV.3.1.1.	Vitesse de base	24
IV.3.1.2.	Vitesse de référence	24
IV.3.2.	Tracé en plan et profil en long	24
IV.3.2.1.	Rayon de courbure	24
IV.3.2.2.	Alignement droit	25
IV.3.2.3.	Surlargeur en courbe	25
IV.3.3.	Profil en travers	26
IV.3.3.1.	Structure	26
IV.3.3.2.	Largeur et pente de la chaussée	27
IV.3.3.3.	Devers	27
IV.3.3.4.	Accotement	28
IV.3.3.5.	Fossés latéraux	28
IV.4.	Autres aménagements	28
IV.4.1.	Entretien du pont Fiherenana	28
IV.4.2.	Gare routière d'Antsokobory	28
IV.4.3.	Déviations Tsingoritelo	29

ChapV. Etude des matériaux	31
V.1. Spécification des matériaux	31
V.1.1. Matériaux pour remblais	31
V.1.2. Matériaux pour couche de fondation	31
V.1.3. Matériaux pour couche de base	31
V.1.4. Matériaux pour couche de roulement et accotements	32
V.2. Provenance des matériaux	32
V.2.1. Terminologie	32
V.2.2. Gisement meuble	33
V.2.3. Gisement rocheux	33
V.3. Résultats des essais	33
ChapVI. Dimensionnement de la chaussée	34
VI.1. Méthode LNTPB	34
VI.1.1. Principe de calcul	34
VI.1.2. Répartition du trafic	34
VI.1.3. Portance du sol support	35
VI.1.4. Epaisseur équivalente	35
VI.1.5. Epaisseur réelle des couches	35
VI.1.6. Vérification de contraintes	36
VI.1.6.1. Représentation de la couche équivalente	36
VI.1.6.2. Paramètre de lecture des abaques	37
VI.1.6.3. Contrainte admissible	37
VI.1.6.4. Vérification de contraintes pour le sol de CBR égal à 10	38
VI.1.6.5. Résultats des Vérifications de contraintes pour toutes les valeurs du CBR	39
VI.2. Méthode LCPC	39
VI.2.1. Classe du trafic	39
VI.2.2. Trafic cumulé et nombre d'essieux équivalents	40
VI.2.3. Epaisseur des couches	40
VI.2.3.1. Couche de roulement	40
VI.2.3.2. Couche de base	40
VI.2.3.3. Couche de fondation	40
VI.2.3.4. Représentation de la structure	41
ChapVII. Etudes Hydrologiques et Hydrauliques	42
VII.1. Etude hydrologique	42
VII.1.1. Traitement des données	42
VII.1.2. Caractéristiques du bassin versant	44
VII.1.2.1. Surface du bassin versant	44
VII.1.2.2. Pente du bassin versant	45
VII.1.2.3. Coefficient de ruissèlement	45
VII.1.3. Calcul des débits de crue	46
VII.2. Etude des fossés	46
VII.2.1. Caractéristiques géométriques des fossés	47

VII.2.2.	Principe de dimensionnement	48
VII.2.3.	Débit à évacuer	48
VII.2.3.1.	Fossé triangulaire.....	50
VII.2.3.2.	Fossé rectangulaire	51
VII.2.3.3.	Interprétation des résultats	52
VII.3.	Dimensionnement des dalots	53
VII.3.1.	Principe de calcul	53
VII.3.2.	Calcul de la pente.....	53
VII.3.3.	Calcul de la vitesse d'écoulement.....	54
VII.3.4.	Exemple de calcul	54
VII.4.	Dimensionnement mécanique des dalles de dalot.....	55
VII.4.1.	Prédimensionnement.....	55
VII.4.2.	Evaluation des charges	56
VII.4.2.1.	Charges permanentes	56
VII.4.2.2.	Surcharges d'exploitation	58
VII.4.2.3.	Récapitulation des charges appliquées sur le dalot	60
VII.4.3.	Calcul des efforts par la méthode de Cross	61
VII.4.3.1.	Principe de calcul	61
VII.4.3.2.	Hypothèse de calcul	62
VII.4.3.3.	Calcul des moments transmis aux barres	63
VII.4.3.4.	Sollicitations de calcul	64
VII.4.4.	Calcul des armatures des dalles horizontales	67
VII.4.4.1.	Hypothèse de calcul	67
VII.4.4.2.	Armatures longitudinales.....	69
VII.4.4.3.	Armatures transversales	71
VII.4.5.	Calcul des armatures des piédroits	71
VII.4.5.1.	Principe de calcul	71
VII.4.5.2.	Calcul de l'effort normal	72
VII.4.5.3.	Calcul de l'élancement.....	72
VII.4.5.4.	Calcul des armatures longitudinales	73
VII.4.5.5.	Armature transversale	73

PARTIE III : EVALUATION FINANCIERE ET ETUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

ChapVIII.	Evaluation des coûts du projet	75
VIII.1.	Devis descriptif.....	75
VIII.2.	Devis quantitatif	83
VIII.2.1.	Terrassement.....	84
VIII.2.2.	Assainissement.....	84
VIII.2.3.	Chaussée	85
VIII.2.4.	Ouvrage de protection	86
VIII.2.5.	Signalisation-équipement.....	86
VIII.2.6.	Récapitulation	86
VIII.3.	Devis estimatif	88
VIII.3.1.	Coefficient de déboursé	88

VIII.3.2.	Sous-détail de prix.....	89
VIII.3.3.	Détails quantitatif et estimatif.....	91
VIII.3.4.	Coût des entretiens	92
VIII.3.4.1.	Entretien courant	92
VIII.3.4.2.	Entretien périodique.....	92
ChapIX.	Etude de rentabilité	93
IX.1.	Effet sur le coût d'exploitation des véhicules.....	93
IX.1.1.	Hypothèse sur les coûts fixes.....	94
IX.1.1.1.	Les assurances.....	94
IX.1.1.2.	Taxes professionnelles.....	94
IX.1.1.3.	Le personnel de conduite	94
IX.1.1.4.	Les réparations.....	95
IX.1.2.	Hypothèse sur les coûts proportionnels	95
IX.1.3.	Résultats	96
IX.1.4.	Calcul d'avantage	97
IX.2.	Evaluation économique	97
IX.2.1.	Estimation des avantages nets	97
IX.2.1.1.	Coût d'investissement.....	98
IX.2.1.2.	Avantage lié au trafic.....	98
IX.2.1.3.	Calcul de l'avantage net.....	98
IX.2.2.	Etude de rentabilité proprement dite	100
IX.2.2.1.	Valeur actuelle nette (VAN)	100
IX.2.2.2.	Indice de profitabilité (IP)	101
IX.2.2.3.	Taux interne de rentabilité (TIR)	101
IX.2.3.	Délais de récupération du capital investi.....	102
ChapX.	Etude d'impact environnemental.....	104
X.1.	Impacts liés à l'emprise de la route.....	104
X.1.1.	Milieu physique.....	104
X.1.1.1.	Topographie et géologie	104
X.1.1.2.	Eaux et cycle hydrologique	104
X.1.2.	Milieu biologique	104
X.1.3.	Milieu humain	105
X.2.	Impact négatif lié aux travaux	105
X.2.1.	Impact lié à l'installation de chantier	105
X.2.2.	Impact sur la faune et la flore	105
X.2.3.	Autres impacts négatifs.....	106
X.3.	Impacts positifs.....	106
X.3.1.	Pendant les travaux	106
X.3.1.1.	Créations d'emplois.....	106
X.3.1.2.	Créations d'activité aux populations riveraines.....	106
X.3.2.	Après les travaux	107
X.3.2.1.	Impacts économiques.....	107
X.3.2.2.	Impact sociaux	107

X.4. Grille d'évaluation des impacts	107
X.4.1. Intensité	107
X.4.2. La durée.....	107
X.4.3. La portée	108
X.4.4. Importance.....	108
X.5. Mesure d'atténuation des impacts négatifs.....	110
X.5.1. Déformation forestière.....	110
X.5.2. Risque d'incendie et risque de pollution.....	110
X.5.3. Risque de maladies	110
X.6. Optimisation des impacts positifs	110
CONCLUSION GENERALE	111
BIBLIOGRAPHIE	112
ANNEXES	A

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Principaux gisements miniers de la Région Atsimo-Andrefana	5
Tableau 2 Evolution démographique de la Région Atsimo-Andrefana	6
Tableau 3 Projection démographique de la Région Atsimo-Andrefana	7
Tableau 4 Causes et zones touchées par la criminalité	7
Tableau 5 Nombre de formations sanitaires dans la Région Atsimo Andrefana	8
Tableau 6 Répartition des établissements scolaires	8
Tableau 7 Nombre des enseignants	9
Tableau 8 Production agricole de la Région	10
Tableau 9 Récapitulation de la production vivrière par district pour l'année 2007	10
Tableau 10 Effectif des bovidés, ovidés et caprins en 2007	11
Tableau 11 Données statistiques de pêche en 2008	12
Tableau 12 Classification des véhicules	15
Tableau 13 Prévision du trafic normal	16
Tableau 14 Trafic détourné	17
Tableau 15 Trafic induit	17
Tableau 16 Trafic futur estimé	18
Tableau 17 Différentes dégradations observées	21
Tableau 18 Rayon de courbure	25
Tableau 19 Fuseau granulométrique pour la couche de base	32
Tableau 20 Caractéristiques des Matériaux du gisement meuble	33
Tableau 21 CBR du sol support	35
Tableau 22 Epaisseur réelle de la couche de fondation en fonction du CBR	36
Tableau 23 Module d'élasticité des couches	38
Tableau 24 Méthode LNTPB-vérification de contraintes	39
Tableau 25 Pluviométrie de la Région traitée par la loi de GAMBEL	43
Tableau 26 Débit de crue pour une période de retour P	44
Tableau 27 Caractéristiques des bassins versants	45
Tableau 28 Récapitulatif des débits à évacuer	46
Tableau 29 Géométrie des fossés	47
Tableau 30 Débit transversale à évacuer en m^3/s	49
Tableau 31 Résultats du dimensionnement des fossés triangulaires	50
Tableau 32 Résultats du dimensionnement des fossés rectangulaires	51
Tableau 33 Tableau récapitulatif des charges appliquées sur le dalot	60
Tableau 34 Moment dû à la charge au-dessus	63
Tableau 35 Moment dû à la poussée du remblai	63
Tableau 36 Moment dû à la réaction du sol	63
Tableau 37 Moment dû à la surcharge routière	63
Tableau 38 Moment dû à la surcharge engendrée par le sol	64
Tableau 40 Moment de la barre AB à l'ELU	65
Tableau 41 Effort Tranchant de la barre AB à l'ELU	66
Tableau 42 Armatures en travée	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 43 Armature aux appuis	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 44 Redimensionnement des armatures à l'ELS	70
Tableau 45 Section des armatures transversales en fonction des armatures longitudinales	73
Tableau 46 Nettoyage, désherbage et débroussaillage	84
Tableau 47 Reste du terrassement	84
Tableau 48 Fossé triangulaire latéral	84

Tableau 49 Démolition des ouvrages existants	85
Tableau 50 Dalot à construire	85
Tableau 51 Reprofilage léger.....	85
Tableau 52 Quantitatif de la structure de la chaussée.....	85
Tableau 53 Enrochement	86
Tableau 54 Gabion.....	86
Tableau 55 Quantitatif des signalisations et équipement.....	86
Tableau 56 Devis quantitatif.....	87
Tableau 57 Coefficients relatifs aux déboursés sec	89
Tableau 58 Constituant des coûts d'exploitation	93
Tableau 59 Assurances	94
Tableau 60 Taxes professionnelles	94
Tableau 61 Rémunération du personnel	94
Tableau 62 Réparations des véhicules	95
Tableau 63 Caractéristiques des coûts proportionnels pour une route dégradée	95
Tableau 64 Caractéristiques des coûts proportionnels pour une route aménagée	95
Tableau 65 Pourcentage des réparations matérielles par rapport au prix neuf des véhicules	96
Tableau 66 Coût proportionnel et coût fixe pour une route dégradée	96
Tableau 67 Coûts fixes et coûts proportionnels pour une route aménagée	97
Tableau 68 Avantage par véhicule.....	97
Tableau 69 Projection du trafic annuel	98
Tableau 70 Avantage net par an	99
Tableau 71 Calcul de la valeur actuelle nette.....	100
Tableau 72 Flux de trésorerie cumulé	103
Tableau 73 Evaluation des impacts environnementaux	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Localisation du projet	2
Figure 2 Surlargeur en courbe	25
Figure 3 Profil en travers type.....	26
Figure 4 Largeur et pente de la chaussée	27
Figure 5 Dévers	27
Figure 6 Structure de base.....	36
Figure 7 Structure tricouche équivalente.....	37
Figure 8 Structure par la méthode LCPC.....	41
Figure 9 Schémas des différents types de fossés	47
Figure 10 Ouvrage de décharge	52
Figure 11 Représentation du dalot cadre 1,00x1,00.....	55
Figure 12 Poussée du remblai	56
Figure 13 Répartition des angles pour le coefficient de poussée.....	57
Figure 14 Représentation longitudinale du système B _c	58
Figure 15 Surface d'impact des roues.....	58
Figure 16 Diffusion des charges	59
Figure 17 Charges appliquées sur le dalot.....	61
Figure 18 Expression des moments d'encastrement parfait.....	62
Figure 19 Diagramme du Moment fléchissant de la barre AB	65
Figure 20 Diagramme des Efforts Tranchants de la barre AB à l'ELU.....	66
Figure 21 Diagrammes des Moments Fléchissant et des Efforts Tranchants du dalot.....	67
Figure 22 Paramètres de calcul des armatures	68
Figure 23 VAN en fonction du taux d'actualisation	102

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo 1 Réseau routier en ville</i>	<i>4</i>
<i>Photo 2 Début des travaux.....</i>	<i>4</i>
<i>Photo 3 Remblai et couche de fondation effectué</i>	<i>4</i>
<i>Photo 4 Epaufrement de rive.....</i>	<i>21</i>
<i>Photo 5 Nids de poule</i>	<i>21</i>
<i>Photo 6 Effondrement</i>	<i>22</i>
<i>Photo 7 Dalot obstrué.....</i>	<i>22</i>
<i>Photo 8 Fossé ensablé.....</i>	<i>22</i>
<i>Photo 9 Nids de poule sur le pont Fiherenana.....</i>	<i>23</i>
<i>Photo 10 Fondation du pont Fiherenana</i>	<i>23</i>
<i>Photo 11 Insuffisance de garde-corps.....</i>	<i>23</i>
<i>Photo 12 Affaissement sur le pont.....</i>	<i>23</i>
<i>Photo 13 Corrosion des garde-corps.....</i>	<i>23</i>
<i>Photo 14 Etat actuel de la gare routière.....</i>	<i>29</i>
<i>Photo 15 Etat de la chaussée dans le village de Tsingoritelo</i>	<i>29</i>
<i>Photo 16 Variantes possibles pour la déviation du village de Tsingoritelo</i>	<i>30</i>
<i>Photo 17 Installation de chantier.....</i>	<i>83</i>

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation :

Ar : Ariary

ARM : Autorité Routière de Madagascar

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

CB : couche de base

CBR : Californian Bearing Ratio

CD : Côté Droit

CEM : Cement

CF : Couche de Fondation

CG : Côté Gauche

CR : Couche de roulement

CU : Charge Utile

DQE : Détail Quantitatif et estimatif

DIRTPM : Direction Inter-Régionale des Travaux Publics et de la Météorologie

ELU : Etat Limite Ultime

ELS : Etat Limite de Service

ES_b : Enduit Superficiel bicouche

GCNT : Grave Concassée Non Traitée

LNTPB : Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

MOA : Maitre d'Ouvrage

MOE : Maitre d'Œuvre

MS : Matériaux Sélectionnés

PK : Point Kilométrique

PL : Poids Lourds

RNP : Route Nationale Primaire

RNS : Route Nationale Secondaire

RNT : Route Nationale Temporaire

TL : Trafics Lourd

TN : Trafic Normal

TIR : Taux Interne de Rentabilité

TVA : Taxes sur la Valeur Ajoutée

VAN : Valeur Actuelle Nette

LISTE DES NOTATIONS

Géotechnique

G : gonflement

ES : équivalent de sable

LA : Los Angeles

IP : Indice de Plasticité

MDE : Micro-Déval en présence d'Eau

OPM : Optimum Proctor Modifié

W : Teneur en eau

W_{OPM} : Teneur en eau optimale

W_L : Limite de Liquidité

W_p : Limite de Plasticité

Notation hydrologique

BV : Bassin Versant

C : Coefficient

I : Intensité de pluie

i_f : Pente Longitudinale d'un fossé

k : Coefficient de rugosité

Q : Débit de crue

R : Rayon hydraulique

V : Vitesse d'écoulement

χ : Périmètre mouillé

ω : Section mouillée

Notation béton armé

A : Section d'acier

A_{min} : Section minimale d'armature

b : Largeur de la section

c : Enrobage

d : Hauteur utile

e : Epaisseur de l'élément

f_{c28} : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours d'âge

f_e : Limite d'élasticité de l'acier

f_{t28} : Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours d'âge

G : Charge permanente

h : Hauteur de la section

I : Moment d'inertie

M_{ser} : Moment fléchissant de service

M_u : Moment fléchissant ultime

N : Effort normal

Q : Surcharge

V : Effort tranchant

INTRODUCTION

L'enclavement est l'une des causes du sous-développement d'un pays. En effet, certaines zones restent dépourvues de la civilisation et vivent dans l'ignorance totale du bien-être et du confort. C'est pourquoi, construire des voies de circulation s'avère impératif afin de réduire la pauvreté et d'exploiter au maximum les richesses économiques.

Cependant, même si les infrastructures routières sont mises en place, certaines villes semblent toujours être privées des croissances économiques. Dans certaine Région de Madagascar, la voie terrestre reste non praticable pour une bonne partie de l'année. Les approvisionnements ne sont pas acheminés à temps, les courriers laissent à désirer. Pour y remédier, des projets d'Aménagement routiers sont mis en place.

C'est dans cette optique que ce projet d'aménagement de la Route Nationale n°09 a été effectué. Ces travaux enchaîneront le désenclavement de la Région Atsimo Andrefana et contribueront au développement socio-économique de celle-ci. Ainsi, le secteur Travaux Publics va une fois de plus intervenir tant pour la phase étude que pour la phase exécution.

C'est pourquoi un Ingénieur de ce secteur doit maîtriser plusieurs domaines comme la Topographie, l'Hydrologie, le Dimensionnement des chaussées... Ce document reflète la capacité des élèves Ingénieurs à appliquer leurs connaissances acquises tout au long du cursus. Arrivés au terme de leurs études, ces derniers doivent être capables d'effectuer correctement l'étude d'aménagement de cette route reliant Toliara et Ifaty.

Pour ce faire, la méthodologie appliquée pour la réalisation de ce mémoire repose essentiellement sur la consultation de document notamment les méthodes LNTPB et LCPC pour le dimensionnement de chaussée, les règles de BAEL 91/99 pour le calcul des ouvrages et enfin les cours donnés par les enseignants pendant les années d'études.

L'ouvrage se divise en trois parties. En premier lieu, une étude socio-économique sera effectuée afin de bien cerner le sujet. En second lieu arrivera la partie technique enrobant tous les calculs nécessaires à la conception de l'Aménagement. Et enfin, la dernière partie sera composée d'une évaluation financière et d'une étude d'impact environnemental.

PARTIE I : ETUDES SOCIO- ECONOMIQUES

ChapI. Généralités sur le projet

I.1.Localisation

Le projet s'effectue sur un tronçon de la RN9, c'est-à-dire de Toliara à Analamisampy. Sa longueur est de 107km. Celui-ci se situe sur la Région Atsimo Andrefana et passe par les districts de Toliara I, Toliara II et Morombe.



Figure 1 Localisation du projet

Source : FTP 2000

I.2.Contexte et objectifs du projet

Le taux de pauvreté de la Région est supérieur à la moyenne nationale (75% contre 69%). En effet, malgré sa capacité agricole et touristique très élevée, celle-ci peut se trouver enclavée jusqu'à huit mois. La plupart des routes restent impraticables pendant la période de pluie. De plus, les catastrophes naturelles, particulièrement les cyclones causant des inondations, affectent directement les réseaux routiers.

Ainsi, ce projet sera la solution à l'enclavement. Il permettra d'améliorer les conditions de vie de la population, de valoriser le potentiel économique de la Région Atsimo-Andrefana, et enfin d'assurer une liaison pérenne pour la circulation des marchandises.

I.3.Présentation du projet

I.3.1. Présentation des promoteurs

Voici les différents intervenants de ce projet :

- MOA : MTPM et DIRTPM Toliara ;
- MOA Délégué : ARM ;
- MOE : LBI ;
- Entreprise Titulaire : China Railways 18th Bureau Group Madagascar Project Department.

I.3.2. Description du projet et de la zone d'étude

Les Travaux consistent à :

- Débroussailler, dégager l'assiette en dehors de l'emprise actuelle de la chaussée et abattre des arbres ;
- Effectuer des purges dans les zones de bourniers et les zones marécageuses ;
- Terrasser afin de rectifier les caractéristiques géométriques de la route : élargissement, rectification de tracé et de ligne rouge ;
- Réparer ou construire des ouvrages d'assainissement hydraulique ;
- Aménager la culée du pont sur le fleuve Manombo ;
- Construire une chaussée (couche de forme, couche de fondation, couche de base et revêtement en béton bitumineux) du PK0+000 au PK59+725 ;
- Réhabiliter les ponts de Fiherenana et de Manombo ;
- Réaliser les amorces des pistes d'accès qui bifurque sur la route en projet ;
- Aménager les traversés des agglomérations et des aires de stationnement ;
- Mettre en place des équipements au niveau des ouvrages hydrauliques existant (garde-corps, glissières de sécurité...).

Le projet est divisé en 2 lots : premier lot PK0+000 à PK59+725 (Toliara - pont de Manombo), deuxième lot PK59+725 à PK107+000 (pont de Manombo – Analamisampy). La zone d'étude se focalisera sur le tronçon débutant de la ville de Toliara jusqu'à Tsingoritelo.



Photo 1 Réseau routier en ville



Photo 2 Début des travaux

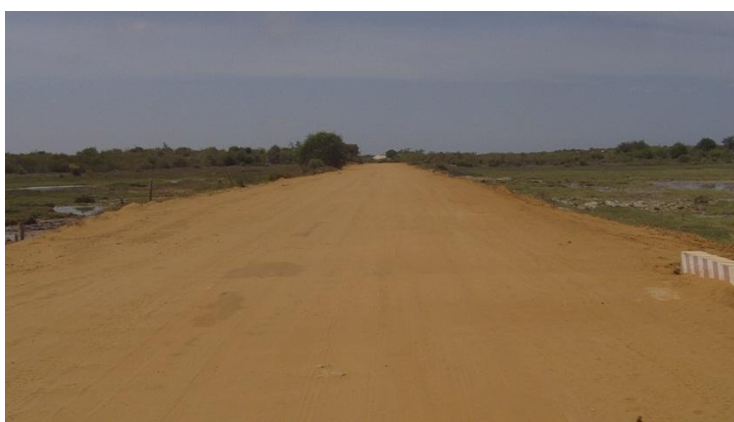


Photo 3 Remblai et couche de fondation effectué

I.3.3. Zone d'influence du projet

L'aménagement de la RN9 reliant Toliara et Analamisampy a une influence directe sur trois districts : Toliara I, Toliara II et Morombe,... De plus, ce sera un très grand avantage pour la Région car ce projet permettra le développement économique et social de celle-ci. En effet, cette route n'était accessible qu'aux camions et aux 4x4. Mais actuellement les petites voitures y arrivent sans difficultés.

ChapII. Monographie de la Région Atsimo-Andrefana

II.1. Milieu physique

II.1.1. Approche géographique

Auparavant, Madagascar était divisée en 6 provinces : Toamasina, Antananarivo, Antsiranana, Fianarantsoa, Mahajanga et Toliara. Mais en septembre 2004, le processus de décentralisation a été enclenché et actuellement, le pays compte 22 Régions. La province de Toliara a éclaté en 4 régions à savoir Menabe, Anosy, Androy et Atsimo Andrefana. Ce dernier a pour chef-lieu Toliara ville, l'ancienne capitale de l'ex-province Toliara.

La région SUD-OUEST est la plus grande parmi les 22 régions. En effet, avec sa superficie de 66 714 km², celle-ci est plus grande que l'ensemble des régions d'Analamanga, d'Itasy, de Bongolava et de Vakinankaratra. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : latitude entre 21°66' et 24°72' ; longitude entre 43°47' et 45°47'.

II.1.2. Gisements miniers

Le sous-sol de la Région possède des richesses précieuses et inestimables. Les principaux gisements miniers sont représentés par le tableau ci-après :

Tableau 1 Principaux gisements miniers de la Région Atsimo-Andrefana

Gisement	Zone d'exploitation
Saphir	Sakaraha, Ankazoabo, Beroroha, Ambohimahavelo, Ankilivalo et Bezaha
Pétrole	Sakaraha
Labradorites	Benenitra et Ampanihy
Kaolin	Ampotaka
Calcaire	Soalary
Graphite	Ampanihy
Manganèse	Ampanihy
Grenat	Ampanihy
Fer	Betioky
Ilménite	Ranobe
Charbon, Kaolin	Sakoa

Source PGRM Janvier 2006

II.1.3. Faune et flore

La région Atsimo-Andrefana est caractérisée par un endémisme local remarquable tant pour la faune que pour la flore. Par exemple la tortue radiée et la tortue araignée, les baobabs *Adansonia za* et *A. rubrostipa*, les Mangroves... Ces espèces sont seulement trouvées dans cette zone. En outre, la particularité de la végétation du Sud-Ouest est sa capacité de s'adapter aux conditions climatologiques et écologiques sévères.

II.2. Milieu Humain

II.2.1. Démographie

II.2.1.1. Effectif de la population

Tableau 2 Evolution démographique de la Région Atsimo-Andrefana

2008	2009	2010	2011	2012	2013
1 127 184	1 181 648	1 214 262	1 247 663	1 281 865	1 316 756

Source : INSTAT Madagascar, Rapport OMD 2012-2013

Le tableau ci-dessus montre l'évolution démographique de la Région. En outre, les 3 districts concernés par ce projet constituent 40% de la population provinciale. Ce qui implique que la population est mal répartie. La densité moyenne est de 25 hab/km.

II.2.1.2. Projection démographique

La mise en service de la route est prévue en 2016. L'estimation de la population sera obtenue par la relation suivante :

$$P(t) = P(t_0) \times (1 + \alpha)^{t-t_0}$$

Où $P(t_0)$ effectif de la population pendant l'année de référence t_0

$P(t)$ Effectif à estimer pour l'année t

α Taux d'accroissement de la population

Si le taux d'accroissement de la population est de 3.2%, alors les résultats de la projection démographique seront représentés par le tableau suivant :

Tableau 3 Projection démographique de la Région Atsimo-Andrefana

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1 316 756	1 358 892	1 402 377	1 447 253	1 493 565	1 541 359	1 590 682	1 641 584

II.2.2. Ethique et sécurité

La population autochtone composée des Masikoro, Vezo, Bara et Mahafaly, suivie de la population allochtone constitue la composition ethnique de la Région. Etant diversifié, le désaccord règne en permanence. D'autant plus que certaines personnes de la Région sont très conservatrices.

A l'instar de ces différends, la sécurité sur cette partie de l'île est fortement redoutée. Trafic de stupéfiants, meurtre, vol avec effraction et attaque à main armée sont les délinquances les plus rencontrées.

Tableau 4 Causes et zones touchées par la criminalité

Criminalités	Causes	Zones Touchées
Vol de bœufs simple	Coutumes	Toute la Région est une Zone rouge, sauf Toliara I
Vol de bœufs aggravé	Coutumes	Betioky
Meurtre	Rancunes, guerre individuel	Bezaha et Betioky
Vol avec effraction	Pauvreté	Au niveau des chefs lieu des districts et Toliara ville
Attaque à main armées des touristes, des opérateurs économiques et des commerciaux	Pauvreté	Zone touristique, Grande Villes (littoral de Toliara I et Toliara II) Zone à forte concentration des indopakistannais

Source : Groupement de la gendarmerie Toliara

La police et la gendarmerie nationale utilisent toutes ses ressources afin de rétablir l'ordre et assurer la sécurité. Néanmoins, des mesures locales ont été prises. Le KALONY, un système d'autodéfense chargé de contrôler les armes de deuxième et troisième catégorie, a été créé le 02 Mai 2008. Tout homme ayant la carte d'identité nationale et ne dépassant pas les 50 ans est membre du KALONY.

II.2.3. Equipement sanitaire

Pour cette Région, la santé est souvent à pratique traditionnelle. En effet, l'accès aux services sociaux de base demeure limité. Néanmoins, les effectifs des formations sanitaires sont représenté par le tableau suivant :

Tableau 5 Nombre de formations sanitaires dans la Région Atsimo Andrefana

DISTRICT	FORMATION SANITAIRE								CHR
	Publique				Privée				
	CSB1	CSB2	CHD1	CHD2	CSB1	CSB2	CHD1	CHD2	
Ampanihy	4	19	1		2	2		1	
Ankazoabo	10	4	1						
Benenitra	8	4	1		1				
Beroroha	11	6	1						
Betioky	11	16	1	1	1	2			
Morombe	9	10	1			2			
Sakaraha	3	10	1		1				
Toliara I	1	8				15		1	1
Toliara II	11	23				1			
Total	68	100	7	1	5	22		2	1

Source : SIG de la DRSAS Toliara

II.2.4. Equipement scolaire

La Région possède beaucoup d'établissement scolaire tant public que privé. La répartition de ces établissements est représentée par le tableau suivant :

Tableau 6 Répartition des établissements scolaires

	Publics			Privés		
	EPP	CEG	Lycée	Ecole primaire	Collège	Lycée
Ampanihy	152	6	1	37	2	1
Ankazoabo Sud	60	3	1	22	1	-
Benenitra	48	1	-	1		-
Beroroha	74	4	1	6	1	-
Betioky-Sud	211	8	1	26	5	1
Morombe	67	6	1	54	5	-
Sakaraha	106	4	1	9	3	-
Toliara I	20	7	2	46	23	7
Toliara II	194	23	1	50	3	1
Total Région	932	62	9	251	43	10

Source : Monographie Atsimo-Andrefana

D'après ce tableau, le nombre d'écoles primaires est très élevé tandis que celui des lycées est très faible. Ceci montre l'insuffisance du personnel enseignant. En effet, le tableau ci-après reflète l'effectif du personnel enseignant pour chaque district.

Tableau 7 Nombre des enseignants

	Publics			Privés		
	EPP	CEG	Lycée	Ecole primaire	Collège	Lycée
Ampanihy	338	48	14	61	20	9
Ankazoabo Sud	140	23	10	52	10	
Benenitra	97	10		5		
Beroroha	159	28	7	14	6	
Betioky-Sud	510	72	12	62	43	7
Morombe	244	41	10	124	34	
Sakaraha	314	54	16	33	19	
Toliara I	272	151	92	266	283	101
Toliara II	938	226	7	145		7
Total Région	3012	653	168	762	415	124

Source : Monographie Atsimo Andrefana

A l'instar des établissements cités ci-dessus, la Région est dotée d'une université située à Maninday (7 km de la ville de Toliara, district Toliara II). D'autant plus que celle-ci dispose des filières qu'aucune autre université ne possède, à savoir l'Institut Halieutique et des Sciences Marines, l'Ecole Normale Supérieure de Philosophie...

II.3. Milieu économique

II.3.1. Agriculture

Comme cité auparavant, la Région Atsimo-Andrefana est parmi les plus productives. D'une part, les cultures vivrières du riz, du manioc, de la patate douce, du maïs et du sorgho font la fierté de la Région. D'une autre part, les cultures industrielles les plus importantes sont l'arachide d'huilerie, le coton, la canne à sucre, et le pois du cap. Ce dernier est le plus abondant dans la Région, ce qui a permis l'exportation vers diverses destinations : Maurice, France, Italie...

Tableau 8 Production agricole de la Région

Zone d'intervention	Principaux produits stockés dans les greniers communautaires
Ambahikily	riz, pois de cap, haricot
Befandriana Sud	manioc, pois de cap, oignon
Ankililoaka	manioc, pois de cap, oignon, vinia (Lojy), maïs
Tuléar II	maïs, haricot, manioc, pois de cap
Sakaraha	maïs, manioc, arachide, pois de terre, riz
Ankazoabo Sud	riz, oignon, arachide, manioc
Beroroha	haricot, riz
Bezaha	riz, haricot, oignon
Benenitra	animation sur la vie associative
Betioky	manioc, maïs, pois de terre, arachide
Ejeda	manioc, maïs
Ampanihy	maïs, manioc
Fotadrevo	riz, arachide
Androka	patate douce, manioc

Source : monographie Atsimo Andrefana

Tableau 9 Récapitulation de la production vivrière par district pour l'année 2007

District	Riz			Maïs			Manioc			Patate douce		
	S	R	P	S	R	P	S	R	P	S	R	P
Toliara II	5600	3,5	16100	506	0,8	383	4440	5	22402	1150	4,9	5600
Beroroha	6800	3,2	21760	441	0,8	353	325	4,5	1477	37	7,3	271
Morombe	10350	4	41600	2531	0,9	2341	2729	7,5	10470	430	5,3	2281
Ankazoabo	5200	2,5	13000	700	0,9	621	865	6,6	5688	54	6,2	336
Betioky Sud	770	2,8	21650	916	0,8	719	140	0,6	88	1045	5,4	5608
Ampanihy	300	2,5	750	3613	0,7	2617	4297	4,7	20347	1334	3,3	4345
Sakaraha	4300	2,5	10750	864	0,7	569	39	0,7	26	717	3,9	2788
Benenitra	1250	2,5	3130				545	4,4	2413	192	5,8	1119
Région	40500	3,17	128650	9571	0,8	7648	723	0,7	531	4959	4,5	22348

Source : DRDR Sud-Ouest

S : superficie m² ; R : rendement ; P : Production t

II.3.2. Elevage

Les volailles sont abondantes dans la Région, mais sa vraie richesse est le bétail. En effet, les bœufs, les moutons et les chèvres sont élevés dans les zones intérieures difficiles à cultiver. Ainsi, la Région dispose de vastes terrains de pâturage. Cependant, le porc est tabou dans plusieurs localités.

Tableau 10 Effectif des bovidés, ovidés et caprins en 2007

	Bovidé	Caprins	Ovidés
Toliara I et II	91 360	47 900	770
Ampanihy	226 180	197 300	87 350
Ankazoabo	88 043	2 100	3 970
Benenitra	38 250	27 200	8 630
Beroroha	31 367	1 240	2 610
Betioky-Sud	146 130	93 500	39 600
Morombe	22 400	1 730	145
Sakaraha	78 920	2 660	1 802
Total Région	722 650	373 630	144 877

Source : Monographie Atsimo Andrefana

Le principal problème de l'élevage dans la région est l'insécurité. Les bétails ne sont effectivement pas protégés des actes de cambriolage. D'autant plus que les zones enclavées sont dépourvues de poste de police. En outre, les infrastructures sont insuffisantes et ne répondent pas aux normes de bon fonctionnement. Le respect de l'hygiène est méconnaissable ; les maladies chroniques persistent ; les bétails sont mal nourris. Tout cela affecte la qualité et la quantité de la production.

II.3.3. Production halieutique

La pêche maritime est importante dans la Région du fait qu'elle possède la plus large côte de l'île, soit 800km de longueur. La présence des récifs coralliens et des mangroves offre une diversité biologique. Les captures les plus dominantes sont les poissons, les poulpes et les calmars. S'en suivent les crustacés et les échinodermes (oursin et concombre de mer)

Tableau 11 Données statistiques de pêche en 2008

	Exportation par les opérateurs	Expédition intérieure	Consommation locale
Poisson frais	88 552	283 148	9 112 073
Poisson salé/sèche		813 445	230 984
Poulpe	407 280	101 867	37 606
Calmar	61 719	73 133	22 905
Langoustes	26 181	8 251	9 704
Crevettes	96 186	1 533	74 145
Crabes	188 919	68 251	27 278
Trépangs	171 672	24 841	
Ailerons de requin	22 391		
Vessie Natatoires	1 668		
Coquillages	130 983		
Chevaquines		24 507	14 990
Varilava		147 349	
Coq Arches			4 507
Oursins		594 713	964
Tilapia			27 766
Total	1 195 551	2 141 038	9 562 922

Source : service Régional de l'élevage

II.3.4. Tourisme et Hôtellerie

La Région compte 3 hôtels à 3 étoiles : les Dunes d'Ifaty, Hippocampe Mahavatse et le Paradisier d'Ifaty. Trois autres à 2 étoiles : la plage d'Ifaty, Motel Capricorne Andaboly Toliara, Lakana Vezo Ifaty. En 2008, la Région comptait 77 hôtels.

En outre, la Région Atsimo-Andrefana possède un potentiel touristique très élevé. En effet, son écologie caractéristique du climat semi-aride, les destinations balnéaires, les espèces endémiques, les traditions et le mode de vie de ses ethnies autochtones attirent beaucoup de touriste. Voici quelques sites les plus visités :

- Dans le secteur Sud : le sentier botanique de l'auberge de la table Antsokay, la grotte de Sarodrano, la baie de St Augustin, les sept lacs, Anakao, la réserve de Tsimanampetsotse et Itampolo ;

- Dans le secteur Nord : la zone Ifaty-Mangily, le village de Salary, la Région d'Andavadoaka et le Village d'Amboboake ;

- Le secteur centre : le Musée des Arts et Traditions du Sud Malagasy, le Musée Régional de l'université de Toliara, le Musée de la mer, la plage de la batterie, le marché des bestiaux, Miary, le marché de coquillage et le jardin de la mer.

II.3.5. Transport

II.3.5.1. Infrastructure routier

Mesurant 1 613km, le réseau routier pour la Région de Toliara se répartit comme suit :

- Les Routes Nationales Primaires (RNP) : 188km (11,65%) ;
- Les Routes Nationales Secondaires (RNS) : 90km (5,57%) ;
- Les Routes Nationales Temporaires (RNT) : 929km (57,59%) ;
- Les Routes Provinciales : 188km (11,65%)
- Les Routes Communales : 218km (13,51%)

II.3.5.2. Transport aérien

La Région Sud-Ouest possède deux terrains d'aviation sis à Morombe et Toliara. Les deux sont gérés par l'ADEMA et les vols sont assurés par l'AIR Madagascar. Par conséquent, les compagnies privées utilisent aussi ces aéroports pour le transport des touristes et frets. Situé à Ankoronga (10km hors de la ville), l'aéroport de Toliara possède deux pistes bitumées pouvant accueillir des Boeing737, des ATR42 et des Twin Otter.

II.3.5.3. Transport maritime

Les ports de la Région Atsimo-Andrefana se situent également à Toliara et Morombe. D'une part, le port de Toliara est un port long courrier secondaire classée port d'intérêt national (PIN). D'une autre part, celui de Morombe est un port de cabotage classé Port d'intérêt Régional (PIR). Les manutentions portuaires sont effectuées par les entreprises SEMS et COMATO. Néanmoins, le trafic reste minime avec un bateau tous les trois mois. L'insuffisance des transactions ne permet donc pas aux entreprises de connaître un niveau de rendement favorable.

Conclusion partielle :

La Région Atsimo Andrefana possède un potentiel économique très élevé. En effet, d'une part, le secteur primaire se développe considérablement grâce à la fertilité du sol. D'une autre part, l'existence de nombreux sites touristiques joue un rôle clé dans l'accroissement du secteur tertiaire. Le chapitre suivant traitera l'étude de trafic.

ChapIII. Etude de trafic

Le trafic est la circulation de véhicules sur une route donnée. Partant du principe que les routes à fort trafic se dégradent plus rapidement, l'étude du trafic semble être indispensable au dimensionnement de chaussée.

Cependant, les véhicules ne produisent pas tous le même impact sur la route. D'où la classification suivante :

- A : véhicule particulier ;
- B : camionnette à passager ;
- C : autocar, PTC<10T ;
- D : camion à 2 essieux PTC>10T ;
- E : camion à deux essieux tandem PTC>10T ;
- F : ensemble articulé et camion avec remorque.

L'étude consiste à effectuer un comptage journalier pendant 6 semaines (une semaine par saison, les deux autres en début et fin de la période de vacance).

III.1. Trafic passé et trafic actuel

Le tableau ci-après met en exergue le trafic passé :

Tableau 12 Classification des véhicules

Catégorie des véhicules	Comptage 2003
A	26
B	45
C	23
D	21
E	3
F	1
Total	119

Source : Données LUXCONSULT mars 2003

La valeur du trafic actuel n'est pas significative à cause de l'état de la route et de la situation économique globale du pays.

III.2. Estimation du trafic futur

III.2.1. Trafic normal

Le trafic normal est obtenu par la formule suivante :

$$T(t) = T(t_0) \times (1 + \tau)^{(t-t_0)}$$

Avec t_0 Année de référence ;

t Année pour l'estimation ;

$T(t_0)$ Trafic à l'année de référence ;

$T(t)$ Trafic projeté ;

τ Taux d'accroissement annuel du trafic.

Si $\tau = 7\%$, $\alpha = 0,79$, $\beta = 1$ (chaussée souple), alors le trafic normal est représenté par le tableau ci-après :

Tableau 13 Prévision du trafic normal

Catégorie des véhicules	2016	2030
A	51	141
B	89	244
C	45	125
D	41	114
E	6	16
F	2	5
Total	234	646

III.2.2. Trafic dévié

Puisque la route est en mauvais état, certaines personnes empruntent des déviations en utilisant des itinéraires de bretelle. Néanmoins, l'approvisionnement de la ville s'est plus fait par voie terrestre que par voie maritime. Donc le trafic détourné sera estimé à 10% du trafic normal.

Tableau 14 Trafic détourné

Catégorie des véhicules	2016	2030
A	5	14
B	9	24
C	5	12
D	4	11
E	1	2
F	-	1
Total	23	65

III.2.3. Trafic induit

Le trafic induit résulte d'un raisonnement abstrait. En effet, celui-ci se définit comme le trafic généré par la croissance économique, l'accroissement touristique et le développement de l'exploitation minière. Son estimation demeure difficile à quantifier. Toutefois, vu le potentiel touristique et agricole de la Région, le trafic induit aura un pourcentage important dans le trafic total. Ainsi, le trafic généré sera évalué à 25% du trafic normal.

Tableau 15 Trafic induit

Catégorie des véhicules	2016	2030
A	13	35
B	22	61
C	11	31
D	10	28
E	1	4
F	-	1
Total	59	161

III.2.4. Trafic estimé

Le trafic futur estimé se déduit de la somme du trafic normal, du trafic dévié et du trafic induit. D'où le tableau suivant :

Tableau 16 Trafic futur estimé

Catégorie des véhicules	2016	2030
A	69	191
B	120	330
C	61	169
D	56	154
E	8	22
F	3	7
Total	316	872

Conclusion partielle :

Le trafic à l'année de mise en service a été estimé à 316 véhicules par jour. Construire une route revêtue est alors rentable économiquement car le seuil de bitumage est de 250 v/j. Ce chapitre termine l'étude socio-économique.

PARTIE II : ETUDES TECHNIQUES

ChapIV. Diagnostic de la chaussée

Un aménagement ne peut être fait sans avoir préalablement évalué les dégâts observés sur la chaussée. Ainsi, le présent chapitre met en exergue l'environnement du projet, les dégradations observées sur la zone d'étude, et la proposition d'aménagement.

IV.1. Environnement du projet

IV.1.1. Aspect géographique

La Région Sud-Ouest est composée de deux types de paysage : le domaine calcaireux gréseux et basaltique interne, puis le domaine côtier occidental. Du point de vue géologique, elle est composée par un socle cristallin, une couverture sédimentaire et des formations volcaniques.

Le relief est composé de plaines et de plateaux. De plus, « le pays des MIKEA » (ou « no man's land ») est une zone sableuse couverte d'une forêt sèche très dense et marquée par l'aréisme (aucun réseau hydrographique).

IV.1.2. Aspect hydrologique

IV.1.2.1. Principaux fleuves drainés

Les principaux fleuves se divisent en deux catégories :

- les cours d'eau à bassin versant mixte d'une longueur plus de 400km (Mangoky, Onilahy,...) ;
- les cours d'eau qui coulent uniquement sur les terrains sédimentaires et ne dépassent pas 300km (Manombo, Fiherenana, Linta...).

IV.1.2.2. Nappes phréatiques

La Région présente un système aquifère très développé. Quatre grandes familles de nappes phréatiques existent :

- Les nappes phréatiques alluviales ;
- Les nappes phréatiques sub-affluentes (couloir d'Antseva) ;
- Les nappes phréatiques des cordons dunaires du littoral ;
- Et les nappes profondes des plateaux intérieurs (Andranovory)

IV.1.2.3. Lacs

Les deux grands lacs de la région sont le lac IHOTRY (situé à 100km au Nord de Toliara et à 40km au Sud Est de Morombe) et le lac TSIMANAMPETSOTSE (situé à 80km au Sud de Toliara, dans la plaine côtière sableuse de Mahafaly).

IV.1.3. Aspect climatologique

Le soleil est quasiment présent toute l'année. Le climat est chaud et semi-aride. En effet, la température moyenne est de 28°C et la pluviométrie n'atteint pas 400mm Sud-Ouest vers le Nord-Est par an. Cependant, comme vu précédemment, les terrains demeurent parmi les plus productifs de l'île. Cette région est balayée en permanence par le « Tsiokatsimo », vent dominant du SUD-OUEST vers le NORD-OUEST.

IV.2. Dégradations observées

IV.2.1. Dégradation de la route à aménager

Que ce soit revêtue ou non, l'eau est le premier ennemie de la route. En effet, en ruisselant, celle-ci érode les accotements, les fossés ou encore la chaussée. En outre, L'eau stagnante modifie la teneur en eau de la plateforme, donc réduit la portance du sol ce qui entraîne la dégradation de la route.

Le tableau suivant met en exergue les différentes dégradations observées sur la route à aménager :

Tableau 17 Différentes dégradations observées

Déformations	Description	Causes	Evolution	Solutions
Ornière	Affaissement localisé apparaissant sous le passage des véhicules	Fatigue de la chaussée, compactage insuffisant,	Ravinement longitudinal et nids de poule	Reprofilage avec apport de Matériaux
Nids de poule	Cavité de forme arrondie résultant des flaches	Arrachement localisé des Matériaux	Approfondissement et élargissement des trous, fragilisation puis destruction du corps de la chaussée	Point à temps
Epaufrure de rive	Cassure du revêtement de bord	Faible cohésion des Matériaux, stagnation d'eau pendant la saison de pluie ou pendant les marées hautes	Rétrécissement de la largeur de la chaussée	Reprofilage léger
Bourbiers	Cavité plus ou moins profonde de boue pendant la saison de pluie	Mauvais assainissement		Reprofilage léger



Photo 5 Nids de poule



Photo 4 Epaufrure de rive



Photo 6 Effondrement, PK 18+000

IV.2.2. Dégradation des ouvrages d'assainissements

La plupart des ouvrages d'assainissement sont obstrués. En effet, Les fossés latéraux sont ensablés, les dalots sont bouchés par des déchets. Les principales causes de ces dégradations sont le sous dimensionnement des ouvrages et le manque d'entretien.



Photo 8 Fossé ensablé PK 7+110



Photo 7 Dalot obstrué PK 2+040

IV.2.3. Dégradation des ouvrages de franchissements

La zone d'étude ne comprend qu'un seul ouvrage de franchissement qui est le pont de Fiherenana (PK 6+151 au PK 6+483). Ce pont est fondé sur pieux palplanche faisant fonction de piles (liée en tête par des chevêtres en béton armé). Le pont Fiherenana a été réhabilité par le Groupe COLAS en 2003. Mais depuis le temps beaucoup de dégradations sont apparus.



Photo 9 Nids de poule sur le pont Fiherenana



Photo 10 Fondation du pont Fiherenana



Photo 12 Affaissement sur le pont



Photo 11 Insuffisance de garde-corps



Photo 13 Corrosion des garde-corps

IV.3. Caractéristiques Géométriques de la route

Le présent volet expose les différents paramètres utiles à l'aménagement.

IV.3.1. Les vitesses

IV.3.1.1. Vitesse de base

C'est la vitesse limite avec laquelle les véhicules rapides peuvent circuler sur une section de route déterminée en dehors des heures de pointe. Selon AASHO (American Association States of Highway Officials), les caractéristiques géométriques d'une route se basent sur cette vitesse. Cependant, celle-ci se donne en générale en fonction de la topographie, du nombre de véhicules et du trafic.

C'est une route secondaire plate qui relie des agglomérations importantes. Alors, le tableau donnant la vitesse de base en fonction du terrain traversé et la catégorie de la route a permis de trouver que $V_b = 80\text{km/h}$

IV.3.1.2. Vitesse de référence

Ce paramètre permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement des points particuliers d'une section de route. Ceci étant pour assurer la sécurité des véhicules isolés. De plus, les caractéristiques de ces points particuliers sont les plus contraignantes.

Le type de terrain traversé permet non seulement d'obtenir la vitesse de référence, mais aussi de définir la catégorie de la route. Pour le cas ici présent, la route est de deuxième catégorie et $V_r = 80\text{km/h}$.

IV.3.2. Tracé en plan et profil en long

IV.3.2.1. Rayon de courbure

Voici les valeurs limites des rayons de courbure en fonction de la vitesse de référence et du devers :

Tableau 18 Rayon de courbure

Tracé en plan		Profil en long	
Rayon minimal absolu RHm (m) au devers maximal d=7%	240	Déclivité maximale en rampe, %	6
Rayon minimal normal RHn au devers normal d=5%	425	Rayon en angle saillant	3 000
Rayon au devers minimal d=2,5%	650	Rayon en angle rentrant	2 200

IV.3.2.2. Alignement droit

L'alignement droit assure un mouvement uniforme, une entière visibilité, et une économie de carburant. Néanmoins, les chauffeurs ont tendance à rouler à grande vitesse. Cela ne rassure pas les passagers. De plus, ce mouvement uniforme peut distraire les conducteurs pendant la nuit. Ainsi, l'alignement droit ne doit pas dépasser 2,5-3km ou 60% de la longueur totale.

IV.3.2.3. Surlargeur en courbe

Parfois, un élargissement de chaussée est nécessaire quand le rayon de courbure est inférieur à 200m. La couronne circulaire balayée par l'extérieur des points des véhicules est plus large que le véhicule même.

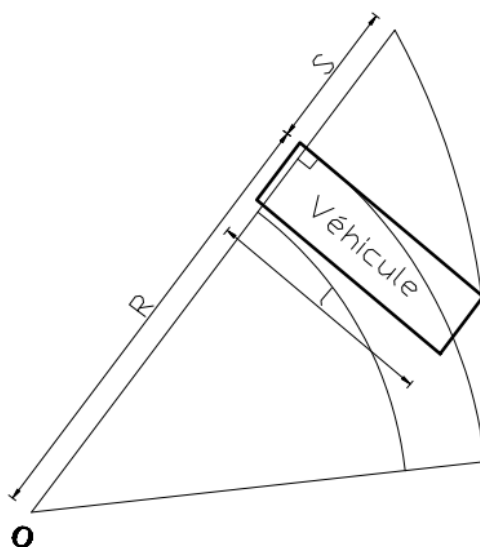


Figure 2 Surlargeur en courbe

La surlargeur est donnée par la relation :

$$S = \frac{nl^2}{2R}$$

Avec S surlargeur ;

R Rayon minimal ;

n Nombre de voies ;

l Longueur du véhicule généralement pris égale à 10m.

Pour le projet, le rayon de courbure minimal est égal à 100m. Pour deux voies, la surlargeur sera égale à 1m.

IV.3.3. Profil en travers

Voici le profil en travers type de la chaussée :

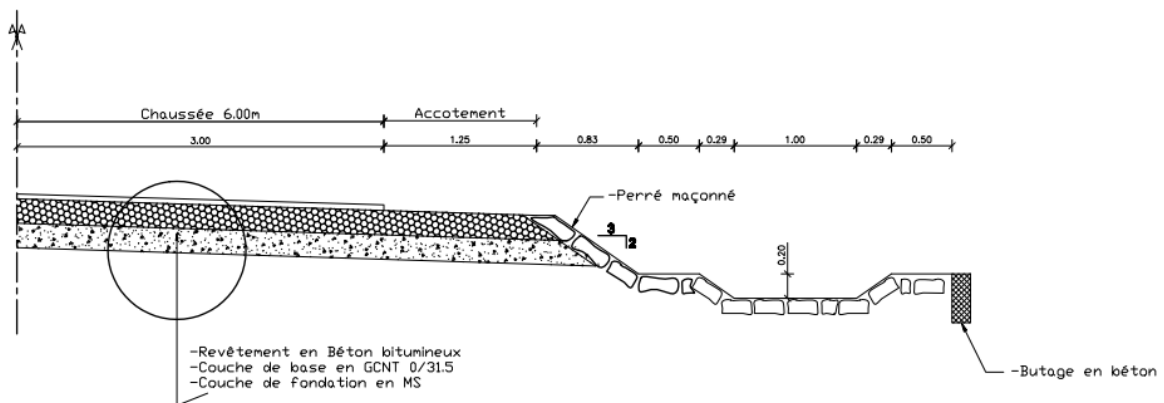


Figure 3 Profil en travers type

IV.3.3.1. Structure

La couche de fondation, la couche de base et la couche de roulement seront respectivement en Matériaux Sélectionnés, en grave concassée non traitée (GCNT 0/31⁵) et en enduit superficiel bicouche (ES_b). D'une part, l'étude des matériaux sera explicitée dans le chapitre V, et d'autre part, le dimensionnement des différentes couches sera effectué dans le chapitre VI.

IV.3.3.2. Largeur et pente de la chaussée

D'après les études précédentes, le nombre de trafics semble assez élevé. Donc, le croisement des véhicules est fréquent. Ainsi, ce sera une chaussée à deux voies, de largeur égale à 6m, avec un profil en toit de pente égale à 3%.

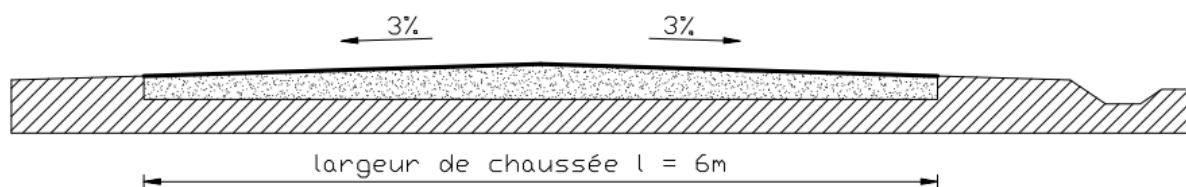


Figure 4 Largeur et pente de la chaussée

IV.3.3.3. Devers

Dans les virages, les véhicules sont confrontés à des dérapages et des basculements. Ceux-ci sont dus à la force centrifuge générée par la vitesse et l'accélération. Pour contrer ce phénomène, la chaussée est légèrement inclinée vers l'intérieur de la courbe. Cette pente est appelée devers. Ce dernier varie entre 2,5 et 7%.

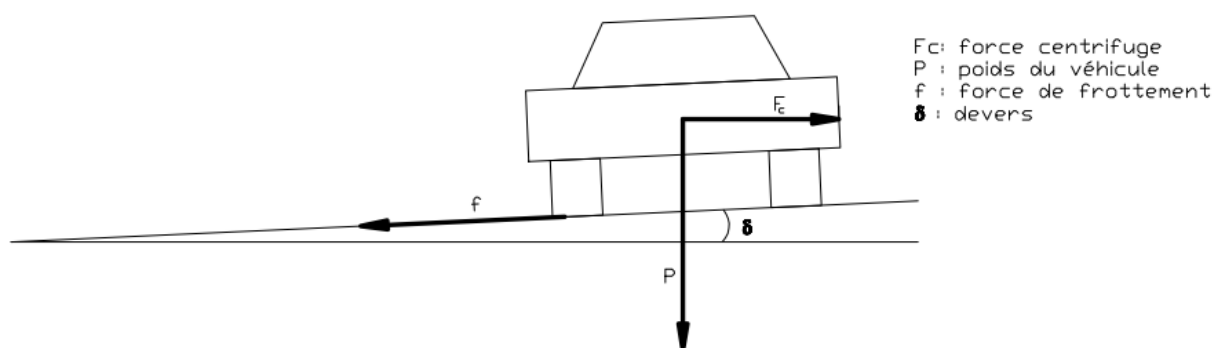


Figure 5 Dévers

Néanmoins, les passagers ne doivent pas être brusquement soumis à l'effet de la force centrifuge. Ainsi, pour limiter la variation de cette force, et pour assurer le confort des usagers, soit à prendre la valeur minimale du devers, c'est-à-dire $\delta = 2,5\%$

IV.3.3.4. Accotement

L'accotement est la surface latérale bordant la chaussée permettant le passage des piétons ou aux voitures de se garer. Au même niveau que la chaussée, sa largeur est de 1,25m.

IV.3.3.5. Fossés latéraux

Ce sont des ouvrages bordant les accotements. Les fossés sont destinés à recevoir les eaux de ruissèlement. Le dimensionnement de ses ouvrages sera effectué dans le chapitre VII.

IV.4. Autres aménagements

IV.4.1. Entretien du pont Fiherenana

D'après les études précédentes, le pont Fiherenana ne présente que des dégâts superficiels. A l'instar des reprofilages, des nouveaux garde-corps seront également mis en place visant toujours à la sécurité des usagers.

IV.4.2. Gare routière d'Antsokobory

Une route en bon état engendre toujours de nouveaux voyageurs. D'après l'étude monographique précédente, cette zone possède effectivement beaucoup de sites touristiques. Mais, vue l'économie de la Région, avoir une voiture n'est pas à la portée de tout le monde. La plupart de la population a recours aux transports publics.

Actuellement, la gare routière est située à Antsokobory (PK2+040). Cette dernière n'est évidemment pas été conçue dans les normes. En effet, celle-ci nuit au confort et à la sécurité des voyageurs. Il n'y a ni coopérative ni bureau, donc pas de contrôle sur l'état des voitures ni sur le nombre de passagers. C'est pourquoi l'aménagement de cette gare routière s'avère nécessaire.



Photo 14 Etat actuel de la gare routière

IV.4.3. Déviation Tsingoritelo

Réputée par la présence de Mangrove, la route passant par le village de Tsingoritelo (PK18+200) a été corrodée par la mer. Certain tronçon de la chaussée ne fait plus que trois mètres de largeur, donc trop étroit pour contenir deux poids lourds. De plus, pendant la marée haute, le niveau de la mer s'aligne à celui de la chaussée. Alors, une déviation semble appropriée.



Photo 15 Etat de la chaussée dans le village de Tsingoritelo

Etant hors de la zone d'étude, cette déviation ne fera pas objet d'études particulières. Néanmoins, ci-après la représentation des trois variantes possibles :



Photo 16 Variantes possibles pour la déviation du village de Tsingoritelo

Conclusion partielle

Le manque d'entretien est le principal problème de cette axe tant pour la chaussée que pour les ouvrages. Par conséquent, même si ce projet d'aménagement semble la solution idéale, les entretiens courants et les entretiens périodique doivent être effectués correctement.

ChapV. Etude des matériaux

La reconnaissance des sols est indispensable pour tout projet routier. Ainsi, ce volet concerne les matériaux pour remblais, couche de fondation, couche de base enfin pour la couche de roulement. Ce chapitre parle également de provenance des Matériaux, des résultats des sondages et des essais effectués au laboratoire.

V.1. Spécification des matériaux

V.1.1. Matériaux pour remblais

Voici les qualités que le sol de remblai doit avoir :

- Ne pas contenir des matières organiques ;
- Ne pas contenir des granulats de dimension supérieur à 200mm ;
- Pourcentage des fines compris entre 10 et 35% ;
- Limite de liquidité $W_L < 60$;
- Indice de plasticité $I_p < 30$;
- Taux de compactage au moins égal à 90% OPM ;
- Gonflement linéaire inférieur à 2% ;
- CBR à 95% OPM supérieur à 15.

V.1.2. Matériaux pour couche de fondation

Un gisement peut être utilisé pour la couche de fondation si :

- le $CBR_{95\%OPM} \geq 30$;
- Le pourcentage des fines $10 < \%F < 35$;
- Le gonflement linéaire $G < 1\%$;
- Le diamètre maximal des grains est de 60mm ;
- L'indice de plasticité $I_p < 25$.

V.1.3. Matériaux pour couche de base

Les Matériaux pour la couche de base dépendent du type de chaussée à utiliser. Pour la chaussée souple de ce projet, la couche de base est en GCNT 0/31⁵. Les conditions à vérifier sont donc :

- Coefficient Micro-Deval en présence d'eau $MDE < 25$;

- Coefficient Los Angeles $LA < 40$;
- Equivalent de sable $ES \geq 50$;
- Coefficient d'aplatissement $CA \leq 25$;
- Courbe granulométrique compris dans le fuseau délimité par le tableau suivant :

Tableau 19 Fuseau granulométrique pour la couche de base

Diamètre, mm	Passant	
	Minima, %	Maxima, %
31,5	85	100
20	62	90
10	35	62
6,3	25	50
4	19	43
2	14	34
0,5	5	20
0,2	3	14
0,08	2	10

V.1.4. Matériaux pour couche de roulement et accotements

Pour une route à faible trafic, les matériaux constituant l'enduit superficiel suivent ces conditions :

- $ES > 40$;
- Granulat vérifiant, $MDE < 25$, $LA < 25$, $CA < 25$;
- Les liants hydrocarbonés : bitume fluidifié 400/600 et ECR65

V.2. Provenance des matériaux

V.2.1. Terminologie

Soient quelques définitions :

- Emprunts : lieu de prélèvement de matériaux meubles pour remblais ;
- Gîtes : lieu de prélèvement des Matériaux Sélectionnés pour couche de fondation ;
- Carrière : lieu de prélèvement de matériaux rocheux ;

V.2.2. Gisement meuble

Ceci concerne les gîtes et emprunts. Les caractéristiques de matériaux disponibles sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 20 Caractéristiques des Matériaux du gisement meuble

Localisation	Nature visuelle	Identification				HRB	Proctor Modifié		Portance		Puissance, m ³
		D_{max} , mm	%F	ω_L	I_P		γ_d	W, %	ICBR 4j	%G	
G1 : PK6+100 CD à 1km de la CR de Miary vers l'Est	Grès calcaire (L graveleux blanchâtre)	63	15	21	8	A_{2-4}	21,9	6,2	49	0,04	13 200
G2: PK6+850 CD, à 1km100 du village SAKAREZA	sable fin légèrement limoneux rouge	1	12	19,5	5,2 ES=2 8%	A_{2-4}	18,18	9,6	27	0	>15 000
G4: PK25+180 CD, à 1km400 du village TSIVONOE	sable fin légèrement limoneux jaunâtre	1	4		ES=5 9 %	A_3	18,7	10,7	16	0	19 500

V.2.3. Gisement rocheux

Un affleurement basaltique se déroule de l'origine de la RN9 vers la RN7. Ce gisement s'étend jusqu'à 45km. En dépit des travaux déjà effectués sur la RN7, le volume exploitable demeure suffisant pour l'approvisionnement du projet. La zone se définit entre Vineta et Betioky.

Les caractéristiques géotechniques sont :

$$LA = 16$$

$$MDE = 7$$

V.3. Résultats des essais

Les essais d'identification, de compactage et de portance ont été effectués par le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB). Ces résultats sont résumés dans un tableau situé aux annexes.

ChapVI. Dimensionnement de la chaussée

Le dimensionnement d'une chaussée définit l'épaisseur de chaque couche en fonction du trafic, de la portance ou encore des Matériaux de construction. La chaussée ne doit pas être ni trop épaisse ni trop mince. D'une part, ce serait une perte économique si celle-ci est trop grande. D'autre part, si son épaisseur est trop petite, les différentes couches se dégraderont plus rapidement.

Pour ce faire, plusieurs calculs et vérifications doivent être effectués. Par conséquent, deux méthodes de dimensionnement seront exposées dans ce chapitre : la méthode LCPC et la méthode LNTPB.

VI.1. Méthode LNTPB

VI.1.1. Principe de calcul

Le calcul de l'épaisseur de chaque couche repose sur la détermination d'une épaisseur équivalente lue sur les « abaques de dimensionnement des chaussées à Madagascar ». Toutefois, deux paramètres semblent essentiels à l'utilisation de ses abaques. Ce sont : la répartition du trafic et le CBR du sol support.

VI.1.2. Répartition du trafic

Dans la méthode LNTPB, tout véhicule à essieux supérieur à 3,5T est appelé poids lourd. Leur nombre est nécessaire pour connaître la nature du trafic. En effet :

- Si $P = \frac{N'}{N_T} \times 100 \leq 30\%$ trafic à répartition normale des poids lourds (TN) ;
- Si $P = \frac{N'}{N_T} \times 100 \geq 30\%$ trafic à forte proportion des poids lourds (TL).

Avec P Pourcentage des véhicules de poids supérieur à 3,5T ;

N_T Nombre total du trafic ;

N' Trafic corrigé des poids lourds.

Le trafic corrigé est donné par la relation suivante :

$$N' = \alpha \times \beta \times N$$

Dans laquelle α le coefficient correcteur du taux d'accroissement ($\alpha = 0,79$ pour $\tau = 7\%$) ;

β Le coefficient correcteur de durée de vie ($\beta = 1$ pour une chaussée souple) ;

N Nombre de poids lourds (Total des véhicules de catégorie D à F)

Si $N = 49 PL/j$ et $N_T = 234 PL/j$, alors le pourcentage des poids lourds est :

$$P = \frac{49 \times 0,79 \times 1}{234} \times 100 = 16,54\% \leq 30\%$$

D'où, le trafic est à répartition normale.

VI.1.3. Portance du sol support

La portance du sol se regroupe en trois valeurs :

Tableau 21 CBR du sol support

Portance du sol	Localisation	
	Début	Fin
10	2+500	3+870
	4+385	4+960
	10+900	13+100
15	13+100	18+460
20	3+870	4+960
	5+550	7+353

VI.1.4. Epaisseur équivalente

Trois valeurs seront obtenues par la lecture de l'abaque de dimensionnement avec un trafic à répartition normale :

- Pour $CBR = 10$, $e_{\text{equ}} = 25\text{cm}$;
- Pour $CBR = 15$, $e_{\text{equ}} = 23,5\text{cm}$;
- Pour $CBR = 20$, $e_{\text{equ}} = 21,7\text{cm}$.

VI.1.5. Epaisseur réelle des couches

L'épaisseur équivalente en fonction de l'épaisseur réelle des couches est exprimée par :

$$e_{\text{equ}} = a_r h_r + a_b h_b + a_f b_f$$

Où h_r, h_b, h_f respectivement l'épaisseur réelle de la couche de roulement, de la couche de base et de la couche de fondation affectées chacun des coefficients d'équivalence de matériaux a_r, a_b, a_f (leurs valeurs sont représentées par un tableau situé aux annexes).

Soit une chaussée avec une couche de roulement en enduit superficiel, une couche de roulement en GCNT 0/31⁵ et une couche de fondation en Matériaux Sélectionnés. Pour un trafic normal compris entre 20 et 100 PL/j, pour $CBR_f \geq 30$, les épaisseurs minimales de la couche de roulement et de la couche de base sont $h_{r,min} = 2cm$ et $h_{b,min} = 15cm$. Si $a_r = a_b = 1$, $a_f = 0,7$, alors l'épaisseur de la couche de fondation est évoquée ci-après :

Tableau 22 Epaisseur réelle de la couche de fondation en fonction du CBR

CBR	$e_{\text{équ}}$ théorique	h_f théorique	h_f pratique	$e_{\text{équ}}$ pratique
10	25	11,429	12	25
15	23,5	9,286	10	24
20	21,7	6,714	8	23

VI.1.6. Vérification de contraintes

Pour pouvoir calculer les contraintes subies par la chaussée, le système multicouche est ramené à un système tricouche classique. La représentation du système suit le model de Jeuffroy-Bachelez. Chaque couche aura son épaisseur h et son module d'élasticité statique.

Le but de ce calcul est de vérifier que les contraintes radiale et verticale ne dépassent pas les valeurs admissibles de celles-ci.

VI.1.6.1. Représentation de la couche équivalente

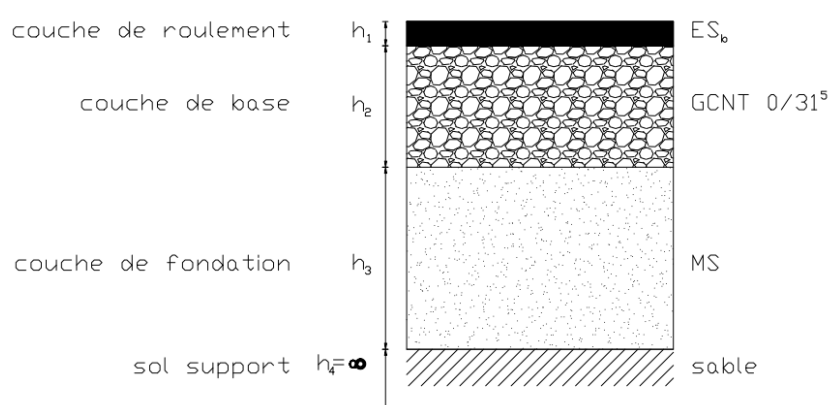


Figure 6 Structure de base

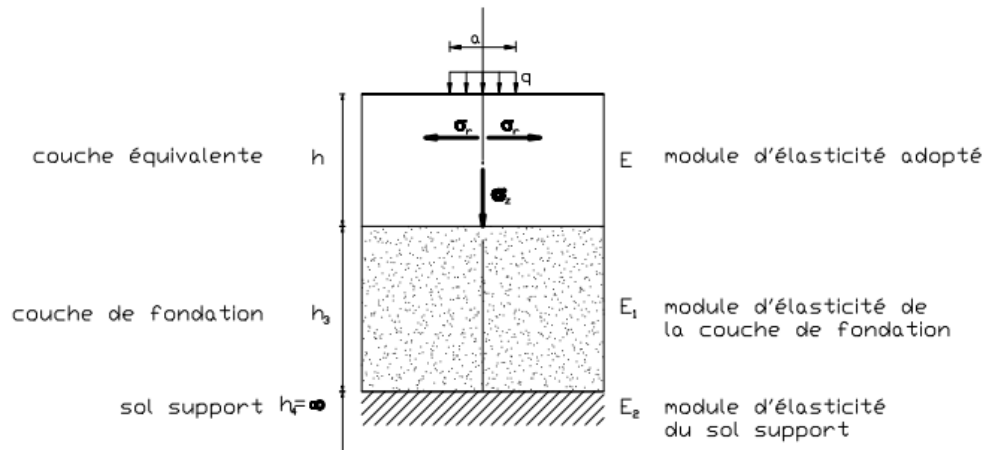


Figure 7 Structure tricouche équivalente

Avec E module élasticité (Cf. annexes) ;

a Rayon d'empreinte des pneus égal à 12,5cm ;

q Pression des pneumatiques égale à 6,62 bars.

Le module d'élasticité du sol support est donné en fonction du CBR :

$$E_2 = 50 \times CBR$$

VI.1.6.2. Paramètre de lecture des abaques

Les abaques de Jeuffroy-Bachelez sont en fonction de deux paramètres α et β exprimés par :

$$\alpha = \frac{h_3}{a} \quad \text{et} \quad \beta = \frac{h}{a} \left(\frac{E}{6E_1} \right)^{1/3}$$

En adoptant le module d'élasticité de la couche de roulement, l'épaisseur de la couche équivalente sera donnée par la relation :

$$h = h_1 + 0,9h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}$$

VI.1.6.3. Contrainte admissible

La contrainte radiale admissible $\sigma_{r,adm}$ est donnée par un tableau (voir annexes) tandis que la contrainte verticale admissible s'obtient par la formule de DORMON-KERKHOVEN :

$$\sigma_{z,adm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \log N'}$$

VI.1.6.4. Vérification de contraintes pour le sol de CBR égal à 10

Tableau 23 Module d'élasticité des couches

	Système multicouche		Système tricouche	
	Epaisseur	Module	Epaisseur	Module
CR	2	25 000	10	25 000
CB	15	5 000		
CF	12	2 000	12	2000
Pf		500		500

$$\alpha = \frac{12}{12,5} = 0,96$$

$$\beta = \frac{10}{12,5} \left(\frac{25\,000}{6 \times 2\,000} \right)^{1/3} = 1,011$$

Puisque $\frac{E_1}{E_2} = 4$, les abaques à lire sont pour les rapports $\frac{E_1}{E_2} = 3$ et $\frac{E_1}{E_2} = 9$.

- $\frac{E_1}{E_2} = 3$ correspond à $\frac{\sigma_r}{q} \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} = 0,262$ et $\frac{\sigma_z}{q} = 0,205$;
- $\frac{E_1}{E_2} = 9$ correspond à $\frac{\sigma_r}{q} \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} = 0,490$ et $\frac{\sigma_z}{q} = 0,135$.

Puis, l'interpolation linéaire donne :

$$\frac{\sigma_r}{q} \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} = 0,30$$

$$\frac{\sigma_z}{q} = 0,19$$

D'où les contraintes radiale et verticale exprimées par :

$$\sigma_r = \frac{\sigma_r}{q} \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3} \times \frac{q}{\left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{2/3}} = 0,30 \times \frac{6,62}{4^{2/3}}$$

$$\sigma_r = 0,78 \text{ bar}$$

$$\sigma_z = \frac{\sigma_z}{q} \times q$$

$$\sigma_z = 1,26 \text{ bar}$$

Les contraintes radiale et verticale sont :

$$\sigma_{r,adm} = 10 \text{ bar}$$

$$\sigma_{z,adm} = \frac{0,3 \times 10}{1 + 0,7 \log 39} = 1,42 \text{ bar}$$

Finalement, $\sigma_z \leq \sigma_{z,adm}$ et $\sigma_r \leq \sigma_{r,adm}$

VI.1.6.5. Résultats des Vérifications de contraintes pour toutes les valeurs du CBR

Tableau 24 Méthode LNTPB-vérification de contraintes

Portance du sol	Localisation		σ_r	σ_z	$\sigma_{r,adm}$	$\sigma_{z,adm}$	Observation	
	Début	Fin					Radiale	Verticale
10	2+500	3+870	0,78	1,26	10	1,42	Vérifiée	Vérifiée
	4+385	4+960						
	10+900	13+100						
15	13+100	18+460	0,79	1,45	10	2,13	Vérifiée	Vérifiée
20	3+870	4+960	0,72	1,66	10	2,84	Vérifiée	Vérifiée
	5+550	7+353						

VI.2. Méthode LCPC

VI.2.1. Classe du trafic

Le trafic à considérer est la Moyenne Journalière Annuelle (MJA). Cette dernière se définit par le nombre de véhicules de charge utile supérieure à 5T sur un seul sens de la circulation. Le coefficient pour obtenir le nombre de poids lourds PTC >3,5T à PTC >5T est 0,8. Ainsi :

$$MJA = \frac{N}{2} \times 0,8 = \frac{49}{2} \times 0,8$$

$$MJA = 20 \text{ PL/j/sens}$$

La classification du trafic se fait en fonction de la MJA (Cf. annexes). Pour le cas ici présent, le trafic est de classe 5 (T₅).

VI.2.2. Trafic cumulé et nombre d'essieux équivalents

Le trafic cumulé se définit par :

$$N_{CU} = MJA \times C$$

C étant le facteur de cumul en fonction de la durée de service et du taux de croissance du trafic (voir annexes). Si $C = 9,2$, alors :

$$N_{CU} = 20 \times 9,2 = 184$$

Par suite, le nombre d'essieux équivalents standards NE est :

$$NE = N_{CU} \times CAM \times 10^3$$

CAM est le coefficient d'agressivité moyenne des poids lourds selon le trafic et le type de chaussée. Pour un trafic de classe T_5 , $CAM = 0,4$. Ainsi :

$$NE = 184 \times 0,4 \times 10^3 = 7,410^4$$

VI.2.3. Epaisseur des couches

VI.2.3.1. Couche de roulement

L'épaisseur de la couche de roulement est donnée en fonction de la durée de service et de la classe du trafic (tableau situé dans les annexes). Pour la classe T_5 et une durée de vie égale à 15ans, 2cm d'enduit superficiel est adéquat.

VI.2.3.2. Couche de base

Pour les routes à faible trafic, l'emploi du GCNT semble approprié. L'épaisseur minimale de la couche de base est fonction du trafic cumulé. En effet, si :

- $NE < 10^5$, l'épaisseur minimale est égale à 15cm ;
- $NE \geq 10^5$, celle-ci est égale à 20cm.

En se référant aux calculs précédents, $h_b = 15cm$.

VI.2.3.3. Couche de fondation

Cette épaisseur est obtenue par la lecture de l'abaque de dimensionnement de la couche de fondation. Les paramètres en jeu sont la portance du sol support, le trafic cumulé et la nature des matériaux de la couche de roulement.

Ici, l'échelle de portance de la plateforme est $P = 3$ (CBR entre 10 et 20). Pour un enduit superficiel, $h_f = 16$.

VI.2.3.4. Représentation de la structure

Voici la structure de la chaussée après le dimensionnement par la méthode LCPC :

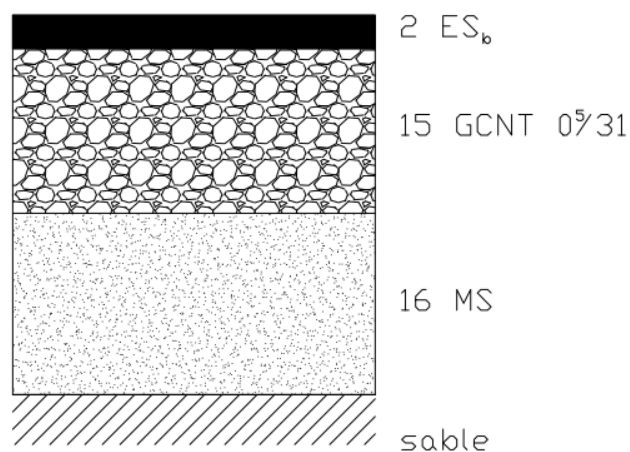


Figure 8 Structure par la méthode LCPC

Conclusion partielle :

L'étude des matériaux est indispensable au dimensionnement de la chaussée. Le CBR est effectivement un paramètre fréquemment utilisé tout au long du chapitre. La structure retenue sera celle dimensionnée par la méthode LNTPB.

ChapVII. Etudes Hydrologiques et Hydrauliques

VII.1. Etude hydrologique

VII.1.1.Traitement des données

Une étude hydrologique doit être préalablement effectuée afin de dimensionner les ouvrages d'assainissement et les ouvrages de décharges. Ce procédé consiste à ajuster le phénomène de crue par les lois statistiques.

Les lois les plus communément utilisées sont :

- La loi de GOODRICH ;
- La loi de GIBRA-GALTON ;
- La loi de PEARSON III ;
- La loi de GUMBEL ;
- La loi de FRECHET.

La méthode utilisée pour le calcul du débit de crue sera la méthode de GUMBEL.

Tableau 25 Pluviométrie de la Région traitée par la loi de GUMBEL

Rang	Date	Débit [m ³ /s]	$Q_i - \bar{Q}$	$(Q_i - \bar{Q})^2$
1	1983	38,8	-28	782
2	1984	64,9	-2	3
3	1985	71,3	5	21
4	1986	37,3	-29	868
5	1987	79,4	13	160
6	1988	36,1	-31	940
7	1989	141,3	75	5556
8	1990	28,8	-38	1441
9	1991	21,5	-45	2049
10	1992	37,8	-29	839
11	1993	24,1	-43	1820
12	1994	45,6	-21	448
13	1995	113,6	47	2194
14	1996	51,6	-15	230
15	1997	41	-26	664
16	1998	105,3	39	1485
17	1999	84,4	18	311
18	2000	40,7	-26	679
19	2001	59,6	-7	51
20	2002	156,4	90	8035
21	2003	63,4	-3	11
22	2004	27,6	-39	1534
23	2005	236,2	169	28709
24	2006	54,2	-13	158
25	2007	79,8	13	170
26	2008	31,4	-35	1251
27	2009	30,5	-36	1315

Mise au net :

Si N est le nombre de débit, Q_i le débit de crue à l'année i, la moyenne algébrique s'obtient par la formule :

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=0}^N Q_i}{N}$$

$$\bar{Q} = 66,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Puis l'écart type est donné par la relation suivante :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Q_i - \bar{Q})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = 48,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Soit les deux paramètres d'ajustement de GAMBEL définis par :

$$Q_0 = \bar{Q} - 0,45\sigma \text{ et } \alpha = \frac{1}{0,780\sigma}$$

Ainsi, $Q_0 = 44,8 \text{ m}^3/\text{s}$ et $\alpha = 0,026312$

D'après la loi de GUMBEL, la fonction de répartition est : $F(Q) = e^{-e^{-u}}$; et afin d'obtenir la valeur correspondante du débit pour une période de retour P :

$$Q = \bar{Q} - \sigma \left\{ \left[0,780 \ln \left(\ln \left(1 - \frac{1}{P} \right) \right) \right] + 0,45 \right\}$$

L'expression $U = 1 - \frac{1}{P}$ désigne la fréquence. D'où, en appliquant cette formule pour plusieurs valeurs de temps de retour, le tableau suivant :

Tableau 26 Débit de crue pour une période de retour P

P ans	F = 1- 1/P	U	Qp [m3/s]
10	0,900	2,250	130
20	0,950	2,970	158
25	0,960	3,199	166
50	0,980	3,902	193
75	0,987	4,311	209
100	0,990	4,600	220

VII.1.2.Caractéristiques du bassin versant

VII.1.2.1. Surface du bassin versant

Par le biais d'un planimètre, la surface d'un bassin versant s'obtient par la formule :

$$S = \frac{S_0}{10^6 E^2}$$

Où S_0 lecture sur planimètre (en mm) ;

E^2 Transformation de la mesure sur carte à la mesure sur terrain (échelle) ;

VII.1.2.2. Pente du bassin versant

Cette pente est donnée en mesurant la variation d'altitude le long du thalweg principal, c'est-à-dire :

$$I = \frac{\Delta h}{L}$$

VII.1.2.3. Coefficient de ruissèlement

Ce coefficient renseigne sur la partie de pluie qui va ruisseler. Sa valeur est donnée par le tableau situé dans les annexes.

Ainsi, pour ce projet, les caractéristiques géométriques des bassins versants sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 27 Caractéristiques des bassins versants

N°	Localisation		Caractéristiques des bassins versants		
	Début	Fin	S, km ²	I, %	C
1	2+100	3+316	0,3	0,0206	0,30
2	3+316	4+200	0,16	0,0266	0,30
3	4+200	7+194	0,48	0,0187	0,30
4	7+194	11+402	0,22	0,0158	0,30
5	11+402	13+405	0,21	0,0194	0,30
6	13+405	13+844	0,1	0,0047	0,30
7	13+844	14+270	0,14	0,0043	0,30
8	14+270	15+009	0,19	0,0075	0,30
9	15+009	15+832	0,12	0,0158	0,30
10	15+832	17+208	0,21	0,0127	0,30
11	17+208	19+492	0,25	0,0120	0,30
12	19+492	23+830	0,35	0,0222	0,30

VII.1.3. Calcul des débits de crue

Les surfaces des bassins versant ne dépassant pas de 4km², la méthode rationnelle est applicable. Le débit à évacuer est donné par la relation :

$$Q = 0,278 \text{ SCI}(t_c, P)$$

Avec $I(t_c, P) = 28(t_c + 28)^{-0,763} I(1h, P)$: intensité de pluie pendant le temps de concentration t_c et de période de retour P .

$$t_c = 7,62 \sqrt{\frac{S}{I}}$$

$$I(1h, P) = 0,22H(24h, P) + 56 \text{ [mm]}$$

Dans laquelle $H(24h, P)$ Hauteur de pluie maximale probable pendant 24h (égal à Q_p) et de période P , $I(1h, P)$ intensité horaire de pluie de période P .

Tableau 28 Récapitulatif des débits à évacuer

N°	t_c	$I(1h, 10\text{ans})$	$I(t_c, P)$	Q
1	29,08	84,68	108,32	2,71
2	18,69	84,68	126,27	1,68
3	29,49	84,68	107,74	2,52
4	28,43	84,68	109,27	2,00
5	25,07	84,68	114,51	2,01
6	35,15	84,68	100,29	0,84
7	43,48	84,68	91,24	1,07
8	38,35	84,68	96,57	1,53
9	21,00	84,68	121,70	1,22
10	30,99	84,68	105,64	1,85
11	34,78	84,68	100,73	2,10
12	30,26	84,68	106,65	3,11

VII.2. Etude des fossés

Ici, le bassin se définit par la surface sur laquelle les eaux de ruissèlement se déversent pour arriver dans les fossés. Le profil de la chaussée est en toit, donc la surface du bassin est délimitée par la demi-largeur de chaussée et le reste du demi-profil en travers (accotement, remblais...).

VII.2.1. Caractéristiques géométriques des fossés

Pour évacuer les eaux de ruissèlement, trois types de fossés existent : rectangulaire, trapézoïdale et triangulaire. Leurs caractéristiques maximales respectives sont représentées comme suit :

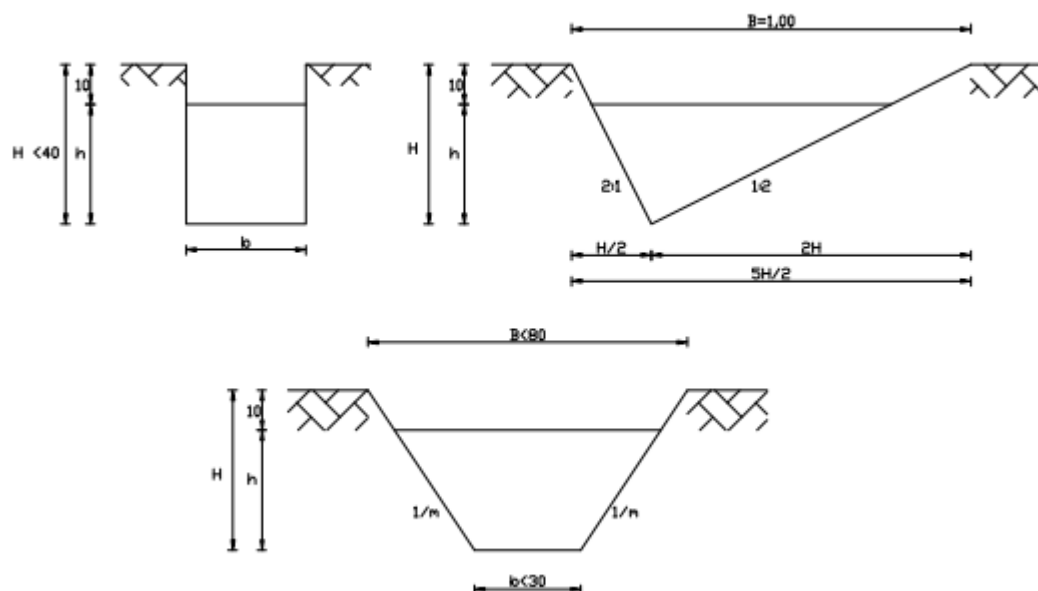


Figure 9 Schémas des différents types de fossés

Tableau 29 Géométrie des fossés

		Rectangulaire	Triangulaire	Trapézoïdale
Section mouillée	ω	bh	$\frac{5h^2}{4}$	$bh + mh^2$
Périmètre mouillé	χ	$b + 2h$	$\frac{3}{2}h\sqrt{5}$	$b + 2h\sqrt{m^2 + 1}$
Rayon hydraulique	$R = \frac{\omega}{\chi}$	-	$\frac{h\sqrt{5}}{6}$	-

Quel que soit le type de fossés utilisés, leur pente est définie par :

$$i_f = \frac{H_{max} - 0,10}{L} + i_T$$

Dans laquelle H_{max} la hauteur maximale des fossés avant ouvrages de décharge ;

i_T La pente du terrain naturel.

La pente minimale d'un fossé est égale à 4‰

VII.2.2.Principe de dimensionnement

D'abord, le calcul du débit maximal évacuable se fait suivant la méthode de Manning-Strickler, c'est-à-dire :

$$Q_{max} = v\omega = kR^{2/3}i_f^{0,5}\omega$$

Avec Q_{max} débit maximal évacuable ;

k Coefficient de rugosité de la surface d'écoulement ;

R Rayon hydraulique ;

i_f Pente du fossé ;

v vitesse d'écoulement qui ne doit pas dépasser la vitesse d'affouillement.

Les valeurs des vitesses d'affouillement et les coefficients de rugosité seront retrouvés dans les tableaux situés dans les annexes.

Puis, ayant déjà choisi la section du fossé, l'analyse de la situation se fait comme suit :

- Si $\frac{\Delta Q}{Q_0} \times 100 < 5$ les caractéristiques maximales du fossé sont acceptables ;
- Si $\frac{\Delta Q}{Q_0} \times 100 \geq 5$ et $Q_{max} > Q_0$, alors le fossé est surdimensionné ;
- Si $\frac{\Delta Q}{Q_0} \times 100 \geq 5$ et $Q_{max} < Q_0$, alors le fossé est sous dimensionné.

Dans le cas où le fossé est surdimensionné, le calcul est repris tout en diminuant l'ouverture (hauteur ou largeur). Dans le cas contraire, la mise en place des ouvrages de décharge sera nécessaire.

VII.2.3.Débit à évacuer

Le débit longitudinal à évacuer sera calculé par la méthode rationnelle. Ainsi le tableau suivant :

Tableau 30 Débit transversale à évacuer en m^3/s

N°	Localisation		Longueur, m	Débit à évacuer
	Du	à		
1	2+401	2+474	73	0,051
2	2+688	2+782	94	0,066
3	2+901	3+002	101	0,071
4	3+414	3+520	106	0,074
5	3+873	3+928	55	0,039
6	4+027	4+227	200	0,140
7	6+501	6+533	32	0,022
8	6+533	5+635	102	0,071
9	6+869	6+985	116	0,081
10	7+048	7+117	69	0,048
11	7+240	7+314	74	0,052
12	7+621	7+680	59	0,041
13	7+680	7+746	66	0,046
14	7+746	7+835	89	0,062
15	7+912	8+107	195	0,137
16	8+778	8+865	87	0,061
17	8+865	9+054	189	0,132
18	9+054	9+341	287	0,201
19	9+341	9+482	141	0,099
20	9+482	9+748	266	0,186
21	9+944	10+267	323	0,226
22	10+500	10+648	148	0,104
23	10+832	11+101	269	0,188
24	11+101	11+387	286	0,200
25	12+022	12+624	602	0,421
26	12+767	12+929	162	0,113
27	14+666	14+795	129	0,090
28	15+488	15+648	160	0,112
29	15+648	15+775	127	0,089
30	15+775	16+039	24	0,185
31	16+062	16+300	238	0,167
32	16+606	16+832	226	0,158
33	16+832	16+954	122	0,085
34	16+954	17+335	381	0,267
35	17+355	17+464	129	0,090
36	17+464	17+621	157	0,110
37	17+621	17+733	112	0,078
38	17+805	18+093	288	0,202

VII.2.3.1. Fossé triangulaire

Tableau 31 Résultats du dimensionnement des fossés triangulaires

N°	b, m	H, m	h, m	ω, m^2	χ, m	R, m	k	$i_f, ‰$	$v, m/s$	$Q, m^3/s$	$\frac{\Delta Q}{Q} \times 100$	Remarque
1	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	117	Surdimensionné
2	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	68	Surdimensionné
3	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	56	Surdimensionné
4	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	50	Surdimensionné
5	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	184	Surdimensionné
6	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	21	Sous dimensionné
7	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	20,0	2,20	0,25	1024	Surdimensionné
8	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	20,0	2,20	0,25	248	Surdimensionné
9	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	15,0	1,90	0,21	164	Surdimensionné
10	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	48,0	3,41	0,38	698	Surdimensionné
11	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	113	Surdimensionné
12	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	170	Surdimensionné
13	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	141	Surdimensionné
14	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,9	1,09	0,12	98	Surdimensionné
15	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	19	Sous dimensionné
16	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	81	Surdimensionné
17	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	7,0	1,30	0,15	11	Surdimensionné
18	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	8,0	1,39	0,16	22	Sous dimensionné
19	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	10,0	1,55	0,17	77	Surdimensionné
20	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	15,0	1,90	0,21	15	Surdimensionné
21	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	51	Sous dimensionné
22	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	6	Surdimensionné
23	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	41	Sous dimensionné
24	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	16,0	1,97	0,22	11	Surdimensionné
25	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	74	Sous dimensionné
26	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	5,0	1,10	0,12	9	Surdimensionné
27	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	5,0	1,10	0,12	37	Surdimensionné
28	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	1	Vérifié
29	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	13,0	1,77	0,20	124	Surdimensionné
30	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	40	Sous dimensionné
31	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	34	Sous dimensionné
32	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	12,0	1,70	0,19	21	Surdimensionné
33	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	41,0	3,15	0,35	317	Surdimensionné
34	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	19,3	2,16	0,24	9	Sous dimensionné
35	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	26,0	2,51	0,28	213	Surdimensionné
36	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	1	Vérifié
37	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	4,0	0,98	0,11	42	Surdimensionné
38	1,00	0,40	0,30	0,113	1,006	0,112	67	23,0	2,36	0,27	31	Surdimensionné

VII.2.3.2. Fossé rectangulaire

Tableau 32 Résultats du dimensionnement des fossés rectangulaires

N°	b, m	H, m	h, m	ω, m^2	χ, m	R, m	k	$i_f, \text{‰}$	$v, m/s$	$Q, m^3/s$	$\frac{\Delta Q}{Q} \times 100$	Remarque
1	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	61	Surdimensionné
2	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	24	Surdimensionné
3	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	16	Surdimensionné
4	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	11	Surdimensionné
5	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	111	Surdimensionné
6	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	41	Sous dimensionné
7	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	20,0	2,04	0,18	735	Surdimensionné
8	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	20,0	2,04	0,18	159	Surdimensionné
9	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	15,0	1,77	0,16	96	Surdimensionné
10	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	48,0	3,16	0,28	493	Surdimensionné
11	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	58	Surdimensionné
12	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	100	Surdimensionné
13	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	79	Surdimensionné
14	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,9	1,01	0,09	47	Surdimensionné
15	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	40	Sous dimensionné
16	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	35	Surdimensionné
17	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	7,0	1,21	0,11	18	Sous dimensionné
18	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	8,0	1,29	0,12	42	Sous dimensionné
19	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	10,0	1,44	0,13	31	Surdimensionné
20	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	15,0	1,77	0,16	14	Sous dimensionné
21	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	64	Sous dimensionné
22	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	21	Sous dimensionné
23	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	56	Sous dimensionné
24	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	16,0	1,83	0,16	18	Sous dimensionné
25	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	80	Sous dimensionné
26	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	5,0	1,02	0,09	19	Sous dimensionné
27	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	5,0	1,02	0,09	2	Vérifié
28	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	27	Sous dimensionné
29	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	13,0	1,65	0,15	66	Surdimensionné
30	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	56	Sous dimensionné
31	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	51	Sous dimensionné
32	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	12,0	1,58	0,14	10	Sous dimensionné
33	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	41,0	2,92	0,26	209	Surdimensionné
34	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	19,3	2,01	0,18	32	Sous dimensionné
35	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	26,0	2,33	0,21	133	Surdimensionné
36	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	25	Sous dimensionné
37	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	4,0	0,91	0,08	5	Sous dimensionné
38	0,30	0,40	0,30	0,090	0,900	0,100	67	23,0	2,19	0,20	2	Vérifié

VII.2.3.3. Interprétation des résultats

Les fossés calculés ci-dessus sont la plupart du temps surdimensionnés. En effet, la pluviométrie de la Région Atsimo Andrefana est très faible. Ainsi, le débit à évacuer devient également faible. Toutefois, étant une plaine littorale, la pente des bassins versants est parfois très petite. D'où, en dépit de ses dimensions maximales, le fossé demeure sous dimensionné.

Pour cela, des ouvrages de décharge seront à prévoir (dalot, buse...). Leur nombre est donné par la relation :

$$n = \frac{Q_0}{Q_{max}}$$

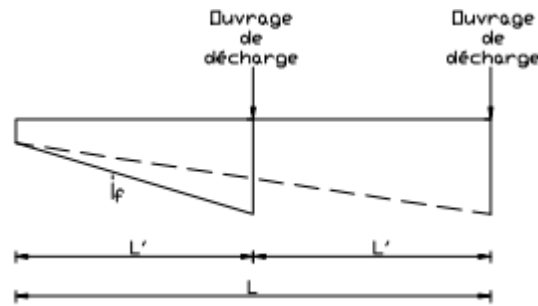


Figure 10 Ouvrage de décharge

Leur emplacement est obtenu par :

$$L' = \frac{L}{n}$$

Toutefois, vérifier si au bout de L' le fossé peut déverser le débit à évacuer est impératif, avec :

$$Q'_0 = \frac{Q_0}{n}$$

Par exemple pour le point n°18 avec un débit à évacuer égale à $Q_0 = 0,20 m^3/s$. Le débit évacuable pour le cas d'un fossé rectangulaire est de $Q = 0,12 m^3/s$. Le nombre d'ouvrage à construire :

$$n = \frac{0,20}{0,12} = 1,67 \simeq 2$$

Par suite :

$$L' = \frac{287}{2} = 143,5m$$

$$Q'_0 = \frac{0,20}{2} = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ainsi, la vérification pour un fossé rectangulaire se fait comme suit :

$$Q'_{max} = 67 \times 0,100^{2/3} \times 0,016^{0,5} \times 0,090 = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le dimensionnement est adéquat.

VII.3. Dimensionnement des dalots

VII.3.1. Principe de calcul

Le dimensionnement du dalot consiste à déterminer sa hauteur et sa largeur. Pour ce faire, la largeur B doit être posée avec une dimension minimale de 0,50m. Puis, la vitesse d'écoulement V doit être comparée à la vitesse d'affouillement V_{aff} de la manière suivante :

- $\frac{V - V_{aff}}{V_{aff}} \times 100 \leq 5\%$, la valeur de B est acceptable ;
- $\frac{V - V_{aff}}{V_{aff}} \times 100 > 5\%$ et $V > V_{aff}$, alors le dalot est sous-dimensionné, augmenter B ;
- $\frac{V - V_{aff}}{V_{aff}} \times 100 > 5\%$ et $V < V_{aff}$, alors le dalot est surdimensionné, diminuer B.

La vitesse d'affouillement étant égale à 3m/s. Enfin, après avoir choisi B selon les conditions ci-dessus, la hauteur du dalot est donnée par :

$$D = y + 0,10 = B Q_I^{*2/3} + 0,10$$

VII.3.2. Calcul de la pente

Un régime torrentiel se forme à l'intérieur de l'ouvrage. Alors, la pente du dalot doit être supérieure à la pente critique I_{cr} . Voici les deux paramètres additionnels nécessaires au calcul de celle-ci :

$$I_{cr}^* = \frac{I_{cr} \times k^2 \times B^{1/3}}{g}$$

$$Q_I^* = \frac{Q_0}{\sqrt{g B^5}}$$

Le calcul de Q_I^* permet d'obtenir I_{cr}^* par le biais des abaques. Ainsi, la pente du dalot $I = 1,2I_{cr}$

VII.3.3.Calcul de la vitesse d'écoulement

Le calcul de la vitesse d'écoulement est similaire au calcul de la pente :

$$V^* = \frac{V}{kI^{0,5}B^{2/3}}$$

$$Q_V^* = \frac{Q_0}{kI^{0,5}B^{2/3}}$$

VII.3.4.Exemple de calcul

Soit $Q = 3,11m^3/s$ (Tableau 28). Puisque le débit est assez élevé, la valeur minimale de B sera certainement insuffisante, donc, soit $B = 1,00m$. Par conséquent :

$$Q_I^* = \frac{1,68}{\sqrt{9,81 \times 1,00^5}} = 0,54$$

$$I_{cr}^* = 3,6$$

$$I_{cr} = \frac{3,6 \times 9,81}{67^2 \times 1,00^{1/3}} \times 1000 = 7,8\text{‰}$$

$$I = 1,2 \times 7,8 = 9,4\text{‰}$$

$$Q_V^* = \frac{1,68}{67 \times 0,0094^{0,5} \times 1,00^{8/3}} = 0,26$$

$$V^* = 0,44$$

$$V = 0,44 \times 67 \times 0,0094^{0,5} \times 1,00^{2/3} = 2,85m/s$$

La vitesse d'écoulement est visiblement inférieure à 3m/s. En effet :

$$\frac{|2,85 - 3|}{3} \times 100 = 4,8\% < 5\%$$

Puisque la valeur de B est acceptable, la hauteur du dalot sera :

$$D = 1,00 \times 0,54^{2/3} + 0,10 = 0,76m$$

Finalement, un dalot $1,00 \times 0,80$ sera adéquat.

VII.4. Dimensionnement mécanique des dalles de dalot

Un Ingénieur du secteur Travaux Publics se doit d'être polyvalent. Ce paragraphe parle effectivement du dimensionnement mécanique des dalots. Plusieurs domaines vont intervenir notamment le CDS (Calcul De Structure) et le BAEL (Béton Armée aux Etats Limites).

Selon le débit à évacuer, les dalots peuvent être à ouverture simple ou multiple. Pour la suite, l'étude se portera sur un dalot $1,00 \times 1,00$ à ouverture simple.

VII.4.1. Prédimensionnement

Le prédimensionnement est nécessaire pour les hypothèses de calcul. L'épaisseur à considérer de la dalle est donnée par la relation :

$$e = e_0 \sqrt{1 + \frac{H \times l^2}{2000e_0}}$$

Avec H Hauteur du remblai au-dessus du dalot ;

l Ouverture de l'ouvrage ;

e_0 Épaisseur minimale obtenu par $1/40 + 0,10 = 0,12 \text{ m}$

Toutefois, l'épaisseur minimale d'un dalot simple est de 20cm. Or, après calcul $e = 0,13\text{m}$. Ainsi la valeur à prendre est $e = 0,20\text{m}$.

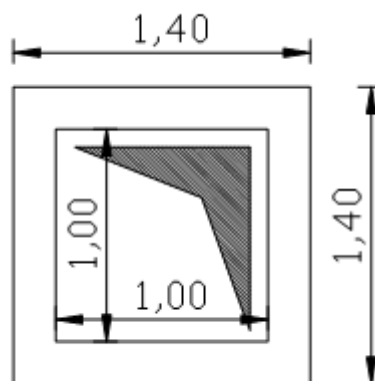


Figure 11 Représentation du dalot cadre
1,00x1,00

VII.4.2. Evaluation des charges

VII.4.2.1. Charges permanentes

Les charges permanentes à calculer sont le poids propre de la dalle, la poussée des terres et enfin la réaction du sol support

❖ Poids propre de la dalle

Le poids propre de la dalle résulte d'une formule simple exprimée par :

$$g_1 = \gamma_b \times e$$

γ_b Étant le poids volume du béton armé égal à $2,5 \text{ T/m}^3$. Ainsi :

$$g_1 = 2,5 \times 0,20 = 0,5 \text{ T/m}^2$$

❖ Poussée du remblai

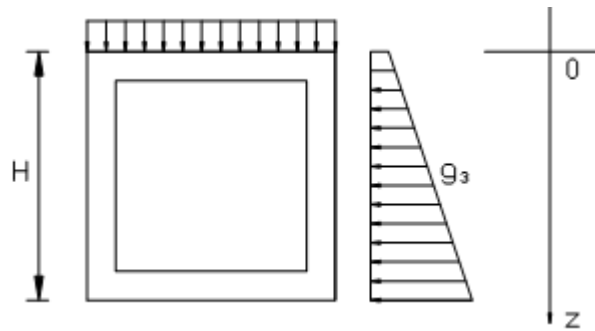


Figure 12 Poussée du remblai

La charge uniformément répartie due à la poussée n'étant pas rectangulaire, son équation est :

$$g_3 = \gamma_r k_{ay} + g_2 k_{aq}$$

Avec γ_r Poids volumique du remblai ;

g_2 Charge permanente due au remblai et de la chaussée au-dessus du dalot;

k_{aq} Coefficient de poussée due à une charge répartie à la surface ;

Le coefficient k_{ay} s'appelle coefficient de poussée de terre due aux frottements internes exprimé par :

$$k_{ay} = \frac{\cos^2(\varphi - \lambda)}{\cos(\lambda - \delta) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta - \varphi) \cos(\varphi - \beta)} \right]^2}$$

Où λ Angle de la face de l'écran au contact du sol avec la verticale ;

δ Angle de la résultante de la poussée avec la normale de l'écran ;

β Angle de la surface libre du sol avec l'horizontale ;

φ Angle de frottement interne égal à 30°

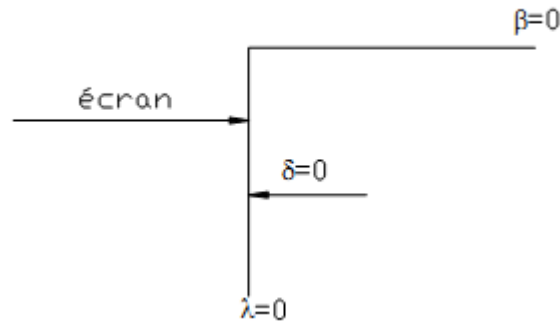


Figure 13 Répartition des angles pour le coefficient de poussée

$$k_{ay} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = k_{aq}$$

$$k_{ay} = k_{aq} = 0,33$$

Si le poids volumique de la chaussée est $2,3 \text{ T/m}^3$, la charge due à la poussée du remblai :

$$g_2 = 1,83 \text{ T/m}^2$$

$$g_3 = 1,20 \text{ T/m}^2$$

❖ Réaction du sol support

La réaction du sol est la somme des charges au-dessus de la dalle (g_1 et g_2), du poids propre g_4 des piédroits et de la dalle inférieure (principe de l'action et de la réaction). Ainsi :

$$g_5 = 4,33 \text{ T/m}^2$$

VII.4.2.2. Surcharges d'exploitation

❖ Surcharge routière

Les systèmes de surcharges seront les systèmes B_c (camion type) et B_t (roue isolé)

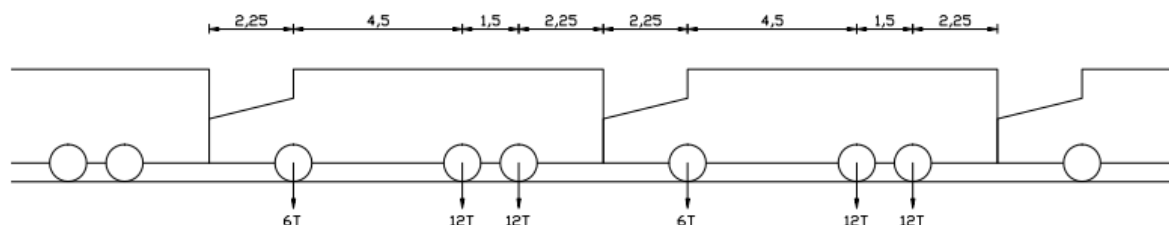


Figure 14 Représentation longitudinale du système B_c

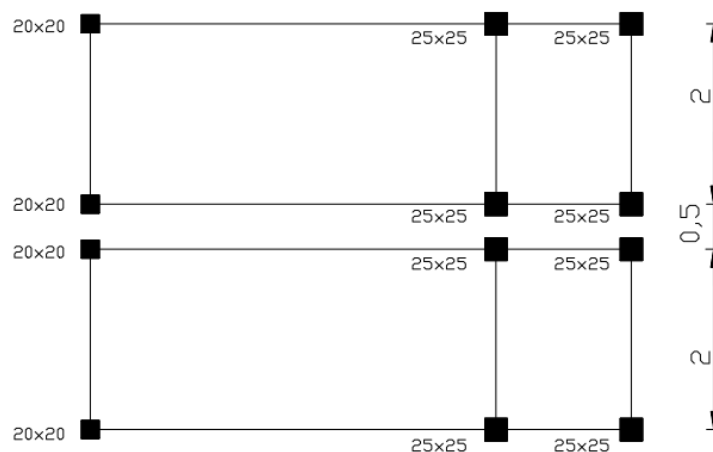


Figure 15 Surface d'impact des roues

Calcul du coefficient de majoration dynamique

Une différence s'impose sur les surcharges appliquées rapidement et les surcharges appliquées de façon lente. En effet, les charges roulantes produisent un choc provoquant des impacts plus grands que les charges statiques. Pour tenir compte de ce phénomène, les charges indiquées pour le système B seront multipliées par le coefficient de majoration dynamique exprimé par :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{G}{Q_B}}$$

Avec L Longueur du dalot ;

G Charge permanente Totale ;

Q_B Surcharge inscrite dans le dalot.

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 1,40} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{25 \times 0,20 \times 1,40 \times 9}{2 \times 2 \times 12}} = 1,25$$

Diffusion des charges

La diffusion des charges suit un angle de 30° dans le remblai et la chaussée, puis 45° dans le béton.

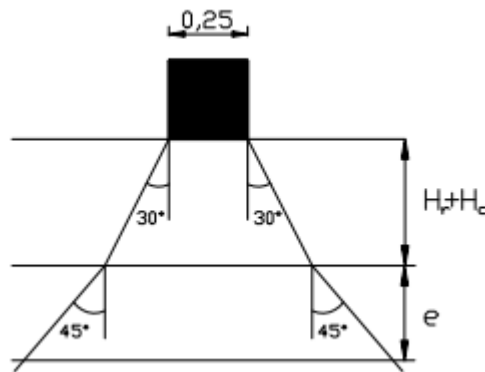


Figure 16 Diffusion des charges

La surface d'impact d'un système B se définit par $u_0 \times v_0$, alors :

$$u = u_0 + 2(h_r + h_c) \tan 30 + e \tan 45$$

$$v = v_0 + 2(h_r + h_c) \tan 30 + e \tan 45$$

Calcul des surcharges en système B_c

Les surcharges routières dans le système B_c avec un impact de roue $0,25 \times 0,25$ sont exprimées par :

$$Q_{BC} = 1,2 \times 6 \times b_c \times \delta \times C$$

Avec b_c Coefficient de majoration égal à 1,1 pour les camions accolés ;

C Paramètre dépendant de la valeur de u , c'est-à-dire :

- Si $u > 4,5$, alors $C = 12 / [(6 + u)(4,5 + u)]$;
- Si $2 < u < 4,5$, alors $C = 8 / [(4,5 + u)(1,5 + u)]$;
- Si $1,5 < u < 2$, alors $C = 4 / [(1,5 + u)(0,5 + u)]$;
- Si $0,5 < u < 1,5$, alors $C = 2 / [(0,5 + u)u]$

AN : $u = v = 1,56 \text{ m}$, ainsi $Q_{BC} = 6,25 \text{ T/m}^2$

Calcul des surcharges en système B_t

La surface d'impact d'une roue est $0,25 \times 0,60$. Les surcharges routières dans le système B_t sont données par :

$$Q_{Bc} = 1,2 \times 6 \times b_t \times \delta \times K$$

Avec b_t Coefficient de majoration égal à 1 pour les camions accolés ;

K Paramètre dépendant de la valeur de v :

- Si $v > 2$, alors $K = 8 / [(1,35 + u)(5 + v)]$;
- Si $1 < v < 2$, alors $K = 4 / [(1,35 + u)(1 + v)]$;
- Si $1 < v < 1,7$, alors $K = 2 / [u(1 + v)]$.

AN : $u = 1,56m$, $v = 1,92 m$, $Q_{Bt} = 4,23 T/m^2$

Surcharge retenue

La surcharge routière retenue sera :

$$Q_R = \text{Max}(Q_{Bc} ; Q_{Bt})$$

Pour le cas ici présent :

$$Q_R = \text{Max}(6,25 ; 4,23) = 6,25 T/m^2$$

VII.4.2.3. Récapitulation des charges appliquées sur le dalot

Tableau 33 Tableau récapitulatif des charges appliquées sur le dalot

	G, t/m ²	Q, t/m ²
Au-dessus	2,33	6,25
Réaction du sol	3,83	6,25
Poussée du remblai	1,20	

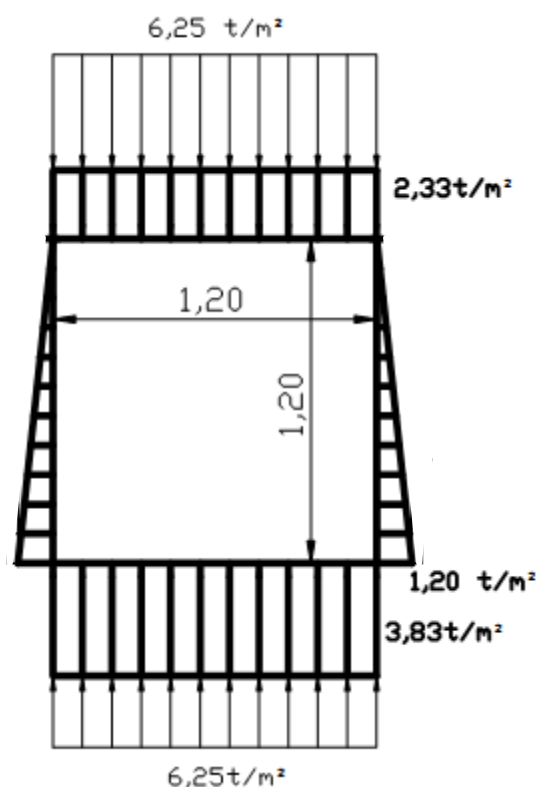


Figure 17 Charges appliquées sur le dalot

VII.4.3. Calcul des efforts par la méthode de Cross

La méthode de Cross s'applique non seulement aux ossatures d'immeubles ou de ponts, mais aussi pour les structures simples comme les dalots. Son but reste le même : déterminer les efforts s'exerçant dans un système hyperstatique à nœuds rigides sous l'action des forces extérieures.

VII.4.3.1. Principe de calcul

Cette méthode permet de calculer les moments fléchissant aux extrémités des barres au moyen d'approximation successive. En effet, les calculs ne donnent pas exactement les moments fléchissant agissant sur l'extrémité des barres mais les moments transmis par les nœuds aux barres.

Pour ce faire, les paramètres suivants sont nécessaires :

- ❖ Raideur : la raideur de la poutre est défini par :
 - $R = I/l$ si la poutre est encastrée aux deux extrémités ;
 - $R = 3I/4l$ si la poutre est encastrée à une extrémité et articulé à l'autre.

I est le moment d'inertie maximale des barres, l la longueur de celles-ci.

- ❖ Coefficient de répartition : correction à chaque tour

$$C_i = \frac{R_i}{\sum R_i}$$

- ❖ Moment d'encastrement parfait correspondant à chaque barre, tout en tenant compte des signes au sens de Cross (changer le signe donné par la RDM à l'extrême gauche)

VII.4.3.2. Hypothèse de calcul

- ❖ Toutes les barres sont encastrees et ne subissent aucune rotation possible.

Les moments d'encastrement parfait sont comme suit :

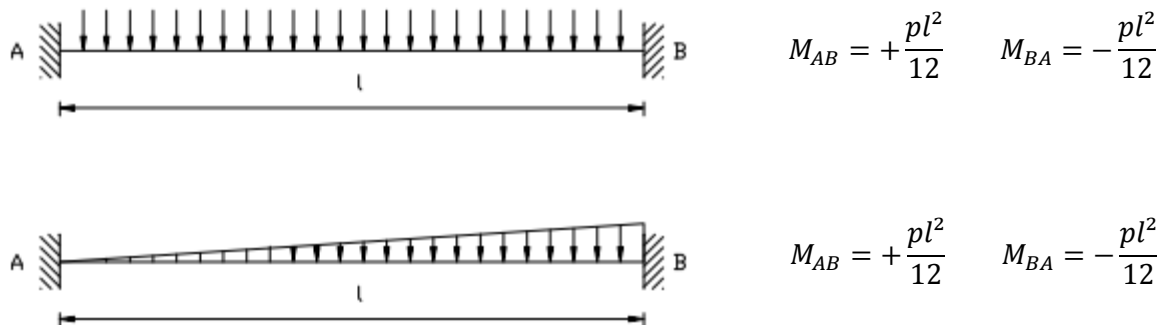


Figure 18 Expression des moments d'encastrement parfait

- ❖ Dimensions des barres

Les barres sont toutes identiques. Leurs caractéristiques géométriques sont :

$$b = 1,00m ; h = 0,20m ; l = 1,20m$$

$$I = \frac{hb^3}{12} = 0,01667 m^4$$

Ainsi la raideur des barres

$$R_i = \frac{I}{l} = 0,014$$

VII.4.3.3. Calcul des moments transmis aux barres

❖ Charges permanentes G

Tableau 34 Moment dû à la charge au-dessus

Nœuds	A		B		C		D	
Barres	AB	AD	BA	BC	CB	CD	DC	DA
Ri	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Ci	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
mi				0,223	-0,223			
M	-0,074	0,074	-0,149	0,149	-0,149	0,149	0,074	-0,074
Erreur	0,000		0,000		0,000		0,000	

Tableau 35 Moment dû à la poussée du remblai

Nœuds	A		B		C		D	
Barres	AB	AD	BA	BC	CB	CD	DC	DA
Ri	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Ci	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
mi	0,055		-0,037			0,037	-0,055	
M	0,026	-0,025	-0,021	0,021	-0,021	0,021	-0,025	0,025
Erreur	0,000		0,000		0,000		0,000	

Tableau 36 Moment dû à la réaction du sol

Nœuds	A		B		C		D	
Barres	AB	AD	BA	BC	CB	CD	DC	DA
Ri	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Ci	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
mi		-0,583						0,583
M	0,389	-0,389	0,194	-0,194	0,194	-0,194	-0,389	0,389
Erreur	0,000		0,000		0,000		0,000	

❖ Surcharges Q

Tableau 37 Moment dû à la surcharge routière

Nœuds	A		B		C		D	
Barres	AB	AD	BA	BC	CB	CD	DC	DA
Ri	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Ci	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
mi				1,124	-1,124			
M	-0,375	0,375	-0,750	0,750	-0,750	0,750	0,375	-0,375
Erreur	0,000		0,000		0,000		0,000	

Tableau 38 Moment dû à la surcharge engendrée par le sol

Nœuds	A		B		C		D	
Barres	AB	AD	BA	BC	CB	CD	DC	DA
Ri	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Ci	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
mi		-1,124						1,124
M	0,750	-0,750	0,375	-0,375	0,375	-0,375	-0,750	0,750
Erreur	0,000		0,000		0,000		0,000	

VII.4.3.4. Sollicitations de calcul

❖ Moment fléchissant

Soit la barre AB. Le moment en un quelconque point de la barre est obtenu par la formule :

$$M_x = \mu(x) - M_{BA} + \frac{M_{AB} + M_{BA}}{l_{AB}} x$$

Avec $\mu(x)$ Moment fléchissant dans un système isostatique ;

l_{AB} Longueur de la barre considérée ;

M_{AB} Moment transmis par le nœud A à la barre AB ;

M_{BA} Moment transmis par le nœud A à la barre BA

Pour le point d'abscisse $x = l/2$, la formule devient :

$$M_x = \mu(l/2) + \frac{M_{AB} - M_{BA}}{2}$$

❖ Combinaison d'actions

L'ouvrage peut être soumis à un très grand nombre de combinaisons d'actions complexes. Suivant les normes de la BAEL 91/99, Les sollicitations de calcul à considérer résultent de la combinaison d'actions ci-après :

- A l'Etat Limite Ultime (ELU) : $1,35G + 1,5Q$;
- A l'Etat Limite de Service (ELS) : $G + Q$

❖ Effort tranchant

L'effort tranchant à une abscisse x s'obtient par la formule suivante :

$$T(x) = \theta + \frac{M_{AB} + M_{BA}}{l_{AB}}$$

Où θ est l'effort tranchant dans le système isostatique.

❖ Exemple sur la barre BA

Tableau 39 Moment de la barre AB à l'ELU

x	μ	M
0,00	0,000	-1,021
0,12	0,105	-0,867
0,24	0,187	-0,736
0,36	0,245	-0,628
0,48	0,280	-0,544
0,60	0,292	-0,483
0,72	0,280	-0,446
0,84	0,245	-0,431
0,96	0,187	-0,441
1,08	0,105	-0,473
1,20	0,000	-0,529

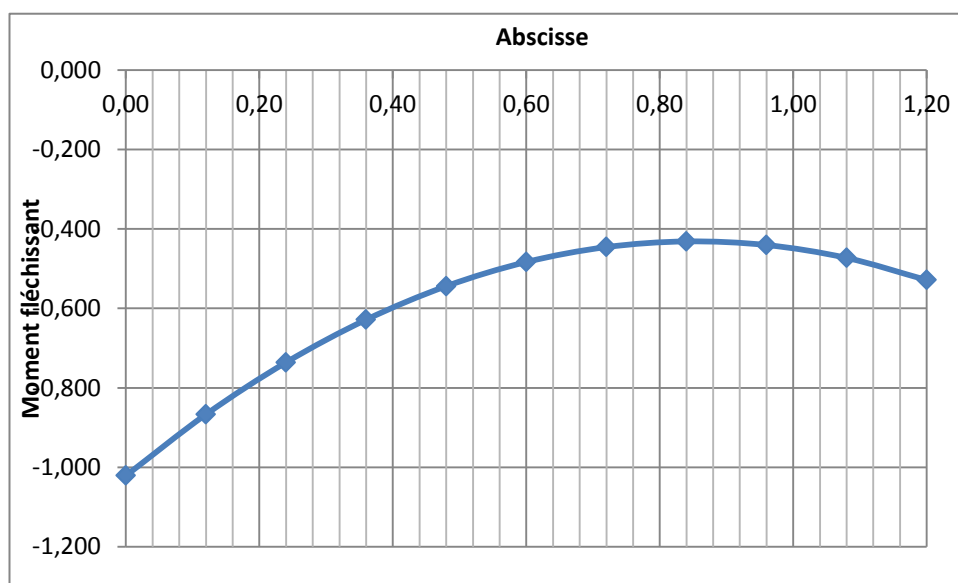


Figure 19 Diagramme du Moment fléchissant de la barre AB

Tableau 40 Effort Tranchant de la barre AB à l'ELU

x	μ	T
0,00	0,972	1,382
0,12	0,778	1,188
0,24	0,583	0,993
0,36	0,389	0,799
0,48	0,194	0,605
0,60	0,000	0,410
0,72	-0,194	0,216
0,84	-0,389	0,021
0,96	-0,583	-0,173
1,08	-0,778	-0,367
1,20	-0,972	-0,562

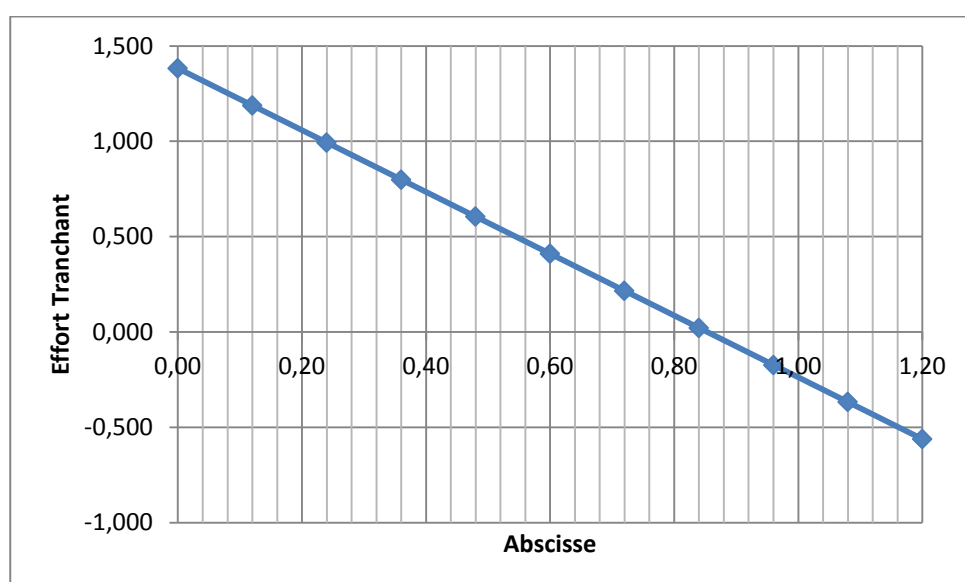
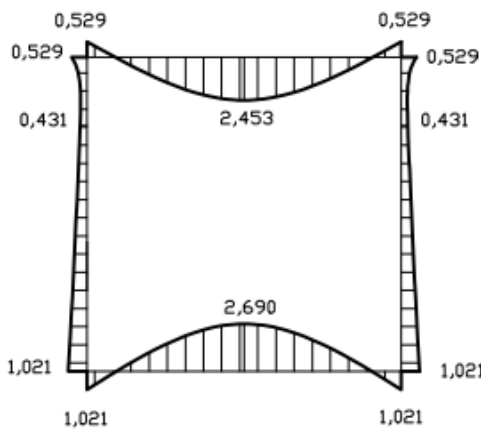
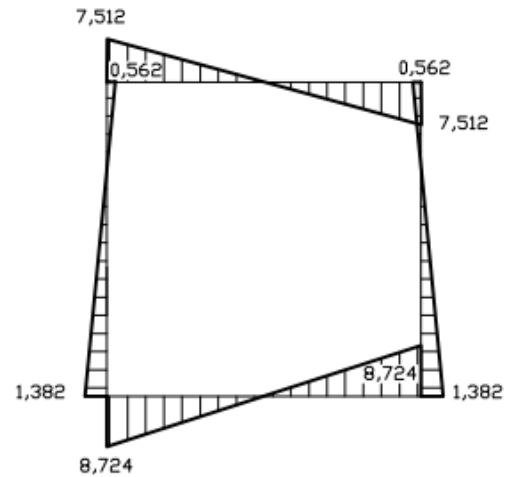


Figure 20 Diagramme des Efforts Tranchants de la barre AB à l'ELU

❖ Diagrammes à l'ELU



DM



DT

Figure 21 Diagrammes des Moments Fléchissant et des Efforts Tranchants du dalot

VII.4.4. Calcul des armatures des dalles horizontales

Le béton a une faible résistance par rapport à la traction. C'est pourquoi la mise en place des armatures en acier semble nécessaire. Leur dimensionnement se fait comme suit :

VII.4.4.1. Hypothèse de calcul

❖ Béton

Les caractéristiques du béton sont comme suit :

- Classe du ciment : CEM I 42,5 ;
- Poids volumique du béton $\gamma_{\text{béton}} = 2,5 \text{ T/m}^3$;
- Résistance caractéristique du béton à 28 jours d'âge $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$;
- Béton dosé à 350 kg/m^3
- Résistance caractéristique du béton à la traction issue de la formule

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 1,2 \text{ MPa} ;$$

- Résistance de calcul du béton :

$$f_{bu} = \frac{0,85f_{c28}}{\theta\gamma_b}$$

θ : Coefficient qui tient compte de la durée d'application des charges :

$$\theta = 0,85 \text{ Si } t < 1h$$

$$\theta = 0,9 \text{ Si } 1h < t < 24h$$

$$\theta = 1 \text{ Si } t > 24h$$

γ_b : Coefficient partiel de sécurité à appliquer sur le béton selon la combinaison d'actions

$$\gamma_b = 1,5 \text{ Combinaison fondamentale}$$

$$\gamma_b = 1,15 \text{ Combinaison accidentelle}$$

$$\text{- Contrainte limite du béton } \bar{\sigma}_{bc} = 0,6f_{c28} = 15MPa ;$$

❖ Acier

Les aciers utilisés seront des aciers haute adhérence avec une limite d'élasticité $f_e = 400MPa$ (HA E400). Les états limites d'ouverture des fissures seront donnés selon l'état de fissuration :

- Fissuration peu préjudiciable (FPP) : les contraintes de l'acier en service

$$\text{n'est pas limité alors } \sigma_s = f_{ed} = f_e / \gamma_s$$

γ_s Coefficient partiel de sécurité à appliquer sur l'acier selon la combinaison d'actions

$$\gamma_s = 1,0 \text{ Combinaison accidentelle}$$

$$\gamma_s = 1,15 \text{ Combinaison fondamentale}$$

- Fissuration préjudiciable (FP) : $\sigma_s < \bar{\sigma}_s$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max [0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}}] \right\}$$

η : Coefficient de scellement égal à 1 pour les ronds lisses RL

$$1,3 \text{ HA avec } \phi < 6mm$$

$$1,6 \text{ HA avec } \phi \geq 6mm$$

- Fissuration très préjudiciable : $\sigma_s < \bar{\sigma}_s$

$$\bar{\sigma}_s = 0,8 \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max [0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}}] \right\}$$

❖ Paramètre de calcul

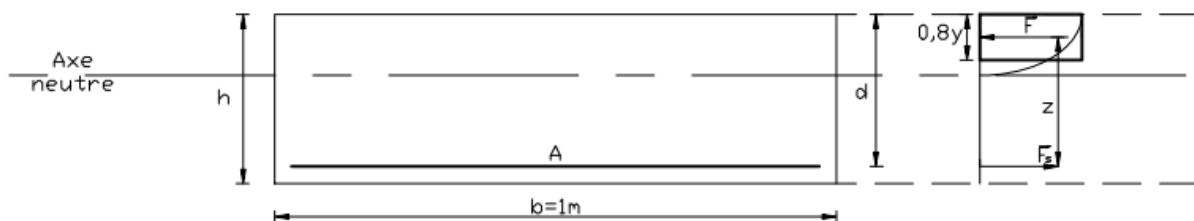


Figure 22 Paramètres de calcul des armatures

- Durée d'application des charges supérieure à 24h, $f_{bu} = 14,17$ MPa ;
- Fissuration très préjudiciable $\bar{\sigma}_s = 161,28$ MPa ;
- Enrobage : $e = 4$ cm
- Les dalles du dalot sont assimilées à une poutre de largeur égale à 1m et de hauteur égale à 0,20m ;
- Le moment limite ultime $\mu_{lim} = 0,392$. ;

VII.4.4.2. Armatures longitudinales

Puisque l'état d'ouverture des fissures est très préjudiciable, les calculs se feront directement à l'ELS.

❖ Vérification des contraintes

Vis-à-vis du béton

La condition à vérifier est la suivante :

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

La contrainte de compression du béton est donnée par :

$$\sigma_{bc} = \frac{M}{I} y$$

- M : Moment fléchissant à l'ELS ;
- I : Moment d'inertie de la section considérée ;

$$I = \frac{by^3}{3} + 15(d - y)^2$$

- y : Distance séparant l'axe neutre et la fibre la plus tendue. Celle-ci est obtenue par :

$$y = D + \sqrt{D^2 + E}$$

Dans laquelle $D = (15 \times A)/b$ et $E = (30 \times A \times d)/b$

Vis-à-vis de l'acier

Par analogie, la condition à vérifier est : $\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s$

$$\sigma_s = 15 \frac{M}{I} (d - y)$$

❖ Dimensionnement

Pour assurer la condition de fissuration, le calcul s'orientera sur la section d'armature tendue travaillant au maximum possible. La démarche est la suivante :

$$\lambda = 1 + \frac{30 \times M_{ser}}{b \times d^2 \times \bar{\sigma}_s}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\lambda \sqrt{\lambda}}$$

$$\alpha = 1 + 2\sqrt{\lambda} \cos \left(\frac{4\pi}{3} + \frac{\varphi}{3} \right)$$

$$\sigma_{bc} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \times \frac{\bar{\sigma}_s}{15}$$

$$A = \frac{\alpha \times b \times d \times \sigma_{bc}}{2\bar{\sigma}_s}$$

Application numérique :

Tableau 41 Dimensionnement des armatures à l'ELS

	M_{ser}	σ	λ	$\cos \alpha$	α , rad	σ	A, cm ²	Acier	A réelle, cm ²
AD	1,54	161,28	1,00001119	0,99998322	0,331964	5,34	8,8	5φ10+5φ12	9,6
BC	1,49	161,28	1,00001083	0,99998376	0,326531	5,21	8,4	5φ10+5φ12	9,6

Soit le moment maximal en service de la travée AD $M = 1,54 \text{ Tm}$ avec une section d'armature $A = 9,6 \text{ cm}^2$

$$D = \frac{15 \times 9,6}{100} = 1,44 \text{ cm}$$

$$E = \frac{30 \times 9,6 \times 16}{100} = 46,08 \text{ cm}^2$$

$$y = 1,44 + \sqrt{1,44^2 + 46,08} = 8,37 \text{ cm}$$

$$I = \frac{100 \times 8,37^3}{3} + 15 \times (16 - 8,37)^2 = 20\,482 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = \frac{1,54}{20\,482} \times 8,37 = 6,30 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} = 6,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times \frac{1,54}{20\,482} \times (16 - 8,37) = 85,9 \text{ MPa}$$

Par conséquent, la condition de compression du béton est assurée car $\sigma_{bc} = 6,30 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$. L'état d'ouverture des fissures est également respecté puisque $\sigma_s = 85,9 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_s = 161,28 \text{ MPa}$.

VII.4.4.3. Armatures transversales

Le calcul des armatures transversales résulte de la vérification à l'effort tranchant à l'ELU sans prendre en compte l'état de fissuration. La contrainte tangentielle est donnée par :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \times d}$$

Les armatures transversales seront nécessaires si la contrainte tangentielle admissible n'est pas atteinte.

$$\tau_u < \bar{\tau}_u = \min \left\{ \frac{0,07 f_{c28}}{\gamma_b} ; 1,5 \right\} = \min(1,52 ; 1,5) = 1,5 \text{ MPa}$$

Pour la barre DA, $V_u = 8,724 \text{ T}$. La contrainte tangentielle est $\tau_u = 0,51 \text{ MPa}$. Ainsi, pour le cas ici présent, les armatures transversales ne seront pas nécessaires.

En ce qui concerne les armatures de répartition sont à prévoir, leur section est donnée par :

$$A_r = \frac{A}{4}$$

VII.4.5. Calcul des armatures des piédroits

VII.4.5.1. Principe de calcul

Les piédroits sont considérés comme des poteaux rectangulaires de section $1,00 \times 0,20$ et de hauteur $1,40 \text{ m}$. Les éléments sont soumis à un effort normal N à l'ELU. La section d'armature doit permettre de respecter la condition de non fragilité. Ainsi :

$$A \geq \frac{1}{0,85 f_{ed}} \left[\beta N_u - \frac{B_r f_{bu}}{0,9} \right]$$

β : Coefficient déduit de l'élanement λ ;

B_r : Section réduite du béton obtenu en retirant 1cm d'épaisseur sur toute la périphérie du poteau.

Les sections minimale et maximale des armatures sont respectivement données par :

$$A_{min} = \max\left(\frac{0,2B}{100} ; 4u\right)$$

$$A_{max} = \frac{5B}{100}$$

B : Aire du béton

u : Périmètre du poteau donné par $u = 2(a + b)$

VII.4.5.2. Calcul de l'effort normal

Les efforts de compressions maximales dues aux charges permanentes et aux surcharges d'exploitation sont :

$$N_G = \frac{(3,83 + 2,33) \times 1,20 \times 1}{2} = 3,696 T$$

$$N_Q = \frac{6,25 \times 2 \times 1,20 \times 1}{2} = 7,500 T$$

Les combinaisons relatives à ces efforts normales sont :

- ELS $N_{ELS} = N_G + N_Q = 11,196 T$;
- ELU $N_{ELU} = 1,35N_G + 1,5N_Q = 16,240 T$. ,

VII.4.5.3. Calcul de l'élanement

L'élanement définit la susceptibilité de l'élément au flambement. Pour un poteau rectangulaire de petit côté a , son expression est la suivante :

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a}$$

l_f Etant la longueur de flambement fonction de la longueur libre l_0 et de la nature des liaisons d'extrémité. Pour un poteau encastré aux deux extrémités, $l_f = 0,5l_0$.

$$\lambda = \frac{1,40 \times 0,5 \times \sqrt{12}}{0,30} = 8,08$$

Puisque $\lambda \leq 35$, la compression centrée est assurée. Alors, effectuer la vérification au flambement n'est pas nécessaire.

VII.4.5.4. Calcul des armatures longitudinales

- ❖ Section réduite du béton

$$B_r = (a - 0,02)(b - 0,02) = 0,176 \text{ m}^2$$

- ❖ Armature minimale

$$A_{min} = \max \left[0,2 \times \frac{1 \times 0,20}{100} ; 4 \times 2 \times (1 + 0,20) \right] = \max[4 ; 9,6] = 9,6 \text{ cm}^2$$

Soit 5Φ12 pour chaque face avec $A = 5,65 \text{ cm}^2$

- ❖ Coefficient β : pour $\lambda \leq 50$

$$\beta = 1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2 = 1 + 0,2 \times \left(\frac{8,08}{35} \right)^2 = 1,011$$

- ❖ Section d'armature des aciers : plus de la moitié des charges sont appliquées avant 90 jours. C'est pourquoi le coefficient β doit être multiplié par 1,1.

$$A \geq \frac{1}{0,85 \times 347,82} \left[1,1 \times 1,011 \times 16,240 \times 10^{-2} - \frac{0,176 \times 14,17}{0,9} \right] = -0,0088 \text{ m}^2$$

Ces résultats prouvent que les armatures longitudinales ne seront pas nécessaires. En effet, le béton est surabondant. Mais, il faut prendre en compte l'armature minimale pour éviter les imperfections d'exécution.

VII.4.5.5. Armature transversale

- ❖ Choix du diamètre

La section des armatures transversales doit être égale au tiers de la section des armatures longitudinales. Cette valeur est récapitulée par le tableau suivant :

Tableau 42 Section des armatures transversales en fonction des armatures longitudinales

ϕ_l, mm	12 à 20	25	32	40
ϕ_t, mm	6 (Ou 8)	8 (Ou 10)	10 (Ou 12)	12

❖ Espacement des différentes nappes

L'espacement des armatures est donné par la relation suivante :

$$s_t \leq \min[15\phi_l ; a + 10 ; 40]$$

$$s_t \leq \min[15 \times 1,2 ; 20 + 10 ; 40] = 18cm$$

$$s_t = 15 \text{ cm}$$

Conclusion partielle

Les fossés surdimensionnés doivent être modifiés pour assurer la rentabilité économique du projet (diminuer l'ouverture, ne pas stabiliser le fossé...). En outre, dimensionner les dalots comme une voile reflète d'avantage la réalité. Les voiles ne présentent pas de cadre ou étrier pouvant encombrer l'élément en BA. Néanmoins, pour le cas ici présent, les armatures transversales n'ont pas été nécessaires.

PARTIE III : EVALUATION FINANCIERE ET ETUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

ChapVIII. Evaluation des coûts du projet

Une partie d'étude financière de ce projet a été effectuée par le FAD. En effet, cette organisation a versé une certaine somme pour aménager la RN9. Toutefois, c'est à l'Ingénieur d'estimer le coût par kilomètre d'un tel projet afin de connaître la distance à aménager suivant l'argent disponible.

C'est dans cette optique que ce chapitre parle des estimations du projet. En effet, ce volet expose le montant détaillé de l'aménagement depuis l'installation de chantier jusqu'à la mise en place des signalisations. Pour ce faire, trois évaluations seront nécessaires : le devis descriptif, le devis quantitatif et enfin le devis estimatif.

VIII.1. Devis descriptif

Le devis descriptif rend compte des différents travaux à faire tout au long du projet suivant les différents corps d'état. Celui-ci est représenté par le tableau suivant :

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
1.00	Installation et repli de chantier			
1.01	Baraquement	Installation de chantier	Installation et aménagement des bases des services généraux du titulaire	Fft
			Aménagement et entretien des déviations éventuelles	
	Matériels		Transport des engins, des matériels nécessaires affectés au chantier	
			Installation du laboratoire commun de chantier	
			Déplacement total ou partiel des installations au cours du chantier	
			Facture, confection et pose des panneaux de chantier	
			Personnels	
1.02	Matériels	Repli de chantier	Rapatriement des matériels	Fft
			Enlèvement de tous les produits issus de l’installation de chantier	
	Nettoyage		Remise en état de tous les lieux d’intervention	
2.00	Terrassement			
2.01	Débroussaillage	Enceinte de la construction	Arrachage de toutes végétations existantes	m²
	Dessouchage		Enlèvement des racines et souche éventuelles	
			Transport et évacuation des produits jusqu’à un lieu de dépôt agréé quelle que soit la distance	
2.02	Décapage	Plateforme de la chaussée	Enlèvement des racines de la terre végétale sur une épaisseur convenable (20cm) sur toute la largeur de l’assiette de terrassement.	m²
			Réglage sommaire de la plateforme ainsi que toutes les sujétions diverses	
			Compactage des sols décapés au moins 90% OPM	

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
2.03	Remblais en provenance de l'emprunt	Tous travaux de remblayage	Aménagement de la piste d'accès et son entretien	m ³
			Extraction après débroussaillage et décapage	
			Chargement, transport sur toute distance et déchargement des Matériaux	
			Mise en œuvre : répandage, réglage, arrosage et compactage	
			Préparation de la surface de pose	
			Mise en œuvre	
2.04	Stabilisation des talus	Talus	Extraction des gazons et transport	m ²
			Pose, réglage et fixation des gazons	
			Arrosage et entretien jusqu'à la période vivace	
3.00	Assainissement			
3.01	Fossé maçonné	Fossé triangulaire	Terrassement et fouille en terrains de toutes natures y compris rocheux	ml
			Chargement, transport sur toutes distances, déchargement et réglage des terres en excès et des gravois issus des fouilles	
			Fourniture et le transport à pieds de tous les matériaux	
			Réalisation en maçonnerie du fond des parements	
			Remblaiement, damage et compactage, remise en état des abords	

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
3.02	Démolition des ouvrages	Ouvrages d'assainissement existant	Tout terrassement utile y compris les fouilles	m ³
			Démolition proprement dite, complète ou une partie de l'ouvrage, y compris têtes, puisard, dalle ou plate-forme,... et toutes sujétions d'exécution	
			Chargement	
			Transport, déchargement mise en dépôt des gravats ou Matériaux extraits	
			Remblaiement des fouilles jusqu'au niveau de l'ancienne plate-forme, avec des matériaux ayant les qualités définies et leur compactage jusqu'à l'obtention d'une densité in-situ égale à 95% de celle obtenu à l'essai Proctor Modifié	
3.03	Curages des ouvrages transversaux	Curage des ouvrages transversaux existants	Extraction des matériaux existants à l'intérieur de l'ouvrage et le chargement	ml
			Toutes sujétions de nettoyage	
3.04	Dalot	Dalot selon son ouverture et sa hauteur	Fournitures y compris l'armature et le transport sur toutes distances	U
			Fouille en terrain de toutes natures	
			Chargement, transport sur toute distance, déchargement et réglage	
			Lit de sable, béton de propreté ordinaire Q250	
			Coffrage et mise en place des armatures	
			Coulage de la dalle en béton Q350	
			Enduit au mortier de ciment Q350 pour pieds droit, murs en ailes en aval, du puisard en amont et des parafouilles	
			Enrochement aval et toutes sujétions	

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
4.00	Chaussée			
4.01	Reprofilage léger	Travaux de reprofilage léger au niveau de la plateforme de la chaussée	Mise en forme de la plateforme existante sur une profondeur au maximum 0,40cm	ml
			Scarification, arrosage et compactage des Matériaux	
			Evacuation des matériaux sans emploi en un lieu de dépôt agréé par l'autorité chargée des contrôles	
			Toutes sujétions de mise en œuvre	
4.02	Couche de fondation	Couche de fondation en MS	Identification des gîtes et analyse géotechnique	m ³
			Extraction, chargement, transport des Matériaux	
			Déchargement, réglage mécanique, arrosage jusqu'à teneur en eau nécessaire	
			Compactage	
			Dépense relative au respect de l'environnement naturel et humain, frais de mise en état des emprunts	
			Toutes les sujétions de mise en œuvre	
4.03	Couche de base	Couche de base en GCNT 0/31 ⁵	Identification des carrières et analyse géotechnique	m ³
			Extraction, concassage, criblage, dépoussiérage	
			Chargement, transport des Matériaux	
			Compactage selon les prescriptions techniques	
			Dépense relative au respect de l'environnement naturel et humain, frais de remise en état des emprunts	
			Toutes les sujétions de mise en œuvre	

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
4.04	Couche de roulement	Couche de roulement en enduit superficiel bicouche	Identification des carrières et analyse géotechnique	m³
			Extraction, concassage, criblage, dépoussiérage	
			Chargement, transport des Matériaux	
			Compactage suivant les prescriptions techniques	
			Dépense relative au respect de l’environnement naturel et humain, frais de remise en état des emprunts	
			Répandage des gravillons	
			Répandage de liant	
			Sablage	
			Toutes sujétions de mise en œuvre	
5.00	Ouvrage de protection			
5.01	Enrochement	Enrochement de bloc de roche 30/50	Fourniture et transport des blocs quelle que soit la distance	m³
			Préparation des lits de pose et exécution des terrassements correspondant en terrain de toute nature	
			Mise en œuvre, agencement, pilonnage	
			Réglage et arasement des parties supérieures des parements visibles	
			Toutes sujétions de mise en œuvre	

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
5.02	Gabion	Gabionnage pour soutènement quelles que soient les dimensions de la caisse métallique	Fourniture et transport des Matériaux quelles que soient les distances	m³
			Fouilles préparatoires nécessaires pour recevoir l'ouvrage	
			Mis en œuvre des gabions et remplissage avec les moellons	
			Apport éventuel de remblais complémentaires avec damage et compactage pour la mise en état des abords	
			Tous travaux de gabionnage y compris le façonnage des grillages	
			Toutes sujétions de mise en œuvre	
6.00	Signalisation-équipement			
6.01	Borne kilométrique	Borne kilométrique en béton armé	Fourniture et la fabrication des bornes en béton armé	U
			Transport sur toutes distances	
			Implantation précise chaque kilomètre	
			Fouille, pose, massif de scellement en béton	
			Toutes autres sujétions	
6.02	Balise de virage	Balise de virage en béton	Fourniture et fabrication des balises en béton armé	U
			Implantation précise selon les prescriptions	
			Transport sur toutes distances	
			Fouille, pose, massif de scellement en béton	
			Lissage, réglage, finition de la partie supérieure du massif de scellement	
			Peinture réfléchissante	
			Toutes autres sujétions	

N°	Désignation	Concerne	Description	Unité
6.03	Panneau de localisation	Panneau de signalisation en béton préfabriqué	Transport au lieu d'emploi quelle que soit la distance	U
			Toutes sujétions d'implantation et de pose, y compris le massif de scellement en béton coulé en pleine fouille	
			Peinture générale des panneaux ainsi que les symboles et inscriptions	
6.04	Marquage au sol	Marquage horizontale sur chaussée	Nettoyage énergétique préalable de la chaussée	ml
			Pré marquage	
			Fabrication des masques ou gabarits	
			Fourniture à pied d'œuvre et l'application mécanique des produits (peinture, résine) selon les dosages et procédés prescrits	

VIII.2. Devis quantitatif

Cette évaluation renseigne sur la quantification de travaux à réaliser toujours suivant les différents corps d'état. Cependant, quantifier l'installation et le repli de chantier sont relatifs à l'envergure du projet. Pour le cas ici présent, l'Entreprise Titulaire est de renommée internationale. En effet, le grand bureau du Group China Railways se situe au PK 03+093 CG.



Photo 17 Installation de chantier

VIII.2.1. Terrassement

Ce paragraphe expose le volume de Matériaux utilisés pour le terrassement. D'abord, le nettoyage, le désherbage et le débroussaillage sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 43 Nettoyage, désherbage et débroussaillage

Localisation		Longueur, m	Largeur, m	Surface, m ²
Début	Fin			
2+000	3+100	1 100	1,5	1 650
3+100	4+250	1 150	1	1 150
4+250	6+820	2 570	1	2 570
6+820	13+390	6 570	1,5	9 855
13+390	18+000	610	1,5	6 915
		4	Total	22 140

Ensuite, le résultat des cubatures a permis d'avoir les données suivantes :

Tableau 44 Reste du terrassement

Désignation	Unité	Quantité
Décapage et redans	m ²	450
Déblais mis en remblais	m ³	0
Remblais en provenance d'emprunt	m ³	50 418,15
Stabilisation avec des végétations	m ²	31 529

VIII.2.2. Assainissement

Comme le devis descriptif l'indique, les quantités de Matériaux à évaluer sont pour les fossés latéraux et les dalots.

Tableau 45 Fossé triangulaire latéral

Unité	Quantité
ml	13 368,20

Tableau 46 Démolition des ouvrages existants

Unité	Quantité
m ³	74

Tableau 47 Dalot à construire

Dimension	Unité	Quantité
1,00x1,00	U	4
1,00x1,20	U	28
2,00x1,20	U	5

VIII.2.3. Chaussée

Un reprofilage sera effectué pour la section non bitumée. D'où le tableau suivant :

Tableau 48 Reprofilage léger

Localisation		Longueur, m
Début	Fin	
2+000	3+100	1 100
3+100	4+250	1 150
4+250	6+820	2 570
6+820	13+390	6 570
13+390	18+000	4 610
	Total	22 140

Par suite, les tableaux suivants montrent les quantités de Matériaux affectés à la couche de fondation, à la couche de base et à la couche de roulement.

Tableau 49 Quantitatif de la structure de la chaussée

Désignation	Unité	Quantité
Couche de fondation en MS	m ³	51 622,924
Couche de base en GCNT 0/31 ⁵	m ³	39 736,046
Couche de roulement ES _b	m ³	4 469,205

VIII.2.4. Ouvrage de protection

Tableau 50 Enrochement

Emplacement		Longueur, m	Hauteur, m	Quantité, m ³
Début	Fin			
17+850	18+051	201	1,50	301,5
19+519	19+600	81	1,50	121,5
			Total	423

Tableau 51 Gabion

Emplacement		Longueur, m	Hauteur, m	Quantité, m ³
Début	Fin			
7+160	7+208	48	1,00	48
			Total	48

VIII.2.5. Signalisation-équipement

Cette évaluation est relative au nombre de kilomètres et de virage. Pour le tronçon PK2+000 à PK18+000 :

Tableau 52 Quantitatif des signalisations et équipement

Désignation	Unité	Quantité
Bornes kilométriques	U	16
Balises de virage	U	40
Panneaux de localisation	U	15
Marquage au sol	ml	16 000

VIII.2.6. Récapitulation

Tableau 53 Devis quantitatif

N°	Description de travaux	Unité	Quantité
2.00	Terrassement		
2.01	Nettoyage, désherbage et débroussaillage	m ²	22 140
2.02	Décapage	m ²	450
2.03	Remblais en provenance des Emprunts et Gîtes	m ³	50 418,45
2.04	Stabilisation avec des végétations	m ²	31 529
3.00	Assainissement		
3.01	Fossé triangulaire maçonné	ml	13 368,20
3.02	Démolition des ouvrages	m ³	74
3.03	Curages des ouvrages transversaux	ml	40
3.04	Dalot 1x(1,00x1,00)	U	4
3.05	Dalot 1x(1,00x1,20)	U	28
3.06	Dalot 1x(2,00x1,20)	U	5
4.00	Chaussée		
4.01	Reprofilage	ml	22 140
4.02	Couche de fondation	m ³	51 622,924
4.03	Couche de base	m ³	39 736,046
4.04	Couche de roulement	m ³	4 469,205
5.00	Ouvrage de protection		
5.01	Enrochement	m ³	423
5.02	Gabionnage	m ³	48
6.00	Signalisation et équipement		
6.01	Bornes kilométriques	U	16
6.02	Balises de virage	U	40
6.03	Panneaux de localisation	U	15
6.04	Marquage au sol	ml	16 000

VIII.3. Devis estimatif

Le devis estimatif est l'évaluation totale des coûts par multiplication des prix unitaires et devis quantitatifs. Les prix sont additionnés par corps d'état. Le chiffrage se déduit du prix de l'offre et des taxes.

VIII.3.1. Coefficient de déboursé

Le prix de vente hors taxe (PVHT) est défini comme la somme des déboursés secs (DS), des frais de chantiers (FC), des frais d'opérations (Fop), des frais généraux (FG), enfin des bénéfices et aléas (BA). Cependant, seule le déboursé sec est lié directement à la réalisation de l'ouvrage élémentaire. Le reste est exprimé en pourcentage. Ainsi, le PVHT est exprimé en fonction du DS et d'un coefficient de majoration appelé coefficient de déboursé k . ce dernier est donnée par la relation suivante :

$$k = \frac{(1 + f_g)(1 + f_c)}{1 - ba \left(1 + \frac{TVA}{100}\right)}$$

Avec f_g Pourcentage des frais généraux ;

f_c Pourcentage des frais de chantier ;

ba Pourcentage des bénéfices et aléas ;

TVA Taxes sur les valeurs ajoutées égale à 20%

Toutefois, la formule la plus communément utilisé est la suivante :

$$K = \frac{(1 + A_1)(1 + A_2)}{1 - A_3(1 + TVA)}$$

Les valeurs des coefficients précités sont représenté par le tableau suivant :

Tableau 54 Coefficients relatifs aux déboursés sec

Origine des frais	Décomposition à l'intérieur de chaque catégorie de frais	Indice de composition, %	Pourcentage Total $A_i = \sum a$
Frais généraux proportionnels aux déboursé	Frais d'agence et patente	$a_1 = 4,5$	$A_1 = 20,8$
	Frais de chantier	$a_2 = 12$	
	Frais d'étude de laboratoire	$a_3 = 3,5$	
	Assurance	$a_4 = 0,8$	
Bénéfice brut et frais financier proportionnel au prix de revient	Bénéfice net et impôt sur le bénéfice	$a_5 = 15$	$A_2 = 22,5$
	Aléas technique	$a_6 = 2,5$	
	Aléas de révision de prix	$a_7 = 2$	
	Frais financiers	$a_8 = 3$	
Frais proportionnel au TVA	Frais de siège	$a_9 = 0$	$A_3 = 0$

$$k = \frac{(1 + 0,208)(1 + 0,225)}{1 - 0 \times (1 + 0,20)} = 1,48$$

VIII.3.2. Sous-détail de prix

Les sous détails de prix sont conçus pour avoir plus de précision sur le prix. C'est l'ensemble des calculs internes à l'entreprise et au chantier. Ce qui conduit à la valeur de DS. Voici le sous-détail de prix pour le calcul de la couche de base en GCNT 0/31⁵

N° Prix Unitaire	unité	quantité
04-03	m ³	

Désignation du prix unitaire : Couche de base GCNT 0/31⁵

Rendement : 120m³/jour

Composant de prix			Coûts directs			Dépenses directes			Total, Ar
Désignation	Unité	Quantité	Unité	Quantité	PU, Ar	Main d'œuvre	Matériaux	Matériels	
1. <u>Main d'œuvre</u>									
- conducteur de travaux	Hj	1	H	5	5 000,00	25 000,00			
- chef de chantier	Hj	1	H	8	3 000,00	24 000,00			
- chef d'équipe	Hj	1	H	8	2 000,00	16 000,00			
- manœuvre	Hj	15	H	8	500,00	60 000,00			
- conducteur d'engin	Hj	4	H	8	1 000,00	32 000,00			
- chauffeur	Hj	4	H	8	1 000,00	32 000,00			
									189 000,00
2. <u>Matériaux</u> GCNT 0/31 ⁵	m ³	1	m ³	120	60 000,00		7 200 000,00		7 200 000,00
3. <u>Matériels</u>									
- outillage	Fft	1	Fft	1	15 000,00			15 000,00	
- Pelle hydraulique PC300-7	U	1	H	4	30 000,00			120 000,00	
- Camion benne LBZF46EA	U	1	H	6	30 000,00			180 000,00	
- Bull SD32/320HP	U	1	H	4	30 000,00			120 000,00	
- Camion-citerne à eau /25	U	1	H	4	30 000,00			120 000,00	
- Compacteur pieds de mouton	U	1	H	3	90 000,00			270 000,00	
- Niveleuse PY160G/190HP	U	1	H	4	90 000,00			360 000,00	
- Compacteur vibrant W180	U	1	H	3	90 000,00			270 000,00	
									1 455 000,00
						Total des déboursés secs			8 844 000,00
						$PVHT = k \times (DS/R)$			101 706,00

VIII.3.3. Détails quantitatif et estimatif

N°	Description de travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant
1.00	Installation de chantier				
1.01	Installation de chantier	Fft	1	13 437 656,93	13 437 656,93
1.02	Repli de chantier	Fft	1	5 758 995,83	5 758 995,83
sous total					19 196 652,76
2.00	Terrassement				
2.01	Nettoyage, désherbage et débroussaillage	m²	22 140	308,00	6 819 120,00
2.02	Décapage	m²	450	1 909,00	859 050,00
2.03	Remblais en provenance des emprunts	m³	50 418	7 673,00	386 858 848,60
2.04	Stabilisation avec des végétations	m²	31 529	4 983,00	157 109 007,00
sous total					551 646 025,60
3.00	Assainissement				
3.01	Fossé maçonné	ml	13 368	59 409,00	794 191 393,80
3.02	Démolition des ouvrages	m³	74	43 864,00	3 245 936,00
3.03	Curages des ouvrages transversaux	ml	40	3 885,00	155 400,00
3.04	Dalot 1x(1,00x1,00)	U	4	7 025 641,56	28 102 566,24
3.05	Dalot 1x(1,00x1,20)	U	28	8 163 116,89	228 567 272,92
3.07	Dalot 1x(2,00x1,20)	U	5	12 755 345,73	63 776 728,65
sous total					1 118 039 297,61
4.00	Chaussée				
4.01	Reprofilage	ml	22 140	6 161,40	136 413 396,00
4.02	Couche de fondation	m³	51 623	86 455,33	4 463 076 929,98
4.03	Couche de base	m³	39 736	101 706,00	4 041 394 294,48
4.04	Couche de roulement	m³	4 469	544 509,33	2 433 523 820,18
sous total					11 074 408 440,64
5.00	Ouvrage de protection				
5.01	Enrochement	m³	423	48 609,00	20 561 607,00
5.02	Gabionnage	m³	48	106 454,26	5 109 804,48
sous total					25 671 411,48
6.00	Signalisation et équipement				
6.01	Bornes kilométriques	U	16	38 906,66	622 506,56
6.02	Balises de virage	U	40	53 200,00	2 128 000,00
6.03	Panneaux de localisation	U	15	360 855,00	5 412 825,00
6.04	Marquage au sol	ml	16 000	1 240,00	19 840 000,00
sous total					28 003 331,56
		k	1,48	Montant total HVTA	18 969 108 436,29
				TVA (20%)	3 793 821 687,26
				Total TTC	22 762 930 123,55

Arrêté le présent détail estimatif et quantitatif à la somme de VINGT DEUX MILLIARDS SEPT CENT SOISCANTE DEUX MILLONS NEUF CENT TRENTÉ MILLE TROIS CENT VINGT TROIS ARIARY (22 762 930 123,55 Ar), y compris la Taxe à la Valeur Ajoutée au taux de vingt pour cent (20%) et pour un montant de TROIS MILLIARDS SEPT CENT QUATRE VINGT TREIZE MILLONS HUIT CENT QUATRE VINGT UN MILLE SIX CENT QUATRE VINGT SEPT ARIARY (3 793 821 687,26Ar).

Le coût au kilomètre du projet est de UN MILLIARD QUATRE CENT VINGT DEUX MILLONS SIX CENT QUATRE VINGT TROIS MILLE CENT TRENTÉ DEUX ARIARY (1 422 683 132, 72).

VIII.3.4. Coût des entretiens

VIII.3.4.1. Entretien courant

L'entretien courant consiste à effectuer des opérations locales rendues nécessaires par prévention de certaines dégradations. Les tâches élémentaires concernées sont :

- Point à temps pour les nids de poule ;
- Réflexion localisée ;
- Colmatage des fissures ;
- Rechargement des parties érodées ou dégradées ;
- Entretien des ouvrages d'assainissement.

Par conséquent, le coût d'entretien courant est estimé à CINQ MILLIONS CINQ CENTS MILLE ARIARY (Ar 5 500 000) par kilomètre.

VIII.3.4.2. Entretien périodique

L'entretien périodique se fait généralement tous les cinq ans pendant la durée de service de la route. Celui-ci vise à renouveler la couche de roulement ou à la mise en œuvre d'un tapis d'usure. Le coût moyen de l'entretien périodique à Madagascar est de TRENTÉ CINQ MILLIONS SIX CENTS MILLE ARIARY (Ar 35 600 000) au kilomètre de route.

ChapIX. Etude de rentabilité

L'étude financière ne consiste pas qu'à évaluer le coût de l'aménagement. Une étude de rentabilité doit être faite pour s'assurer que le projet peut être adopté. L'étude se fera en premier lieu par la détermination des effets sur le coût d'exploitation des véhicules, en second lieu par des évaluations économiques.

IX.1. Effet sur le coût d'exploitation des véhicules

La dégradation de la route est la principale raison de la hausse des frais de transport et l'alourdissement de la consommation de carburant. Ainsi, cet aménagement a été conçu pour avoir un meilleur service à moindre coût. Simplement, ces coûts doivent être considérés dans les calculs. Pour ce faire, deux méthodes sont les plus souvent utilisées à Madagascar : l'une concerne les coûts de transport à partir des frais payés par les usagers, l'autre sur l'évaluation des différences de coût.

Trois types de véhicules seront pris en compte :

- Des camionnettes de charge utile (CU) égale à 1t ;
- Des autocars 28 places de charge utile égale à 2t ;
- Les camions de CU égale à 5t.

De plus, les coûts d'exploitation sont constitués par les coûts fixes et les coûts proportionnels. Leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 55 Constituant des coûts d'exploitation

Coûts d'exploitation	Coûts fixes	Coûts proportionnels
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> - Les assurances - Les vignettes et les taxes professionnelles - Le personnel de conduite - Les réparations (main d'œuvre) 	<ul style="list-style-type: none"> - Les carburants - Les lubrifiants - Les pneumatiques - Les frais d'amortissement - Les réparations (matériels)

IX.1.1. Hypothèse sur les coûts fixes

IX.1.1.1. Les assurances

Les assurances par activités et type de véhicules sont représentées par le tableau ci-après :

Tableau 56 Assurances

Type	CU, t	Activité	Assurances, Ar/mois
Camionnettes	1	Transporteur	31 256,00
Autocars	2	Transporteur	43 087,00
Camions	5	Transporteur	33 587,00

Source : service du transport, Année 2013

IX.1.1.2. Taxes professionnelles

Les vignettes ont été mentionnées dans le tableau des constituants des coûts fixes. Néanmoins, seuls les trois types de véhicules cités précédemment seront pris en compte.

Tableau 57 Taxes professionnelles

Type	CU, t	Activité	Taxes professionnelles, Ar/ans
Camionnettes	1	Transporteur	160 000,00
Autocars	2	Transporteur	170 000,00
Camions	5	Transporteur	300 000,00

Source : service du transport, Année 2013

IX.1.1.3. Le personnel de conduite

La rémunération du personnel de conduite (chauffeur et aide-chauffeur) se fait comme suit :

Tableau 58 Rémunération du personnel

Type	CU, t	Chauffeur, Ar/mois	Aide-chauffeur, Ar/mois
Camionnettes	1	200 000, 00	120 000 ,00
Autocars	2	200 000,00	120 000,00
Camions	5	300 000,00	180 000,00

Source : service du transport, Année 2013

IX.1.1.4. Les réparations

L'estimation des réparations des véhicules est récapitulée dans le tableau suivant :

Tableau 59 Réparations des véhicules

Type	CU, t	Réparation, Ar/mois
Camionnettes	1	100 000,00
Autocars	2	132 000,00
Camions	5	160 000,00

Source : service du transport, Année 2013

IX.1.2. Hypothèse sur les coûts proportionnels

Les coûts proportionnels sont non seulement relatifs aux types de véhicules, mais aussi à l'état de la chaussée. Ainsi, les tableaux suivants mettent en exergue les caractéristiques des coûts proportionnels pour une route dégradée et pour une route aménagée.

Tableau 60 Caractéristiques des coûts proportionnels pour une route dégradée

Désignation des coûts	Camionnette	Autocar	Camion
Carburant (litre/100km)	20	30	40
Lubrifiant (%carburant)	7	7	7
Pneumatique (durée de vie en km)	30 000	30 000	30 000
Amortissement (durée de vie en année)	4	4	5
Distance parcourue (km/an)	22 035	13 409	8 814
Distance de parcours (km)	25	25	25

Source : service du transport, Année 2013

Tableau 61 Caractéristiques des coûts proportionnels pour une route aménagée

Désignation des coûts	Camionnette	Autocar	Camion
Carburant (litre/100km)	12	17	22
Lubrifiant (%carburant)	4	4	4
Pneumatique (durée de vie en km)	15 000	15 000	15 000
Amortissement (durée de vie en année)	7	7	7
Distance parcourue (km/an)	18 360	10 098	9 180
Distance de parcours (km)	25	25	25

Source : service du transport, Année 2013

Les réparations matérielles sont exprimées en fonction du prix du véhicule neuf. Leur pourcentage est exprimé par le tableau ci-dessous :

Tableau 62 Pourcentage des réparations matérielles par rapport au prix neuf des véhicules

	Route dégradée	Route aménagée
Camionnette	50%	35%
Autocar et camion	60%	45%

Source : service du transport, Année 2013

IX.1.3. Résultats

Tableau 63 Coût proportionnel et coût fixe pour une route dégradée

Coûts	Camionnette	Autocar	Camions
COUTS PROPORTIONNELS			
Carburant	9 440,00	14 160,00	18 880,00
Lubrifiant	660,80	1 428,00	1 904,00
Pneumatique	266,67	266,67	666,67
Réparation matériels	1 388,89	3 333,33	10 000,00
Amortissement	20 833,33	41 666,67	125 000,00
Sous total	32 589,69	60 854,67	156 450,67
COUTS FIXES			
Assurances	1 562,80	1 679,35	2 154,35
Taxes professionnelles	666,67	708,33	1 250,00
Chauffeur	10 000,00	10 000,00	15 000,00
Aide chauffeur	6 000,00	6 000,00	9 000,00
Réparation	6 600,00	8 000,00	15 000,00
Sous total	24 829,47	26 387,68	42 404,35
TOTAL	57 419,16	87 242,35	198 855,02

Tableau 64 Coûts fixes et coûts proportionnels pour une route aménagée

Coûts	Camionnette	Autocar	Camions
COUTS PROPORTIONNELS			
Carburant	5 664,00	8 024,00	10 384,00
Lubrifiant	226,56	320,96	415,36
Pneumatique	133,00	133,00	333,00
Réparation matériels	972,00	2 500,00	7 500,00
Amortissement	11 905,00	23 810,00	71 429,00
Sous total	21 527,00	38 510,00	90 061,36
COUTS FIXES			
Assurances	1 562,80	1 679,35	2 154,35
Taxes professionnelles	666,67	708,33	1 250,00
Chauffeur	10 000,00	10 000,00	15 000,00
Aide chauffeur	6 000,00	6 000,00	9 000,00
Réparation	5 000,00	6 600,00	8 000,00
Sous total	23 229,47	24 987,68	35 404,35
TOTAL	44 756,47	63 497,68	125 465,71

IX.1.4. Calcul d'avantage

La différence entre les coûts d'exploitation d'un véhicule pour une route dégradée et pour une route aménagée donne l'avantage engendré par le projet.

$$\Delta C = C_{\text{dégradée}} - C_{\text{aménagée}}$$

Tableau 65 Avantage par véhicule

	ΔC , Ar
Camionnette	12 662,69
Autocar	23 744,67
Camion	73 389,31

IX.2. Evaluation économique

IX.2.1. Estimation des avantages nets

L'estimation de l'avantage net dépend de deux facteurs : l'avantage lié aux trafics et le coût d'investissement

IX.2.1.1. Coût d'investissement

Le coût d'investissement est l'ensemble du coût total de l'aménagement et des entretiens. Leurs valeurs ont été stipulées dans le chapitre précédent.

IX.2.1.2. Avantage lié au trafic

L'avantage par véhicule a été calculé dans le paragraphe précédent. Cependant, s'ajoutent à celui-ci les coûts d'exploitation engendrée par la croissance des recettes. Ainsi, si T est le nombre de trafics par an, l'avantage lié au trafic s'exprime par :

$$\Delta t = \Delta C \times T$$

IX.2.1.3. Calcul de l'avantage net

L'avantage net résulte de la différence entre les avantages par véhicule et les coûts d'entretien courant et d'entretien périodique.

Tableau 66 Projection du trafic annuel

Année	T ₁ Camionnette	T ₂ Autocar	T ₃ Camion
2016	43 619	22 294	24 233
2017	46 672	23 855	25 929
2018	49 940	25 525	27 744
2019	53 435	27 311	29 686
2020	57 176	29 223	31 764
2021	61 178	31 269	33 988
2022	65 461	33 458	36 367
2023	70 043	35 800	38 913
2024	74 946	38 306	41 637
2025	80 192	40 987	44 551
2026	85 805	43 856	47 670
2027	91 812	46 926	51 007
2028	98 239	50 211	54 577
2029	105 115	53 726	58 397
2030	112 473	57 486	62 485
2031	120 347	61 510	66 859

Tableau 67 Avantage net par an

$\Delta C_1 \times T_1$	$\Delta C_2 \times T_2$	$\Delta C_3 \times T_3$	$\sum (\Delta C_i \times T_i)$	CE	Avantage
552 335 425,13	529 368 852,17	1 778 431 831,32	2 860 136 108,62	33 831 000,00	2 826 305 108,62
590 998 904,89	566 424 671,82	1 902 922 059,51	3 060 345 636,23	33 831 000,00	3 026 514 636,23
632 368 828,24	606 074 398,85	2 036 126 603,68	3 274 569 830,76	33 831 000,00	3 240 738 830,76
676 634 646,21	648 499 606,77	2 178 655 465,94	3 503 789 718,92	33 831 000,00	3 469 958 718,92
723 999 071,45	693 894 579,24	2 331 161 348,55	3 749 054 999,24	2 755 577 988,00	993 477 011,24
774 679 006,45	742 467 199,79	2 494 342 642,95	4 011 488 849,19	33 831 000,00	3 977 657 849,19
828 906 536,90	794 439 903,77	2 668 946 627,96	4 292 293 068,63	33 831 000,00	4 258 462 068,63
886 929 994,48	850 050 697,04	2 855 772 891,92	4 592 753 583,43	33 831 000,00	4 558 922 583,43
949 015 094,10	909 554 245,83	3 055 676 994,35	4 914 246 334,27	33 831 000,00	4 880 415 334,27
1 015 446 150,68	973 223 043,04	3 269 574 383,96	5 258 243 577,67	2 755 577 988,00	2 502 665 589,67
1 086 527 381,23	1 041 348 656,05	3 498 444 590,83	5 626 320 628,11	33 831 000,00	5 592 489 628,11
1 162 584 297,92	1 114 243 061,97	3 743 335 712,19	6 020 163 072,08	33 831 000,00	5 986 332 072,08
1 243 965 198,77	1 192 240 076,31	4 005 369 212,04	6 441 574 487,12	33 831 000,00	6 407 743 487,12
1 331 042 762,68	1 275 696 881,65	4 285 745 056,89	6 892 484 701,22	33 831 000,00	6 858 653 701,22
1 424 215 756,07	1 364 995 663,37	4 585 747 210,87	7 374 958 630,31	2 755 577 988,00	4 619 380 642,31

IX.2.2. Etude de rentabilité proprement dite

L'étude de rentabilité peut être effectuée par le biais de trois paramètres : la valeur actuelle nette (VAN), l'indice de profitabilité (IP) le taux interne de rentabilité (TIR).

IX.2.2.1. Valeur actuelle nette (VAN)

La VAN mesure la création de valeur du projet. Un projet peut être adopté si celle-ci est positive ou nulle. Son expression est :

$$VAN = \sum_{p=1}^n F_p(1+r)^{-p} - I$$

Où F_p Flux de trésorerie de la période p (avantage net) ;

I Capital investi ;

n Durée de vie du projet ;

r Taux d'actualisation égal à 12% à Madagascar

Tableau 68 Calcul de la valeur actuelle nette

p	Avantage net	$F_p(1+r)^{-p}$
1	2 826 305 108,62	2 523 486 704,13
2	3 026 514 636,23	2 412 718 938,32
3	3 240 738 830,76	2 306 693 888,06
4	3 469 958 718,92	2 205 221 497,19
5	993 477 011,24	563 725 536,72
6	3 977 657 849,19	2 015 205 255,79
7	4 258 462 068,63	1 926 311 975,29
8	4 558 922 583,43	1 841 272 369,11
9	4 880 415 334,27	1 759 926 695,61
10	2 502 665 589,67	805 791 340,01
11	5 592 489 628,11	1 607 707 130,50
12	5 986 332 072,08	1 536 542 341,00
13	6 407 743 487,12	1 468 489 424,22
14	6 858 653 701,22	1 403 416 435,14
15	4 619 380 642,31	843 943 572,71
	Total	25 220 453 103,80

D'où la valeur actuelle nette :

$$VAN = 2\,457\,522\,980,25 \text{ Ar}$$

Le projet permet de récupérer l'investissement initiale, de le rémunérer au taux d'actualisation de $r = 12\%$ pendant 15ans, avec une création de valeur égale à $VAN = 2\,457\,522\,980,25 \text{ Ar}$

IX.2.2.2. Indice de profitabilité (IP)

L'indice de profitabilité (IP) permet de donner une indication de création de valeur relative. L'IP est donné par la relation suivante :

$$IP = \frac{\sum_{p=1}^n F_p(1+r)^p}{I} = 1 + \frac{VAN}{I}$$

D'où le projet peut être adopté si $IP \geq 1$, c'est-à-dire que $VAN \geq 0$. Ce qui rend celui-ci facultatif par rapport à l'étude de rentabilité. Néanmoins, l'IP permet de savoir la valeur créée par Ariary investi. Pour le cas ici présent, l'investissement créé 0,11par Ariary investi.

IX.2.2.3. Taux interne de rentabilité (TIR)

Le taux de rentabilité interne est le taux d'actualisation qui annule la valeur actuelle nette. La règle de décision se fait comme suit :

- Si $TIR \geq r$, le projet peut être adopté car la rentabilité moyenne de projet est au moins égale au coût des ressources qui le finance ;
- Dans le cas contraire, le projet ne doit pas être adopté ;
- Entre deux projets il convient de privilégier celui qui présente le TIR le plus élevé.

La courbe ci-après représente la VAN en fonction du taux d'actualisation :

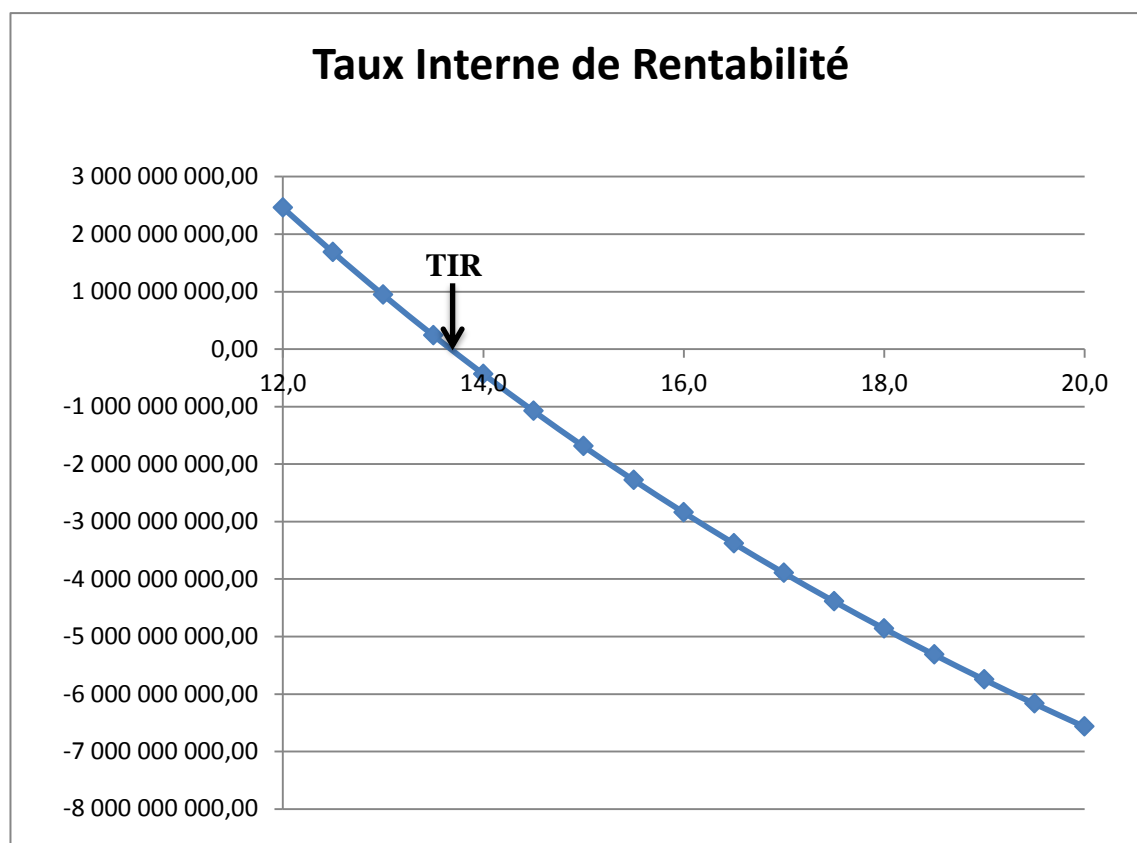


Figure 23 VAN en fonction du taux d'actualisation

Après traitement des données par le logiciel Microsoft Excel, la valeur du $TIR = 14,87\%$. Par conséquent, le projet est ainsi acceptable au regard des critères de la VAN et du TIR.

IX.2.3. Délais de récupération du capital investi

Le délai de récupération correspond à la période au bout duquel le capital investi a pu être récupéré. Pour ce faire, les flux de trésoreries successifs seront cumulés.

Tableau 69 Flux de trésorerie cumulé

Année	Flux de trésorerie cumulé, Ar
2016	2 523 486 704,13
2017	4 936 205 642,45
2018	7 242 899 530,51
2019	9 448 121 027,69
2020	10 011 846 564,41
2021	12 027 051 820,20
2022	13 953 363 795,49
2023	15 794 636 164,60
2024	17 554 562 860,21
2025	18 360 354 200,22
2026	19 968 061 330,72
2027	21 504 603 671,73
2028	22 973 093 095,95
2029	24 376 509 531,09
2030	25 220 453 103,80

Puisque le capital investi est égal à Ar 21 224 894 304,39, le délai de récupération est entre l'année 2026 et 2027. Le délai précis s'obtient par interpolation. D'où :

$$DRCI = 11 \text{ ans}, 2 \text{ mois}, 6 \text{ jours}$$

Conclusion partielle

Malgré le coût assez élevé du projet, celui-ci est rentable. En effet, la VAN est positive, le TIR est supérieur au taux d'actualisation. Ainsi, le projet peut être adopté.

ChapX. Etude d'impact environnemental

Selon le décret 99-954 relatif à la MECIE : « l'étude d'impact environnemental (EIE) est l'étude qui consiste en l'analyse scientifique et préalable des impacts potentiels prévisibles d'une activité donnée sur l'environnement, et en l'examen de l'acceptabilité de leur niveau et des mesures d'atténuation permettant d'assurer l'intégrité de l'environnement dans les limites des meilleures technologies disponibles à un coût économiquement acceptable (Art.2) »

Par conséquent, ce chapitre traite les impacts écologiques et sociaux, positifs et négatifs induits par le projet. Par suite, des mesures de compensation seront attribuées aux impacts négatifs, et des mesures d'optimisation.

X.1. Impacts liés à l'emprise de la route

X.1.1. Milieu physique

X.1.1.1.Topographie et géologie

Les caractéristiques topographiques de la région ne seront pas considérablement modifiées. En effet, un aménagement implique la conservation du tracé sauf pour le cas de Tsingoritelo qui a dû être dévié.

En ce qui concerne les gîtes et les emprunts, leur exploitation n'entraînera pas de grand changement. Le projet tient effectivement compte de leur remise en état après utilisation.

X.1.1.2.Eaux et cycle hydrologique

Les eaux de surface ont été légèrement affectées par le projet. La mise en place des ouvrages d'assainissement ont modifié certaine trajectoire des eaux de ruissèlement. Cependant, les fleuves et les cours d'eaux resterons les mêmes qu'avant le projet.

X.1.2. Milieu biologique

Malgré la richesse écologique de la Région, peu de végétation borde l'emprise de la route. Donc l'élargissement de la chaussée ne cause aucun empiètement de terrain agricole ni sur les aires protégés.

X.1.3. Milieu humain

L'aménagement de la route ne peut qu'être bénéfique pour la population. De plus, la conservation du tracé a exclu l'expropriation des terrains et des maisons d'habitation. Le déplacement de population sera également omis. En outre, ce projet générera un exploit économique considérable pour la région.

X.2. Impact négatif lié aux travaux

X.2.1. Impact lié à l'installation de chantier

L'installation de la base de vie du chantier peut avoir des impacts néfastes pour les raisons suivantes :

- Abattage des arbres pour la cuisson, et l'exploitation des ressources naturelles par le personnel de l'entreprise ;
- Risques d'incendie avec le stockage d'hydrocarbures pour les camions et les engins ;
- Risque de pollutions des sols et des lieux en cas de déversement d'huiles usagées ;
- Risque de maladie encourue par le personnel de l'entreprise par manque d'hygiène, ou par transmission des MST.

X.2.2. Impact sur la faune et la flore

La faune et la flore sont interdépendantes. Les impacts négatifs touchant la végétation affectent d'une façon ou d'une autre les animaux. Voici les sources de ces impacts :

- Transport de Matériaux pendant le terrassement, circulation, vas et vient incessant des engins ;
- Piétinement fréquent des espèces végétales comme les herbacées ;
- Grande fréquentation des zones d'emprunts entraînant une réduction des aires d'habitats des animaux terrestres, puis provoquant une modification de leurs comportements ou même l'expulsion de certains animaux de leurs habitats ;
- Prélèvement de sable ou d'eau conduisant à des pollutions ;
- Le déboisement effectué par le personnel privant certaines espèces de leurs habitats ou de leurs sources alimentaires ;

- Changement écologique par émission de poussières, de bruits de moteurs, d'odeur (hydrocarbure et lubrifiants)...

X.2.3. Autres impacts négatifs

Toujours liés aux travaux, les autres impacts sur l'environnement sont :

- La dégradation de la qualité de l'air par les poussières pendant le terrassement ou la démolition de la chaussée existante ;
- Le ravinement des sols et la création d'excavation aux zones d'emprunt ;
- La diminution ou dessèchement des rivières dû aux pompages d'eau d'un débit supérieur à la normale pendant l'arrosage de la chaussée.

X.3. Impacts positifs

X.3.1. Pendant les travaux

Les deux grands impacts positifs pendant les travaux sont la création d'emploi et la création d'activités génératrices de revenu aux populations riveraines.

X.3.1.1. Créations d'emplois

L'existence du chantier sera une occasion pour la population sans emploi de trouver un travail en tant qu'ouvriers ou manœuvres. De plus, l'entreprise titulaire confie certains travaux aux PME. Ces derniers embaucheront des agents locaux. Ainsi, ces emplois auront une cascade d'effet positif comme l'augmentation de revenus, diminution de délinquance chez les jeunes...

X.3.1.2. Créations d'activité aux populations riveraines

Pour les personnes dépourvues de connaissance requise pour le chantier, créer des petits commerces aux alentours est l'activité idéale pour avoir un revenu. En effet, les ouvriers et manœuvres du chantier auront besoin de s'alimenter et de se détendre de temps à autres. Alors, ouvrir des gargotes ou des bars serait provisoire mais bénéfique.

X.3.2. Après les travaux

X.3.2.1. Impacts économiques

Les avantages économiques de l'aménagement sont très nombreux notamment :

- Augmentation de la recette touristique ;
- Augmentation de la production agricole ;
- Réduction des coûts d'exploitation des véhicules ;
- Gains de temps de parcours...

X.3.2.2. Impact sociaux

L'aménagement de la RN9 libèrera une partie de la population de l'enclavement. En effet, l'accès aux services sociaux de base sera plus facile, l'approvisionnement sera acheminé à temps, et par suite les jeunes pourront facilement poursuivre leurs études à la ville de Toliara sans encombre.

X.4. Grille d'évaluation des impacts

Citer l'impact du projet n'est pas suffisant. Evoquer leur degré s'avère aussi nécessaire. La grille d'évaluation des impacts de fait suivant quatre critères : l'intensité, la durée, la portée et l'importance.

X.4.1. Intensité

L'intensité peut être :

- Faible : pas de modification importante sur l'élément du milieu ;
- Moyenne : réduction de la qualité de l'élément de l'environnement ;
- Forte : remet en cause l'intégrité de l'élément.

X.4.2. La durée

Il s'agit de l'évaluation de la période d'effet de l'activité. Si le projet a un effet continu ou intermittent, l'impact est de longue durée. Dans le cas contraire, l'impact est de courte durée si l'effet est sur une période de temps limité.

X.4.3. La portée

La portée peut être :

- Régionale : si toute la population est concernée ;
- Locale : seule la population dans l'environnement immédiat du projet (les villages et hameaux)
- Ponctuelle : l'impact est ressenti dans un espace restreint.

X.4.4. Importance

Finalement, l'importance de l'impact peut être :

- Majeure : l'intégrité de la nature d'un élément est modifiée de façon permanente. L'impact met en danger la vie ou la survie d'une espèce animale ou végétale ;
- Moyenne : les modifications sont de façon partielle ;
- Mineure : l'intégrité de la nature est modifiée légèrement.

Tableau 70 Evaluation des impacts environnementaux

Milieu récepteur	Concerne	Intensité	Portée	Durée	Importance
Emprise de la chaussée					
Milieu physique	Topographie et géologie	Faible	Locale	Longue	Mineure
	Eaux	Faible	-	Courte	-
Milieu biologique	Faune et flore	Moyenne	-	-	-
Milieu humain	Habitation et population	-	-	Longue	Moyenne
Impact négatif lié aux travaux					
Installation de chantier	Abattage des arbres	Forte	-	Courte	Majeure
	Risque d'incendie	Moyenne	-	-	Moyenne
	Risque de pollution du sol	-	-	-	-
	Risque de maladie	-	-	-	Mineure
Milieu environnant	Transport de matériaux	Moyenne	-	-	Moyenne
	Piétinement des herbacées	Faible	-	-	Mineure
	Fréquentation des zones d'emprunt	Moyenne	-	-	-
	Prélèvement de sable	-	-	-	Moyenne
	Déboisement	-	-	Courte	Moyenne
	Emission de poussière	-	-	-	-
	Dessèchement des rivières	Forte	-	Longue	Majeure
	Ravinement	Moyenne	-	-	Moyenne
Impact positif lié aux travaux					
Pendant les travaux	Création d'emplois	Forte	-	Courte	Majeure
	Création d'activité à revenu	Moyenne	-	-	Moyenne
Après les travaux	Recette touristique	Forte	Régional	Longue	Majeure
	Recette agricole	-	-	-	-
	Gain de temps de parcours	Moyenne	-	-	-
	Facilité d'accès aux infrastructures	Forte	-	-	-

(-) idem au précédent

X.5. Mesure d'atténuation des impacts négatifs

X.5.1. Déformation forestière

L'installation de chantier ne doit pas être effectuée dans les zones sensibles (aires protégées). Pour atténuer l'abattage d'arbre, sensibiliser le personnel s'avère nécessaire. En outre, pour stabiliser le sol, des engazonnements doivent être effectués aux niveaux des talus.

X.5.2. Risque d'incendie et risque de pollution

Pour le risque de pollution du sol, les aires d'entretien et de lavages des engins devront être bétonnées. L'entreprise doit prévoir un puisard de récupération des huiles et graisses. De plus, les eaux usées provenant de ces aires d'entretien doivent être canalisées vers le puisard et vers l'intérieur de la plateforme afin d'éviter l'écoulement des produits polluants vers les sols non revêtus.

Pour le risque d'incendie, les aires de stockage des hydrocarbures doivent être bétonnées. Les citernes doivent également être posées sur un drain vers un puit de vérification de fuites. Les citernes hors terre doivent être placées sur une aire bétonnée étanche. Cette dernière sera entourée d'un mur étanche constituant un bassin récepteur de volume égal au moins à 15% du volume d'hydrocarbures stockés.

X.5.3. Risque de maladies

Pour éviter les maladies dues au manque d'hygiène, des installations sanitaires et des réservoirs d'eau doivent être mises en place. Les aires de cuisines et réfectoire doivent être pourvues d'un dallage en béton lissé désinfecté et nettoyé quotidiennement. En outre, pour contrer les MST, le personnel sur le chantier doit être sensibilisé. L'installation doit aussi comporter au moins un point de vente de préservatifs à prix réduit.

X.6. Optimisation des impacts positifs

Puisque le projet engendre de nouveaux emplois, la main d'œuvre locale doit être favorisée. Des formations qualifiantes seraient convenables. Pour les petits commerces, les produits locaux sont à privilégier.

CONCLUSION GENERALE

La Région Atsimo Andrefana possède un potentiel économique très élevé. A l'instar de l'existence de plusieurs sites touristiques, les mines, l'agriculture ou encore l'élevage n'attendent plus qu'à être exploités. L'aménagement de la Route Nationale n°09 sera irréfutablement bénéfique non seulement pour la Région Sud-Ouest, mais également pour le pays tout entier.

Plusieurs difficultés ont été rencontrées tout au long de l'étude. Toutefois, le dimensionnement de la chaussée et des ouvrages est arrivé à son terme. De plus, l'évaluation financière a montré que le projet est rentable. L'étude d'impact environnemental n'a pas présenté d'effet négatif grave au point de nuire à l'écosystème.

Par ailleurs, ce mémoire a été une nouvelle expérience et a permis de goûter à la réalité du monde professionnel. En effet, divers calculs complexes se sont succédés. Certains ont dû être traités par des logiciels tels que Microsoft Excel et Covadis. Ce travail a été un moment d'apprentissage pour l'épanouissement social, la gestion du temps et l'esprit d'équipe.

Bref, l'étude a été conçue dans les normes en vigueur. Reste à savoir si la réalisation la sera également. Ceci étant escompté afin d'éviter tout gaspillage et assurer que le projet reste rentable. En outre, les entretiens courants et périodiques doivent être respectés afin d'assurer la pérennité de la chaussée et des ouvrages.

BIBLIOGRAPHIE

❖ Cours ESPA

- RAHELISON Landy Harivony, cours de Management De Construction Routière en cinquième année ;
- RAJOELINANTENAINA Solofo, cours de pont en quatrième année ;
- RANDRIANTSIMBAZAFY Andrianirina, cours de Route I, Technologie de Route, Route II et Entretien Routier en troisième et quatrième année ;
- RABENATOANDRO Martin, cours de Géotechnique Routière et hydraulique routière en troisième et quatrième année ;
- RANDRIANASOLO David, cours d'hydraulique générale en troisième année ;
- RAZAFINJATO Victor, cours de RDM en troisième année ;
- RAKOTONIRINA Solonjatovo, cours de Mécanique des Sols II en quatrième année ;
- RAVAOHARISOA Lalatiana, cours de Béton Armé en troisième année ;
- RANDRIAHERINDRAINY Selmer, cours de Gestion de Projet en cinquième année ;
- RANDRIANAIVOARIJAONA Justin, cours d'Ossature de Bâtiment en cinquième année ;
- RATIARISON Joël, Cours Chaussée Rigide en cinquième année.

❖ Revue et livres

- Monographie Atsimo Andrefana
- LNTPB, dimensionnement des chaussées neuves à Madagascar, Les chroniques du LNTPB, numéros spécial « A », Antananarivo, 1973, 49p ;
- LCPC-SETRA, Manuel de conception des chaussées à faible trafic : Ministère des transports juillet 1981, p16-26 ;

ANNEXES

Annexes 1 : Caractéristique du sol

Annexes 2 : Dimensionnement des chaussées

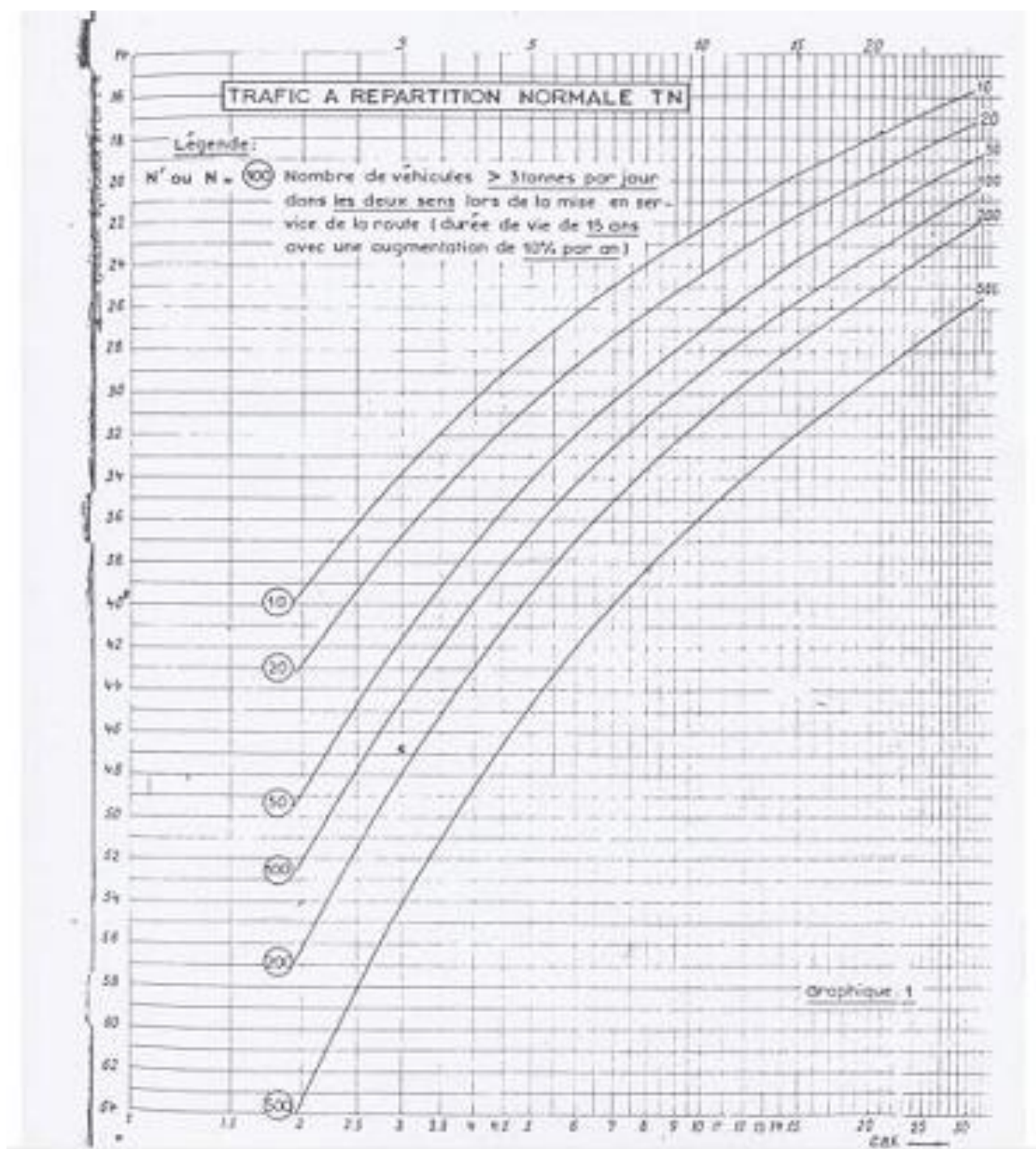
Annexes 3 : Hydrologie

Annexes 4 : Dalot

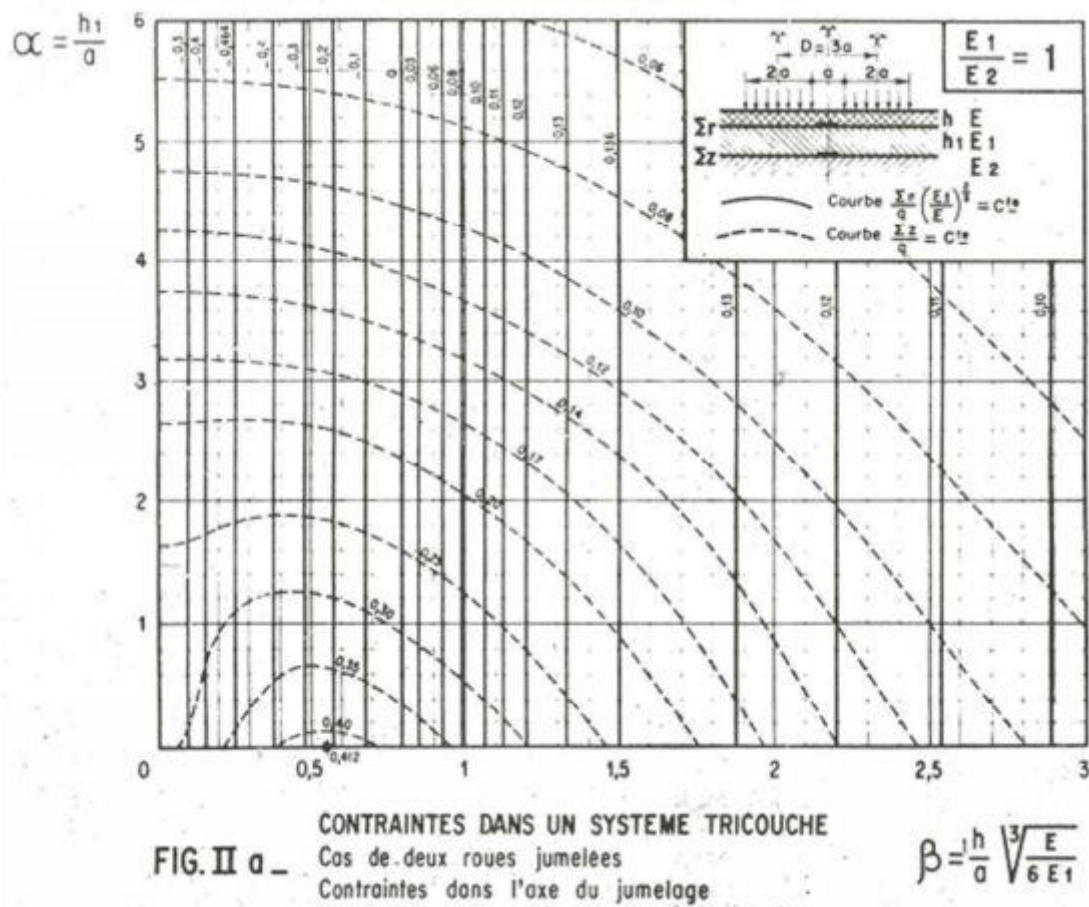
Annexes 5 : Schémas d'itinéraire

Annexes 1: Caractéristique des sols

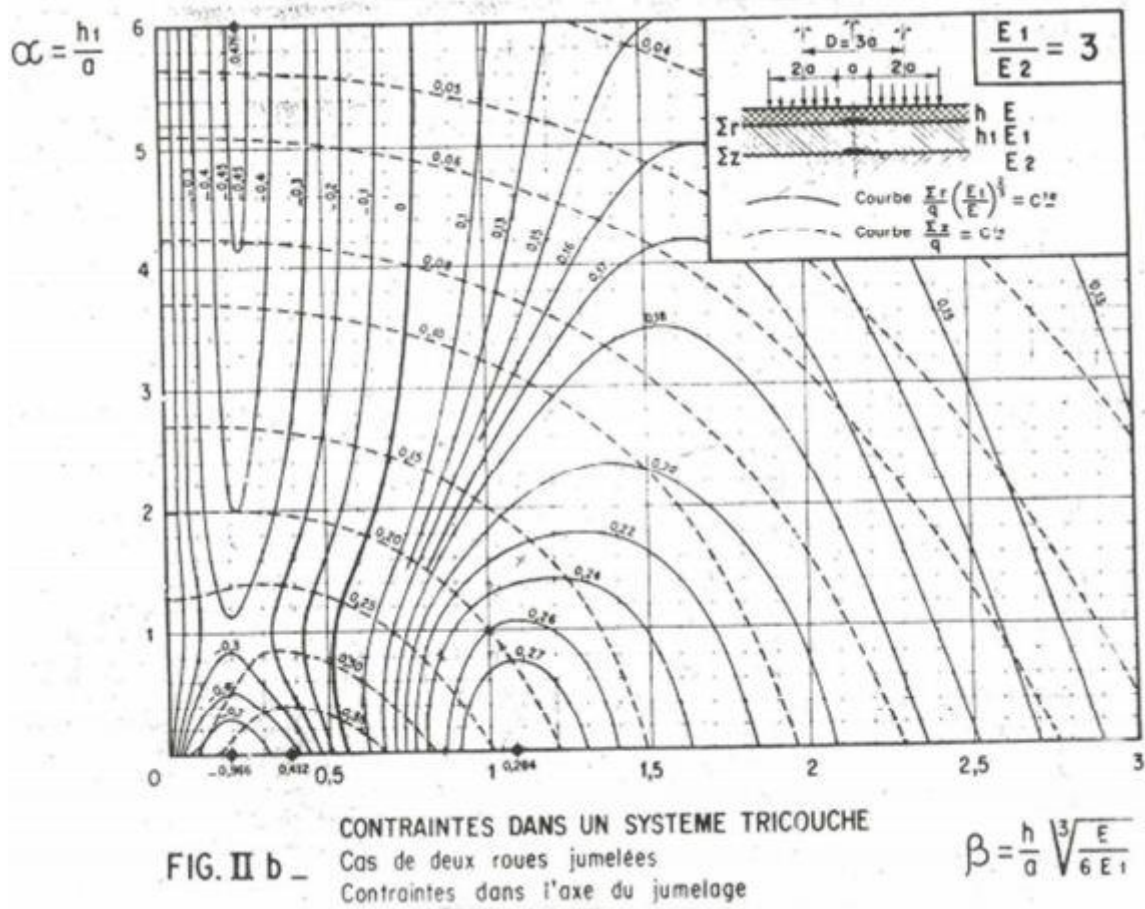
[illegible]

Annexes 2 : Dimensionnement des chaussées**ABaque de dimensionnement des chaussées à Madagascar**

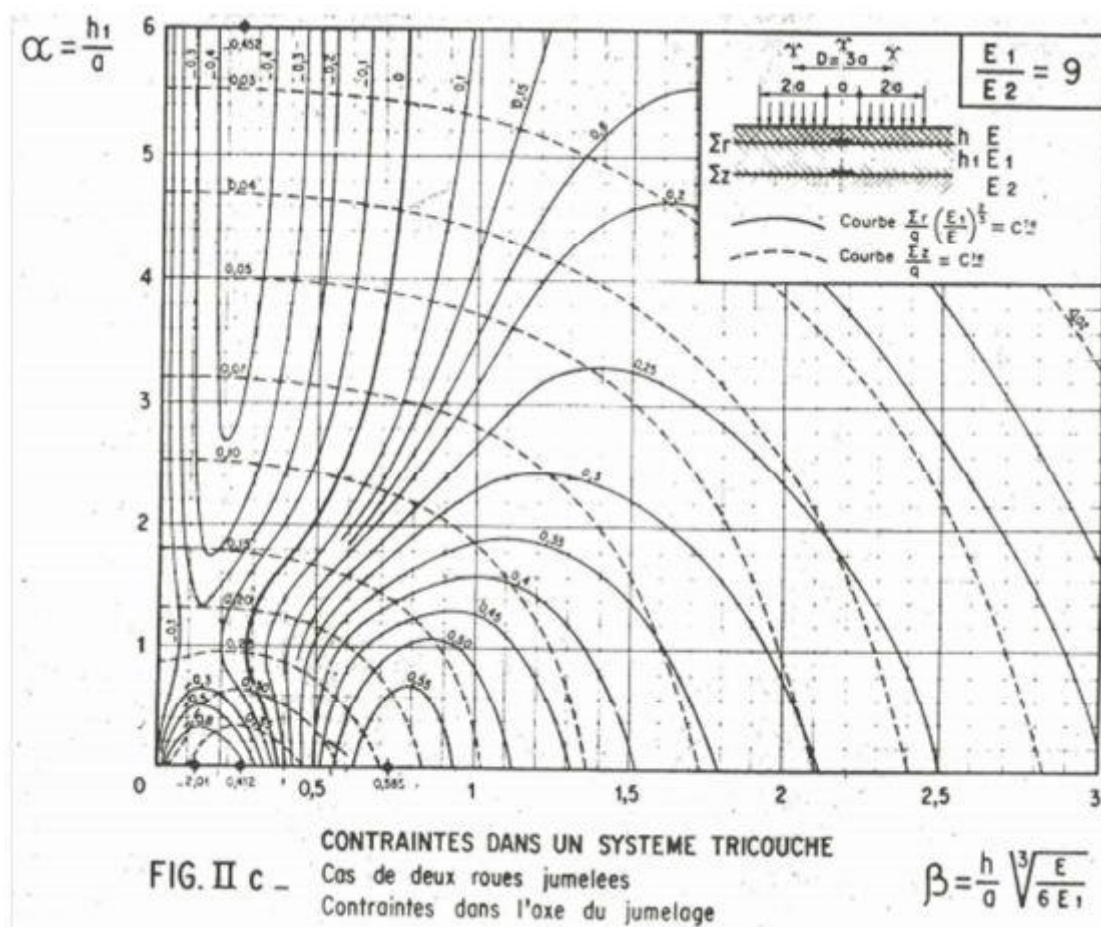
Contrainte dans le système tricouche $E_1/E_2=1$



Contrainte dans le système tricouche $E_1/E_2=3$



Contrainte dans le système tricouche $E_1/E_2=9$



Taux de croissance du trafic

Taux de croissance du trafic, %	Facteur de correction α
6	0,73
7	0,79
8	0,85
10	1,00
12	1,17
15	1,50

 β en fonction de la durée de vie

Durée de vie, année	Facteur de correction
8	0,36
10	0,50
15	1,00
20	1,80

Valeur du coefficient d'équivalence et du module d'élasticité

Couche	Nature de la couche	Module d'élasticité	Coefficient d'équivalence a
Couche de revêtement	Enduit superficiel	25 000	1
	Enrobé mince	25 000	1
	Enrobé épaisse	25 000	2
Couche de base	Sol chaud	5 000-15 000	1,5
	Sol bitumineux	5 000-15 000	1,5
	GCNT	3 000-5 000	1
	TV	3 000-5 000	0,8 à 0,9
Couche de fondation	$40 \leq CBR$	2 000	0,75
	$30 \leq CBR \leq 40$	1 500-2 000	0,7
	$20 \leq CBR \leq 30$	1 000-15000	0,6
Couche de Forme	$15 \leq CBR \leq 20$	750-1 000	0,5
	$CBR \leq 10$	500	0,4

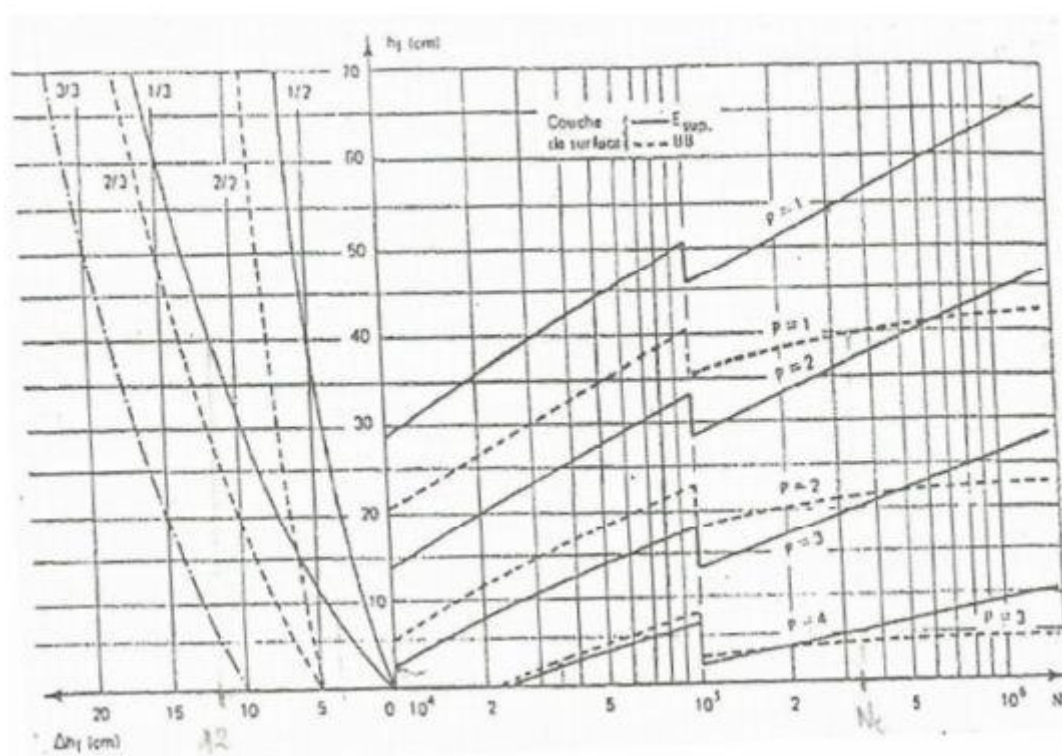
Facteur de cumul C

Taux de croissance annuel %	Durée de vie, ans				
	5	10	15	20	25
0	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0
4	2,0	4,4	7,3	10,8	15,2
7	2,1	5,0	9,2	15,0	23,1
10	2,3	5,8	11,6	20,9	35,9

Coefficient d'agressivité CAM

Chaussée à faible trafic	CAM	0,4	0,5	0,7	0,8
	Classe	T_5	T_4	T_3^-	T_3^+

Dimensionnement des couches de fondation



Couche de base

Trafic cumulé NE	$< 10^5$	$\geq 10^5$
h_b, cm	15	20

Couche de roulement

Classe du trafic	Durée de service	

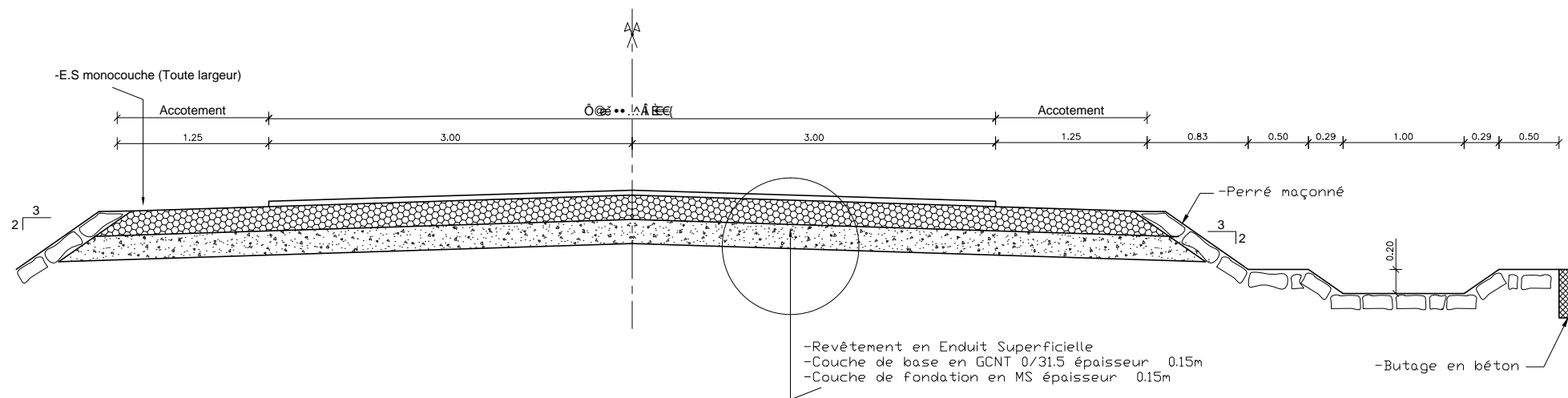
Classification du trafic

Classe	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	TEX
Centre MJA			85	200	500	1 200	3 000	
Limite MJA	0	25	50	150	300	750	2 000	5 000

Contrainte radiale admissible

	BB ou EDC ou ES	Grave bitume ou grave émulsion
$\sigma_{r,adm}, bar$	10 à 15	7 à 10

PROFIL EN TRAVERS CHAUSSEE ET ACCOTEMENT éch: 1/50



Annexes 3 : Hydrologie

Vitesse d'écoulement

Nature du canal	Vitesse max m/s	Pente des talus
Sable fin, terre meuble	0,4 à 0,5	2/1 à 3/1
Gravier fin	0,5 à 0,7	3/2
Limon sableux	0,5 à 1,15	1/1
Sol latéritique	0,8	1/2
Argile compacté	0,6 à 0,8	1/2
Roche dur en béton	1,5 à 1,8	0

Coefficient de ruissèlement

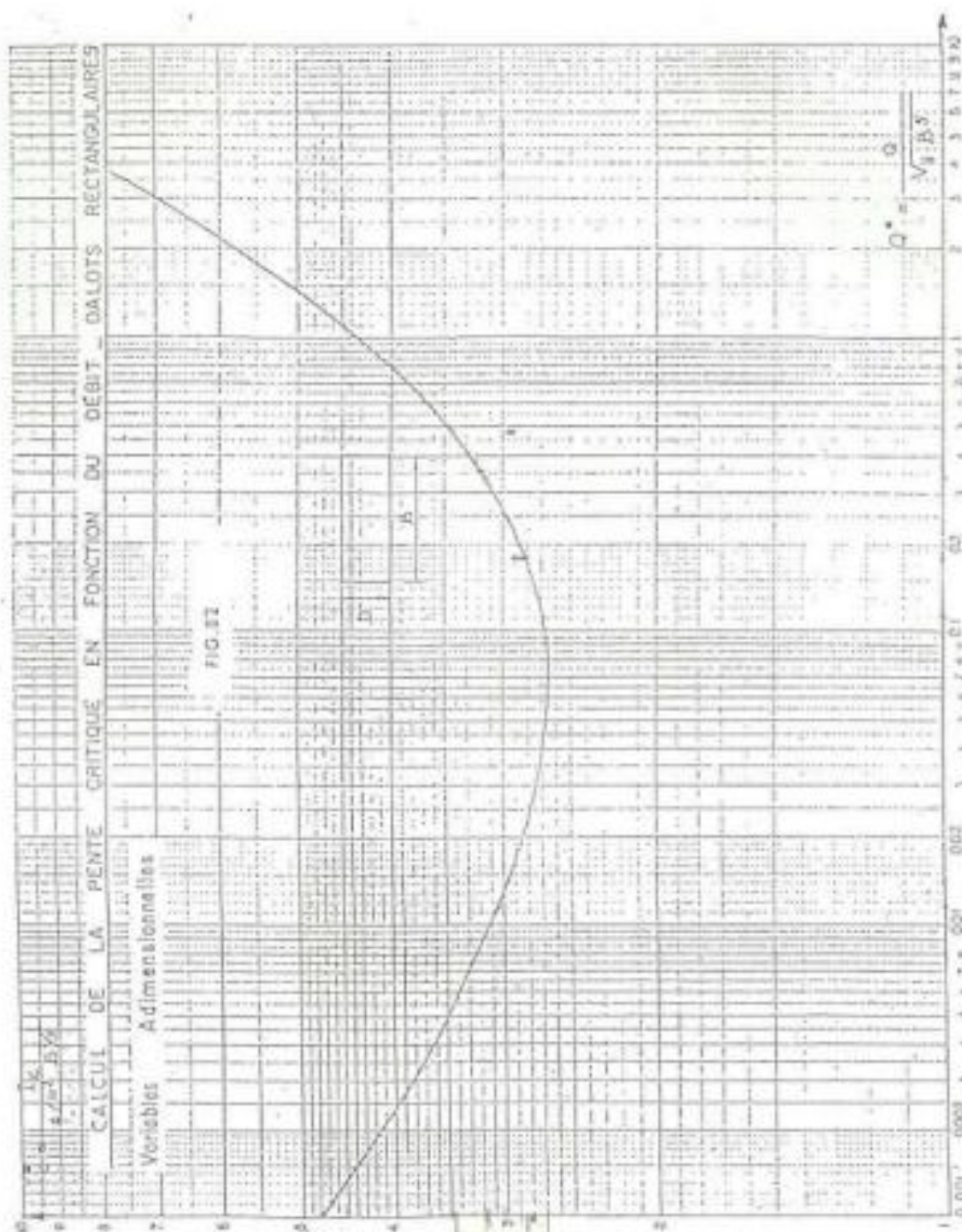
Nature de l'ouverture	Pente moyenne en %			
	< 5	05-10	10-30	>30
Plateforme et chaussée	0,95	0,95	0,95	0,95
Terrain dénudé	0,80	0,85	0,90	0,95
Brousse claire semé	0,75	0,80	0,85	0,90
Brousse dense	0,70	0,75	0,80	0,85
Forêt ordinaire	0,30	0,50	0,60	0,70
Forêt dense	0,20	0,25	0,30	0,40

Vitesse d'affouillement et coefficient de rugosité

Caractéristique de la surface d'écoulement	V _{aff} , m/s		K selon l'état de la surface d'écoulement		
	>0,40	>1,0	bon	passable	mauvais
Sol sableux	0,5	0,6	50	50	40
Sol cohérent					
- consistant	1,0	1,2	59	56	
- peu consistant	0,7	0,85	56	53	
Revêtement en bois	8,0	10,0	100	83	71
Revêtement en béton					
- surface lisse	13,0	16,0	83	77	
- surface rigoureuse	6,5	8,0	71	67	56
Maçonnerie					
- jointoyé	6,5	8,0	71	67	62
- sèche	2,5	4,0	50	45	67
Gazonnage	1,5	1,8	33	33	29

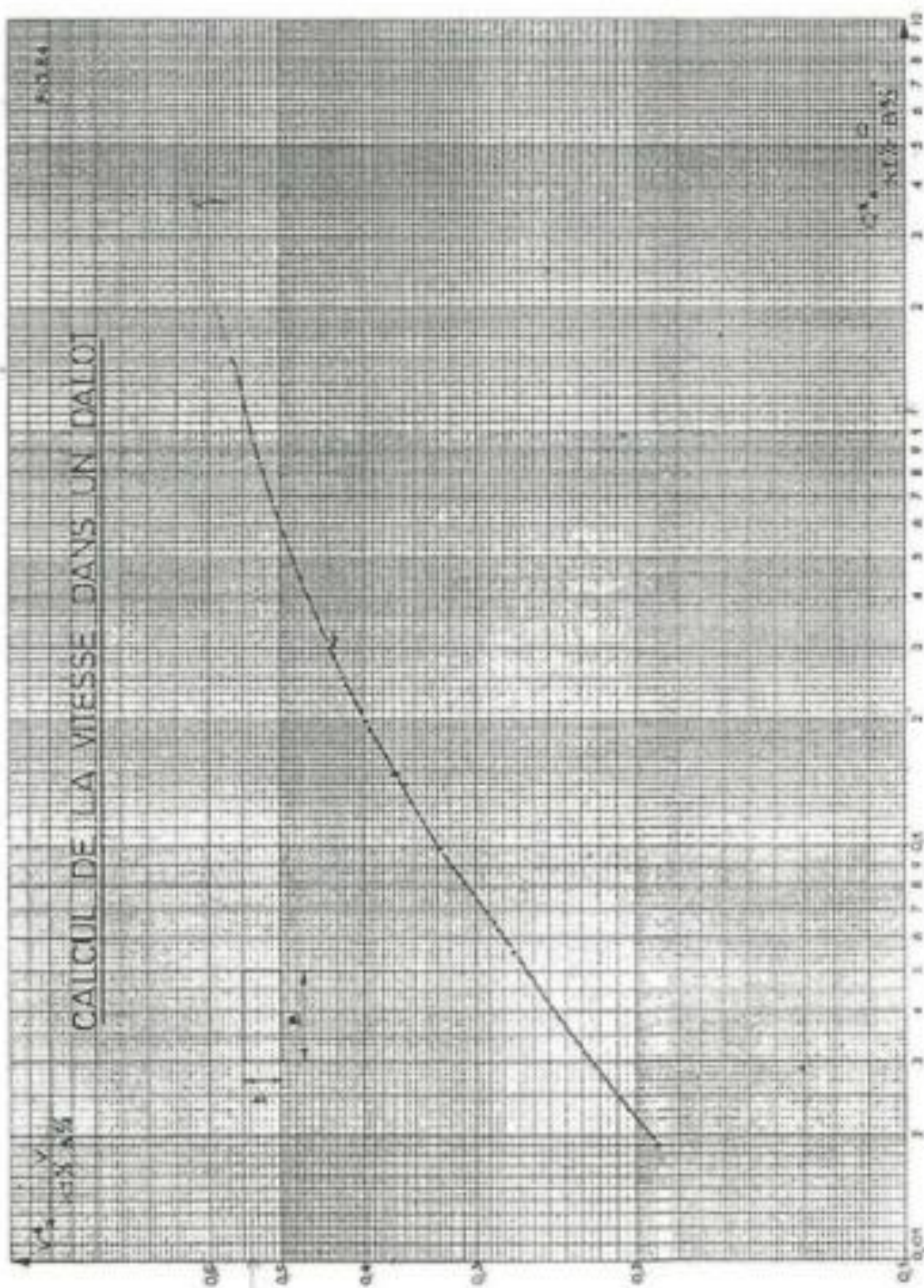
Annexes 4 : Dalot

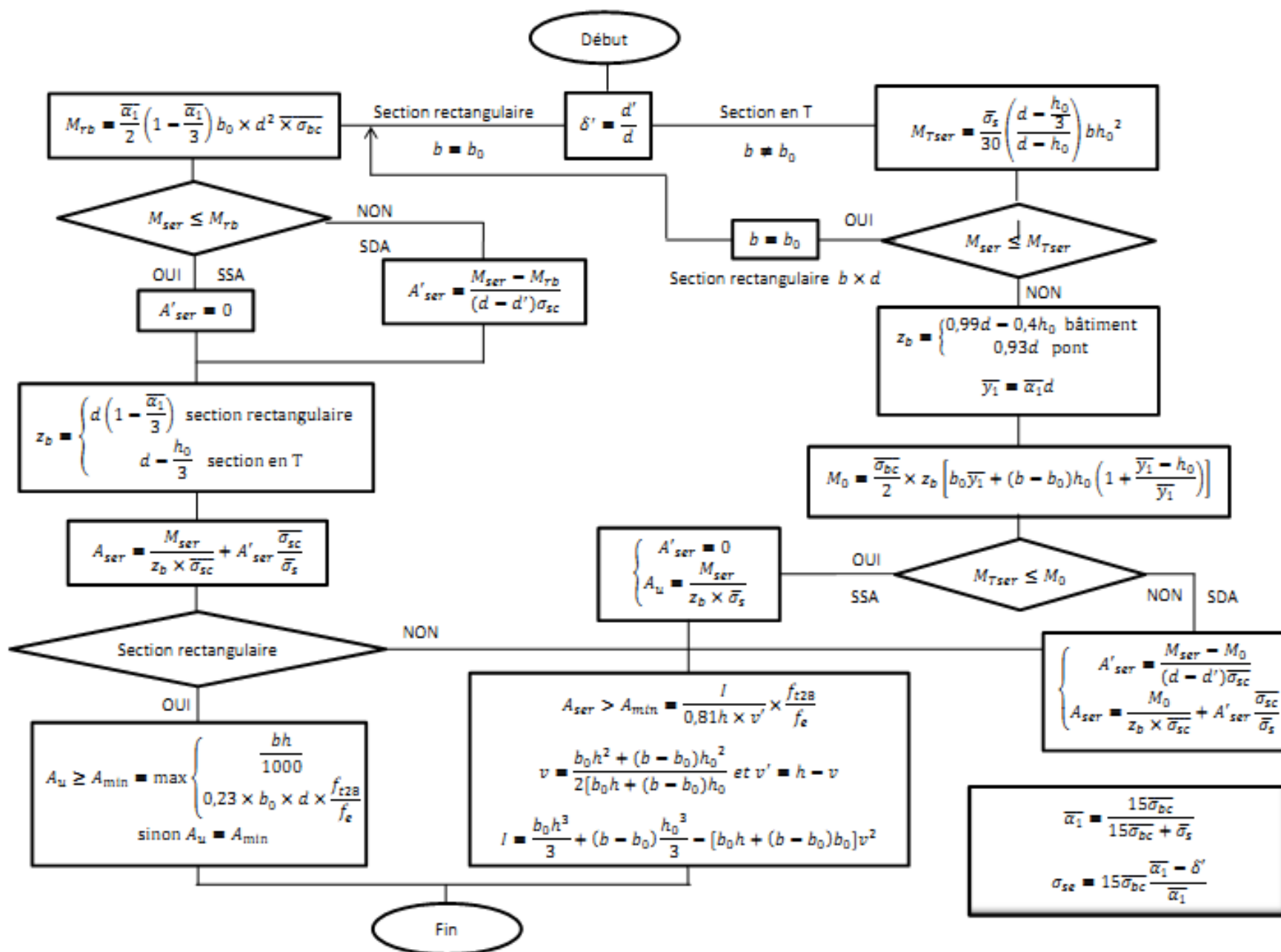
Abaque : pente critique d'un dalot



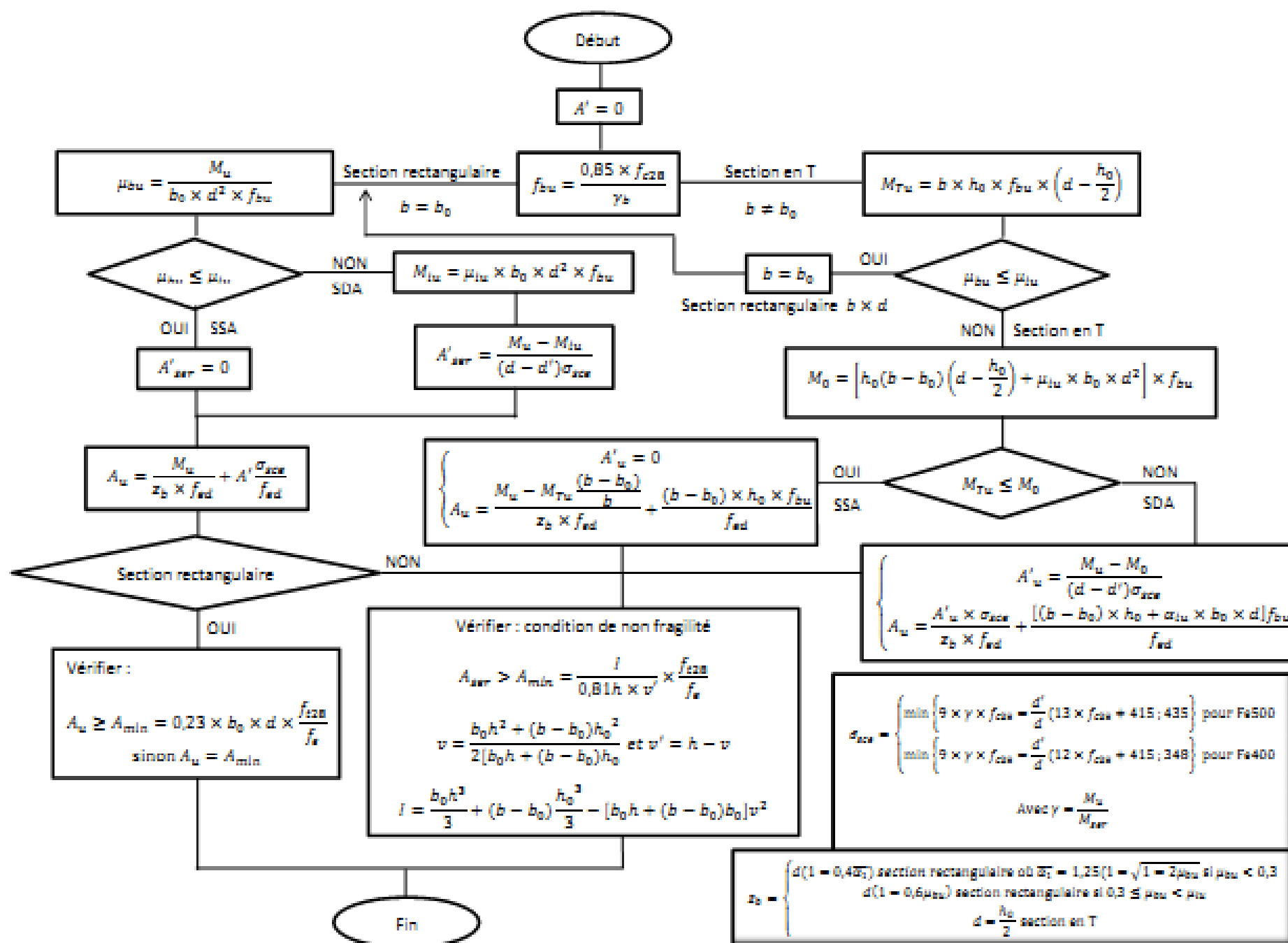
Calcul de la pente critique en fonction du débit. Dalots rectangulaires.

Abaque : vitesse critique d'un dalot

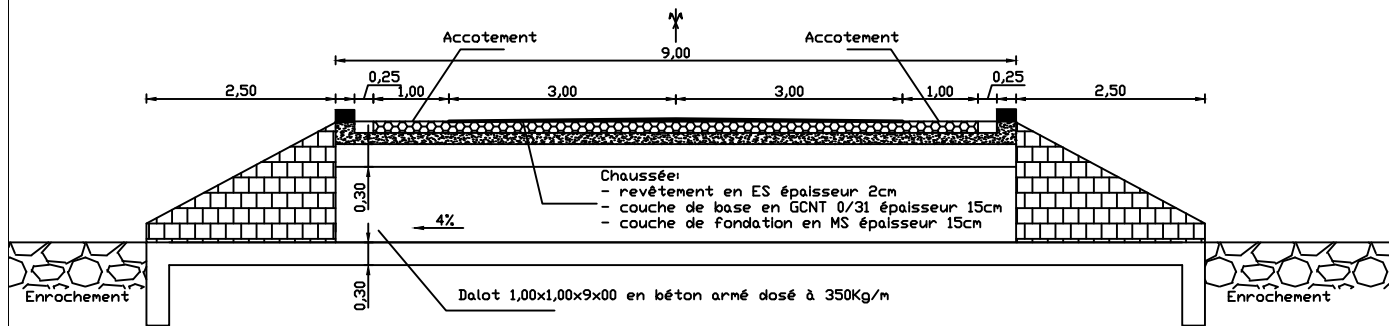




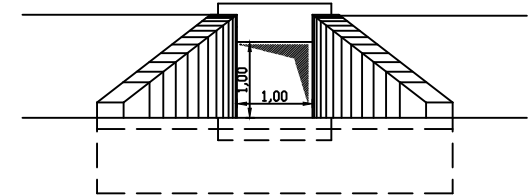
ELU



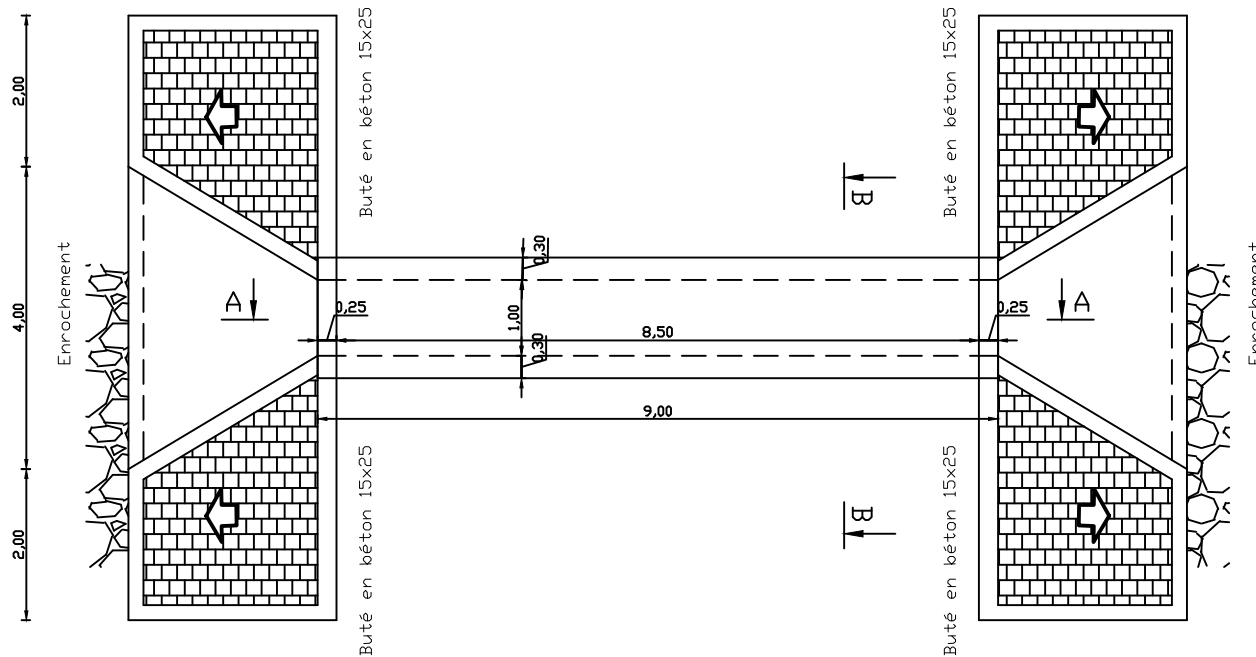
COUPE A-A
Ech 1/100



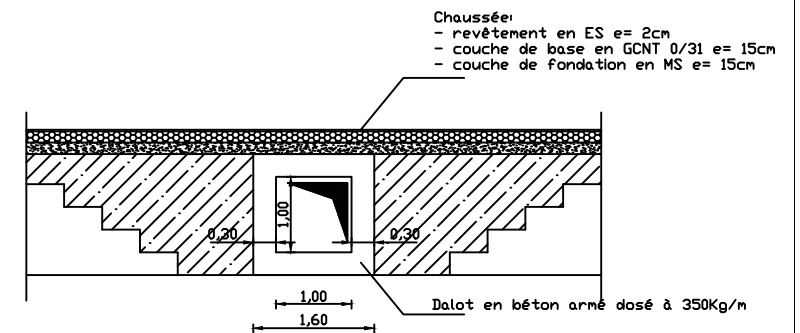
VUE DE DROITE
Ech 1/100



VUE EN PLAN
Ech 1/100

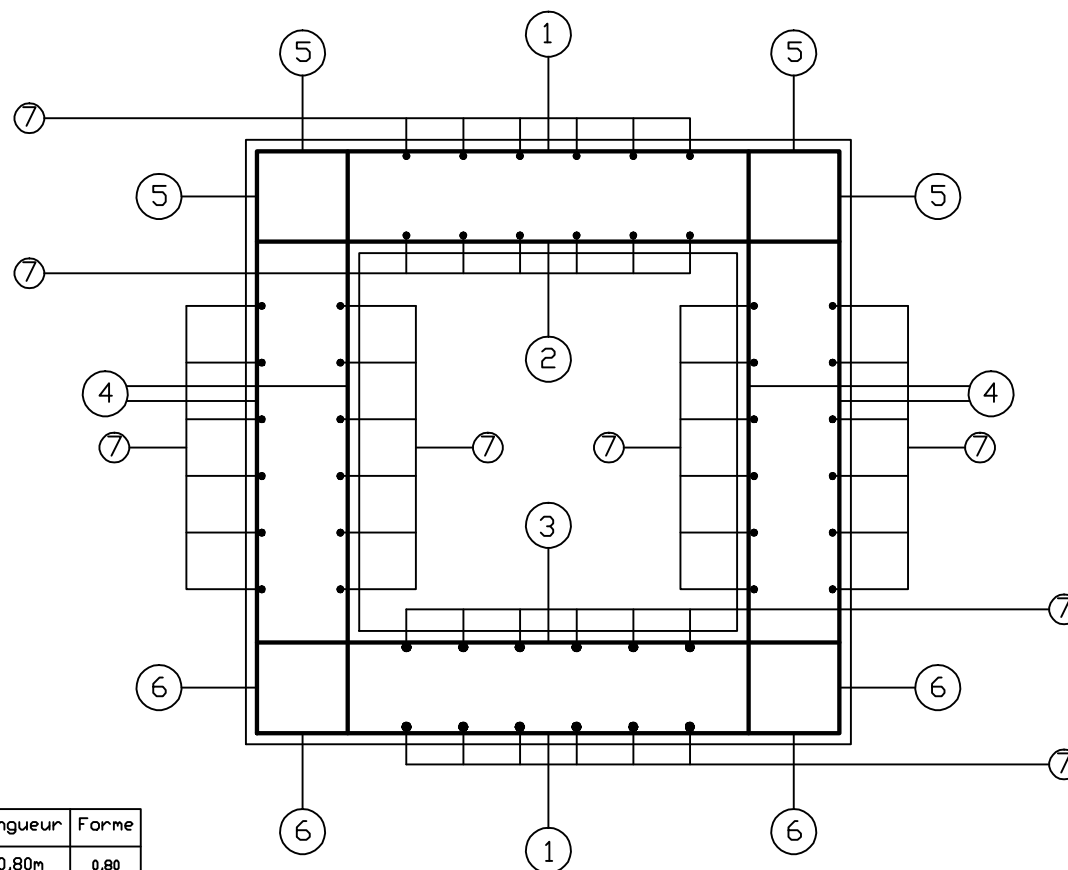


COUPE B-B
Ech 1/100



PLAN DE FERRAILLAGE DU DALOT

Ech 1/20



Position	Armature	Longueur	Forme
1	5Ø10	L=0,80m	
2	5Ø10+5Ø12	L=1,78m	
3	5Ø10+5Ø12	L=1,78m	
4	5Ø12	L=1,78m	
5	3Ø8	L=0,52m	
6	3Ø10	L=0,52m	
7	6Ø8 pm e=15cm	L=9,00m	

Annexes 5 : Schémas d'itinéraire

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK2 AU PK4

POINT KILOMETRIQUE		2	100	200	300	400	500	600	700	800	900	3	100	200	300	400	500	600	700	800	900	4																																									
REPERAGE	Agglomération		TOLIARY																																								Manombo																				
	Carrefour																																																														
	Environnement	CG																																																													
		CD																																																													
GEOMETRIE	Rivière																																																														
	Tracé en plan																																																														
	Profil en long																																																														
	Profil en travers																																																														
	Largeurs	Accotement gauche	1											1	1									1																																							
		chaussée	6											6	6									6																																							
Accotement droit		1											1	1									1																																								
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux		CG																																																												
	Ouvrage	Nature																					FT																																								
		Section																																																													
		Longueur																																																													
		Sens																																																													
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																																																													
		Bourbier																																																													
	Lourds	Tôle ondulé																																																													
	Moyen	Nids de poule																																																													
SOIS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																						Section non bitumée																																								
INTERVENTION	TRAVAUX PREPARATOIRE	Abattage d'arbre																																																													
		Décapage-Débroussaillage																																																													
		Point à temps/reflachage																																																													
	TERRAS- SEMENT	Déblais																																																													
		Remblais																																																													
	CHAUSSEE	Revêtement (type)																					2 Enduit superficielle bicouche																																								
		Base (ép/Mx)																					15 GCNT																																								
		Fondation (ép/Mx)																					10 MS																																								
		Forme																																																													
	ASSAINISSEMENT	Fossé latéraux	CG																																																												
			CD																					ON																																							
		Fossé de crête	CG																																																												
			CD																																																												
		Dalots/buses	Type d'aménagement																					Cu+Réparation																																							
Nature/section																																																															
Sens																																																															
Aménagement tête																																																															
O.F	Aménagement requis																																																														
Soutènement, autres																																																															

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK4 AU PK6

POINT KILOMETRIQUE			4	100	200	300	400	500	600	700	800	900	5	100	200	300	400	500	600	700	800	900	6
REPERAGE	Agglomération		← TOLIARY																				Manombo →
	Carrefour																						
	Environnement	CG																					
		CD																					
GEOMETRIE	Rivière																						
	Tracé en plan																						
	Profil en long																						
	Profil en travers																						
	Largeurs	Accotement gauche	1										1	1									1
		chaussée	6										6	6									6
		Accotement droit	1										1	1									1
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux	CG																					
		CD	FT																				
	Ouvrage	Nature						DcB										DcB					
		Section						1x1										1x1					
		Longueur						9,00										9,00					
		Sens						↓										↓					
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																					
		Bourbier																					
	Lourds	Tôle ondulé																					
	Moyen	Nids de poule																					
	Léger	Affaissement																					
SOIS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																						
	Carrière/Gîtes/Emprunt																						
INTERVENTION	TRAVAUX PREPARATOIRE	Abattage d'arbre																					
		Décapage-Débroussaillage																					
		Point à temps/reflanchage																					
	TERRASSEMENT	Reprofilage																					
		Déblais																					
	CHAUSSEE	Remblais																					
		Revêtement (type)																					
		Base (ép/Mx)																					
		Fondation (ép/Mx)																					
	ASSAINISSEMENT	Forme																					
		Fossé latéraux	CG																				
			CD																				
		Fossé de crête	CG																				
			CD																				
		Dalots/buses	Type d'aménagement																				
			Nature/section																				
			Sens																				
			Aménagement tête																				
	O.F	Aménagement requis																					
	Soutènement, autres																						

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK6 AU PK8

POINT KILOMETRIQUE			6	100	200	300	400	500	600	700	800	900	7	100	200	300	400	500	600	700	800	900	8		
REPERAGE	Agglomération		TOLIARY																				Manombo		
	Carrefour																								
	Environnement	CG																							
		CD																							
GEOMETRIE	Rivière																								
	Tracé en plan																								
	Profil en long																								
	Profil en travers																								
	Largeurs	Accotement gauche	1											1	1									1	
chaussée		6											6	6									6		
Accotement droit		1											1	1									1		
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux	CG																							
		CD																							
	Ouvrage	Nature																							
		Section																							
Longueur																									
Sens																									
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																							
		Bourbier																							
	Lourds	Tôle ondulé																							
	Moyen	Nids de poule																							
SOIS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																								
		Section non bitumée																							
INTERVENTION	TRAVAUX PREPA- RATOIRE	Abattage d'arbre																							
		Décapage-Débroussaillage																							
		Point à temps/reflanchage																							
	TERRAS- SEMENT	Déblais																							
		Remblais																							
	CHAUSSEE	Revêtement (type)	2 Enduit superficielle bicouche										2 Enduit superficielle bicouche												
		Base (ép/Mx)	15 GCNT										15 GCNT												
		Fondation (ép/Mx)	10MS										8MS												
		Forme																							
	ASSAINISSEMENT	Fossé latéraux	CG																					ON	
			CD																						
		Fossé de crête	CG																						
CD																									
Dalots/buses		Type d'aménagement																					Cu+Réparation		
		Nature/section																							
	Sens																								
	Aménagement tête																								
O.F	Aménagement requis	Entretien																							
Soutènement, autres																									

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK8 AU PK10

POINT KILOMETRIQUE		POINT KILOMETRIQUE																																																																																																																																																																																																										
REPERAGE	Agglomération		TOLJARY																																																																																																				Manombo																																																																																																					
	Carrefour																																																																																																																																																																																																											
	Environnement	CG																																																																																																																																																																																																										
		CD																																																																																																																																																																																																										
	Rivière																																																																																																																																																																																																											
GEOMETRIE	Tracé en plan																																																																																																																																																																																																											
	Profil en long																																																																																																																																																																																																											
	Profil en travers																																																																																																																																																																																																											
	Largeurs	Accotement gauche	1																																																																																																																																																																																																									1
		chaussée	6																																																																																																																																																																																																									6
		Accotement droit	1																																																																																																																																																																																																									1
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux	CG																																																																																																					FT																																																																																																					
		CD	FM																																																																																																																																																																																																									
	Ouvrage	Nature																																																																																																					DcB																																																																																																					
		Section																																																																																																					2x1																																																																																																					
		Longueur																																																																																																					9,00																																																																																																					
Sens																																																																																																																																																																																																												
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																																																																																																																																																																																																										
		Bourbier																																																																																																																																																																																																										
		Lourds	Tôle ondulé																																																																																																																																																																																																									
		Moyen	Nids de poule																																																																																																																																																																																																									
	Léger	Affaissement																																																																																																																																																																																																										
SOLS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																																																																																																																																																																																																											
	Carrière/Gites/Emprunt																																																																																																						Section non bitumée																																																																																																					
INTERVENTION	TRAVAUX PREPA- RATOIRE	Abattage d'arbre																																																																																																																																																																																																										
		Décapage-Débroussaillage																																																																																																																																																																																																										
		Point à temps/reflachage																																																																																																																																																																																																										
		Reprofilage																																																																																																																																																																																																										
	TERRAS- SEMENT	Déblais																																																																																																																																																																																																										
		Remblais																																																																																																																																																																																																										
	CHAUSSEE	Revêtement (type)																																																																																																					2 Enduit superficielle bicouche																																																																																																					
		Base (ép/Mx)																																																																																																					15 GCNT																																																																																																					
		Fondation (ép/Mx)																																																																																																					8MS																																																																																																					
		Forme																																																																																																																																																																																																										
	ASSAINISSEMENT	Fossé latéraux	CG																																																																																																					ON																																																																																																				
			CD																																																																																																					ON																																																																																																				
		Fossé de crête	CG																																																																																																																																																																																																									
			CD																																																																																																																																																																																																									
		Dalots/luses	Type d'aménagement																																																																																																					Cu+Réparation																																																																																																				
Nature/section																																																																																																																																																																																																												
Sens																																																																																																																																																																																																												
Aménagement tête																																																																																																																																																																																																												
O.F	Aménagement requis																																																																																																																																																																																																											
Soutènement, autres																																																																																																																																																																																																												

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMC: dalot maçonné DCB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK10 AU PK12

POINT KILOMETRIQUE			10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	11	100	200	300	400	500	600	700	800	900	12	
REPERAGE	Agglomération		← TOLIARY																				Manombo →	
	Carrefour																							
	Environnement	CG																						
		CD																						
GEOMETRIE	Rivière																							
	Tracé en plan																							
	Profil en long																							
	Profil en travers																							
	Largeurs	Accotement gauche	1											1	1									1
chaussée		6											6	6									6	
Accotement droit		1											1	1									1	
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux		CG																					
	Ouvrage	Nature	CD	FM									FT									FM		
		Section																						
		Longueur																						
		Sens																						
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																						
		Bourbier																						
	Lourds	Tôle ondulé																						
	Moyen	Nids de poule																						
	Léger	Affaissement																						
SOLS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																							
	Carrière/Gites/Emprunt																							
INTERVENTION	TRAVAUX PREPA- RATOIRE	Abbattage d'arbre																						
		Décapage-Débroussaillage																						
		Point à temps/reflanchage																						
	TERRAS- SEMENT	Reprofilage																						
		Déblais																						
	CHAUSSEE	Remblais																						
		Revêtement (type)																						
		Base (ép/Mx)																						
		Fondation (ép/Mx)																						
	ASSAINISSEMENT	Forme																						
		Fossé latéraux	CG																					
			CD																					
		Fossé de crête	CG																					
CD																								
Dalots/buses		Type d'aménagement																						
		Nature/section																						
		Sens																						
	Aménagement tête																							
O.F	Aménagement requis																							
Soutènement, autres																								

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK12 AU PK14

POINT KILOMETRIQUE			12	100	200	300	400	500	600	700	800	900	13	100	200	300	400	500	600	700	800	900	14	
REPERAGE	Agglomération		← TOLIARY																				Manombo →	
	Carrefour																							
	Environnement	CG																						
		CD																						
GEOMETRIE	Rivière																							
	Tracé en plan																							
	Profil en long																							
	Profil en travers																							
	Largeurs	Accotement gauche	1											1	1									1
chaussée		6											6	6									6	
Accotement droit		1											1	1									1	
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux	CG	FM										FT											
		CD																						
	Ouvrage	Nature																						
		Section																						
		Longueur																						
Sens																								
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																						
		Bourbier																						
	Lourds	Tôle ondulé																						
	Moyen	Nids de poule																						
SOIS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																							
	Carrière/Gites/Emprunt																							
INTERVENTION	TRAVAUX PREPARATOIRE	Abattage d'arbre																						
		Décapage-Débroussaillage																						
		Point à temps/reflanchage																						
		Reprofilage																						
	TERRASSEMENT	Déblais																						
		Remblais																						
	CHAUSSEE	Revêtement (type)																						
		Base (ép/Mx)																						
		Fondation (ép/Mx)																						
		Forme																						
	ASSAINISSEMENT	Fossé latéraux	CG																					
			CD																					
Fossé de crête		CG																						
		CD																						
Dalots/buses		Type d'aménagement																						
		Nature/section																						
	Sens																							
	Aménagement tête																							
O.F	Aménagement requis																							
Soutènement, autres																								

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK14 AU PK16

POINT KILOMETRIQUE			14	100	200	300	400	500	600	700	800	900	15	100	200	300	400	500	600	700	800	900	16		
REPERAGE	Agglomération		TOLIARY																				Manombo		
	Carrefour																								
	Environnement	CG																							
		CD																							
GEOMETRIE	Rivière																								
	Tracé en plan																								
	Profil en long																								
	Profil en travers																								
	Largeurs	Accotement gauche	1											1	1									1	
chaussée		6											6	6									6		
Accotement droit		1											1	1									1		
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux																								
	Ouvrage	Nature																							
		Section																							
		Longueur																							
Sens																									
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																							
		Bourbier																							
	Lourds	Tôle ondulé																							
	Moyen	Nids de poule																							
	Léger	Affaissement																							
SOLS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																								
	Carrière/Gites/Emprunt																								
INTERVENTION	TRAVAUX PREPA- RATOIRE	Abattage d'arbre																							
		Décapage-Débroussaillage																							
		Point à temps/reflanchage																							
	TERRAS- SEMENT	Déblais																							
		Remblais																							
	CHAUSSEE	Revêtement (type)	2 Enduit superficielle bicouche																						
		Base (ép/Mx)	15 GCNT																						
		Fondation (ép/Mx)	12MS																						
		Forme																							
	ASSAINISSEMENT	Fossé latéraux	CG																						
			CD																						
		Fossé de crête	CG																						
			CD																						
		Dalots/buses	Type d'aménagement	Cu+Réparation																					
Nature/section																									
Sens																									
	Aménagement tête																								
O.F	Aménagement requis																								
Soutènement, autres																									

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

SCHEMA D'ITINERAIRE DE PK16 AU PK18

POINT KILOMETRIQUE			16	100	200	300	400	500	600	700	800	900	17	100	200	300	400	500	600	700	800	900	18	
REPERAGE	Agglomération		← TOLIARY																				Manombo →	
	Carrefour																							
	Environnement	CG																						
		CD																						
GEOMETRIE	Rivière																							
	Tracé en plan																							
	Profil en long																							
	Profil en travers																							
	Largeurs	Accotement gauche	1											1	1									1
		chaussée	6											6	6									6
Accotement droit		1											1	1									1	
ASSAINISSEMENT FRANCHISSEMENT	Fossé latéraux	CG																						
		CD																						
	Ouvrage	Nature																						
		Section																						
		Longueur																						
Sens																								
DEGRADATION	Codes couleurs	Ravinement/ornière																						
		Bourbier																						
		Lourds																						
		Moyen																						
SOIS/MATERIAUX	Coupe de chaussée																							
	Carrière/Gites/Emprunt																							
INTERVENTION	TRAVAUX PREPA- RATOIRE	Abbattage d'arbre																						
		Décapage-Débroussaillage																						
		Point à temps/reflanchage																						
	TERRAS- SEMENT	Reprofilage																						
		Déblais																						
	CHAUSSEE	Remblais																						
		Revêtement (type)																						
		Base (ép/Mx)																						
		Fondation (ép/Mx)																						
	ASSAINISSEMENT	Forme																						
		Fossé latéraux	CG																					
			CD																					
		Fossé de crête	CG																					
			CD																					
Dalots/buses		Type d'aménagement																						
		Nature/section																						
		Sens																						
	Aménagement tête																							
O.F	Aménagement requis																							
Soutènement, autres																								

FT: fossé en terre FM: fossé maçonné FB: fossé bétonné BB: buse en béton BM: buse métallique DMc: dalot maçonnée DcB: dalot cadre en béton armé Pba: pont en béton armé PMx: pont mixte PM: pont métallique Cu: curage ON: ouvrage neuf Rp: remplacement Rg: ralongement

Auteur : ANDRIAMANDROSO Mirhado Nahary

Contact : +261 32 65 202 50 / +261 34 04 283 68

mirhadonahary@gmail.com



Titre du mémoire : ETUDE D'AMENAGEMENT DE LA ROUTE NATIONALE N°09 RELIANT
TOLIARA ET IFATY – Tronçon PK2+000 à PK18+000

Nombre de page : 111

Nombre de figure : 23

Nombre de tableau : 73

Résumé :

L'Aménagement de la Route Nationale n°09 engendrera un développement socio-économique considérable à la région Antsimo Andrefana. En effet, celle-ci possède beaucoup de richesses inexploitées. Ce présent mémoire met en exergue les différentes étapes de dimensionnement de la chaussée ainsi que les ouvrages d'assainissement et les ouvrages annexes. De plus, la troisième partie expose non seulement les évaluations financières afin d'assurer la rentabilité du projet, mais aussi l'étude d'impact environnemental.

Abstract :

The rehabilitation of the RN9 will certainly increase the economy of Antsimo Andrefana's area. This one contains a lot of riches and owns a great potential. This book talks about road's design and sanitation establishment. Likewise, the project benefits and the environment's impact can both be found in the third part of this document.

Mots clés : Aménagement, ouvrages, chaussée, rentabilité, dimensionnement

Rapporteur : Monsieur RABENATOANDRO Martin