
SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE I CONTEXTE GENERAL DU PROJET

 CHAPITRE I PRESENTATION DU PROJET

 CHAPITRE II MONOGRAPHIE DE LA ZONE D'INFLUENCE

 CHAPITRE III HISTORIQUE ET DIAGNOSTIC DE LA CHAUSSEE

PARTIE II ETUDE TECHNIQUE

 CHAPITRE IV ETUDE DU TRACE

 CHAPITRE V INVENTAIRE DES GISEMENT DE MATERIAUX

 CHAPITRE VI ETUDE DU TRAFIC

 CHAPITRE VII ETUDE DE DIMENSIONNEMENT

 CHAPITRE VIII ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

PARTIE III ETUDE FINANCIERE ET EVALUATION DES IMPACTS
ENVIRONNEMENTAUX

 CHAPITRE IX EVALUATION DU COUT DU PROJET

 CHAPITRE X ETUDE DE RENTABILITE

 CHAPITRE XI ETUDE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

❖ *Abréviations*

ACP : Afrique Caraïbes et Pacifique

Ar : Ariary

ARM : Autorité Routière de Madagascar

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

BPSP : Brigade Préfectorale de Sécurité Publique

CBR: Californian Bearing Ratio

CU: Charge Utile

ECR : Emulsion Cationique à Rupture Rapide

ECM : Emulsion Cationique à Rupture Moyenne

ELU : Etats Limites Ultimes

ELS : Etats Limites de Service

ESB : Enduit Superficiel Bicouche

FED : Fond Européen de Développement

GCNT : Grave Concassée Non Traitée

GNT : Grave Non Traitée

INSTAT : Institut National des Statistiques

KN : Kilo Newton

LBI : Louis Berger International

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussée

LNTPB : Laboratoire National du Travaux Publics et des Bâtiments

MS : Matériau Sélectionné

MTP : Ministère des Travaux Publics

MJA : Moyenne Journalière Annuelle

OPM : Optimum Proctor Modifié

ORTFD : Office Régional du Tourisme de Fort Dauphin

PIB : Produit Intérieur Brut

PTC : Poids Total en charge

PL : Poids Lourd

PK : Point Kilométrique

RN : Route Nationale

TMJ : Trafic Moyenne Journalier

TMJA : Trafic Moyenne Journalier Annuelle

TN : Trafic Normal

TTC : Toutes Taxe Comprises

TVA : Taxes sur les valeurs ajoutées

TRI : Taux de Rentabilité Interne

VAN : Valeur Actuelle Nette.

❖ *Notations*

➤ Géotechnique

%F : Gonflement

ES : Equivalent de sable

LA : Essai Los Angeles

IP : Indice de plasticité

MDE : Essai Micro Duval en présence d'Eau

W : Teneur en eau

Wopt : Teneur en eau limite optimale

➤ Hydrologique

BV : Bassin Versant

C : Coefficient de ruissellement

I : Intensité de pluie

if : Pente du fond

it : Pente du terrain naturel

K : Coefficient de rugosité de Manning Strickler

Q : débit de crue

R : Rayon hydraulique

V : Vitesse de l'écoulement de l'eau

ω : Section mouillée

➤ Béton armé

A : Aire d'une section d'acier (longitudinal)

A_u : Aire d'une section d'acier à l'état Ultime

A_r : Armature de répartition

A_{min} : Aire d'une section d'acier minimale (longitudinal)

B : Aire d'une section de béton

G : Action des charges permanentes

I : Moment d'inertie de la section

M_{ser} : Moment fléchissant de calcul de service

M_{rb} : Moment résistant du béton

M_u : Moment Fléchissant de calcul ultime

N_u : Effort normal

P : Action permanente

Q : Action de charge variables

V_u : Effort tranchant

d : Position des armatures tendues par rapport à la fibre la plus comprimée

d' : Distance du centre de gravité de A' à la fibre la plus comprimée

f_e : limite de l'acier en service

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

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

g : Poids propre par mètre linéaires

h : Hauteur totale de la section

n : Coefficient d'équivalence acier béton

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.Répartition des zones d'influence.	6
Tableau 2.Présentation des Districts de la région Androy.	8
Tableau 3.Effectif de la population.	10
Tableau 4.Répartition de la population suivant les Districts.	11
Tableau 5.Projection de l'effectif de la population.	11
Tableau 6.Infrastructures sanitaires publics.	12
Tableau 7.Infrastructures scolaires publiques en 2014.	13
Tableau 8.Infrastructures scolaires publiques en 2014.	13
Tableau 9.Effectif des forces dans la zone d'influence du projet.	14
Tableau 10.Production rizicole annuelle.	14
Tableau 11.Production annuelle de maïs.	14
Tableau 12.Production annuelle de manioc.	15
Tableau 13.Production annuelle d'arachide.	15
Tableau 14. Effectif des cheptels.	16
Tableau 15.Production annuelle de la pêche.	16
Tableau 16.Production industrielle annuelle.	17
Tableau 17.Evolution du nombre de touristes.	19
Tableau 18.Récapitulation des dégradations de la route en terre.	24
Tableau 19.Récapitulation des dégradations de la chaussée revêtue.	28
Tableau 20.Caractéristiques actuels de la chaussée.	31
Tableau 21. Caractéristiques géométriques du tracé en plan selon l'ARP 60.	34
Tableau 22. Caractéristiques géométriques du profil en long selon l'ARP 60.	34
Tableau 23.Valeurs du devers selon l'ARP 60.	35
Tableau 24.Spécification des matériaux pour remblai.	36
Tableau 25.Spécification des matériaux pour couche de fondation.	37
Tableau 26.Fuseau granulométrique du GCNT0/315.	37
Tableau 27. Spécifications du GCNT.	38
Tableau 28.Récapitulation des gisements de matériaux meubles.	39
Tableau 29.Carrières exploitables.	39
Tableau 30.Comptage de l'étude de Pré-faisabilité (2003).	40
Tableau 31.Comptage du trafic de la RNS13 en 2003.	41
Tableau 32.Projection du trafic normal à l'année de mise en service.	42
Tableau 33.Trafic final à l'année de mise en service.	42
Tableau 34.Valeur du coefficient α	43
Tableau 35.Valeurs du coefficient β	43
Tableau 36.Division selon section homogène.	44

Tableau 37.Valeur de module d'élasticité et coefficient d'équivalence des matériaux.	45
Tableau 38.Epaisseurs minimales.	46
Tableau 39.Récapitulation des résultats de dimensionnement.	47
Tableau 40.Récapitulation de la transformation du système quadricouche en un système tricouche.....	50
Tableau 41.Récapitulation de la vérification des contraintes.	52
Tableau 42.Valeur du coefficient k (correspondances entre N et MJA).	54
Tableau 43.Tableau de classification suivant MJA.	55
Tableau 44.Valeur du coefficient d'agressivité.	56
Tableau 45.Classification de la plateforme selon essai à la plaque.	56
Tableau 46.Récapitulation des résultats de calcul selon Alizé.	63
Tableau 47.Vérification des contraintes.	63
Tableau 48.Pluie journalière maximale enregistrée à la station Ambovombe.	68
Tableau 49.Hauteur de pluie maximale journalière pour une période de retour T.	70
Tableau 50.Division de l'échantillon en 7 classes.....	71
Tableau 51.Nombre théorique des valeurs contenues dans chaque classe.	72
Tableau 52.Intervalle de confiance des débits.	73
Tableau 53.Hauteur de pluie journalière maximale finale.	74
Tableau 54.Valeurs du coefficient de ruissellement C.....	76
Tableau 55.Récapitulation du calcul des débits de fossé de pied.....	79
Tableau 56. Récapitulation du calcul des débits de fossé de pied (Suite).	80
Tableau 57. Résultats de calcul des débits par la méthode de Louis Duret.	81
Tableau 58.Données de calcul de fossé de crête.....	83
Tableau 59.Résultats de dimensionnement du fossé de crête.	86
Tableau 60.Calcul de fossé triangulaire en terre.	91
Tableau 61. Calcul de fossé rectangulaire maçonné.	92
Tableau 62.Récapitulation du calcul de l'emplacement des ouvrages de décharge.	94
Tableau 63.Récapitulation calcul de dimensionnement des buses.	96
Tableau 64. Tableau récapitulatif de dimensionnement hydraulique du dalot cadre.	101
Tableau 65.Tableau de calcul de prédimensionnement des dalots cadre.	102
Tableau 66.Poids volumique des matériaux.	103
Tableau 67.Récapitulation des surcharges routières.	109
Tableau 68.Tableau récapitulatif de calcul des actions.....	109
Tableau 69.Calcul des moments d'encastrement parfait pour le dalot 1x [1,50x1,50].	112
Tableau 70.Résultats de calcul des moments pour le dalot 1x [1,50x1,50].	113
Tableau 71. Effort tranchant maximal dans les barres du dalot 1x [1,50x1,50].	114
Tableau 72.Résultats de calcul des moments fléchissants selon la combinaison d'action du dalot 1x[1,50x1,50].	115

Tableau 73.Effort tranchant maximal selon les combinaisons d'action du dalot 1x[1,50x1,50]	115
Tableau 74.Moments d'encastrement parfait pour le cas du dalot 3x [3,00x3,00].	116
Tableau 75.Résultats de calcul des moments fléchissants pour le dalot 3 x [3,00x3,00].....	116
Tableau 76. Moments fléchissants selon les combinaisons d'actions pour le cas du dalot 3x [3,00x3,00].....	117
Tableau 77.Effort tranchant maximal dans les barres du dalots 3x[3,00x 3,00].	117
Tableau 78.Récapitulation de calcul des ferraillages longitudinaux pour le dalot 1x[1,50x1,50]	122
Tableau 79.Vérification des contraintes à l'ELS pour les armatures longitudinales du dalot 1x[1,50x1,50]	122
Tableau 80.Calcul des aciers longitudinaux pour le dalot 3x[3,00x3,00].....	123
Tableau 81.Récapitulation des vérifications des contraintes pour le dalot 3x[3,00x3,00]	123
Tableau 82.Récapitulation des armatures de répartition de la dalle et du radier.	125
Tableau 83.Diamètre des armatures transversales.	129
Tableau 84.Tableau récapitulatif de calcul des armatures des dalots.	131
Tableau 85.Devis quantitatif.	143
Tableau 86.Marges de valeur des coefficients a_i	145
Tableau 87.Valeurs des coefficients pour le calcul de K_1	146
Tableau 88. Tableau récapitulatif du DQE.....	148
Tableau 89.Composition des deux types de coûts.....	150
Tableau 90. Assurances suivant les catégories de véhicules.....	150
Tableau 91.Taxes professionnels.	150
Tableau 92.Rémunération des personnels de conduite.....	150
Tableau 93.Coûts des réparations.....	150
Tableau 94.Hypothèses des coûts proportionnels pour une route dégradée.....	151
Tableau 95.Hypothèses des coûts proportionnels pour une aménagée.	151
Tableau 96.Calcul des coûts pour une route dégradée.	152
Tableau 97.Calcul des coûts pour une route bitumée.	152
Tableau 98 . Valeur des avantages selon la catégorie de véhicule.	153
Tableau 99.Estimation du trafic à partir de l'année de mise en service.	153
Tableau 100.Coûts d'Entretien Courant et d'Entretien Périodique.	154
Tableau 101.Récapitulation des recettes.	155
Tableau 102.Calcul des flux nets de trésorerie.	156
Tableau 103.Calcul des flux nets actualisés.....	157
Tableau 104.Cumul des flux actualisés.....	158
Tableau 105.Cumul des flux (Suite).....	159
Tableau 106.Composantes concernées selon la nature des travaux.	161
Tableau 107.Impacts négatifs sur le milieu biophysique.....	163
Tableau 108.Impacts négatifs sur le milieu socioéconomique.....	164
Tableau 109.Impacts positifs sur le milieu biophysique.	165

Tableau 110.Impacts positifs sur le milieu socioéconomique.	166
Tableau 111.Mesures d'atténuations des impacts négatifs sur le milieu récepteur biophysique.	167
Tableau 112.Mesures d'atténuation pour les impacts négatifs sur le milieu socioéconomique.	168
Tableau 113.Mesures d'accompagnement des impacts positifs.....	169

LISTE DES FIGURES

Figure 1.Délimitation de la région Anosy.	7
Figure 2. Densité de la population suivant la RNS 13. (Source ARM)	10
Figure 3 .Ornières longitudinales au PK 371+325.	23
Figure 4.Ravinement au PK 379+527.	23
Figure 5.Nid de poule route en terre au PK 374+156.	24
Figure 6.Fissure longitudinale au PK 385+200.	25
Figure 7.Faiénçage entraînant un nid de poule au PK 386+750.....	26
Figure 8.Nid de poule route revêtue au PK 389+030.....	26
Figure 9.Epaufrure de rive au PK 387+325.	27
Figure 10.Ensablement au PK 389+230.....	27
Figure 11.Arrachement généralisé de la couche de revêtement au PK 388+105.....	28
Figure 12. Pont métallique dégradé au PK 387+025	29
Figure 13.Dégradation du tablier de pont.	29
Figure 14.Fossé de pied obstrué au PK 388+550.....	30
Figure 15.Fossé de crête envahi par la végétation.....	30
Figure 16.Buse avec des aciers apparents au PK 374+546.	31
Figure 17. Modélisation de la structure de la chaussée pour un CBR=13.....	47
Figure 18.Modélisation de la structure de la chaussée pour un CBR=18.....	47
Figure 19.Icône et barre de menu principal d'ALIZE-LCPC.....	57
Figure 20.Menu Configurer Alizé de la barre de menu principal.....	57
Figure 21.Menu Configurer Alizé, Choix de la langue.....	58
Figure 22.Configuration d'Alizé, Charge de référence.....	58
Figure 23. Menu configurer Alizé, Réglages des options personnelles Type d'interface, Mode d'impression des variantes et Mode d'impression des valeurs admissibles.	59
Figure 24.Calcul des valeurs admissibles.	60
Figure 25.Commande pour la création d'une nouvelle structure.....	61
Figure 26.Définition de la structure.	62
Figure 27.Résultats de calcul.	62
Figure 28. Résultats de dimensionnement de la zone 1 et zone 3.....	64
Figure 29.Structure du renforcement avec scarification.	66
Figure 30.Répartition des zones climatiques selon Fleuves et rivières de Madagascar.....	67
Figure 31 .Présentation des tronçons du fossé.	82
Figure 32.Coupe transversale du fossé.....	83
Figure 33.Coupe transversale du fossé triangulaire.....	87
Figure 34.Section transversale du fossé rectangulaire.....	89
Figure 35.Coupe transversale du dalot.....	97

Figure 36. Modélisation du dalot 1x[1,50x1,50].	103
Figure 37. Modélisation de structure du dalot 3x [3,00x3,00].	104
Figure 38. Présentation des différents angles dans le calcul des forces de poussée.	105
Figure 39. Présentation du système B_c selon le fascicule 61 titre II.....	107
Figure 40. Présentation du système B_t selon le fascicule 61 titre II.....	108
Figure 41. Charges appliquées au dalot 1x [1,50x1,50].	110
Figure 42. Charges appliquées au dalot 3x[3,00x3,00].	110
Figure 43. Diagrammes des moments fléchissant à l'ELS et à l'ELU en Tm.	115
Figure 44. Diagrammes des moments fléchissant à l'ELS du dalot 3x[3,00x3,00] en Tm.	118
Figure 45. Diagrammes des moments fléchissants à l'ELU du dalot 3x[3,00x3,00] en Tm.	118



INTRODUCTION GENERALE

L'existence des infrastructures routières reflète la croissance économique d'un pays. Actuellement, les routes nationales mesurent en totalité 29.609 km dont 5.833km bitumées et 23.776 km non revêtues. La construction et l'entretien des routes et des ouvrages d'art constituent une des charges les plus importantes de l'Etat, mobilisant des investissements énormes.

Cependant, la route reste la voie de communication la plus utilisée à Madagascar du fait de sa grande accessibilité au public. Elle joue des rôles politiques et sociaux mais principalement elle tient une grande place dans l'économie nationale. Les zones enclavées sont enclines à la pauvreté en raison du manque des échanges permettant leur développement entre autre, les potentialités économiques existantes ne sont également pas exploitées. La région Anosy et Androy font partie de ces zones et la seule route nationale qui permet de les relier aux autres régions de l'île est la RNS 13.

La RNS 13 est à présent dans un mauvais état et le détour vers la RN12a est obligatoire pendant la période de pluie pour aller à Fort Dauphin. Ainsi, la réalisation du présent projet de mémoire : « ETUDE DE LA RNS13 DANS LA REGION ANOSY (section AMBOVOMBE-FORT DAUPHIN : AMENAGEMENT du PK 370+200 au PK 384+700 et REHABILITATION du PK 384+ 700 au PK 392+200 » participera à l'essor de l'économie de ces régions enclavées.

Cette étude comportera trois parties distinctes. Tout d'abord le contexte général du projet sera développé dans la première partie, ensuite l'étude technique ainsi que les détails de calcul y afférents formeront la deuxième et finalement la dernière partie sera consacrée à l'étude financière et à l'évaluation des impacts environnementaux.



PARTIE I CONTEXTE GENERAL DU PROJET



CHAPITRE I PRESENTATION DU PROJET

1.1 Localisation et Délimitation du projet

La RNS 13 est une des principales routes qui permet de desservir le Sud de Madagascar après la RN 7. Elle s'étend sur 492 km et relie Ihosy à Fort Dauphin. Toutefois pendant la période de pluie, elle n'est pas accessible en raison de son très mauvais état. Par conséquent, pour remédier à cette situation il est primordial de la remettre en état. La RNS 13 est divisée en plusieurs lots lors des travaux de reconstruction :

- lot n°1 : Ihosy - Betroka (115 km) ;
- lot n°2 : Betroka - Isoanala (79 km) ;
- lot n°3 : Isoanala - Antanimora (126 km) ;
- lot n°4 : Antanimora - Ambovombe (60 km) ;
- lot n°5 : Ambovombe - Fort Dauphin (112 km).

Cependant, le tronçon Ambovombe – Fort Dauphin nécessite un aménagement sur la partie route en terre traversant la ville d'Ambovombe et une ~~rehabilitation~~ sur une autre partie bitumée menant vers la ville de Taolagnaro. En effet, ce tronçon traverse les Districts d'Amboasary, Taolagnaro dans la région d'Anosy et le District d'Ambovombe dans la région Androy.

Autrement dit, la route permet de relier les deux régions Androy et Anosy à la capitale. D'où la nécessité du présent projet : « **ETUDE DE LA RNS13 DANS LA REGION ANOSY (section AMBOVOMBE-FORT DAUPHIN): AMENAGEMENT du PK 370+200 au PK 384+700 et REHABILITATION du PK 384+ 700 au PK 392+200** ».

1.1.1 Plan de situation du projet



1.2 Objectifs du projet

Le présent projet consiste à la réhabilitation et à l'élargissement de la RNS 13 du dernier tronçon reliant Ambovombe et Fort Dauphin. L'objectif principal étant de rétablir la circulation des biens et personnes en toutes saisons tout en assurant la sécurité et le confort des usagers de la route. Cette réhabilitation participe également au désenclavement du grand sud de Madagascar en facilitant l'accès aux services et infrastructures socio-économiques de base.

Dans ce cadre même, un accord de partenariat entre les pays ACP et l'Union Européenne signé à COTONOU, désigné sous le nom de 9ème FED affiche comme priorité de la coopération communautaire la lutte contre la pauvreté avec comme secteur de concentration n°1 celui des infrastructures de transport et plus précisément routières. L'accord prévoit également une zone de concentration géographique où la pauvreté est plus accentuée qu'ailleurs, en l'occurrence les deux ex-provinces du Sud du pays, Toliara et Fianarantsoa.



Ce projet étant financé par l'UE, une étude de préfaisabilité a été menée portant sur les Routes nationales du Sud de Madagascar et a jugé la rentabilité socio-économique de l'aménagement de la RN 13.

1.3 Durée de vie du projet

La durée de vie du projet de 15 ans est stipulée dans le terme de référence. La période d'évaluation économique est 2009-2023 et les prévisions de trafic ont été donc élaborées à l'horizon 2023.

CHAPITRE II MONOGRAPHIE DE LA ZONE D'INFLUENCE

Un projet routier nécessite un important investissement, de ce fait, il est primordial de bien étudier les différents facteurs permettant d'analyser les ressources sur la zone d'influence du projet.

La zone d'influence du projet se définit comme la zone où les améliorations proposées de la RNS13 sont supposées avoir un effet sur les activités économiques et sociales des populations concernées, telles que l'agriculture, le tourisme, le revenu des ménages etc.

On distingue différentes zones d'influence suivant le niveau d'impact :

- Les zones d'influence directes qui sont les régions à proximité de la route et profitant directement de l'existence de la route ;
- Les zones d'influence indirectes qui indirectement, bénéficient des échanges et de l'utilisation de l'infrastructure et au sens large présentent des effets au niveau national.

2.1 Présentation de la zone d'influence

Les zones d'influence de la RN 13 sont présentées par les districts traversés par la route comme l'indique le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Répartition des zones d'influence.

Section du projet	Districts traversés	Région
Ihosa - Betroka	Ihosa, Betroka	Ihorombe
Betroka - Isoanala	Betroka	Ihorombe
Isoanala - Antanimora	Betroka, Bekily, Ambovombe	Ihorombe, Anosy
Antanimora - Ambovombe	Ambovombe	Anosy
Ambovombe - Fort Dauphin	Ambovombe, Amboasary, Taolagnaro	Anosy

Ainsi, une étude détaillée des Districts d'Ambovombe, d'Amboasary et de Taolagnaro dans la région d'Anosy permettra de savoir l'envergure et l'importance de la réalisation de ce projet.

2.1.1 Situation administrative des zones d'influence

2.1.1.1 *Région Anosy*

La région Anosy est anciennement incluse dans la province de Tuléar, elle était plus ou moins marginalisée durant ce temps, compte tenu de son éloignement de la capitale provinciale. Mais depuis 2004, la création des 22 régions de Madagascar, la région Anosy a été instaurée. Sur le plan géographique, la région Anosy est située à l'extrême Sud Est du pays et est constituée de trois districts Amboasary Atsimo, Betroka et Tolagnaro. Ils ont pour limitrophes les régions Atsimo atsinanana, Ihorombe et Androy. La localisation géographique de la région se présente comme suit :

- ✓ Les latitudes entre 22,67° sud et 25,20° sud ;
- ✓ Les longitudes entre 45,18° et 47,40°.

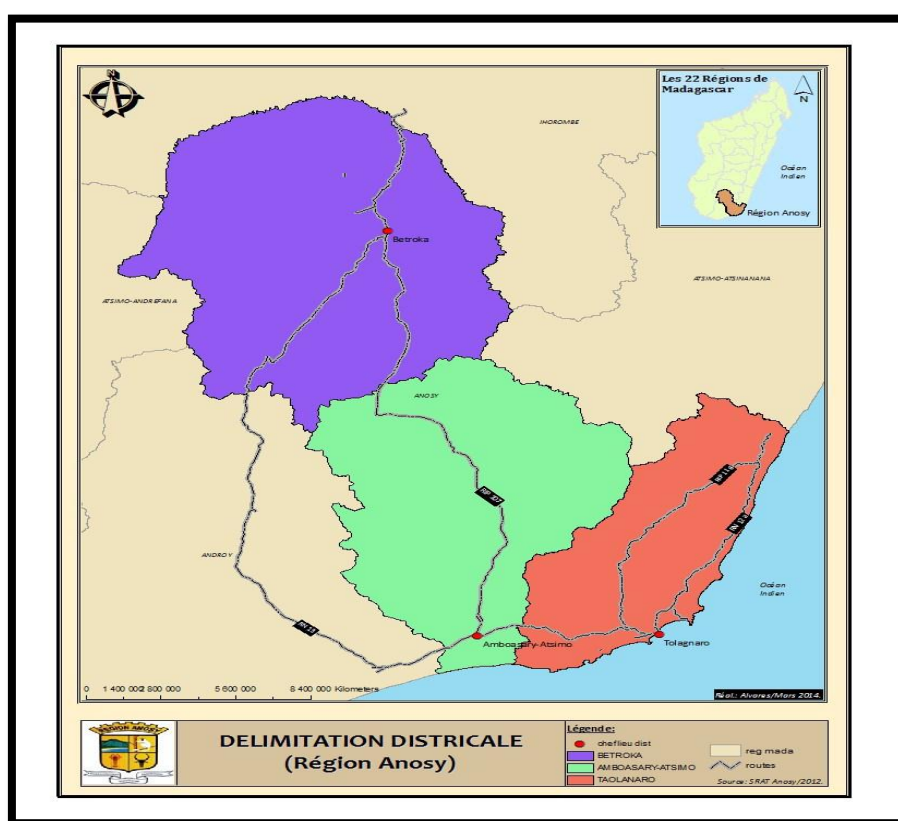


Figure 1. Délimitation de la région Anosy.



2.1.1.2 Région Androy

La région Androy est géographiquement localisée dans l'Extrême Sud de Madagascar, la région Androy s'étend sur 19 540 km². La Région compte quatre Districts : Ambovombe,- Androy, Bekily, Beloha-Androy et Tsihombe, 51 communes et 881 fokontany.

Tableau 2. Présentation des Districts de la région Androy.

Districts	Nombre de communes	Superficie km ²
Ambovombe Androy	19	6 617
Bekily	19	5 575
Beloha Androy	6	4 667
Tsihombe	7	2 499

(Source: INSTAT)

Le District d'Ambovombe est la plus grande en superficie ainsi les activités économiques de la région se concentrent dans ce District.

2.2 Milieu naturel

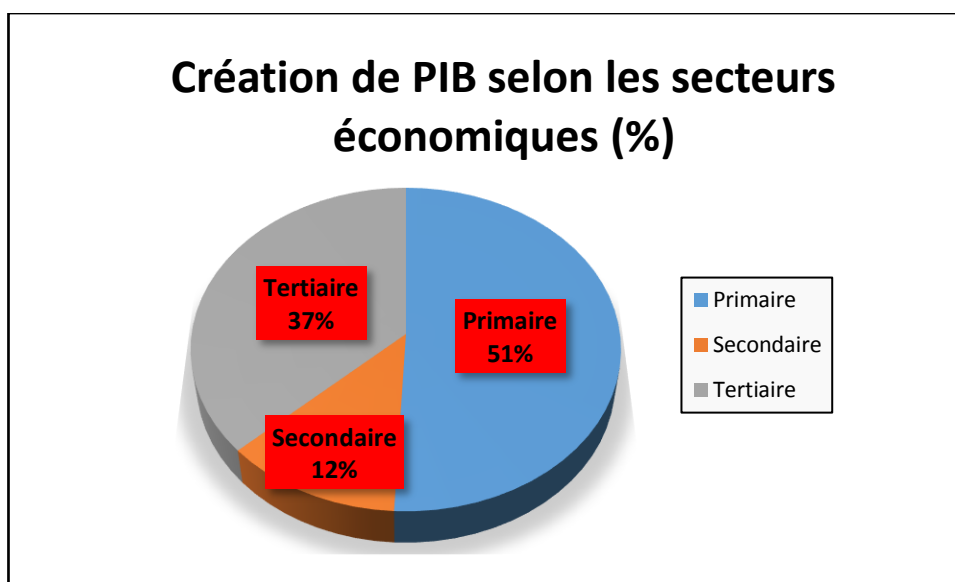
La zone d'influence présente une diversité géographique et climatique. Une dissymétrie topographique entre l'Ouest et l'Est caractérise la région Anosy. A l'Ouest, on a une zone montagneuse avec un climat tropical sec tandis qu'à l'Est on observe une étroite plaine littorale avec un climat humide. Par conséquent, la partie Est connaît une abondance des ressources hydrographiques, par contre l'Ouest est soumis à une insuffisance des ressources en eau. Toutefois, le climat est caractérisé essentiellement par une saison sèche et aride. La végétation de la région est formée par des savanes herbeuses plus ou moins arbustives ou boisées, par la végétation des zones arides de cactus et puis par les forêts de montagne.

Par contre, la région Androy a un climat semi-aride avec une précipitation moyenne de 400 mm mal répartie dans l'année. On observe une diminution significative de l'intensité des précipitations de la zone Nord vers l'extrême Sud de la zone littorale. La sécheresse présente une variation périodique tous les huit à dix ans. L'irrégularité pluviométrique, combinée avec les variations et l'importance des amplitudes thermiques, favorise souvent la dégradation du sol. La Région est soumise à une présence quasi permanente de vent fort et desséchant du Sud « Tiokatimo ».

2.3 Etude socioéconomique

Comparativement à la situation nationale, la pauvreté est plus accentuée dans les régions du Sud de Madagascar. Le phénomène de pauvreté est plus frappant en milieu rural par rapport au milieu urbain. Par ailleurs, le PIB de la région Anosy contribue pour 2,4% au PIB national tandis que l'économie du District d'Ambovombe est handicapée par ses conditions naturelles.

La pauvreté ne cesse de s'accroître cette partie du Sud, cette situation est principalement la preuve de l'enclavement et de l'insuffisance des infrastructures permettant son développement. Il s'ensuit que la structure de l'économie reste prédominée par le secteur primaire.



2.3.1 Etude Sociale

La population de la région est relativement jeune et à majorité rurale (environ 80% selon l'INSTAT). Les habitants sont souvent contraints à migrer, à courte ou à longue échéance, pour pouvoir survivre à cause des conditions naturelles à l'intérieur de la région avec une aridité constante. Par contre, sur l'étroite bande côtière où les conditions de vie sont relativement moins ardues, la densité est plus élevée et la population pratique la pêche et l'artisanat en même temps qu'elle bénéficie d'infrastructures sociales et de services.

2.3.1.1 Effectif total et répartition de la population

Les tendances démographiques actuelles confirment le dédoublement de population d'ici 2020 avec un taux d'accroissement moyen 2,9% par année pour les Districts de la région d'Anosy et un taux de 2,7% pour le District d'Ambovombe. (*Source :INSTAT*)

Tableau 3.Effectif de la population.

Région	2011	2012	2013	2014
Anosy	636 554	674 009	693 556	713 669
Androy	643 479	660 853	678 696	697 021

(*Source : INSTAT, monographie région Anosy et Androy*)

La densité de la population est variable le long de la RNS13 en raison des différentes conditions climatiques, géographiques et économiques.

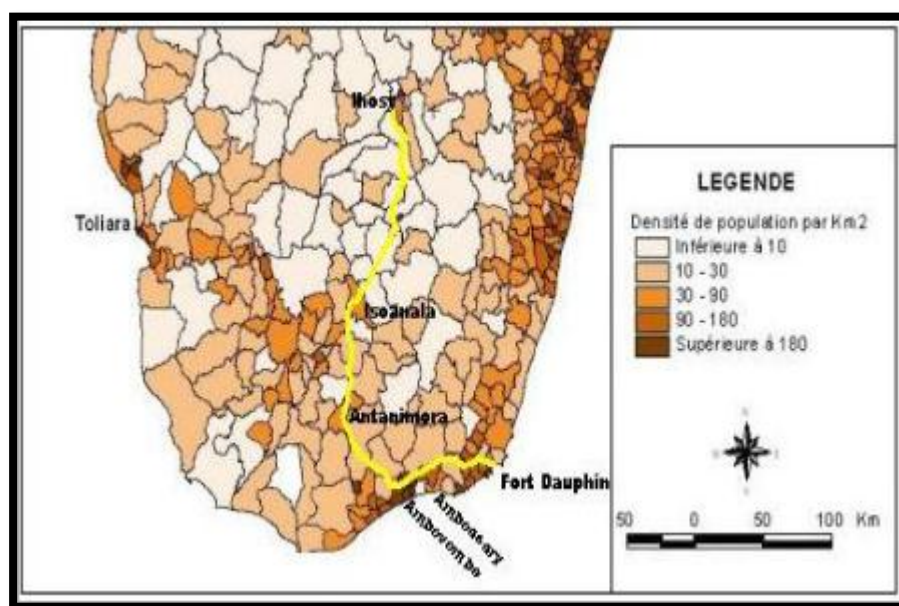


Figure 2. Densité de la population suivant la RNS 13. (Source ARM)

La population se trouve concentrée dans le district de Taolagnaro, ce dernier se situant plus près de la côte Est du pays et ayant un accès vers la RN 12a.

Tableau 4. Répartition de la population suivant les Districts.

District	Densité (habitant/km ²)
Taolagnaro	43,51
Amboasary	19,45
Ambovombe	40

(Source : INSTAT)

2.3.1.2 Projection démographique.

La population augmente en l'absence d'aucune mesure de planification familiale adéquate. En outre, cette évolution peut aussi s'expliquer par :

- ✓ Augmentation des femmes en âge de procréer ;
- ✓ Existence des infrastructures sanitaires permettant de réduire la mortalité infantile.

Ainsi, au moment de la mise en service de la route et des prévisions des trafics c'est-à-dire vers 2023 la population aura doublée.

La projection se calculera à partir de la relation suivante :

$$P_t = P_i \times (1 + r)^t$$

Avec :

- P_t : Population à l'année t ;
- P_i : Population à l'année de référence i ;
- r : Taux de croissance.

Après calcul, les résultats suivants sont obtenus.

Tableau 5. Projection de l'effectif de la population.

Région	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Anosy	755 662	777 576	800 126	823 329	847 206	871 775	897 056	923 071
Androy	735 168	755 018	775 403	796 339	817 840	839 922	862 600	885 890



2.3.1.3 Santé

L'absence des infrastructures sanitaires ou de personnels qualifiés constitue un handicap pour les ménages pauvres. Les habitants sont contraints de rejoindre des CSB dans les villes en cas de problèmes sanitaires. Le problème d'éloignement se pose également en ce qui concerne l'évacuation sanitaire. Par ailleurs, les gens sont confrontés au problème d'eau potable, ils puisent de l'eau des rivières avec des risques de maladies dont les plus fréquentes sont la diarrhée et la bilharziose. Pour les accouchements, le nombre de sage-femme ne peut pas couvrir la totalité des femmes enceintes, des matrones prennent la relève, ce qui expose les femmes à un danger en cas de complication. En conséquence, le taux de mortalité infantile reste encore élevé.

Seule la ville de Taolagnaro possède un grand hôpital et des centres hospitaliers privés. Le ratio de personnel médical par habitant est faible : 1 médecin pour 7250 habitants, 1 sage-femme pour 15 500 habitants et 1 infirmier pour 7500 habitants dans la région Anosy.

Tableau 6. Infrastructures sanitaires publics.

Districts	Etablissements publics			
	CSB1	CSB2	CHD1	CHD2
Amboasary Sud	7	10	1	0
Taolagnaro	16	9	0	1
Ambovombe	12	9	0	1

(Source : Monographie des régions, 2010)

Notes : CSB 1: Centre de Santé de Base dirigé par un infirmier ou aide-sanitaire; CSB 2 : Centre de santé de Base dirigé par un médecin; CHD 1: Centre Hospitalier de District sans antenne chirurgicale; CHD 2: Centre Hospitalier de District II avec antenne chirurgicale.

2.3.1.4 Education

L'accès à l'éducation reste encore difficile notamment dans le District d'Ambovombe. Le taux net de scolarisation sur toutes les catégories est encore faible (53,7% primaire). L'adaptation du système éducatif par rapport aux besoins habituels (l'élevage, agriculture, pêche) que ceux nouveaux (tourisme, industrie) reste un grand défi. En outre, la qualité de l'enseignement est moindre en raison de la dégradation des infrastructures scolaires ainsi que l'insuffisance des capacités d'accueil des établissements scolaires et des ressources humaines qualifiées.

S'ajoutant à tout cela la cherté des frais de scolarisation et des problèmes d'insécurité entraînent les parents à ne pas envoyer leurs enfants à l'école malgré le fait que la population est consciente de l'importance de l'éducation et l'enseignement.

Tableau 7. Infrastructures scolaires publiques en 2014.

Districts	Etablissements publics		
	EPP	CEG	Lycée
Amboasary Sud	254	15	2
Taolagnaro	221	27	5
Ambovombe	391	19	3

(Source: INSTAT/ANNUAIRE MEN 2014).

Tableau 8. Infrastructures scolaires publiques en 2014.

Districts	Etablissements privés		
	EPP	CEG	Lycée
Amboasary Sud	13	5	2
Taolagnaro	36	10	3
Ambovombe	51	7	3

(Source: INSTAT/ANNUAIRE MEN 2014).

2.3.1.5 Insécurité

La plupart des régions du Sud sont classées zones rouges en raison du problème d'insécurité. Les attaques des dahalo sont principalement liées aux vols de bœufs. Le manque d'éducation de la population s'avère la grande cause de la recrudescence de la violence des attaques et de la croissance de l'effectif des malfaiteurs. En outre, les mœurs et les coutumes locales favorisent le vol de bétails. Le voyage sur la RNS13 reste dangereux jusqu'à sa reconstruction car le mauvais état de la route actuel favorise l'agression des bandits. L'effectif des gendarmes étant limité, les forces militaires sont aussi mobilisées pour remédier à l'insécurité des régions rurales. La population locale vit dans une constante peur.

Le tableau ci-dessous illustre l'insuffisance des forces pouvant assurer la sécurité dans les milieux ruraux. La police s'occupant seulement de la ville, une Brigade Préfectorale de Sécurité Publique (BPSP) est créée à Taolagnaro.

Tableau 9.Effectif des forces dans la zone d'influence du projet.

District	Gendarmes	Militaires
Ambovombe	89	57
Taolagnaro	234	132
Amboasary Sud	20	52

(Source: Gendarmerie Nationale)

2.3.2 Etude économique

La principale activité de la population est l'agriculture mais la pêche, le tourisme et l'élevage ont aussi leur place importante dans le développement économique de la région.

2.3.2.1 Agriculture

77% des ménages pratiquent l'agriculture, principalement les cultures vivrières composées essentiellement de riz, maïs et manioc, les cultures industrielles représentées par l'arachide et la canne à sucre et les cultures de rente particulièrement le café et le sisal.

Tableau 10.Production rizicole annuelle.

Districts	2008		2009		2010	
	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]
Ambovombe	1 880	190	2 185	190	2 230	192
Taolagnaro	21 480	13 000	24 920	13 115	26 700	13234
Amboasary Sud	15 660	8 030	18 165	8 100	19 685	8173

(Source : INSTAT/ ANNUAIRE MINAGRI 2009-2010).

Tableau 11.Production annuelle de maïs.

Districts	2008		2009		2010	
	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]
Ambovombe	15 020	7 270	11 165	7 336	8 932	7 403
Taolagnaro	690	590	818	594	818	598
Amboasary Sud	4 050	3 950	4 058	3 985	3 246	4 021

(Source : INSTAT/ ANNUAIRE MINAGRI 2009-2010).

Tableau 12. Production annuelle de manioc.

Districts	2008		2009		2010	
	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]
Ambovombe	327 145	14 570	330 090	14 700	313 585	14 832
Taolagnaro	54 060	6 960	54 545	7 019	54 545	7 082
Amboasary Sud	49 210	4 550	49 655	4 586	49 655	4 627

(Source: INSTAT/ANNUAIRE MINAGRI 2009-2010).

Tableau 13. Production annuelle d'arachide.

Districts	2008		2009		2010	
	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]	Production [T]	Superficie [Ha]
Ambovombe	1 710	2 020	1 715	2 026	1 720	2 032
Taolagnaro	75	110	75	110	75	110
Amboasary Sud	200	490	200	490	200	490

(Source: INSTAT/ANNUAIRE MINAGRI 2009-2010).

Ces tableaux montrent la stagnation des rendements agricoles dans les différents districts traversés par la RNS13, la difficulté de l'écoulement des produits est la raison principale de cette stagnation. Par ailleurs, la population ne peut pas bénéficier des formations concernant les techniques de production agricole efficaces.

2.3.2.2 Elevage

Dans cette partie sud du pays, notamment autour de Beloha, Tsihombe et Ambovombe, l'élevage traditionnel est très développé. Les élevages pratiqués sont : élevages bovins, élevage porcin, élevage avicole. L'élevage bovin est le plus prépondérant de tous les élevages au sein de la communauté. La possession de zébus est obligatoire car à chaque événement, il est toujours question d'amener des zébus, que ce soit au cours d'un événement funèbre ou au cours d'une alliance traditionnelle. Par conséquent, le nombre de tête de zébus que possède un père de famille détermine sa richesse et son rang social. Toutefois, le cheptel bovin est en baisse depuis quelques années en raison des vols de bétails selon les chiffres illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14. Effectif des cheptels.

Effectif du cheptel	2 008	2 009	2 010
Bovins	607 200	607 790	603800
Porcins	33 160	31 900	32 400
Ovins	64 490	65 920	67 220
Caprins	96 110	98 350	100480

(Source : ARM).

En outre, le nombre d'éleveurs a connu une augmentation allant de 17 300 en 2001 à 17 850 en 2010. Malheureusement, les éleveurs ne peuvent pas commercialiser leurs bétails à cause de l'enclavement de la région. Les éleveurs connaissent également un manque d'approvisionnement en tubercules et des céréales dont les prix sont souvent inabordables.

2.3.2.3 Pêche

Les activités de pêche s'étalent sur 194 km des côtes de la région Anosy et ne sont pas suffisamment développées. Elles se limitent principalement à l'exportation de langoustes et de crevettes (les concombres de mer et ailerons de requins sont exportés en faible quantité encore). La production totale est estimée à 133.000 tonnes par an. La quasi-totalité des produits sont commercialisés et intègrent le marché dès l'arrivée des embarcations. La collecte se fait dans les villages et les produits sont acheminés en général vers Taolagnaro.

Tableau 15. Production annuelle de la pêche.

Type de pêche	Production annuelle en tonne
industrielle	24 800
artisanale	600
traditionnelle	70 000
aquaculture marine	5 400
continentale	30 000
pisciculture en étang	850
rizipisciculture	1 580

(Source : ARM)

La pêche s'agit toutefois une des ressources de devise non négligeable de Madagascar et constitue une des principales sources de revenus pour plus de tiers de la population locale en particulier dans le district de Taolagnaro.

2.3.2.4 Industrie

Les activités industrielles sont peu développées. Outre l'exploitation minière, ce sont des petites usines de décortiquage de riz ou de ficellerie qui existe dans les Districts traversés par la RNS13. Le problème majeur est le manque d'investisseurs en raison du mauvais état de la route. En conséquence, l'écoulement des produits deviennent difficile et l'augmentation des prix entraine des pertes notamment lors de la saison de pluie. Seule la population locale bénéficie de ses productions industrielles.

Tableau 16. Production industrielle annuelle.

Activités	Production annuelle[T]	Commune ou district
Décortiquage de riz	15 000	Beraketa
	13 000	Bekily
	3 600	Amboasary
Cordage et ficellerie	2 000	Taolagnaro

(Source : ARM)

2.3.2.5 Ressources minières

En matière de richesse de sous-sol, la région dispose de potentialités énormes du saphir au rubis, en passant par les pierres industrielles et surtout deux minerais en grande quantité : la bauxite et l'ilménite. Les réserves de bauxite sont estimées à 180 millions de tonnes. Il s'agit de bauxite pauvre en fer recherchée par l'industrie. Il y a aussi des gisements de mica se trouvant à Beraketa qui sont exploités et exportés vers le Japon et le Brésil.

Dans les sables noirs des plages de la région de Fort Dauphin, on a de l'ilménite (oxyde de fer et de titane), de la monazite (phosphate de terres rares) et du zircon. L'ilménite dans cette région a une forte teneur en titane atteignant 56 %. Les réserves sont estimées globalement à 6 millions de tonnes de minerais lourd.



Il existe aussi de l'uranothorianite, oxyde de thorium et d'uranium contenant de 5 à 25% d'uranium à l'intérieur de la grande boucle du Mandrare, du quartz piézoélectrique près de Tsivory.

2.3.2.6 *Commerce*

Les principaux produits commercialisés dans cette région sont les produits de l'agriculture particulièrement le maïs, le riz, le manioc, les volailles et les bovidés. Le marché intérieur est restreint vu la situation de pauvreté de la population. Cependant, l'exportation prédomine l'activité commerciale. Ces principaux produits sont : les produits miniers (70% de l'exportation), produits du sisal et les produits de pêche (langoustes, crevettes).

L'exportation et l'importation représentent respectivement 8% et 2% du volume national. La valeur ajoutée créée par cette branche d'activité est estimée par l'INSTAT à 23,5% du PIB aux coûts des facteurs en 2010.

2.3.2.7 *Tourisme*

La région Anosy plus précisément Fort Dauphin et ses environs, constitue l'une des destinations touristiques phares de Madagascar offrant une grande diversité de produits allant du tourisme balnéaire à l'écotourisme. Cependant, les opérateurs économiques dans le secteur sont peu nombreux : environ 65 membres au niveau de l'Office Régional du Tourisme de Fort Dauphin (ORTFD). L'évolution du nombre de touristes enregistrés dans la région suit la tendance à l'échelle nationale. En outre, il y a aussi plusieurs Réserves et Parcs à savoir celle de Berenty, d'Amboasary, de Nahampoana, le Parc National d'Andohahela qui sont des destinations très appréciées des touristes. On note également l'existence de zones à haute potentialité touristique comme la Baie de Lokaro, Baie de sainte-Luce, Baie d'Italo, eaux thermales de Ranomafana, Cascade de Manantantely.

Tableau 17. Evolution du nombre de touristes.

Année	2006	2008	2009	2011
Nombre de touriste régional	19 202	27 294	19 611	24 148
Nombre de touristes national	311 730	375 010	196 052	225 055
Pourcentage	6,16	7,28	10	10,73

(Source : Ministère du Tourisme, des Transports et de la Météorologie/ PAF/ ADEMA/ APMF, SRAT Anosy 2012)

Au-delà de Taolagnaro, plus à l'intérieur des terres ou le long de toute la côte Sud, la région offre beaucoup d'attraits mais l'enclavement et le manque d'infrastructures s'avèrent de gros handicaps. L'écotourisme pourrait constituer la formule valable pour exploiter ce potentiel, moyennant un minimum d'aménagement et d'organisation de la part des professionnels désireux de s'y investir.

2.3.2.8 Transport

Les modes de transport concernent surtout la ville de Taolagnaro parce que c'est la seule à avoir un aéroport et un port.

a) Transport par voie routière

Le mode de transport par voie routière demeure le plus utilisé puisqu'elle assure la majorité des déplacements des personnes et de leurs biens. Pourtant, le réseau routier y est peu étendu en raison du mauvais état des infrastructures.

La connexion avec les autres régions est encore limitée compte tenu du fait que les routes sont difficilement accessibles en saison de pluie notamment :

- La RN 13 reliant Tolagnaro et Ihosy en passant par Amboasary, Ambovombe et Betroka;
- La RN 12 A reliant Taolagnaro avec Vangaindrano en passant par Manantenina.



Les communes les plus enclavées sont entre autres Manevy, Emagnobo, Ampasimena et Ranobe.

b) Transport par voie aérienne

Etant une région enclavée, le mode de transport le plus efficient et efficace pour rejoindre la Région Anosy est le transport aérien. Toutefois, la cherté des frais d'avion constitue un blocage de l'accès à ce service pour la majorité de la population locale, de même pour les touristes. En ce qui concerne des infrastructures, la région possède un aéroport ouvert à la circulation aérienne publique ou ACP à Taolagnaro, 9 aéroports à usage privé et deux aéroports à usage restreint.

c) Transport maritime

Par rapport aux autres régions du pays, la région Anosy présente l'avantage d'avoir des côtes maritimes. Cependant, l'ouverture du port en eau profonde d'Ehoala, qui peut recevoir deux bateaux simultanément est très attendue par les acteurs économiques dans la ville de Fort Dauphin.



CHAPITRE III HISTORIQUE ET DIAGNOSTIC DE LA CHAUSSEE

L'étude de l'historique et le diagnostic d'une route permet de bien cerner les causes de dégradation et ainsi donner une solution adéquate et un dimensionnement optimal de la chaussée.

3.1 Historique

La RNS13 a une structure souple comme la plupart des routes de Madagascar. Le choix de la structure d'une chaussée est en général fonction de l'intensité du trafic mais le souci de l'économie intervient également.

Le tronçon Ambovombe - Fort Dauphin a été construit en deux étapes.

- Dans les années 60 : construction de la partie Fort Dauphin à Amboasary (PK416+700 marqué à l'entrée du grand pont métallique qui enjambe le fleuve Mandrare), la structure adoptée a été une couche de fondation en quartzite graveleux de 15 cm, une couche de base en grave concassée de 15 cm et d'un revêtement en enduit superficielle ;
- Ce n'est qu'en 1976, que la route s'est étendue d'Amboasary vers Ambovombe. Ce tronçon a été construit avec les mêmes couches de base et revêtement que la première partie mais la couche de fondation a été en sable.

Les routes à Madagascar ont été mises en service dans les années 60 comme c'est le cas de la RNS13. Bien que la plupart des routes de Madagascar aient eu une première réhabilitation dans les années 70, seule la partie en terre reliant Ihosy à Ambovombe a eu un nivellement et un rechargement partiel en 2005. Ainsi, la route est dans un état de vieillesse. En ce qui concerne le tracé de la route, la largeur est étroite entre 5 et 5,5 m.

3.2 Diagnostic de la chaussée

Les projets routiers nécessitent de grands investissements, il est donc impératif de bien étudier tous les paramètres qu'ils soient économiques ou techniques. Le diagnostic de la chaussée consiste à examiner visuellement l'état de la route pour en déduire les causes de la dégradation et proposer des solutions.



Du PK 370+200 au PK 384+700, la route est non revêtue tandis que du PK 384+700 à la fin du projet, la route est bitumée mais cependant ces deux types de structures présentent tous un état de dégradation très avancé.

3.2.1.1 *Relevé de dégradation de la chaussée*

Les dégradations peuvent être définies par des désordres visibles à la surface de la chaussée ou un processus d'usure par lequel la capacité fonctionnelle et structurale d'une chaussée diminue.

a) Partie non revêtue

Les principales dégradations des routes en terres observées sont les ornières, des nids de poule et des ravinements.

1 - Les ornières longitudinales

Les ornières sont des affaissements localisés apparaissant sous le passage des véhicules, et pouvant affecter entièrement la couche de roulement.

Cause : Les ornières sont dues à un sous dimensionnement de la chaussée ou une insuffisance de compactage. Elles peuvent être également causées par une humidité des couches inférieures de la chaussée ou par une absence de drainage. Bref, l'infiltration de l'eau dans les couches de chaussée entraînant une chute de la portance est la principale cause des ornières en général.

Solution : Un reprofilage suivi d'un apport de matériaux est nécessaire pour remédier aux orniérages.



Figure 3 .Ornières longitudinales au PK 371+325.

2 - Les ravinements

Les ravinements sont des saignées ou des ravines longitudinales ou transversales de différentes dimensions.

Cause : Les ravinements sont dus à l'érosion de la surface de roulement par les eaux de ruissellement.

Solution : Les ravinements peuvent être solutionnés par une réfection localisée suivi d'un reprofilage. Un assainissement des eaux pluviales est aussi nécessaire.



Figure 4.Ravinement au PK 379+527.

3 - Les nids de poule

Les nids de poule sont des cavités de forme arrondie à bords plus ou moins francs sur la couche de roulement. Ce sont des arrachements de matériaux de la couche de roulement.

Cause : les nids de poule pour le cas des routes non revêtues sont causés par une fondation de qualité insuffisante ou une irrégularité et mauvais compactage du matériau de surface.



Figure 5. Nid de poule route en terre au PK 374+156.

La récapitulation des dégradations de la route en terre est mentionnée dans le tableau ci-après.

Tableau 18. Récapitulation des dégradations de la route en terre.

Dégradations	Localisations	Causes	Evolutions	Solutions
ornières longitudinales	PK 371+325 PK 383+020 PK 384+450	compactage insuffisant, infiltration d'eau dans les couches inférieures de la route	ravinement, nid de poule	reprofilage, apport de matériaux
ravinements	PK 379+527 PK 384+630	érosion de la surface de roulement	tranchées infranchissables par les véhicules	réfection localisée, reprofilage
Nids de poule	PK 374+156 PK 382+720	fondation de mauvaise qualité, infiltration d'eau, mauvais compactage	approfondissement des trous, fragilisation du corps de chaussée	point à temps

b) Partie bitumée

L'examen visuel de la chaussée a permis de constater d'emblée le vieillissement de la chaussée. Plusieurs types de dégradation ont été relevés à savoir : les fissures, les déformations et les arrachements.

1 - Fissures longitudinales et transversales

Ces fissures sont causées par :

- ✓ La fatigue de la chaussée due à une structure ne pouvant plus accueillir le trafic ;
- ✓ Portance insuffisante de la chaussée ;

Les fissures transversales et longitudinales peuvent évoluer en faïençage en l'absence d'entretien et le stade final des faïençages est l'apparition des nids de poule.

Les solutions de ces dégradations dépendent de leur importance. Si les fissures ne sont pas profondes, un colmatage est suffisant dans le cas contraire une réfection localisée du corps de chaussée est nécessaire.



Figure 6.Fissure longitudinale au PK 385+200.



Figure 7. Faïençage entraînant un nid de poule au PK 386+750.

2 - Nid de poule

Les nids de poule sont des arrachements de matériaux de la couche de revêtement. Ils se présentent comme des trous apparaissant sur la surface de la route. Ils sont causés par un mauvais compactage ou par des infiltrations d'eau à travers les fissures. Pour solutionner les nids de poule, une réparation localisée ou un point à temps est nécessaire.



Figure 8. Nid de poule route revêtue au PK 389+030.

3 - Epaufrement de rive

Les épaufréments de rive sont des dégradations apparaissant sur les bords de la chaussée. Ils sont dus en général à l'élargissement de la route ou au passage fréquent des véhicules sur les bords de la route en évitant les nids de poule sur l'axe de la route. Les épaufrures de rive sont aussi occasionnées par un mauvais compactage au niveau des accotements. Les solutions préconisées sont des réparations localisées.



Figure 9.Epaufrure de rive au PK 387+325.

4 - Ensablement

L'ensablement des routes est causé par les eaux de pluie. L'inexistence des pentes transversales et longitudinales entraîne le dépôt de sable sur la route. Un assainissement de la route permet d'évacuer les eaux pluviales et d'éviter sa stagnation à la surface de la route.



Figure 10.Ensablement au PK 389+230.

5 - Arrachement

Sur une grande partie de la route, la couche de revêtement a été totalement arrachée et sur d'autre tronçon la route apparaît comme à moitié revêtue. Ces arrachements généralisés sont l'évolution des nids de poule et des fissures sans entretien. Ces arrachements entraînent la dégradation totale du corps de chaussée nécessitant une reconstruction à long terme.



Figure 11. Arrachement généralisé de la couche de revêtement au PK 388+105.

Les dégradations de la section bitumée sont résumées dans le tableau qui suit.

Tableau 19. Récapitulation des dégradations de la chaussée revêtue.

Dégradations	Localisations	Causes	Evolutions	Solutions
Fissures longitudinales	PK 385+200 PK 386+130 PK 387+470	Défaut de mise en œuvre Fatigue de la chaussée	Faïençage	colmatage ou réfection localisée
Fissures transversales	PK 385+410 PK 386+350 PK 388+620	Portance insuffisante		
Faïençage	PK 386+750 PK 387+300 PK 390+070	Evolution des fissures longitudinales et transversales	nid de poule	
Nid de poule	PK 387+050 PK 389+030 PK 390+125 PK 391+320	infiltration d'eau à travers les fissures, mauvais compactage,	dégradation totale de la route	point à temps
Epaufrement de rive	Presque le long de la route	Passage fréquent des véhicules sur les bords, routes étroites, difficulté de compactage des rives	arrachements des matériaux	réfection localisée, apport de matériaux
Ensablement	PK 389+230	Problèmes de pentes		Assainissement de la route

3.2.1.2 Dégradation des ouvrages

Les principaux ouvrages sont les ouvrages d'assainissement tels que les fossés de pied et les fossés de crête, les buses ainsi que les dalots. Il existe un pont métallique de type Paindavoine qui est très dégradé le long du tracé.



Figure 12. Pont métallique dégradé au PK 387+025 .



Figure 13. Dégradation du tablier de pont.

Les fossés longitudinaux le long du tracé de la route sont obstrués en raison de l'absence des entretiens périodiques. Les fossés de crête sont dégradés et obstrués. Des travaux de désherbage sont nécessaires.



Figure 14. Fossé de pied obstrué au PK 388+550.

Les fossés de crête sont envahis par la végétation entraînant le débordement des eaux qui passent sur les côtés du fossé. En conséquence, le fonctionnement de l'ouvrage est perturbé. Le talus n'est plus protégé des eaux de ruissellement et la stabilité du talus est mise en jeu.



Figure 15. Fossé de crête envahi par la végétation.

Les armatures de la buse sont apparentes et il existe des fissures au niveau du mur en aile. La buse est à reconstruire totalement.



Figure 16. Buse avec des aciers apparents au PK 374+546.

3.2.1.3 Caractéristiques de la route

L'examen visuel de l'axe de la route a permis de déterminer les caractéristiques suivantes. Compte tenu de tous les types de dégradation, la chaussée est à réhabiliter complètement. Dans les termes de référence, la vitesse de référence est de 40km/h pour des conditions topographiques difficiles et de 60km/h dans les zones plus faciles en épousant au maximum le profil en long existant.

Tableau 20. Caractéristiques actuels de la chaussée.

Caractéristiques	Valeurs
Largeur moyenne	5,13m
Sinuosité	30°/km
Pentes montée et descentes	19,45m/km
Fissuration fine	17,98%
Fissuration large	3,46%
Fissuration de retrait	2,58%
Nid de poule	109,25%
Déflexion	de l'ordre de 120/100mm

(Source : ARM)



Conclusion partielle

La région Anosy dispose des potentialités économiques qui sont malheureusement sous exploitées en raison de l'enclavement de la région dû à la précarité des infrastructures routières existantes. Les principaux atouts de la région sont le tourisme et l'agriculture en passant par de grandes réserves de ressources minières et la pêche. En outre la région Androy présente une économie assez fragile en raison de l'insuffisance d'eau.

La route nationale existante se trouvant dans un état de dégradation avancée, toutes les activités économiques susceptibles d'apporter une amélioration de la condition de vie de la population locale restent restreintes. Le présent projet consistant à aménager la RNS13 permettra donc en partie la résolution de la pauvreté de la population locale de cette partie du sud de Madagascar.



PARTIE II ETUDE TECHNIQUE

CHAPITRE IV ETUDE DU TRACE

Le dimensionnement du tracé vise à assurer le confort et la sécurité des usagers de la route. Dans le cadre de ce projet, afin de rehausser le niveau de service de la route, la vitesse de base est prise égale à 60km/h. Tous les tracés suivent les normes définies par « l'AMENAGEMENT DES ROUTES PRINCIPALES (ARP), SETRA, Aout 1994) ».

4.1 Tracé en plan

Le tracé en plan est la projection de l'axe de la route et de ses bords sur un plan horizontal. C'est une vue de dessus du tracé. Les caractéristiques du tracé en plan préconisées par l'ARP60 sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau 21. Caractéristiques géométriques du tracé en plan selon l'ARP 60.

Paramètres	Valeurs en m
Rayon minimal	120
Rayon non déversé	600
Rayon au devers minimal	450
Longueur des clothoïdes	$L = \inf(6R^{0,4}, 67)$

4.2 Profil en long

Pour éviter des travaux de terrassement coûteux, la ligne rouge est gardée. Le profil en long est constitué par des éléments rectilignes avec une pente ou une rampe et des raccordements circulaires caractérisés par leur rayon. Ces paramètres géométriques respectent les limites suivant les recommandations de l'ARP 60 ci-après.

Tableau 22 .Caractéristiques géométriques du profil en long selon l'ARP 60.

Paramètres	Valeurs limites
Déclivité maximale (%)	7
Rayon minimum en angle saillant (m)	1500
Rayon minimum en angle rentrant (m)	1500



4.3 Profil en travers

Le profil en travers de la route a une pente qui facilite l'évacuation des eaux de ruissellement. Dans les virages par contre, les devers permettent de résister aux effets des forces centrifuges que subissent les véhicules. Les valeurs des devers varient en fonction du rayon du tracé en plan.

Tableau 23. Valeurs du devers selon l'ARP 60.

Valeur du rayon (m)	Sens du devers	Valeurs du devers (%)
120	vers l'intérieur du virage	7
$120 < R < 450$	vers l'intérieur du virage	$0,85 + 736,4/R$
450	vers l'intérieur du virage	2,5
$450 < R < 600$	vers l'intérieur du virage	2,5
> 600	en toit	2,5

CHAPITRE V INVENTAIRE DES GISEMENT DE MATERIAUX

L'existence des matériaux à proximité de l'axe du projet est déterminant, Lors de la reconnaissance du terrain, des récoltes des données sont indispensables afin de déterminer les matériaux à utilisés en quantité et surtout en qualité.

Les matériaux utilisés en construction routières sont des sols meubles ou rocheux. Les sols meubles sont pour les couches de fondation et les sols rocheux pour la couche de base et les granulats mélangés avec des liants hydrocarbonés pour les couches de revêtement. Toutefois, ces deux types de sols doivent présenter certaines caractéristiques pour être utilisés. Le lieu d'extraction des sols meubles pour le corps de remblai est un emprunt et celui pour les têtes de remblai et les accotements est appelé gîte. Les sols rocheux sont extraits des carrières.

5.1 Spécifications du sol d'emprunt pour le remblai

Les matériaux pouvant être utilisés comme remblai doivent avoir les spécifications suivantes. Ces spécifications sont conformes aux normes décrites par le cahier de spécifications techniques. Elles présentent en général les caractéristiques communes pour les travaux routiers.

Tableau 24. Spécification des matériaux pour remblai.

Paramètres	Valeurs limites
Indice portant CBR à 95% OPM après 4j	≥ 15
Densité sèche à l'OPM	1,6
Indice de plasticité I_p (%)	≤ 20
Pourcentage des fines (éléments $< 80 \mu$) F	$10 < F < 30$
Gonflement linéaire g (%)	< 1
Pourcentage des matériaux organiques (%)	$< 0,5$
Teneur en eau limite de liquidité (%) w_L	< 60

5.2 Spécifications des matériaux de la couche de fondation

Plusieurs paramètres interviennent dans la caractérisation des matériaux à savoir : l'indice CBR (Californian Bearing Ratio) ; l'indice de plasticité I_p ; le pourcentage des fines F et la teneur en eau limite. L'indice CBR permet de qualifier la portance du sol. L'indice de plasticité et la teneur en eau limite de liquidité renseignent sur l'argilosité du sol. L'argile

entraîne des phénomènes de gonflement retrait et fragilise la route. De ce fait, il est indispensable de déterminer la nature du sol. Le pourcentage des fines juge la nécessité de traitement du sol avec du ciment ou pas. Enfin, la densité sèche ainsi que le diamètre maximal des granulats sont les paramètres intervenant lors du compactage.

Tableau 25. Spécification des matériaux pour couche de fondation.

Paramètres	Valeurs limites
Indice portant CBR à 95% OPM après 4j	≥ 15
Densité sèche à l'OPM	1,6
Indice de plasticité	≤ 12
Pourcentage des fines (éléments $< 80 \mu$) F	$10 < F < 35$
Gonflement linéaire g(%)	0,5
Pourcentage des matériaux organiques (%)	$< 0,5$
Teneur en eau limite de liquidité (%)	< 40
Diamètre maximale (mm)	< 60
Equivalent de sable ES	$35 < ES < 75$

Tableau 26. Fuseau granulométrique du GCNT0/31⁵.

Dimension de tamis en mm	Pourcentage des passants		
	Minima	Maxima	Moyenne
31,3	85	100	92
20	62	90	76
10	35	62	48
6,3	25	50	37
4	19	43	31
2	14	34	24
0,5	5	20	12
0,2	3	14	8
0,08	2	10	6

5.3 Spécification des matériaux de couche de base en GCNT 0/31⁵

La qualité des matériaux de chaque couche de la chaussée décroît du haut vers le bas. La couche de revêtement reçoit directement les charges venant des véhicules et ensuite les transmet aux couches sous-jacentes. La couche de base joue donc le rôle de couche intermédiaire. Comme la couche de base a été en GCNT 0/31⁵ lors de la première construction

de la route, pendant la réhabilitation les mêmes matériaux seront utilisés. Semblablement avec les matériaux meubles, les roches doivent respecter certains critères. Les paramètres permettant de caractériser les matériaux rocheux sont : le coefficient Los Angeles, le coefficient Micro Deval à l'Eau ainsi que le coefficient d'aplatissement. Les deux premiers coefficients renseignent sur la résistance des roches tandis que le dernier est nécessaire pour le compactage des matériaux.

Tableau 27. Spécifications du GCNT.

Paramètres	Valeurs limites
Los Angeles LA	≤ 40
Micro Deval à l'Eau MDE	≤ 35
Coefficient d'aplatissement CA (%)	< 25

5.4 Spécifications des matériaux pour couche de roulement

Le choix du type de revêtement dépend du nombre de trafic mais aussi de son coût de mise en œuvre. A priori, la couche de revêtement en enduit superficiel coûte relativement faible par rapport aux autres types de revêtement. L'enduit superficiel est en général recommandé lorsque le trafic approche le seuil de bitumage qui est de 250 véhicules par jour ou lorsqu'il y a contrainte au niveau du budget. Il est aussi souple car il contient beaucoup de vides, en effet, les granulats sont de type 6/10 et 10/14. Les caractéristiques mécaniques généralement admissibles en constructions routières pour les matériaux rocheux sont :

- ✓ LA < 30 ;
- ✓ MDE < 25 ;
- ✓ CA < 25.

Le type de liant hydrocarboné utilisé pour l'enduit superficiel bicouche est l'ECR 69 car les émulsions de bitume ne posent pas le problème de l'évaporation des solvants.

5.5 Gisement de matériaux meubles

Les matériaux meubles sur sites sont surtout des limons ou des sables rouges. Ces deux types de sols sont en quantité abondantes le long du tracé du projet. Selon les différentes

investigations et essai au laboratoire effectués, les gisements suivants seront utilisés pour la réalisation de ce projet.

Tableau 28. Récapitulation des gisements de matériaux meubles.

Localisation	Nature visuelle	F (%)	WL (%)	IP (%)	$\gamma_{d OPM}$ (kN/m ³)	w_{OPM} (%)	CBR (-)	G (%)	Puissance (m ³)
PK 382+000	Sable limoneux rouge	24	21	8	21,6	7,2	32	0,00	30000
PK 385+100	Sable limoneux rouge	25	18	6	21,2	7,6	32	0,04	21000
PK 389+600	quartzite limoneux jaunâtre	14	31	12	21,7	6,8	48	0,02	26000
PK 390+500	Limon quartzitique rouge	4	19	3	21,7	5,8	49	0,016	34000

(Source : ARM)

5.6 Gisement de matériaux rocheux

Les carrières sont plus difficiles à trouver que les gîtes et les emprunts. La proximité de la carrière par rapport à l'axe du projet ainsi que son volume exploitable sont des paramètres déterminants pour le choix d'une carrière outre les caractéristiques citées auparavant. Les types de roches dominants sont :

- ✓ pour les roches métamorphiques: les leptynites, les gneiss et les migmatites ;
- ✓ pour les roches magmatiques: les basaltes, les rhyolites, les granites et gabbro ;
- ✓ pour les roches sédimentaires : les calcaires.

Les gisements pouvant être utilisés comme couche de base existent le long de l'axe mais par contre les carrières ayant des caractéristiques acceptables pour enduit superficiel sont rares ou se trouvent loin de l'axe du projet. Les carrières suivantes ont été acceptées lors des reconnaissances et après les essais effectués.

Tableau 29. Carrières exploitables.

Carrières	PK	Distance de la RNS13 en km	Performances géotechniques		Nature des roches	Utilisation	Volume [m ³]
			LA	MDE			
Ereheta	418+650	24,5	21 (10/14)	18 (10/14)	rhyolite et basalte	ES, Base	300 000
Behara SNTF	418+650	6	34 (10/14)	16 (10/14)	granite	ES, Base	3 000

(Source : ARM)

CHAPITRE VI ETUDE DU TRAFIC

Les passages répétés des poids lourds dégradent très vite la chaussée. Le trafic influe donc beaucoup sur le dimensionnement des différentes couches ainsi que le choix des matériaux. Le trafic peut être escompté ou estimé selon le cas.

6.1 Comptage du trafic

L'étude du trafic passé permettra d'examiner son évolution mais aussi sa projection dans le futur c'est-à-dire lors de l'année de mise en service. Plusieurs comptages ont été effectués lors de l'élaboration de ce projet.

Le trafic journalier escompté est en général compris entre 100 et 150 véhicules par jour pour la plupart des résultats obtenus. Pour le tronçon entre Ambovombe et Fort Dauphin, un poste de comptage situé à Amboasary au PK 430 a donné les résultats suivants.

Tableau 30.Comptage de l'étude de Pré-faisabilité (2003).

Localisation	VP	CTT	MB	BUS	C3E	C4E	SR	EA	TOTAL
Amboasary PK 430	34	30	15	9	24	0	1	2	115
(part du trafic)	29,60%	26,10%	13,00%	7,80%	20,90%	0,00%	0,90%	1,70%	100%

(*Source* : Etude de Pré-faisabilité pour l'Aménagement / Réhabilitation de la RNS13, Volet Economique, Luxconsult, Juin 2003)

Pour ces comptages, la composition du trafic par catégories de véhicules est la suivante :

- ✓ VP : Voiture particulière ;
- ✓ MB : Mini-bus ;
- ✓ C2E : Camion à deux essieux ;
- ✓ C3E : Camion à trois essieux ;
- ✓ SR : Camion à 4 essieux et plus, semi-remorque ;
- ✓ EA : Ensemble articulé ;
- ✓ CTT : Camionnette ;
- ✓ BUS : Autocar.

Par ailleurs dans le cadre de la préparation du Plan National de Transport, une campagne de comptage a été réalisée sur 29 postes sur les principaux axes routiers du pays dont la RNS13.

Le poste de comptage sur la RNS13 a été placé au PK 456, entre Taolagnaro et Ambovombe. Dans les études du PNT les véhicules sont classés en 9 catégories comme suit:

1. Véhicule particulier, léger pour le transport de moins de six passagers ;
2. Camionnette à passagers ou véhicules légers de grande capacité ;
3. Minibus spécialement conçus pour le transport de personnes jusqu'à 30 places ;
4. Autocar dont la capacité est supérieure à 30 places ;
5. Camion à passagers utilisés sur certaines routes en mauvais état ;
6. Camionnette de marchandises de gabarit similaire à la camionnette à passagers ;
7. Camion de marchandises à deux essieux (sans remorque) ;
8. Camion de marchandises à trois essieux et plus (sans remorque) ;
9. Semi-remorque, camion à remorque et ensembles articulés.

Les comptages réalisés pendant l'année 2003 ont donné les résultats ci-après :

Tableau 31.Comptage du trafic de la RNS13 en 2003.

Catégorie de véhicules	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
Nombre de véhicules	60	25	9	5	6	6	19	4	6	140
Part du trafic	43%	18%	6%	4%	4%	4%	14%	3%	4%	100%

(Source : Plan National de Transport-2003, Rapport final de l'organisation et résultats de la campagne des comptages routiers).

6.2 Trafic généré ou induit

Le trafic induit ou généré est le trafic s'ajoutant au trafic normal et qui est généré suite à la mise en service de la route améliorée. Le volume du trafic induit est évalué en pourcentage par rapport au trafic normal et est généralement proportionnel à la diminution des coûts de transport. Les activités économiques aux alentours de la route favoriseront le trafic induit notamment le tourisme, le nouveau port de Fort Dauphin et les exploitations minières. Selon l'ARM, le trafic induit est estimé à 10% pour les véhicules légères et 7% pour les poids lourds.

6.3 Prévision du trafic à l'année de mise en service

Le taux de croissance du trafic est estimé à 7% (MTP), et la projection est calculée par la relation suivante :

$$T_n = T_0 \times (1 + \tau)^n \quad (1)$$

- T_n : Trafic moyen journalier de l'année n ;
- P_i : Trafic moyen journalier de l'année de référence 0 ;
- τ : Taux de croissance annuel du trafic ;
- n: année entre l'année n et l'année de base 0.

En prenant comme année de référence l'année 2003 et l'année de mise en service l'année 2017, on obtient les résultats suivants.

Tableau 32. Projection du trafic normal à l'année de mise en service.

Véhicules	2003	2017
véhicules particuliers	60	155
familiale, bachet, minibus	34	88
camion et autocar de PTC<10T	17	44
camion et autocar de 10T<PTC<16T	19	49
camion de PTC>16T	4	10
train double et ensemble articulé	6	15
Total	140	361

En tenant compte du trafic généré, le trafic à l'année de mise en service final est illustré dans le tableau suivant :

Tableau 33. Trafic final à l'année de mise en service.

Véhicules	Trafic normal	Trafic induit	Trafic total
véhicules particuliers	155	15	170
familiale, bachet, minibus	88	9	96
camion et autocar de PTC<10T	44	3	47
camion et autocar de 10T<PTC<16T	49	3	52
camion de PTC>16T	10	1	11
train double et ensemble articulé	15	1	17
Total	361	33	394

6.4 Pourcentage des poids lourds

La détermination de la proportion des poids lourds par rapport au trafic est indispensable pour le dimensionnement mais aussi pour l'étude du trafic. Selon les résultats de comptage, le

nombre de poids lourds N est de 127 PL/j/2 sens. L'abaque de détermination des épaisseurs équivalentes correspond à un taux de croissance de 10% pour une durée de vie de 15 ans. Donc, une correction est à prévoir pour pouvoir utiliser l'abaque. Cette correction s'exprime par la relation :

$$N' = \alpha \cdot \beta \cdot N \quad (2)$$

Avec α et β sont des coefficients correcteurs fonction respectivement du taux de croissance annuel du trafic et de la durée de vie de la route et N : nombre de poids lourds.

Tableau 34. Valeur du coefficient α .

Taux de croissance annuelle du trafic (%)	Coefficient correcteur α
6	0,73
8	0,85
10	1,00
12	1,17
15	1,50

Tableau 35. Valeurs du coefficient β .

Durée de vie (années)	Coefficient correcteur β
8	0,36
10	0,50
15	1,00
20	1,80

Après calcul, le nombre de poids lourds corrigé N' équivaut à 100 PL/j/2sens. Le pourcentage de poids lourd est évalué par la formule suivante :

$$\%PL = \frac{N'}{T_{total}} \times 100 \quad (3)$$

○ T_{total} : nombre de trafic total.

$$\%PL = \frac{100}{394} \times 100 = 25,34\% < 30\% : \text{trafic à répartition normal (TN).}$$

CHAPITRE VII ETUDE DE DIMENSIONNEMENT

L'étude de dimensionnement consiste à déterminer l'épaisseur des différentes couches composant la structure de la chaussée. Cependant, pour l'aménagement du tronçon en terre, il existe plusieurs méthodes, à savoir :

- La méthode LNTPB ;
- La méthode Alizé-LCPC ;

Par ailleurs, pour le tronçon bituminé, la solution de réhabilitation a été étudiée par la méthode VIZIR.

7.1 Méthode LNTPB

Cette méthode est dérivée des essais AASHO, elle se base sur le calcul de l'épaisseur équivalente qui est fonction du CBR de la plateforme. Cette épaisseur équivalente se détermine à partir d'un abaque de dimensionnement. La route est divisée en des sections homogènes selon le CBR à 4 jours d'imbibition du sol de la plateforme.

Tableau 36.Division selon section homogène.

Localisation	Définition de la zone	Longueur en m	CBR
du PK 370+200 au PK 371+100	Zone 1	900	13
du PK 371+100 au PK 372+235	Zone 2	1 135	18
du PK 372+235 au PK 374+030	Zone 3	1 795	15
du PK 374+030 au PK 380+200	Zone 4	6 170	22
du PK 380+200 au PK 383+000	Zone 5	800	11
du PK 383+000 au PK 384+700	Zone 6	1 700	24

Hypothèses de calcul :

Les hypothèses suivantes sont définies pour le dimensionnement :

- Année de mise en service : 2017 ;
- Durée de vie : 15 ans ;
- Nombre de poids lourd de poids total en charge supérieure à 3T dans les sens $N'=100 \text{ PL}/j/2\text{sens}$;

- Trafic à répartition normale des poids lourds (pourcentage des PL inférieur à 30% de tous les véhicules) ;
- CBR de la plateforme : selon le tableau 36.

7.1.1 Epaisseur équivalente e_{eq}

A partir de l'abaque de dimensionnement LNTPB pour le trafic à répartition normal, avec un CBR=13 correspond une épaisseur équivalente $e_{eq}=26,9$ cm.

Les épaisseurs réelles de la couche de roulement, la couche de base et la couche de fondation sont liées avec l'épaisseur équivalente par la formule :

$$e_{eq} = a_r h_r + a_b h_b + a_f h_f \quad (4)$$

- a_r, a_b, a_f : respectivement les coefficients d'équivalence des matériaux de la couche de roulement ; de la couche de base et de la couche de fondation ;
- h_r, h_b, h_f : respectivement les épaisseurs réelles de la couche de roulement ; de la couche de base et de la couche de fondation.

Ces coefficients d'équivalence des matériaux sont déterminés à l'aide du tableau ci-après.

Tableau 37. Valeur de module d'élasticité et coefficient d'équivalence des matériaux.

Nature des matériaux	CBR	Couche	Module d'élasticité E (bars)	Coefficient d'équivalence a
Enduit superficiel		Revêtement	25000	1
Enrobés minces (<4 cm)				1
Enrobés épais (>4cm)				2
Binder				2
Sol ciment		Couche de base	5000 à 15000	1,5
sol chaux				1,5
Sol bitume				1,5
GCNT	>80		3000 à 5000	1
GN	>60			0,8 à 0,9
Sol sélectionné	≥40	Couche de fondation	>2000	0,75
	30 à 40		1500 à 2000	0,7
	20 à 30		1000 à 2000	0,6
	15 à 20	Couche de forme	750 à 1000	0,5
	10		500	0,4

(Source : Cours Route II, 4^{ème} année)

7.1.2 Epaisseur de la couche de fondation

En général, l'épaisseur de la couche de fondation est tirée de la relation précédente tandis que les autres épaisseurs sont fixées par le tableau des épaisseurs minimales des nouveaux abaques RRL. Ainsi :

$$h_f = \frac{e_{\acute{e}q} - a_r h_r - a_b h_b}{a_f} \quad (5)$$

Pour un enduit superficiel bicouche : $h_r = 2\text{cm}$ et $a_r = 1$ et une couche de fondation en GCNT $a_b = 1$ et $h_b = 15\text{ cm}$. D'après le choix de matériaux, les emprunts sont des MS de CBR supérieur à 30 donnant un $a_f = 0,7$.

Tableau 38. Epaisseurs minimales.

Couche	Trafic N ou N'	CBR de la couche de fondation	Epaisseur minimale en cm	Observation
Revêtement	10		1	Monocouche
	20 à 100		2	Bicouche
	≥ 200		4	Enrobé Dense à Chaud
Base		20 à 30	15	
		≥ 30	12	
	20 à 100	20 à 30	20	
		≥ 30	15	
	200 à 300	20 à 30	25	
		≥ 30	20	

D'après calcul,

$$h_f = \frac{26,9 - 1 \times 2 - 1 \times 15}{0,7} = 14,14 \text{ cm}$$

7.1.3 Résultats de dimensionnement

En procédant de manière analogue pour un CBR de 18, les résultats de dimensionnement sont résumés dans le tableau suivant les tronçons homogènes.

Tableau 39. Récapitulation des résultats de dimensionnement.

Localisation	e_{eq} (cm)	Couche de roulement			Couche de base			Couche de fondation		
		Matériaux	ar	hr (cm)	Matériaux	ab	hb (cm)	Matériaux	af	hf (cm)
Zone 1	27,3	ESb	1	2	GCNT	1	15	MS	0,7	15
Zone 2	24,6	ESb	1	2	GCNT	1	15	MS	0,7	11
Zone 3	26,1	ESb	1	2	GCNT	1	15	MS	0,7	13
Zone 4	23,1	ESb	1	2	GCNT	1	15	MS	0,7	9
Zone 5	28,8	ESb	1	2	GCNT	1	15	MS	0,7	17
Zone 6	22,4	ESb	1	2	GCNT	1	15	MS	0,7	8

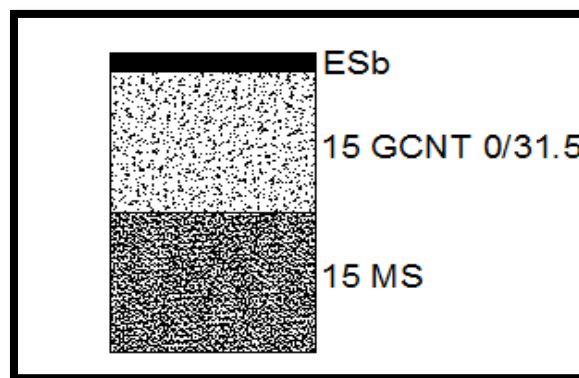


Figure 17. Modélisation de la structure de la chaussée pour un CBR=13.

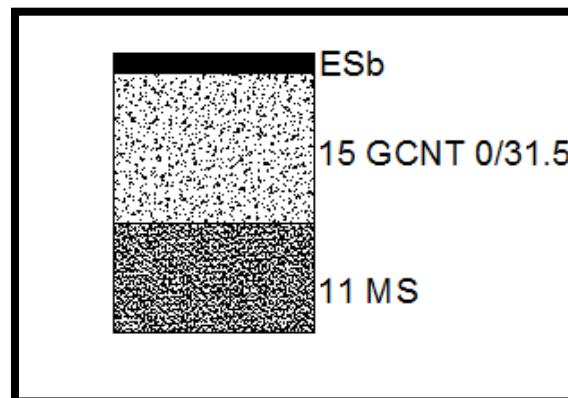


Figure 18. Modélisation de la structure de la chaussée pour un CBR=18.



7.1.4 Vérification des contraintes

Les contraintes à vérifier sont les contraintes de flexion par traction à la base de la couche de roulement Σ_r et les contraintes de compression du sol support Σ_z (condition de non orniérage du sol). La modélisation mécanique de la chaussée utilisée est le modèle de Jeuffroy Bachelez.

Deux types d'abaque existent selon le type de roue arrière :

- Abaque à roues isolées ;
- Abaque à roues jumelées.

Pour les vérifications des contraintes, l'abaque utilisé est celui de Jeuffroy Bachelez pour un système tricouche cas de roues jumelées.

7.1.4.1 *Contraintes admissibles*

La formule de DORMON-KERKHOVEN donne la contrainte admissible de compression au niveau du sol de plateforme :

$$\Sigma_{z,adm} = \frac{0,3 CBR_{4j(sol support)}}{1 + 0,7 \log N'} [bars] \quad (6)$$

$$\Sigma_{z,adm} = \frac{0,3 \times 13}{1 + 0,7 \log 100} = 1,63 bars$$

La contrainte à la base de la couche de roulement est limitée à 10 bars à Madagascar.

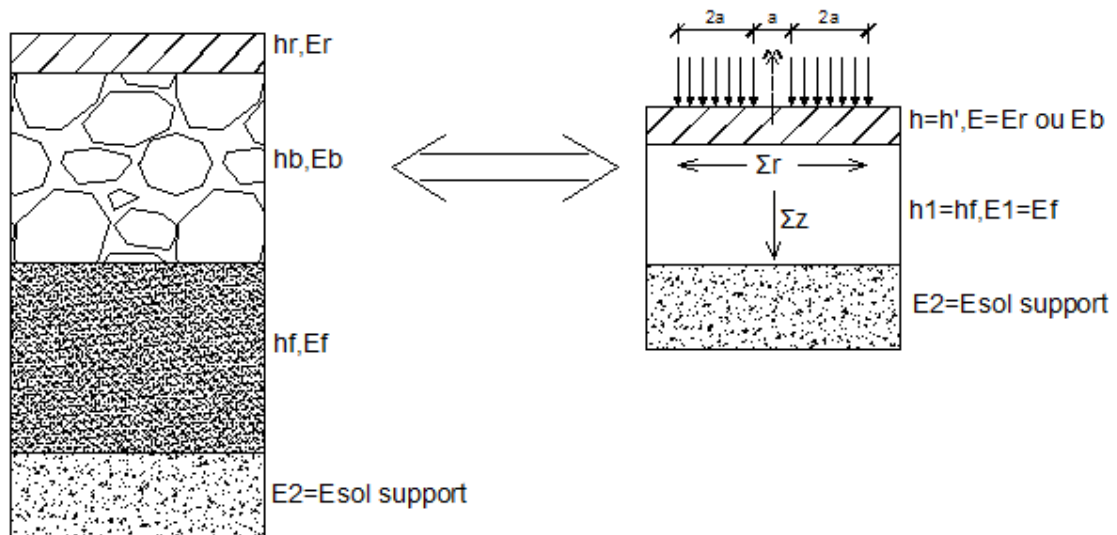
$$\Sigma_{r,adm} = 10 bars$$

7.1.4.2 *Contraintes réelles*

a) Transformation du système quadricouche en un système tricouche

La détermination des contraintes nécessite la transformation du système quadricouche en un système tricouche. Pour ce faire, les deux couches supérieures sont combinées et a une épaisseur h' avec :

- $h' = h_b + 0,9h_r \sqrt[3]{\frac{E_r}{E_b}}$: si E_b est le module adopté ;
- $h' = h_r + 0,9h_b \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_r}}$: si E_r est le module adopté.



Les modules d'élasticité E_r , E_b , et E_f sont obtenus à partir du tableau 37 précédent.

$$E_r = E = 25\,000 \text{ bars}$$

$$E_b = 5000 \text{ bars}$$

$$E_f = E_1 = 1750 \text{ bars}$$

Le module du sol support $E_2 = E_{sol\ support} = 50 \text{ CBR}$

$$E_2 = E_{sol\ support} = 50 \times 13 = 650 \text{ bars.}$$

q : pression de gonflage des roues avec q= 7 bars.

Ainsi, en adoptant le module E_r :

$$h' = h_r + 0,9h_b \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_r}} = 2 + 0,9 \times 15 \sqrt[3]{\frac{5000}{25000}} = 9,89 \text{ cm.}$$

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de calcul de la transformation du système quadricouche en un système tricouche.

Tableau 40. Récapitulation de la transformation du système quadricouche en un système tricouche.

SECTIONS	SYSTÈME			
	QUADRICOUCHE		TRICOUCHE	
	(E,h)	valeurs	(E,h)	valeurs
		(cm;bars)		(cm,bars)
Zone 1	hr,Er	(2;25000)	h',Er	(10;25000)
	hb,Eb	(15;5000)		
	hf,Ef	(15;1750)	h1,E1	(15;1750)
	E2	650	E2	650
Zone 2	hr,Er	(2;25000)	h',Er	(10;25000)
	hb,Eb	(15;5000)		
	hf,Ef	(11;1750)	h1,E1	(11;1750)
	E2	900	E2	900
Zone 3	hr,Er	(2;25000)	h',Er	(10;25000)
	hb,Eb	(15;5000)		
	hf,Ef	(13;1750)	h1,E1	(13;1750)
	E2	750	E2	750
Zone 4	hr,Er	(2;25000)	h',Er	(10;25000)
	hb,Eb	(15;5000)		
	hf,Ef	(9;1750)	h1,E1	(9;1750)
	E2	1100	E2	1100
Zone 5	hr,Er	(2;25000)	h',Er	(10;25000)
	hb,Eb	(15;5000)		
	hf,Ef	(17;1750)	h1,E1	(17;1750)
	E2	550	E2	550
Zone 6	hr,Er	(2;25000)	h',Er	(10;25000)
	hb,Eb	(15;5000)		
	hf,Ef	(8;1750)	h1,E1	(8;1750)
	E2	1200	E2	1200

b) Lecture de l'abaque

Des paramètres α et β figurent respectivement sur l'axe des abscisses et l'axe des coordonnées de l'abaque. Ils sont définis par les relations :

$$\alpha = \frac{h_1}{a} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{h_3}{a} \sqrt{\frac{E}{6E_1}} \quad (8)$$

a : rayon d'empreinte d'une roue avec $a=10,66$ cm.

$$\alpha = \frac{15}{10,66} = 1,4$$

$$\beta = \frac{9,89}{10,66} \sqrt[3]{\frac{25000}{6 \times 1750}} = 1,24$$

Le rapport : $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1750}{650} = 2,69$. Il n'existe pas d'abaque pour $\frac{E_1}{E_2} = 2,69$, il faudra donc interpolier entre $\frac{E_1}{E_2} = 1$ et $\frac{E_1}{E_2} = 3$.

Pour $\alpha=1,4$ et $\beta=1,24$ la lecture des abaques a donné :

$\frac{E_1}{E_2}$	$\frac{\Sigma_r}{q} \left(\frac{E_1}{E} \right)^{2/3}$	$\frac{\Sigma_z}{q}$
1	0,113	0,230
3	0,242	0,150

En interpolant,

$$\frac{\Sigma_r}{q} \left(\frac{E_1}{E} \right)^{2/3} = \left[\left(\frac{2,69-1}{3-1} \right) \times (0,242 - 0,113) \right] + 0,113 = 0,222.$$

$$\frac{\Sigma_z}{q} = \left[\left(\frac{2,69-1}{3-1} \right) \times (0,150 - 0,230) \right] + 0,230 = 0,162.$$

$$\Sigma_r = 0,222 \times 7 \times \left(\frac{1750}{25000} \right)^{3/2} = 0,028 \text{ bar}$$

$$\Sigma_z = 0,162 \times 7 = 1,134 \text{ bars}$$

7.1.4.3 Récapitulation des vérifications

Suivant les sections homogènes, les contraintes réelles calculées doivent être inférieures aux contraintes admissibles, sinon, il faut augmenter l'épaisseur de la couche de fondation de 5 cm. Le tableau suivant récapitule ces différentes valeurs des contraintes.

Tableau 41. Récapitulation de la vérification des contraintes.

Section homogène	h' (cm)	Contraintes radiales à la base du revêtement		Contraintes verticales agissant sur la plateforme		Observation
		$\Sigma_r, \text{adm (bars)}$	$\Sigma_r \text{ (bar)}$	$\Sigma_z, \text{adm (bar)}$	$\Sigma_z \text{ (bar)}$	
Zone 1	9,89	10	0,028	1,58	1,134	condition vérifiée
Zone 2	9,89	10	0,023	2,20	1,58	condition vérifiée
Zone 3	9,89	10	0,026	1,874	1,416	condition vérifiée
Zone 4	9,89	10	0,020	2,749	1,65	condition vérifiée
Zone 5	9,89	10	0,030	1,374	1,139	condition vérifiée
Zone 6	9,89	10	0,019	2,99	1,788	condition vérifiée



7.2 Méthode Alizé-LCPC

L'utilisation du logiciel Alizé LCPC ou ALIZE permet d'obtenir un dimensionnement rapide des structures de chaussées. C'est une méthode réglementaire de dimensionnement des chaussées du réseau routier national français, elle se base sur les méthodes développées par le LCPC et le Sétra.

Le logiciel comprend trois modules principaux dans sa version intégrale dont :

- ✓ Le module de calcul mécanique se basant sur la détermination des sollicitations créées par les charges dans les matériaux de chaussées, désigné module Alizé-mécanique ;
- ✓ Le module de vérification au gel-dégel des structures de chaussées, désigné module Alizé-gel ;
- ✓ Le module de calcul inverse des modules d'élasticité des différentes couches, à partir des bassins de déflexion mesurés sur la chaussée en service, désigné module Alizé-rétrocalcul.

Dans le cadre de ce projet, seul le module Alizé-mécanique sera utilisé pour le calcul des sollicitations dans la chaussée ainsi que la détermination des épaisseurs optimales de chaque couche tout en respectant les contraintes admissibles.

7.2.1 Architecture générale du module Alizé Mécanique

L'architecture de l'Alizé-LCPC a été conçue pour faciliter la mise en œuvre des méthodes rationnelles de dimensionnement. Cet objectif conduit à articuler le programme autour des fonctionnalités suivantes :

- définition de la structure de chaussée : épaisseur des couches, paramètres d'élasticité des différents matériaux et conditions d'interface ;
- définition du chargement appliqué à la surface (charge de référence ou autre chargement désigné par chargement spécial) ;
- détermination des sollicitations admissibles par les matériaux en fonction du trafic ;
- réalisation du calcul mécanique à l'aide du moteur de calcul Alizé-mécanique ;
- présentation des résultats du calcul mécanique ;
- assistance et aide pour le choix pratique des hypothèses de calcul et des valeurs numériques à donner aux différents paramètres, en accord avec le guide technique



Conception et dimensionnement des structures de chaussées de 1994 et/ou le Catalogue des structures 1998 ;

- gestion d'une bibliothèque Alizé-mécanique. Elle regroupe l'ensemble des matériaux standard dont les caractéristiques pour les calculs mécaniques sont définies par les guides et catalogue Lcpc-Sétra. Cette bibliothèque peut également inclure des matériaux personnels définis par l'utilisateur.

7.2.2 Paramètres de base

Les hypothèses de calcul sont : le trafic, le climat, la portance de la plateforme, la nature et l'épaisseur des matériaux constituant chaque couche de la chaussée.

7.2.2.1 Le trafic

La méthode LCPC se base sur le trafic moyen journalier annuel. Contrairement, à la méthode LNTPB, le trafic défavorable est le nombre de véhicules de charge utile supérieure à 5 T circulant dans un seul sens. Ces dernières sont définies comme étant les poids lourds.

N correspond au nombre de poids lourds de Poids total en charge supérieur à 3T circulant dans les deux sens, ainsi pour obtenir la valeur de MJA, N est multiplié par un certain coefficient k.

$$MJA = k \frac{N}{2} \quad (9)$$

Tableau 42.Valeur du coefficient k (correspondances entre N et MJA).

Type de trafic		Coefficient k
Nombre de PL de CU>5t (par jour et par sens)		1
Nombre d'essieux de charge>9t (par jour et par sens)		1
Nombre de PL de poids total autorisé > 3,5t (par jour et par sens)		0,8
Nombre total de véhicules (par jour et par sens)	>1000	0,1
	500-1000	0,07
	<500	0,05

$$MJA = k \frac{N}{2} = 0,8 \times \frac{127}{2} = 51 \text{ PL/j/sens.}$$

Le trafic est donc de classe T_3^- selon le tableau de classification ci-après.

Tableau 43. Tableau de classification suivant MJA.

Classe de trafic	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	Tex
Limite MJA	0	25	50	150	300	750	2000	5000

7.2.2.2 Facteur de cumul C

Le facteur de cumul est donné par la relation :

$$C = 365 \frac{(1 + \tau)^d - 1}{\tau} \quad (10)$$

Avec :

- d: durée de vie du projet égale à 15 ans ;
- τ : taux d'accroissement annuel du trafic, pris à 4% pour ne pas saturer la voie.
Ce taux étant généralement compris entre 3 et 6%.

$$C = 365 \times \frac{(1 + 0,04)^{15} - 1}{0,04} = 7308,61$$

7.2.2.3 Trafic cumulé des PL en essieux standard équivalents

L'essieu de référence est un essieu de 13T, désigné par le nom essieu standard. Le nombre d'essieu standard équivalent NE est le trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents d'un tonnage déterminé pendant la durée de service choisie. Il est donné par l'expression :

$$NE = MJA.C.A \quad (11)$$

Avec :

- MJA : nombre de PL de charge utile supérieure à 5T dans un sens, égal à 51 ;
- C : facteur de cumul ;
- A ou CAM : coefficient d'agressivité moyenne des PL.

Pour les trafics faibles, les valeurs du CAM est données par le tableau ci-après.

Tableau 44. Valeur du coefficient d'agressivité.

Classe	T5	T4	T_3^-	T_3^+
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8

$$NE = 51 \times 7\,308,61 \times 0,7 = 2,6.10^5 [ESE]$$

7.2.2.4 Plateforme

La plateforme est l'ensemble formée par l'arase de terrassement et la couche de forme. Cette dernière est une couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée jouant deux fonctions bien distincts :

- Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support et établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée ;
- Vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogène et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux du terrain en place.

Cependant, pour un arase de terrassement de portance supérieure 50 MPa, la couche de forme n'est pas nécessaire. La portance de la plateforme est un facteur déterminant dans le dimensionnement de la chaussée. Les plateformes sont classées suivant leur portance selon le type d'essai. Le module de calcul est celui de la limite inférieure.

Tableau 45. Classification de la plateforme selon essai à la plaque.

Classes	PF1	PF2	PF3	PF4
Limites (MPa)	20	50	120	200

Pour les sections homogènes, les modules E de la plateforme sont compris entre 50 MPa et 120 MPa, donnant une classification PF2 de la plateforme.

7.2.3 Démarrage de l'application

Le programme démarre suite à un double clic sur l'icône d'Alizé-Lcpc affichée sur le bureau de l'ordinateur PC après l'installation du logiciel. Une feuille présentant la barre de

menu principal assurant la gestion des différentes fonctionnalités offertes par le logiciel s'ouvre à la suite de l'opération de démarrage.

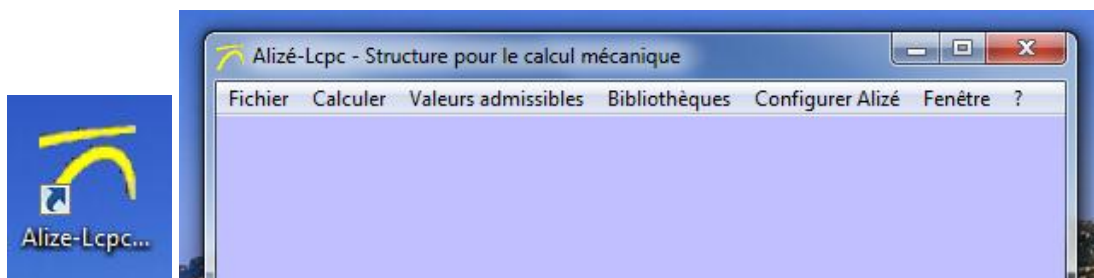


Figure 19. Icône et barre de menu principal d'ALIZE-LCPC.

7.2.4 Configuration du programme

Comme l'utilisation de tout logiciel, il est nécessaire de bien configurer l'application pour éviter que les calculs soient erronés. La configuration s'effectue à l'aide de la commande « *configurer Alizé* » de la barre de menu principal.

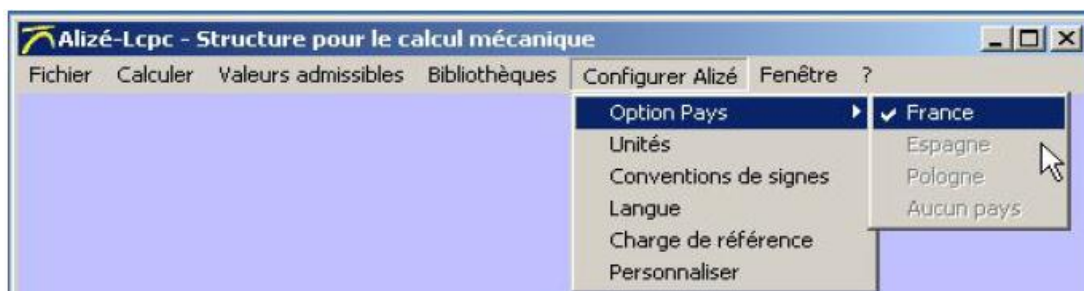


Figure 20. Menu Configurer Alizé de la barre de menu principal.

Les différentes configurations requises concernent :

- Le choix de la langue utilisée pour l'ensemble des entrées-sorties et des aides (écrans, fichiers et imprimante): Français ou Anglais.

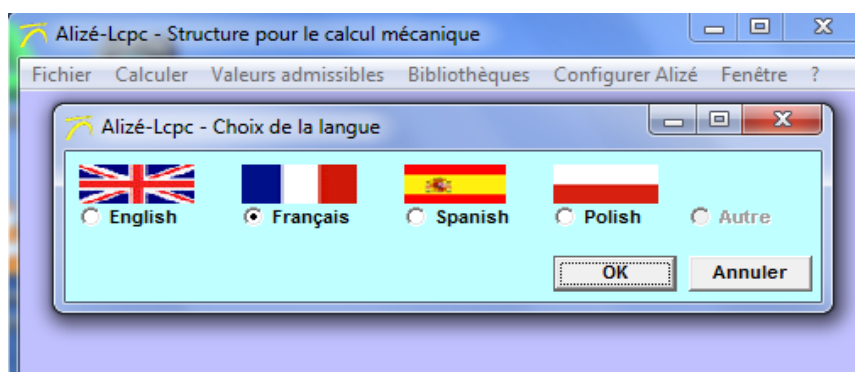


Figure 21.Menu Configurer Alizé, Choix de la langue.

- La définition de la charge de référence (onglet charge de référence) pour les calculs mécanique : la charge de référence choisie est l'option « *jumelage standard français* ».

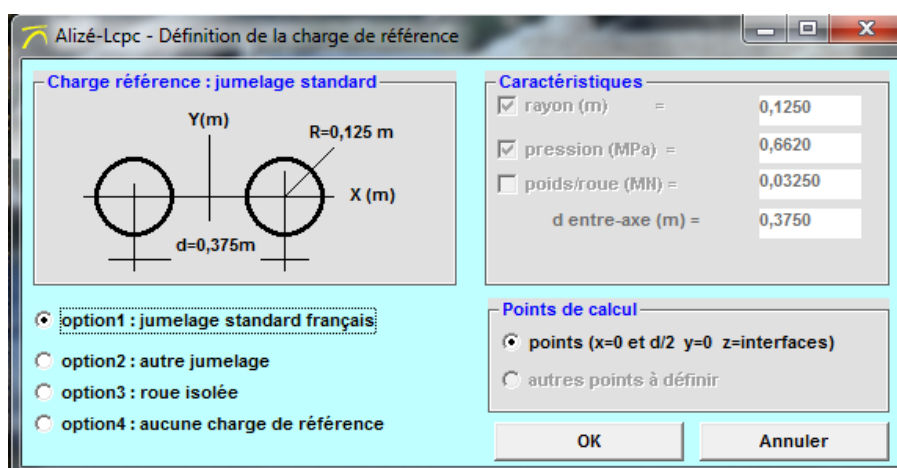


Figure 22.Configuration d'Alizé, Charge de référence.

- Les options personnelles (onglet Personnaliser) permettant de paramétrer : la valeur du coefficient de Poisson par défaut, le type d'interface par défaut (interface collée), le mode d'impression des résultats de calculs pour le cas des variantes et le mode d'impression des valeurs admissibles.

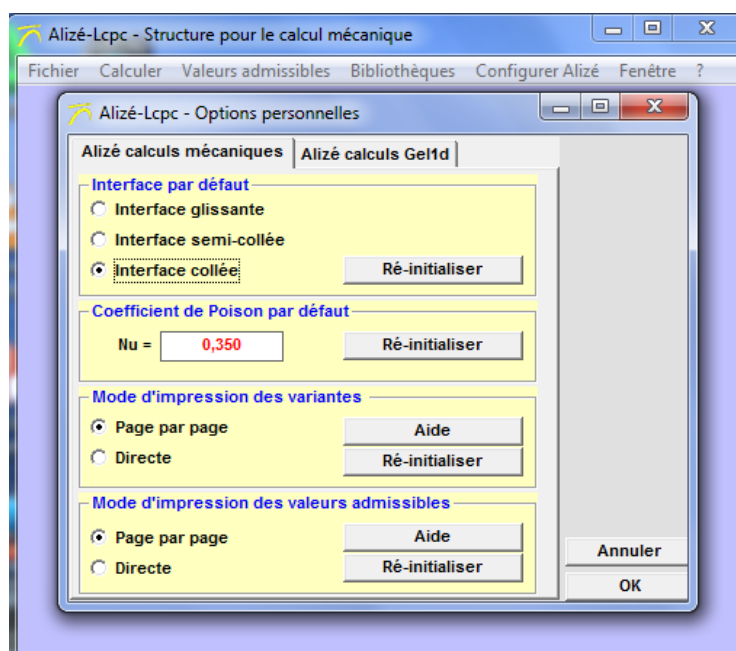


Figure 23. Menu configurer Alizé, Réglages des options personnelles Type d'interface, Mode d'impression des variantes et Mode d'impression des valeurs admissibles.

➤ Les unités ainsi que les conventions des signes sont imposées par le logiciel.

Les conventions de signes utilisées sont pour les résultats des calculs mécaniques : contraintes et déformation de traction-extension comptées négativement, déplacements verticaux et déflexion comptées positivement selon la gravité ; et pour les résultats de calcul des valeurs admissibles : les grandeurs admissibles sont comptées positivement.

Les unités obligatoirement utilisées sont pour le calcul mécanique : le mètre (m), le méganewton (MN) et autres unités associées. Les modules d'Young et les pressions s'expriment en MPa.

7.2.5 Valeurs admissibles

Les valeurs admissibles calculées ici sont les contraintes. L'obtention des résultats nécessite l'entrée des différents paramètres suivants :

- La moyenne journalière annuelle MJA : 51PL/j/sens ;
- La durée de vie de la chaussée : 15 ans ;
- Le taux d'accroissement géométrique : 4% ;

- Le coefficient d'agressivité CAM ainsi que les différents coefficients A et b qui sont déterminés à partir d'une bibliothèque des matériaux.

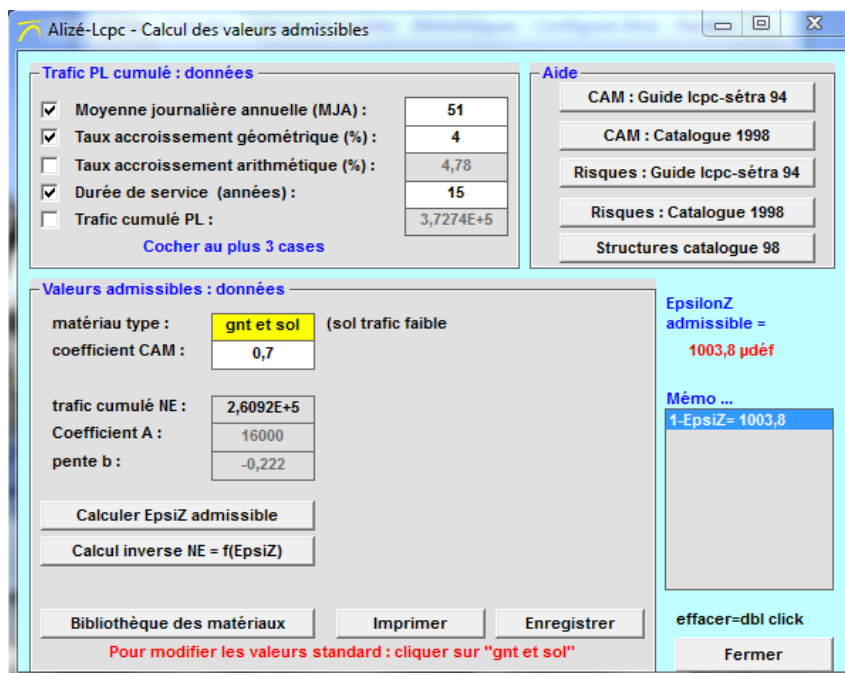


Figure 24. Calcul des valeurs admissibles.

Et en cliquant sur le bouton *Calculer EpsiZ admissible*, le résultat s'affiche dans le tableau en dessous de Mémo. Les résultats des valeurs admissibles sont toujours accessibles en cliquant sur l'onglet *Valeurs admissibles* du menu principal.

Ainsi la contrainte admissible au niveau du sol support est de $\varepsilon_{z,adm} = 1003,8 \mu\text{déf}$.

7.2.6 Modélisation de la structure

La structure de la chaussée est modélisée par un massif multicouche à comportement linéaire, élastique et isotrope selon la méthode rationnelle. Chaque couche possède alors une épaisseur constante et une extension dans le plan horizontal (XOY) infinie. En outre, l'épaisseur du sol support est supposée infinie. La création d'une nouvelle structure s'effectue par la commande *Fichier/Nouveau/Structure*. Il faut ensuite renommer la structure afin de faciliter son utilisation ultérieure. Une structure de base tricouche est alors créée dans la fenêtre principale.

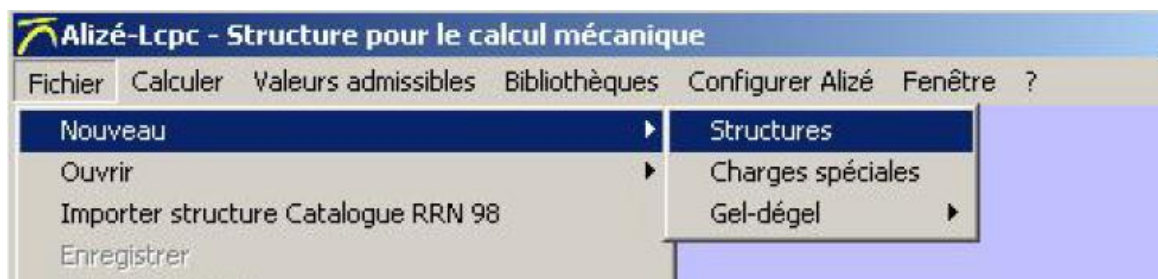


Figure 25. Commande pour la création d'une nouvelle structure.

Plusieurs paramètres caractérisant le fonctionnement mécanique des différentes couches composants la chaussée sont à insérer, à savoir :

- L'épaisseur H de la couche ;
- Le choix du matériau ainsi que son module d'Young correspondant;
- Le coefficient de Poisson noté ν dans l'interface ;
- les conditions d'interface au sommet et à la base de la couche, caractérisant le type de contact avec les couches adjacentes supérieure et inférieure.

En effet, il existe trois types de conditions d'interface pour caractériser le fonctionnement d'interface entre chaque couche adjacente : collée, semi-collée et glissante. Un onglet montrant les différentes conditions d'interface possible pour chaque type de structure est à la portée de l'utilisateur. Toutefois pour les structures bitumineuses, les interfaces sont toujours collées et le contact entre certains matériaux traités aux liants hydrauliques sont en général semi-collé.

7.2.7 Lancement du calcul

La modélisation de la structure dans le cadre de ce projet se limite à un système tricouche puisque l'enduit superficiel n'est pas structurant. Après que les caractéristiques des différentes couches soient insérées, un clic sur **Calcul direct (charge réf.)** donne les résultats. L'opération est répétée en variant l'épaisseur de la couche de base et de la couche de fondation jusqu'à l'obtention de valeur de contraintes réelles inférieures aux contraintes admissibles.

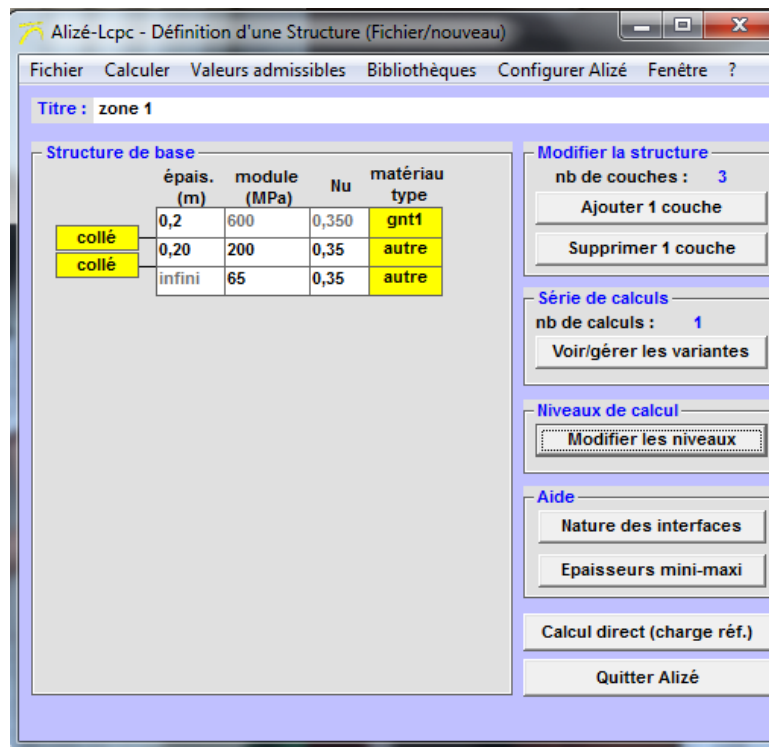


Figure 26. Définition de la structure.

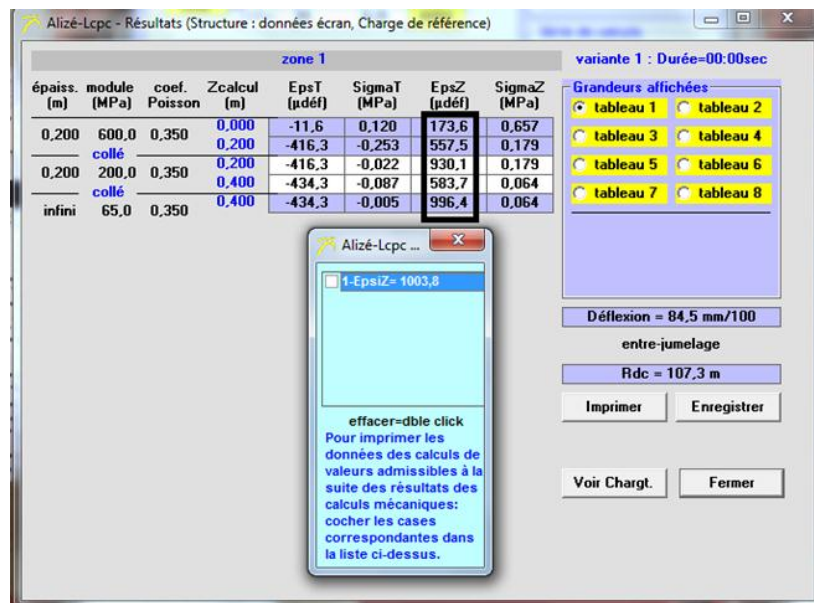


Figure 27. Résultats de calcul.

7.2.8 Résultats de calcul

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau 46. Récapitulation des résultats de calcul selon Alizé.

Section homogène	Couches	Type d'interface	Module E (MPa)	Epaisseur (cm)
zone 1	CB: GCNT 0/315	collé	600	20
	CF: MS	collé	200	20
	PF		65	infinie
zone 2	CB: GCNT 0/315	collé	600	20
	CF: MS	collé	200	15
	PF		90	infinie
zone 3	CB: GCNT 0/315	collé	600	20
	CF: MS	collé	200	20
	PF		75	infinie
zone 4	CB: GCNT 0/315	collé	600	20
	CF: MS	collé	200	10
	PF		110	infinie
zone 5	CB: GCNT 0/315	collé	600	20
	CF: MS	collé	200	25
	PF		55	infinie
zone 6	CB: GCNT 0/315	collé	600	20
	CF: MS	collé	200	10
	PF		120	infinie

Le résultat de calcul des contraintes est illustré ci-dessous.

Tableau 47. Vérification des contraintes.

Section homogène	Contraintes admissibles $\varepsilon_{z, adm}$ ($\mu\text{déf}$)	Contrainte de calcul ε_z ($\mu\text{déf}$)	observation
zone 1	1003,8	996,4	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z, adm}$
zone 2	1003,8	931,0	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z, adm}$
zone 3	1003,8	965,1	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z, adm}$
zone 4	1003,8	934,2	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z, adm}$
zone 5	1003,8	957,1	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z, adm}$
zone 6	1003,8	880,2	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z, adm}$

En utilisant les mêmes matériaux, un exemple de résultat de dimensionnement découlant des calculs d'ALIZE-LCPC est montré par le schéma suivant.

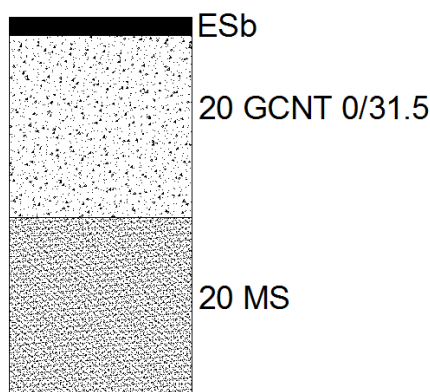


Figure 28. Résultats de dimensionnement de la zone 1 et zone 3.

7.2.9 Conclusion

Les résultats de dimensionnement selon la méthode LNTPB sont beaucoup plus économiques par rapport aux résultats dérivés de la méthode LCPC. La méthode LNTPB présente des structures de chaussée plus légères et par conséquent plus économique. Par contre, pour assurer une longue durabilité, les résultats de l'utilisation d'ALIZE-LCPC seront adoptés pour ce projet.

7.3 Etude de réhabilitation

7.3.1 Solution adoptée

La solution de réhabilitation adoptée pour le tronçon bituminé du PK 384+700 au PK 392+200 est un renforcement. En effet, la route est dans un état de dégradation très avancée avec des déflexions au voisinage de 120/100mm le long du tracé.

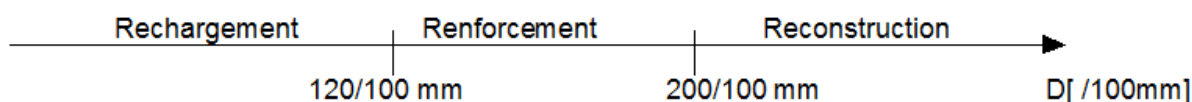


Schéma 1. Schéma indiquant les différentes solutions de réhabilitation en fonction des déflexions.

Vu l'état de dégradation une scarification de l'ancienne couche de roulement est indispensable. La solution de VIZIR Renforcement consiste donc à mettre en œuvre une nouvelle couche de base et une nouvelle couche de roulement sur l'ancienne chaussée scarifiée.

Des seuils de déflexion D_1 et D_2 doivent être fixés en tenant compte que $D_1 < D_2 \leq 100/100$ mm avec :

- D_1 : valeur en deçà desquelles la chaussée se comporte généralement bien ;
- D_2 : valeur au-delà desquelles la chaussée se comporte mal.

Le choix de D_1 et D_2 dépend surtout de l'état de surface de la route :

- Si la route est en très bon état : $D_1=40/100$ mm et $D_2=60/100$ mm.
- Dans le cas contraire, $D_1=60/100$ mm et $D_2=100/100$ mm.

Dans le cadre de ce projet D_1 sera de 60/100 mm et D_2 sera de 100/100 mm.

7.3.2 Dimensionnement

7.3.2.1 Epaisseur équivalente

Pour le dimensionnement du renforcement, la méthode de la réduction de la déflexion exprimée par la relation ci-après est appliquée :

$$e'_{eq} = \frac{C}{\sqrt{d_0}} \log \frac{D_0}{D_1} \quad (12)$$

e'_{eq} : Épaisseur équivalente de renforcement ;

C : constante du matériau ;

- $C=1600$ pour des graves et enduit (EDC, BBM, ES_b, GCNT) ;
- $C= 1200$ pour des graves émulsions et enduit ;
- $C= 800$ pour des enrobés d'épaisseur < 10 cm ;
- $C=650$ pour des enrobés d'épaisseur > 10 cm.

D_0 : Déflexion avant renforcement ;

D_1 : Déflexion après renforcement qui est égale au deuxième seuil D_2 .

$$e'_{eq} = \frac{1600}{\sqrt{120}} \log \frac{120}{100} = 115,6 \text{ [mm]}$$

7.3.3 Epaisseur réelle

Les épaisseurs réelles mises en œuvre sont données par la relation d'équivalence :

$$e'_{eq} = a_r h_r + a_b h_b \quad (13)$$

Avec des coefficients $a_r=1$ et $h_r=2\text{cm}$ pour un enduit superficiel et $a_b=1$, la hauteur de la couche de base sera de $h_b=10\text{ cm}$.

7.3.4 Résultats de dimensionnement

Le résultat de dimensionnement de la réhabilitation est comme l'indique le schéma suivant :

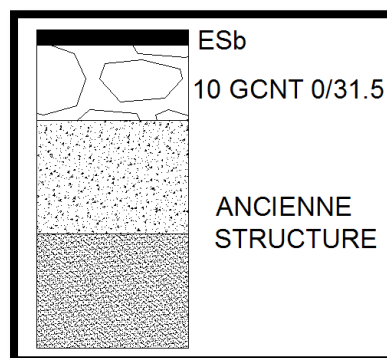


Figure 29. Structure du renforcement avec scarification.

CHAPITRE VIII ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

L'eau étant le premier ennemi de la route, il est impératif d'éviter sa stagnation à la surface et surtout son infiltration dans le corps de la chaussée. L'étude hydrologique et hydraulique joue un rôle important dans le dimensionnement des ouvrages d'assainissement de la chaussée. L'objet de l'hydrologie est d'étudier la pluviométrie afin de déterminer le débit à évacuer à l'exutoire des bassins versants.

8.1 Hydrologie

8.1.1 Pluviométrie

Le projet se situe dans une zone hydrologique dite des régimes Sahéliens du sud. Elle est caractérisée par de faible pluie mensuelle.

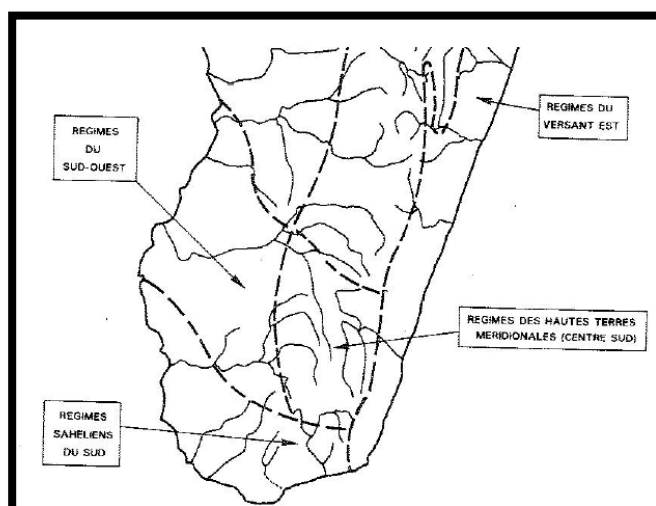


Figure 30. Répartition des zones climatiques selon Fleuves et rivières de Madagascar.

Des données de pluviométrie au cours des 20 ans consécutifs sont indispensables pour la prévision des précipitations pour une période de retour définie. Ces données seront ensuite analysées par des lois statistiques.

Les précipitations maximales journalières enregistrées à la station située à Ambovombe de 1965 à 2002 sont mentionnées dans le tableau ci-après.

Tableau 48. Pluie journalière maximale enregistrée à la station Ambovombe.

Année	Pluie journalière maximale H[mm]	Année	Pluie journalière maximale H[mm]
1965	93,1	1984	93
1966	100,5	1985	82
1967	49,2	1986	65,3
1968	63,3	1987	118,7
1969	141	1988	141,7
1970	77,8	1989	85,2
1971	88	1990	87,9
1972	83,6	1991	166,4
1973	54,1	1992	85,4
1974	52,9	1993	68,8
1975	88,2	1994	31,1
1976	43	1995	74,5
1977	43,9	1996	73,4
1978	69	1997	54,5
1979	27,4	1998	125,4
1980	129	1999	75,7
1981	91,2	2000	180,8
1982	31	2001	78,4
1983	69	2002	34,3

(Source : ARM)

Pour le dimensionnement des ouvrages d'assainissement, la période de retour est de 10 ans et pour le dimensionnement des ouvrages de franchissement, la période de retour considérée est de 25 ans.

8.1.2 Traitement des données pluviométriques

Il existe plusieurs lois globales qui ont été exploitées par les ingénieurs pour évaluer les valeurs représentatives de l'hydrologie de la zone :

- ✓ Loi de GIBRAT-GALTON ;
- ✓ Loi de GOODRICH ;
- ✓ Loi de FRECHET ;
- ✓ Loi de PEARSON III ;
- ✓ Loi de GUMBEL.



Parmi ces lois de distribution qui peuvent rendre compte de la statistique des phénomènes extrêmes, la loi de GUMBEL est la mieux adaptée aux variables pluviométriques et fait intervenir des paramètres facilement utilisables.

8.1.2.1 Application de la loi de GAMBEL

La loi de Gumbel, appelée également loi doublement exponentielle, est définie par :

$$F(H) = e^{-e^{-u}} \quad (14)$$

$$u = \alpha(H - H_0) \quad (15)$$

Avec :

- H : variable aléatoire indépendante à étudier ;
- α et H_0 sont les deux paramètres d'ajustement de GUMBEL ; ils se déduisent des paramètres statistiques σ et \bar{H} par les relations :

$$\alpha = \frac{1}{0,78\sigma} \text{ et } H_0 = \bar{H} - 0,45\sigma \quad (16) \text{ et } (17)$$

- \bar{H} : moyenne arithmétique des valeurs de H ;

$$\bar{H} = \frac{\sum H_i}{N} \quad (18)$$

$\sum H_i$: Somme des hauteurs de pluie maximale journalière annuelle ;

N : Nombre des années considérés ($N=38$).

$$\bar{H} = 82,045 \text{ mm}$$

- σ : écart type

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (H - \bar{H})^2}{N - 1}} \quad (19)$$

$$\sigma = 36,165 \text{ mm}$$

Les paramètres d'ajustement obtenus sont alors :



$$\alpha = \frac{1}{0,78 \times 36,165} = 0,035$$

$$H_0 = 82,045 - 0,45 \times 36,165 = 65,77 \text{ mm}$$

Ainsi, la loi de GAMBEL s'écrit :

$$F(H) = e^{-e^{-0,035(H-65,77)}}$$

8.1.2.2 Pluie maximale journalière pour une période de retour T

La pluviométrie se calcule par l'intermédiaire de la variable **u** d'après la loi de répartition **u = -ln (-ln F)** qu'on égalise à $\alpha (H - H_0)$ afin d'obtenir la valeur correspondante de la hauteur de pluie pour une période de retour T.

La fonction de non dépassement ou bien la fréquence au non dépassement F désigne la même chose. Elle est calculée pour une période de retour T donnée par :

$$F = 1 - \frac{1}{T} \quad (20)$$

D'où on obtient l'expression de la hauteur de pluie :

$$H(24h, T) = -\sigma \left\{ 0,781 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] + 0,45 \right\} + \bar{H} \quad (21)$$

D'après cette formule, on a les hauteurs de pluies maximales journalières correspondantes respectivement aux périodes de retour de 10, 25, 50 et 100 ans.

Tableau 49. Hauteur de pluie maximale journalière pour une période de retour T.

Période de retour T	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
H _{max} (24h, T) [mm]	129,4	156,1	176,0	195,7

8.1.2.3 Test de validité de l'ajustement

Le test d'ajustement de χ^2 permet de confirmer que cette loi appliquée est parfaitement applicable. Il suffit de vérifier si $P(\chi^2) > 0,05$.

Pour cela, L'échantillon de 38 valeurs est réparti par ordre décroissant des hauteurs de pluie en 7 classes ($K=7$) comme nous montre le tableau qui suit :

Tableau 50.Division de l'échantillon en 7 classes.

N° Classe	Bornes x_i	Nombre d'éléments n_i
1	> 120	6
2	120 à 90	5
3	90 à 85	5
4	85 à 70	7
5	70 à 60	5
6	60 à 40	6
7	<40	4

Le nombre théorique v_i de la valeur continue dans chaque classe i pour la fonction de répartition de GUMBEL est donnée par la formule :

$$v_i = N \int_{H_{i+1}}^{H_i} f(H) dH = N[F(H_i) - F(H_{i+1})] \quad (22)$$

 N : nombre de valeurs sur l'échantillon ;

 H_i et H_{i+1} : bornes de la classe i .

$f(H)$ étant la densité de probabilité correspondant à la loi théorique :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} \quad (23)$$

La loi de répartition de GUMBEL étant :

$$F(H) = e^{-e^{-0,035(H-65,77)}}$$

Tableau 51. Nombre théorique des valeurs contenues dans chaque classe.

Classe	H _i	n _i	F(H _i)	(H _i)-(H _i +1)	v _i	n _i - v _i	(n _i - v _i) ²	$\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$
1	infini	6	1,00	0,14	5,29	0,71	0,51	0,10
	120,00		0,86					
2	120,00	5	0,86	0,21	7,95	-2,95	8,70	1,09
	90,00		0,65					
3	90,00	5	0,65	0,05	1,95	3,05	9,32	4,79
	85,00		0,60					
4	85,00	7	0,60	0,18	6,77	0,23	0,05	0,01
	70,00		0,42					
5	70,00	5	0,42	0,13	4,87	0,13	0,02	0,00
	60,00		0,29					
6	60,00	6	0,29	0,21	7,94	-1,94	3,78	0,48
	40,00		0,09					
7	40,00	4	0,09	0,09	3,23	0,77	0,59	0,18
	0							
							χ ² = 6,65	

Le degré de liberté est calculé par la formule :

$$\lambda = K - 1 - p \quad (24)$$

Avec K : nombre de classes de l'échantillon ($k=7$).



$p = 2$: nombre de paramètres dont dépend la loi de répartition. Pour la loi de répartition de GUMBEL, on a deux paramètres qui sont x et σ . $\lambda = 7 - 1 - 2 = 4$.

Recherchons sur la table de Pearson (Annexe VI) la probabilité de dépassement correspondant au nombre de degré de liberté $\lambda = 4$ et $\chi^2 = 6,65$.

Pour cette valeur de λ , en utilisant la table de Pearson, on obtient après interpolation :

$$P(\chi^2) = 0,16 > 0,05$$

Donc, l'ajustement est satisfaisant. La loi d'ajustement de Gumbel est acceptable pour représenter la distribution statistique des 38 échantillons.

8.1.2.4 Intervalle de confiance

La notion d'intervalle de confiance est introduite parce qu'on présume que les valeurs estimées à l'aide de la loi statistique des hauteurs de pluie H ne correspondent pas totalement à leurs vraies valeurs H_r ; ces dernières ne pouvant être connues qu'avec un échantillonnage de dimension infinie.

La valeur réelle H_r des hauteurs de pluie est telle que :

$$H - K_2\sigma < H_r < H + K_1\sigma \quad (25)$$

K_1 et K_2 sont lues sur l'abaque d'estimation des crues de FRECHET-GUMBEL (Annexe) pour un seuil de confiance de 95 % (pour les projets importants économiquement et/ou exigeant une sécurité élevée). Les paramètres d'entrée de l'abaque sont :

- \sqrt{N} , N étant la taille de l'échantillon ; $N=38$;
- Les diverses périodes de retour de crue.

Tableau 52. Intervalle de confiance des débits.

T [ans]	K1	K2	K1 σ	K2 σ	H[mm]	H _r [mm]
10	0,68	0,79	24,60	28,57	129,4	100,82 < H _r < 153,40
25	1,28	0,8	46,29	28,93	156,1	127,16 < H _r < 202,40
50	1,5	0,93	54,25	33,63	175	141,37 < H _r < 229,25
100	1,7	1,1	61,48	39,78	195,7	155,92 < H _r < 257,18



8.1.2.5 Pluie journalière maximale finale

Finalement, pour chaque valeur de la période de retour T , on obtient les résultats des hauteurs réelles des pluies maximales récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 53. Hauteur de pluie journalière maximale finale.

T [ans]	$H (24h, T)$ [mm]
10	110
25	145
50	185
100	206

8.1.3 Bassin versant

Le bassin versant est défini comme étant un milieu naturel délimité par les lignes de partage. Ils transforment la pluie en une quantité d'eau à évacuer à la sortie de ce bassin. Un bassin versant est caractérisé par :

- Sa surface S ;
- Sa pente I ;
- Son coefficient de ruissellement C ;
- Son coefficient de forme K ;
- Longueur du rectangle équivalent ;
- Périmètre P .

8.1.3.1 Surface du bassin versant

La surface d'un bassin versant peut être déterminée à l'aide d'un planimètre. L'aire du bassin est alors calculée par la relation suivante :

$$S = \frac{S_0}{10^6 E^2} \quad (26)$$



Avec :

- S_0 : lecture sur planimètre en mm^2 ;
- 10^6 : conversion du mm^2 en m^2 ;
- E^2 : conversion de la mesure sur carte en mesure réelle.

8.1.3.2 Coefficient de forme

La forme du bassin influe sur l'écoulement des eaux pluviales. Le coefficient de forme est obtenu par la formule :

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (27)$$

8.1.3.3 Pente I du bassin versant

La pente du bassin est donnée par la pente du thalweg principal.

$$I = \frac{\Delta h}{L} \quad (28)$$

Avec :

- Δh : dénivelé du bassin ;
- L : longueur du rectangle équivalent (en km) donnée par :

$$L = \frac{K\sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right] \quad (29)$$

8.1.3.4 Coefficient de ruissellement

C'est un paramètre qui caractérise l'infiltration de l'eau de pluie dans le terrain. L'infiltration est moindre lorsque la pente est élevée et le bassin est couvert. Les valeurs du coefficient de ruissellement sont fonction de la nature de la couverture du bassin comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 54. Valeurs du coefficient de ruissellement C.

Nature de la couverture	S ≤ 10 ha et de pente moyenne en %			
	≤ 5	5 à 10	10 à 30	≥ 30
Plateforme et chaussée	0,95	0,95	0,95	0,95
Terrain dénudé	0,80	0,85	0,90	0,95
Brousse clairsemée	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

8.1.4 Méthode de calcul des débits

Le débit évacué par un bassin versant peut être calculé par deux méthodes :

- la méthode rationnelle : utilisée pour le calcul des ouvrages d'assainissement ;
- la méthode de Louis Duret pour le dimensionnement des dalots de franchissement.

8.1.4.1 Méthode rationnelle :

La méthode rationnelle est applicable pour les bassins versant de surface inférieure à 4 km². Elle s'exprime par la formule :

$$Q_p = 0,278 . S . C . I(t_c, P) \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (30)$$

Avec :

- Q_p : débit pour une période de retour P ;
- $I(t_c, P)$: intensité de pluie pendant le temps de concentration t_c de période P.

$$I(t_c, P) = 28(t_c + 18)^{-0,763} I(1h, P) \text{ [mm]} \quad (31)$$

- $I(1h, P)$: intensité de pluie horaire

$$I(1h, P) = 0,22 H(24h, P) + 56 \text{ [mm]} \quad (32)$$

- t_c : est le temps que mettra une goutte d'eau de pluie tombée au point le plus reculé du bassin versant pour arriver à l'exutoire.

Selon la formule de VENTURA :

$$t_c = 7,62 \sqrt{\frac{S}{I}} \text{ [mn]} \quad (33)$$

Avec :

- S : surface du bassin versant en km^2 ;
- I : pente du bassin versant en m/m .

8.1.4.2 Méthode de Louis Duret

Le calcul de débit de crue par la méthode de Louis Duret s'exprime par la formule ci-après:

$$Q_p = 0,278.S.I(t_u, P) \left[1 - \frac{36}{H(24h, P)} \right]^2 \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (34)$$

Avec :

- Q_p : débit de crue pour une période de retour P ;
- S : surface du bassin versant en km^2 avec $S < 5\text{km}^2$;
- $I(t_u, P)$: Intensité de pluie pendant le temps utile t_u provoquant la crue maximale de période P

$$I(t_u, P) = 28(t_u + 18)^{-0,763} I(1h, P) \quad (35)$$

Avec : $t_u = 0,87t_c^{0,82}$.

8.1.5 Débit des fossés de pied

Les débits à évacuer sont des eaux de ruissellement provenant de la chaussée et des zones environnantes (talus de déblai, accotement ...). Le bassin versant est constitué par la demi-largeur de la chaussée, l'accotement, la surface entre le talus et le fossé de crête. Le bassin versant est donc de faible surface, le débit est calculé par la méthode rationnelle.



8.1.5.1 Surface du bassin versant :

La surface totale du bassin versant est obtenue par la relation suivante :

$$S = \sum S_i = L \sum l_i \quad (36)$$

Avec :

- S_i : surface de chaque élément constituant le bassin ;
- L : longueur du bassin versant ;
- l_i : largeur de chaque élément constituant le bassin.

8.1.5.2 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement caractérisant le bassin est :

$$C = \frac{\sum c_i S_i}{\sum S_i} = \frac{\sum c_i l_i}{\sum l_i} \quad (37)$$

8.1.5.3 Cas du BV du PK 370+200 au PK 370+357.

Les données de calcul sont résumées dans le tableau suivant.

Désignation	Largeur l_i en m	Coefficient C_i	Longueur L en m	Pente de la route %
Demi-chaussée + accotement	4	0,95	157	4
Fossé	1	0,8		
Entre fossé de crête et talus	2,5	0,85		

- Surface du BV : S

$$S = L \sum l_i = 157 \times (4 + 1 + 2,5) = 1177,5 m^2 = 0,0011 km^2$$

- Coefficient de ruissellement : C

$$C = \frac{\sum c_i l_i}{\sum l_i} = \frac{(4 \times 0,95) + (1 \times 0,80) + (2,5 \times 0,85)}{(4 + 1 + 2,5)} = 0,90$$



- Intensité de pluie horaire pour une période de retour de 10 ans : $I(1h, P)$

$$I(1h, 10 \text{ ans}) = 0,22 H(24h, 10 \text{ ans}) + 56 = (0,22 \times 110) + 56 = 80,2 \text{ mm}$$

- Temps de concentration selon la formule de VENTURA : t_c

$$t_c = 7,62 \sqrt{\frac{S}{I}} = 7,62 \times \sqrt{\frac{0,0011}{0,04}} = 1,26 \text{ mn}$$

- Intensité de pluie pendant le temps de concentration t_c de période de retour 10 ans :

$$I(t_c, 10 \text{ ans})$$

$$I(t_c, 10 \text{ ans}) = 28(t_c + 18)^{-0,763} I(1h, 10 \text{ ans})$$

$$I(t_c, 10 \text{ ans}) = 28 \times (1,26 + 18)^{-0,763} \times 80,2 = 235,00 \text{ mm}$$

- Débit Q_{10}

$$Q_p = 0,278.S.C.I(t_c, P) = 0,278 \times 0,0011 \times 0,90 \times 234,60 = 0,065 \text{ m}^3/\text{s}$$

8.1.5.4 Récapitulation des calculs de débits de fossé de pied

Le calcul des débits est mentionné dans le tableau ci-après :

Tableau 55. Récapitulation du calcul des débits de fossé de pied.

Bassin Versant			Caractéristiques géométriques			Pluie		Débit Q
			Surface S	Longueur	Pente i	t_c	$I(1h, 10 \text{ ans})$	
N°	du PK	au PK	[km ²]	[m]	[m/m]	[mm]	[mm]	m ³ /s
BV 01	370+200	370+357	0,001	157	0,04	1,26	235,01	0,065
BV 02	370+423	370+758	0,003	335	0,032	2,41	224,87	0,180
BV 03	371+815	372+099	0,002	284	0,04	1,70	230,99	0,116
BV 04	372+331	372+733	0,006	402	0,06	2,33	225,56	0,316
BV 05	372+906	373+281	0,004	375	0,05	2,02	228,23	0,200

Tableau 56. Récapitulation du calcul des débits de fossé de pied (Suite).

Bassin Versant			Caractéristiques géométriques			Pluie		Débit Q
			Surface S	Longueur	Pente i	tc	I(1h,10 ans)	
N°	du PK	au PK	[km²]	[m]	[m/m]	[mm]	[mm]	m³/s
BV 06	373+540	373+958	0,005	418	0,05	2,29	225,91	0,254
BV 07	374+023	375+069	0,013	1046	0,039	4,40	209,46	0,681
BV 08	375+105	375+405	0,003	300	0,04	2,09	227,62	0,171
BV 09	376+326	376+690	0,004	364	0,04	2,25	226,19	0,198
BV 10	376+895	377+251	0,006	356	0,031	3,24	218,14	0,306
BV 11	380+014	380+542	0,007	528	0,052	2,74	222,17	0,372
BV 12	381+311	381+550	0,002	239	0,039	1,68	231,18	0,110
BV 13	381+720	382+121	0,004	401	0,036	2,38	225,15	0,197
BV 14	382+824	383+211	0,005	387	0,04	2,58	223,41	0,257
BV 15	384+709	385+226	0,004	517	0,04	2,25	226,19	0,198
BV 16	385+307	386+055	0,003	748	0,035	2,23	226,38	0,170
BV 17	387+135	388+011	0,014	873	0,04	4,51	208,69	0,731
BV 18	388+558	389+766	0,016	1208	0,057	4,04	212,08	0,849
BV 19	389+835	390+268	0,005	433	0,03	3,02	219,90	0,259
BV 20	390+421	390+908	0,005	487	0,06	2,26	226,09	0,300
BV 21	391+015	391+629	0,006	614	0,031	3,35	217,25	0,326
BV 22	391+872	392+100	0,001	228	0,008	3,19	218,54	0,077

8.1.6 Calcul des débits des ouvrages de franchissement

Ces débits transversaux sont les débits pour le calcul des ouvrages de franchissement. Ils sont déterminés par la formule de Louis Duret pour une période de retour de 25 ans. Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 57. Résultats de calcul des débits par la méthode de Louis Duret.

Localisation	Surface du BV [km ²]	tu [mn]	I(tu, 25 ans) [mm]	Q _{25 ans} [m ³ /s]
PK 390+300	0,10	22,9	145,1	2,28
PK 392+200	1,78	16,4	165,4	46,26

8.2 Etude hydraulique

L'étude hydraulique consiste à concevoir et dimensionner les ouvrages d'assainissement le long de la route. Entre autre, cette étude permet de voir la nécessité ainsi que la vérification du bon fonctionnement des ouvrages en ce qui concerne les travaux de réhabilitation.

Les différents types d'ouvrage d'assainissement rencontrés le long de l'axe du projet sont :

- Les fossés de crête et les fossés de pied qui assurent le drainage longitudinal ;
- Les dalots et les buses qui jouent les rôles de drainage transversal.

Toutefois, le choix d'un ouvrage d'assainissement doit tenir compte des critères suivants :

- Sa capacité hydraulique ;
- Son insertion dans le profil en long et le profil en travers du projet routier pour assurer la sécurité et le confort des usagers ;
- Son niveau de protection au regard de la vulnérabilité des eaux ;
- Sa facilité d'entretien et d'exploitation.

8.2.1 Dimensionnement des fossés

8.2.1.1 Cas des fossés de crête

Le fossé de crête protège le talus de déblai. Le dimensionnement consiste à déterminer les caractéristiques suivantes :

- Section transversale : base b , hauteur d'eau h , hauteur du fossé H ;
- Pente longitudinale : i_f ;
- Nature de la surface d'écoulement caractérisée par le coefficient de porosité k .

Le relief le long du tracé de la route n'étant pas montagneux, le calcul illustré dans ce qui suit concerne le fossé de crête qui longe le talus du PK 386+104 au PK 386+553. Le talus de déblai est exposé au risque d'éboulement. Le fossé est divisé en des tronçons de pente constante et le dimensionnement commence par le tronçon en aval. Les débits sont déterminés à partir de la méthode rationnelle.

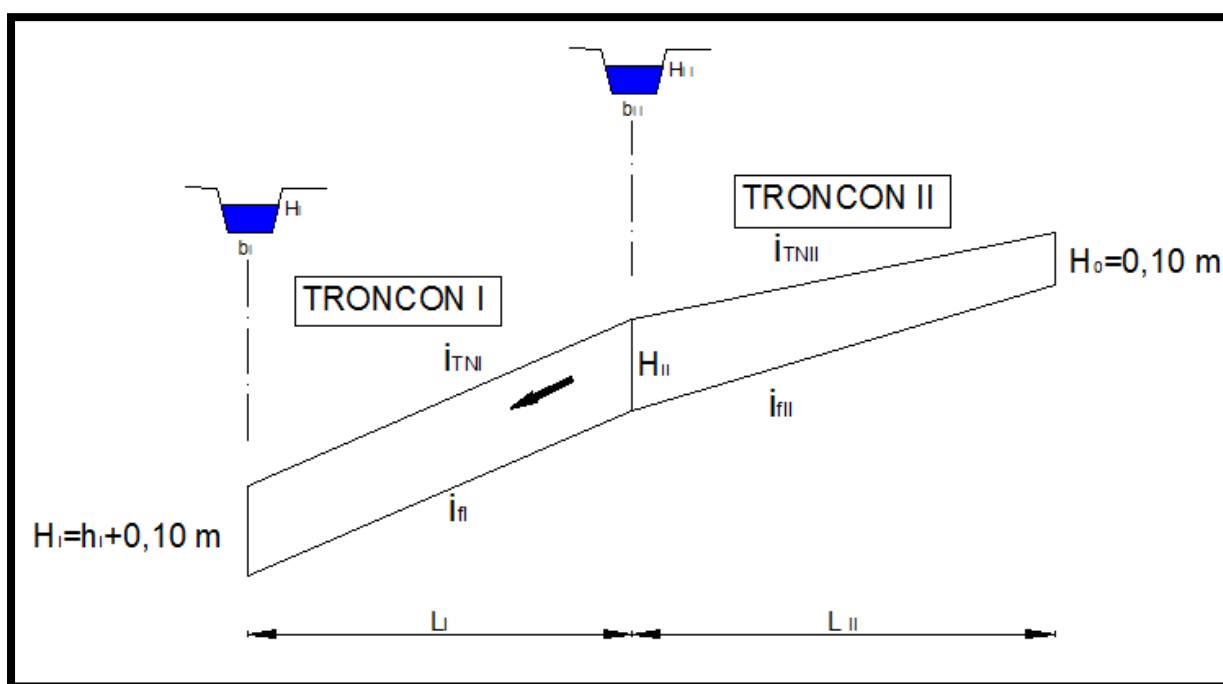


Figure 31 .Présentation des tronçons du fossé.

a) Données de calcul :

Les données de calcul sont mentionnées dans le tableau ci-après. La nature du bassin versant étant des brousses clairsemées, le coefficient de ruissellement C est de 0,75.

Tableau 58. Données de calcul de fossé de crête.

Tronçon	Pente i en %	Longueur L en m	Débit à évacuer Q_0 en m ³ /s	Coefficient C
I	0,035	86	1,04	0,75
II	0,007	63	0,63	0,75

Généralement la pente du fossé de crête trapézoïdale est de $p=3/2$ mais dans le cadre de ce projet, la pente du fossé p est prise égale à $p=1$ donnant $m=1$.

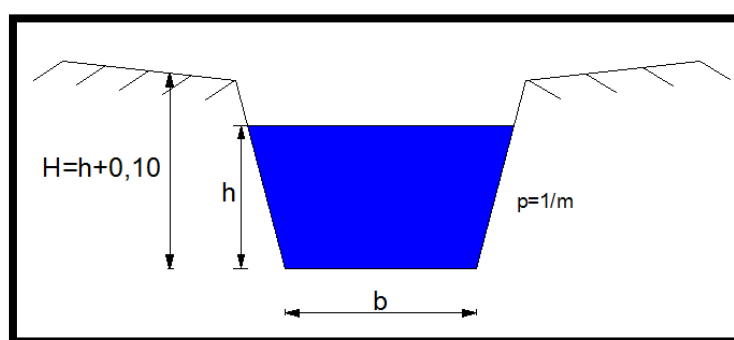


Figure 32. Coupe transversale du fossé.

b) Etude du tronçon I le plus en aval :

Le schéma de calcul se présente comme suit :

📌 Ouverture efficace à la sortie du tronçon I : ω_I

$$\omega_I = \frac{0.5y + 1.25}{\sqrt{k \cdot \beta^{0.5+y} \cdot i_{fI}^{0.5}}} Q_{0I} \quad (38)$$

Avec :

- Q_{0I} : débit à évacuer à la sortie du tronçon I ;
- k : coefficient de porosité du fossé, égale à 67 pour un revêtement en maçonnerie jointoyés.
- $y = \frac{1,5}{\sqrt{k}} = \frac{1,5}{\sqrt{67}} = 0,18$;
- $\beta = \frac{0.5}{\sqrt{\xi - m}} = \frac{0.5}{\sqrt{(2 \cdot \sqrt{m^2 + 1}) - m}} = \frac{0.5}{\sqrt{(2 \cdot \sqrt{1^2 + 1}) - 1}} = 0,40$

- i_{fI} : pente du fossé prise égale à la pente du terrain naturel à priori.

$$\omega_I = \frac{(0.5 \times 0.18) + 1.25}{\sqrt{67 \times 0.4^{0.5+0.18} \times 0.035^{0.5}}} \frac{1.04}{0.5} = 0.26 \text{ m}$$

- ✚ Hauteur de l'eau dans le fossé : h_I

$$h_I = \sqrt{\frac{\omega_I}{\xi - m}} \quad (39)$$

$$h_I = \sqrt{\frac{0.26}{2.83 - 1}} = 0.38 \text{ m}$$

- ✚ Largeur au plafond : b_I

$$b_I = h_I \cdot (\xi - 2m) \quad (40)$$

$$b_I = 0.38 \times (2.83 - 2 \times 1) = 0.31 \text{ m}$$

- ✚ Valeur rectifiée de ω_{Ir}

$$\omega_{Ir} = b_I \cdot h_I + m \cdot h_I^2 \quad (41)$$

$$\omega_{Ir} = (0.31 \times 0.38) + (1 \times 0.38^2) = 0.26 \text{ m}$$

- ✚ Périmètre mouillé : χ_I

$$\chi_I = b_I + \xi \cdot h_I \quad (42)$$

$$\chi_I = 0.31 + (2.83 \times 0.38) = 1.38 \text{ m}$$

- ✚ Rayon hydraulique : R_I

$$R_I = \frac{\omega_{Ir}}{\chi_I} \quad (43)$$

$$R_I = \frac{0.26}{1.38} = 0.19 \text{ m}$$

- ✚ Vitesse d'écoulement de l'eau dans le fossé : v_I

$$v_I = k \cdot R_I^{0.5+y} \cdot i_{fI}^{0.5} \quad (44)$$

$$v_I = 67 \times 0.19^{0.5+0.18} \times 0.035^{0.5} = 4 \text{ m/s}$$

- ✚ Vérification de l'affouillement :

Il faut vérifier l'affouillement selon la surface d'écoulement, pour une protection en maçonnerie jointoyé, $v_{aff} = 6.5 \text{ m/s}$. La condition de non affouillement est vérifiée si :

$$v_{aff} > v_I$$

Dans le cas présent, il n'y a pas de problème d'affouillement.

c) Etude du tronçon II

La présentation de la continuité des fossés indiquée par la figure précédente. Il s'ensuit que la hauteur H du tronçon II équivaut à :

$$H_{II} = H_I = h_I + H_0 \quad (45)$$

$$H_{II} = H_I = 0,38 + 0,10 = 0,48 \text{ m}$$

Et pour faciliter la mise en œuvre :

$$b_{II} = b_I = 0,31 \text{ m}$$

✚ Pente longitudinale : i_{fII}

$$i_{fII} = \frac{H_{II} - H_0}{L_{II}} + i_{TN_{II}} \quad (46)$$

$$i_{fII} = \frac{0,48 - 0,10}{63} + 0,007 = 0,013$$

✚ Ouverture efficace ω_{II} et rayon hydraulique R_{II}

$$\omega_{II} = \omega_{Ir} = 0,26 \text{ m}$$

$$R_{II} = R_I = 0,19 \text{ m}$$

✚ Vitesse d'écoulement v_{II}

En utilisant la même formule que pour le tronçon I,

$$v_{II} = 2,44 \text{ m/s}$$

✚ Vérification du dimensionnement

La condition de non affouillement est vérifiée avec $v_{II} < v_{aff}$, en ce qui concerne l'évacuation de l'eau, le débit évacuable par le fossé est exprimé par la relation :

$$Q_{II} = \omega_{II} \cdot v_{II} \quad (47)$$

$$Q_{II} = 0,26 \times 2,44 = 0,6344 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit à évacuer étant de $Q_{0II} = 0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ le fossé permet l'évacuation des eaux.

$$\frac{|Q_{0II} - Q_{II}|}{Q_{0II}} \times 100 = \frac{|0,63 - 0,6344|}{0,63} \times 100 \approx 0,007\% < 5\%$$

→ Le fossé est bien dimensionné.

d) Récapitulation du dimensionnement du fossé de crête :

Tableau 59. Résultats de dimensionnement du fossé de crête.

Tronçon	Section transversale			Pente longitudinale	Vitesse	Débit à évacuer	Débit évacuable
	b [m]	h [m]	H[m]	i [%]	v [m/s]	Q0 [m3/s]	Q [m3/s]
I	0,31	0,48	0,58	3,5	4,00	1,04	1,04
II	0,31	0,48	0,58	1,3	2,44	0,63	0,6344

8.2.1.2 Cas des fossés de pied

Les fossés de pied évacuent les eaux de ruissellement venant du talus de devers et de la demi-chaussée. Dans le cadre de ce projet les fossés de pied sont de forme rectangulaire et triangulaire. Le principe consiste à opter à priori pour un fossé triangulaire en terre, si les conditions de dimensionnement sont satisfaisantes, le fossé triangulaire est adopté, dans le cas contraire, la section du fossé est changée en une section rectangulaire maçonnée. Si la vérification n'a pas toujours lieu, des ouvrages de décharges sont mis en place.

a) Fossé triangulaire

La pente du fossé triangulaire est de 2/1 et de 1/2, à priori le fossé est en terre. Le dimensionnement consiste donc à vérifier si le fossé permet d'évacuer le débit de l'eau tout en évitant les risques d'ensablement ou d'affouillement.

Hypothèses de calcul :

Les caractéristiques du fossé vérifient les conditions suivantes :

+ Ouverture $B = \frac{5h}{2} \leq 1,00 \text{ m}$;

+ Hauteur $H = 0,40 \text{ m}$;

+ Hauteur d'eau $h = 0,30 \text{ m}$.

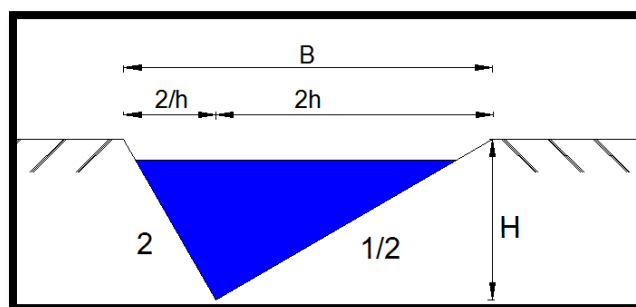


Figure 33. Coupe transversale du fossé triangulaire.

Principe de calcul :

Afin d'obtenir le débit maximal évacuable par le fossé, la détermination des paramètres fonction de la hauteur d'eau suivants sont nécessaires.

+ Ouverture efficace : $\omega = 5 \frac{h^2}{4}$; (48)

+ Périmètre mouillé : $\chi = \frac{3}{2} h \sqrt{5}$; (49)

+ Rayon hydraulique : $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h}{6} \sqrt{5}$. (50)

La vitesse d'écoulement est ainsi obtenue par la formule de MANNING STRICKLER :

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot i^{0,5} \quad (51)$$

Le coefficient de rugosité k est pris égal à 50 pour les sols sableux avec état de surface passable. Et le débit maximal évacuable par le fossé est exprimé par la relation :

$$Q_{max} = v \cdot \omega \quad (52)$$

Vérification et observation :

La vérification se porte sur les problèmes d'ensablement et d'affouillement. Par conséquent, après avoir obtenu la vitesse, il faut vérifier que :

$$v_{ens} < v < v_{aff}$$

- $v_{ens} = 0,5m/s$ pour les sols sableux ;
- $v_{aff} = 3m/s$: valeur limite pour terrains sableux et limoneux.

Si la vitesse d'écoulement v dépasse la vitesse d'affouillement v_{aff} , le fossé nécessite de protection.

En ce qui concerne l'évacuation de l'eau, la condition suivante doit être respectée :

$$\frac{|\Delta Q|}{Q_0} \cdot 100 < 5\%$$

Si la vérification n'a pas lieu, c'est-à-dire :

- $Q < Q_0$: le fossé est sous dimensionné, un emplacement d'ouvrage de décharge est nécessaire ;
- $Q > Q_0$: le fossé est surdimensionné, la section transversale est alors à diminuer mais quelques fois le fossé surdimensionné est acceptable lorsque la section est trop petite.

b) Fossé rectangulaire

Pour les tronçons où le fossé triangulaire ne permet pas l'évacuation des débits, le fossé rectangulaire revêtu de maçonnerie en pierre jointoyée est choisi. La section transversale se présente comme l'indique la figure ci- après.

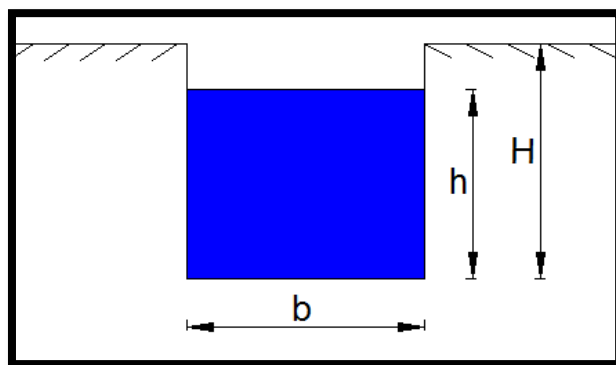


Figure 34. Section transversale du fossé rectangulaire.

Le principe de calcul et les vérifications sont les mêmes que pour le calcul du fossé triangulaire. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- + Ouverture $b = 0,30$ m ;
- + Hauteur $H = 0,50$ m ;
- + Hauteur d'eau $h = 0,40$ m ;
- + Coefficient de rugosité $k=67$;
- + Vitesse d'affouillement : $v_{aff} = 6,5$ m/s.

Les paramètres hydrauliques sont :

- + Ouverture efficace $\omega = b \cdot h = 0,12$ m;
- + Périmètre mouillé $\chi = b + 2h = 1,1$ m ;
- + Rayon hydraulique $R = \omega / \chi = 0,11$ m.

c) Exemple d'application numérique

Le calcul qui va suivre concerne le **BV 11**. Lorsque le fossé est de section triangulaire avec les hypothèses suivantes :

- ✓ hauteur $h = 0,30$ m ;
- ✓ le coefficient de rugosité $k=50$;
- ✓ la pente $i=0,051$ [m/m] ;
- ✓ le débit à évacuer $Q_0 = 0,372$ m³/s

Le calcul se présente comme suit :



- Ouverture efficace $\omega = 5 \frac{h^2}{4} = 5 \times \frac{0,30^2}{4} = 0,11 \text{ m}$;
- Périmètre mouillé $\chi = \frac{3}{2} h \sqrt{5} = \frac{3}{2} \times 0,30 \times \sqrt{5} = 1,01 \text{ m}$;
- Rayon hydraulique $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h}{6} \sqrt{5} = \frac{0,30}{6} \times \sqrt{5} = 0,11 \text{ m}$.

La vitesse d'écoulement est :

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot i^{0,5} = 50 \times 0,11^{2/3} \times 0,052^{0,5} = 2,65 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Le débit maximal évacuable est donc :

$$Q_{max} = v \cdot \omega = 2,65 \times 0,11 = 0,298 \text{ m}^3/\text{s} < 0,372 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le fossé est sous dimensionné. La section est changée en une section rectangulaire avec les hypothèses décrites dans le paragraphe b) précédent. La vitesse est alors :

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot i^{0,5} = 67 \times 0,11^{2/3} \times 0,052^{0,5} = 3,49 \text{ m/s} < 6,5 \text{ m/s}$$

Il n'y a pas de problème d'affouillement. Le débit maximal évacuable par le fossé :

$$Q_{max} = v \cdot \omega = 3,49 \times 0,12 = 0,419 \text{ m}^3/\text{s} < 0,372 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\frac{|0,419 - 0,372|}{0,372} \times 100 = 12,63\%$$

Le fossé est légèrement sur dimensionné mais les dimensions sont acceptables pour les entretiens ultérieures.

d) Tableau récapitulatif de tous les calculs de fossé de pied

Les calculs des fossés triangulaires sont illustrés dans le tableau ci-après.

Tableau 60. Calcul de fossé triangulaire en terre.

Bassin Versant					Fossé			Observations	
N°	du PK	au PK	S [km²]	Q10 ans [m³/s]	i [m/m]	v [m/s]	Q [m³/s]	Par rapport à la vitesse	Par rapport au débit
BV 01	370+200	370+357	0,001	0,065	0,040	2,32	0,261	v<v aff	condition vérifiée
BV 02	370+423	370+758	0,003	0,180	0,032	2,08	0,234	v<v aff	condition vérifiée
BV 03	371+815	372+099	0,002	0,116	0,040	2,32	0,261	v<v aff	condition vérifiée
BV 04	372+331	372+733	0,006	0,316	0,060	2,84	0,320	v<v aff	condition vérifiée
BV 05	372+906	373+281	0,004	0,200	0,050	2,59	0,292	v<v aff	condition vérifiée
BV 06	373+540	373+958	0,005	0,254	0,050	2,59	0,292	v<v aff	condition vérifiée
BV 07	374+023	375+069	0,013	0,681	0,039	2,29	0,258	v<v aff	sous dimensionné
BV 08	375+105	375+405	0,003	0,171	0,040	2,32	0,261	v<v aff	condition vérifiée
BV 09	376+326	376+690	0,004	0,198	0,040	2,32	0,261	v<v aff	condition vérifiée
BV 10	376+895	377+251	0,006	0,306	0,031	2,04	0,230	v<v aff	sous dimensionné
BV 11	380+014	380+542	0,007	0,372	0,052	2,65	0,298	v<v aff	sous dimensionné
BV 12	381+311	381+550	0,002	0,110	0,039	2,29	0,258	v<v aff	condition vérifiée
BV 13	381+720	382+121	0,004	0,197	0,036	2,20	0,248	v<v aff	condition vérifiée
BV 14	382+824	383+211	0,005	0,257	0,040	2,32	0,261	v<v aff	condition vérifiée
BV 15	384+709	385+226	0,004	0,198	0,040	2,32	0,261	v<v aff	condition vérifiée
BV 16	385+307	386+055	0,003	0,170	0,035	2,17	0,244	v<v aff	condition vérifiée
BV 17	387+135	388+011	0,014	0,731	0,040	2,32	0,261	v<v aff	sous dimensionné
BV 18	388+558	389+766	0,016	0,849	0,057	2,77	0,312	v<v aff	sous dimensionné
BV 19	389+835	390+268	0,005	0,259	0,030	2,01	0,226	v<v aff	sous dimensionné
BV 20	390+421	390+908	0,005	0,300	0,060	2,84	0,320	v<v aff	condition vérifiée
BV 21	391+015	391+629	0,006	0,326	0,031	2,04	0,230	v<v aff	sous dimensionné
BV 22	391+872	392+115	0,001	0,077	0,008	1,04	0,117	v<v aff	condition vérifiée

Pour les bassins versants BV 07, BV 10, BV 17, BV 18, BV 19 ainsi que BV 21, le fossé triangulaire en terre ne passe pas, des fossés rectangulaires maçonnés sont adoptés. Les résultats de calcul sont illustrés dans le tableau 61 suivant.

Tableau 61. Calcul de fossé rectangulaire maçonné.

Bassin Versant					Fossé			Observations	
N°	du PK	au PK	S [km ²]	Q10 ans [m ³ /s]	i [m/m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]	Par rapport à la vitesse	Par rapport au débit
BV 07	374+023	375+069	0,013	0,681	0,039	3,02	0,363	v<v aff	sous dimensionné
BV 10	375+895	376+251	0,006	0,306	0,031	2,69	0,323	v<v aff	condition vérifiée
BV 11	380+014	380+542	0,007	0,372	0,052	3,49	0,419	v<v aff	condition vérifiée
BV 17	387+135	388+011	0,014	0,731	0,040	3,06	0,367	v<v aff	sous dimensionné
BV 18	388+558	389+766	0,016	0,849	0,057	3,65	0,438	v<v aff	sous dimensionné
BV 19	389+835	390+268	0,005	0,259	0,030	2,65	0,318	v<v aff	condition vérifiée
BV 21	391+015	391+629	0,006	0,326	0,031	2,69	0,323	v<v aff	sous dimensionné

Il existe toujours des tronçons où le fossé reste sous dimensionné, des ouvrages de décharges sont mis en place.

8.2.2 Dimensionnement des ouvrages de décharges

Les ouvrages de décharge permettent à l'eau venant d'un fossé de pied sous dimensionné de traverser la route. Ils sont généralement des buses en béton ou des dalots en maçonnerie de moellon. Le dimensionnement consiste à déterminer :

- La pente de l'ouvrage I ;
- La vitesse d'écoulement V ;
- Déduire ensuite si l'ouvrage est surdimensionné ou sous dimensionné.

8.2.2.1 Détermination du nombre et de l'emplacement des ouvrages de décharge

Pour les bassins versants BV 07, BV 17, BV 18 et BV 21, le débit maximal évacuable par le fossé est inférieur au débit à évacuer, l'emplacement des ouvrages de décharge est nécessaire.

Soit L' la distance où le fossé va être correctement rempli, l'ouvrage de décharge y sera placé tel que :



$$L' = \frac{L Q_{max}}{Q_0} \quad (53)$$

- L' : emplacement de l'ouvrage de décharge ;
- L : longueur du fossé ;
- Q_{max} : débit maximal évacuable par le fossé ;
- Q_0 : débit à évacuer du bassin versant.

Le nombre d'ouvrage de décharge n dépend de l'existence de l'exutoire au bout de la longueur L :

- S'il n'y a pas d'exutoire au bout L :

$$n = \frac{Q_0}{Q_{max}} = \frac{L}{L'} \quad (54)$$

- S'il existe un exutoire au bout de la longueur L :

$$n = \frac{Q_0}{Q_{max}} - 1 = \frac{L}{L'} - 1 \quad (55)$$

Cas du fossé au BV 07 du PK 374+023 au PK 375+069 :

Les données de calcul sont les suivantes :

- $L = 1046 \text{ m}$;
- $Q_0 = 0,681 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{max} = 0,363 \text{ m}^3/\text{s}$.

Calcul de L' et n :

$$L' = \frac{1046 \times 0,363}{0,681} = 557,56 \text{ m}$$

Mais au bout de L , il existe un exutoire, ainsi :

$$n = \frac{1046}{557,56} - 1 = 0,87$$

Donc le nombre d'ouvrage de décharge est de $n = 1$, il est préférable de le mettre au milieu du tracé du fossé c'est-à-dire au bout de 523 m. Le débit à évacuer sera ainsi de :

$$Q' = \frac{Q_0}{2} = \frac{0,681}{2} = 0,304 \frac{m^3}{s}$$

8.2.2.2 Récapitulation de calcul de l'emplacement et du nombre des ouvrages de décharge

Tableau 62. Récapitulation du calcul de l'emplacement des ouvrages de décharge.

Bassin Versant					Ouvrage de décharge			
N°	du PK	au PK	L [m]	Q0 [m3/s]	n [-]	L' [m]	L'final [m]	Q' [m3/s]
BV 07	374+023	375+069	1046	0,681	1	557	523	0,34
BV 17	387+135	388+011	876	0,731	1	440	438	0,37
BV 18	388+558	389+766	1208	0,849	1	624	604	0,42
BV 21	391+015	391+629	614	0,326	1	608	307	0,16

8.2.2.3 Dimensionnement des buses

Les buses nécessitent une hauteur de remblai supérieure à 0,80 m. Les buses utilisées pour le projet sont des buses circulaires. Le dimensionnement consiste à donner un rayon à priori à la buse et passer ensuite aux différentes vérifications.

Démarche de calcul :

La pente est obtenue par le biais des paramètres adimensionnels Q_I^* et I_{cr}^* telles que la valeur de Q_I^* est calculée tandis que celle de I_{cr}^* est obtenue à partir de la lecture d'un abaque.

$$\circ Q_I^* = \frac{Q'}{\sqrt{g \cdot R^5}} \quad (56)$$

$$\circ I_{cr}^* = \frac{k^2 \cdot R^{1/3} \cdot I_{cr}}{g} \quad (57)$$

En ayant I_{cr}^* , la pente critique est exprimée par la relation :

$$I_{cr} = \frac{I_{cr}^* \cdot g}{k^2 \cdot R^{1/3}} \quad (58)$$



Pour tenir compte de l'imperfection de mise en œuvre, la pente réelle de l'ouvrage est :

$$I = 1,20. I_{cr} \quad (59)$$

La vitesse d'écoulement dépend des paramètres adimensionnels Q_V^* et V^* suivants :

$$\circ \quad Q_V^* = \frac{Q'}{k.I^{1/2}.R^{8/3}} \quad (60)$$

$$\circ \quad V^* = \frac{V}{k.I^{1/2}.R^{2/3}} \quad (61)$$

$$\circ \quad V = k.I^{1/2}.R^{2/3}.V^* \quad (62)$$

Une vérification s'impose par rapport à l'ouverture de l'ouvrage et au problème d'affouillement. La condition suivante doit être satisfaite :

$$\frac{|V - V_{aff}|}{V_{aff}} \cdot 100 < 5\% \quad (63)$$

Cas de la buse pour le BV 07

a) *Données et hypothèses de calcul :*

Les données de calcul sont obtenues à partir du tableau 54 précédent, les autres valeurs sont des hypothèses.

- Débit à évacuer : $Q' = 0,34 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Rayon de la buse : $R = 0,5 \text{ m}$;
- Coefficient de rugosité : $k = 67$;
- Vitesse d'affouillement : $v_{aff} = 3 \text{ m/s}$;
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

b) *Calcul des paramètres adimensionnels*

$$Q_I^* = \frac{0,34}{\sqrt{9,81 \times 0,5^5}} = 0,61$$

Selon l'abaque : $Q_I^* = 0,61 \rightarrow I_{cr}^* = 1,6$.

$$\text{Ainsi : } I_{cr} = \frac{1,6 \times 9,81}{67^2 \times 0,5^{1/3}} = 0,0209 = 2,1\%$$

La pente réelle est donc :

$$I = 1,20 \times 0,0209 = 0,025 = 2,5 \%$$

La vitesse dépend de Q_v^* telle que :

$$Q_v^* = \frac{0,34}{67 \times 0,025^{1/2} \times 0,5^{8/3}} = 0,203$$

L'abaque donne pour $Q_v^* = 0,203 \rightarrow V^* = 0,41$

$$V = 67 \times 0,025^{1/2} \times 0,5^{2/3} \times 0,41 = 2,73 \text{ m/s}$$

$$\frac{|2,73 - 3|}{3} \times 100 \approx 8,8\% > 5\%$$

La buse est surdimensionnée, toutefois, ces dimensions sont gardées car elles sont assez petites mais aussi pour faciliter les travaux d'entretien ultérieurs.

Récapitulation de dimensionnement des buses

Les bassins versants BV 07, BV 17 et BV 18 présente des débits à peu près de même ordre de grandeur, c'est pourquoi, semblablement au fossé du BV 07, l'ouvrage de décharge choisi pour les deux autres est aussi une buse de 1m de diamètre. En plus, la hauteur de remblai au-dessus des buses est assez élevée. Les détails de dimensionnement sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 63. Récapitulation calcul de dimensionnement des buses.

Localisation		Paramètres de calcul de la pente			Paramètres de calcul de la vitesse			Observation
BV	Buses	Q_l^*	I_{cr}^*	$I_{cr} \text{ réelle } (\%)$	Q_v^*	V^*	$V \text{ (m/s)}$	
BV 07	PK 374+546	0,615	1,6	2,5	0,203	0,41	2,75	$v < v_{aff}$
BV 17	PK 387+573	0,66	1,62	2,5	0,217	0,42	2,8	$v < v_{aff}$
BV 18	PK 389+162	0,767	1,65	2,6	0,249	0,43	2,92	$v < v_{aff}$

Ainsi les caractéristiques des buses sont :

$$R = 0,5 \text{ m et } I_{cr} = 2,6 \%$$

Pour le fossé du BV 21, l'ouvrage de décharge choisi est un dalot en maçonnerie de moellons.

8.2.2.4 Calcul du dalot

Les dalots sont des ouvrages de décharge de section rectangulaire comme l'indique la figure suivante :

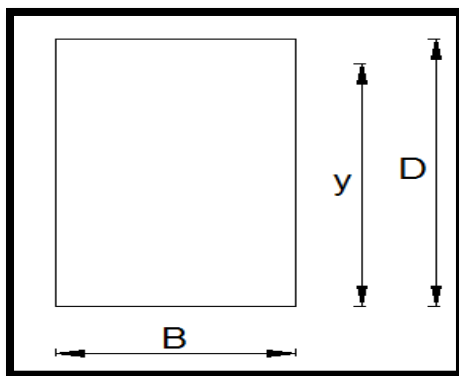


Figure 35. Coupe transversale du dalot.

Le dimensionnement suivant concerne le dalot du PK 391+322.

Hypothèses de calcul et données de calcul :

- Débit à évacuer : $Q' = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Base : $B = 0,5 \text{ m}$;
- Coefficient de rugosité : $k = 67$;
- Vitesse d'affouillement : $v_{aff} = 3 \text{ m/s}$;
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$.

Démarche de calcul

Pour le calcul d'un dalot, les paramètres adimensionnels Q_I^* et I_{cr}^* sont exprimés par :

$$Q_I^* = \frac{Q'}{\sqrt{g \cdot B^5}} \quad (64)$$

$$I_{cr}^* = \frac{k^2 \cdot B^{1/3} I_{cr}}{g} \quad (65)$$



Avec : $Q_I^* = \frac{0,16}{\sqrt{9,81 \times 0,5^5}} = 0,294$ la lecture sur l'abaque donne : $I_{cr}^* = 3,09$. La pente critique sera donc de :

$$I_{cr} = \frac{I_{cr}^* \cdot g}{k^2 \cdot B^{1/3}} \quad (66)$$

$$I_{cr} = \frac{3,09 \times 9,81}{67^2 \times 0,5^{1/3}} = 0,04 = 4\%$$

La pente réelle :

$$I = 1,20 \times 0,04 = 0,048 = 5 \%$$

D'une manière analogue que le calcul des buses, le calcul de la vitesse d'écoulement dans le dalot tient compte des paramètres Q_v^* et V^* tels que :

$$Q_v^* = \frac{Q_I'}{k \cdot I^{1/2} \cdot B^{8/3}} = \frac{0,16}{67 \times 0,048^{1/2} \times 0,5^{8/3}} = 0,07$$

$$V^* = \frac{V}{k \cdot I^{1/2} \cdot B^{2/3}}$$

L'abaque donne pour $Q_v^* = 0,07 \rightarrow V^* = 0,29$. Ainsi, la vitesse réelle V équivaut à :

$$V = k \cdot I^{1/2} \cdot B^{2/3} \cdot V^* = 67 \times 0,048^{1/2} \times 0,5^{2/3} \times 0,29 = 2,74 \text{ m/s}$$

Par rapport au problème d'affouillement, la vitesse d'écoulement dans le dalot est supérieure à la vitesse d'affouillement, donc les paramètres calculés pour le dalot sont acceptables.

La hauteur D du dalot est alors :

$D = y + 0,10 \text{ m}$ avec :

$$y = B \cdot Q_I^{*2/3} \quad (67)$$

$$y = 0,5 \times 0,294^{2/3} = 0,22 \text{ m}$$

$$D = 0,22 + 0,1 = 0,32 \text{ m}$$



Les dimensions finales du dalot prises pour faciliter les entretiens ultérieures et assurer une bonne évacuation des eaux sont:

$$B = 0,5 \text{ m et } D = 0,5 \text{ m avec une pente de } 5 \%$$

8.2.3 Dimensionnement des ouvrages de franchissement

8.2.3.1 *Dimensionnement hydraulique*

Le dimensionnement hydraulique consiste à déterminer les dimensions des ouvrages de franchissement permettant d'évacuer le débit du bassin versant.

a) Débit maximal évacuable Q_{max}

Le débit évacuable par l'ouvrage est calculé par la formule de MANNING STRICKLER :

$$Q_{max} = k \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (68)$$

Avec :

- k : coefficient de rugosité (égale à 60 pour les ouvrages en béton) ;
- S : section mouillée [m^2] ;
- R : rayon hydraulique [m] ;
- I : pente de l'ouvrage [m/m].

b) Section mouillée S

C'est la partie de la section perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'ouvrage limité par les parois et la surface libre de l'eau.

$$S = L \cdot h \quad (69)$$

Telle que :

- L : largeur du dalot [m] ;
- h : hauteur de l'eau dans le dalot [m].



c) Rayon hydraulique R

Le rayon hydraulique est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé.

$$R = \frac{S}{P} = \frac{L \cdot h}{L + (2h)} \quad (70)$$

d) Pente de l'ouvrage

La pente du dalot est choisie de façon à ce que l'écoulement de l'eau soit fluvial. Cette pente est déterminée forfaitairement.

e) Vitesse de l'écoulement

La vitesse d'écoulement est obtenue par la formule ci-après :

$$V = \frac{Q_{max}}{S} \quad (71)$$

La nature de l'écoulement dépend de sa vitesse et est caractérisé par le nombre de Froud F_R tel que :

- Si $F_R < 1$: l'écoulement est fluvial ;
- Si $F_R > 1$: l'écoulement est torrentiel ;
- Si $F_R = 1$: l'écoulement est critique.

Avec : $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ intensité de la pesanteur.

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (72)$$

f) Exemple d'application numérique et récapitulation

Le cas de l'ouvrage hydraulique situé au PK 390+300 est pris pour l'exemple d'application numérique qui va suivre. Le débit à évacuer pour une période de retour de 25 ans est mentionné dans le tableau 57 du paragraphe 8.1.6 tel que :

$$Q_{25ans} = 2,28 \text{ m}^3/\text{s}$$



La pente et la largeur de l'ouvrage est déterminé forfaitairement après itération pour assurer un écoulement fluvial, le tirant d'air est de 0,15m.

✓ Section mouillée S :

$$S = L \cdot h = 1,5 \times 1,35 = 2,02 \text{ m}^2$$

✓ Rayon hydraulique R :

$$R = \frac{S}{P} = \frac{L \cdot h}{L + (2h)} = \frac{1,5 \times 1,35}{1,5 + (2 \times 1,35)} = 0,48 \text{ m}$$

✓ Débit maximal évacuable Q_{max} :

$$Q_{max} = k \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = 60 \times 2,02 \times 0,48^{2/3} \times 0,0015^{0,5} = 2,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ Vitesse de l'écoulement V :

$$V = \frac{Q_{max}}{S} = \frac{2,89}{2,02} = 1,29 \text{ m/s}$$

✓ Nombre de Froud :

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{gh}} = \frac{1,29}{\sqrt{9,81 \times 1,35}} = 0,35$$

Avec un nombre de Froud de $0,35 < 1$, l'écoulement est fluvial.

Tableau 64. Tableau récapitulatif de dimensionnement hydraulique du dalot cadre.

Localisation	Largeur L [m]	Hauteur d'eau h [m]	Pente I [%]	Débit Qmax [m3/s]	Vitesse V [m/s]	Fr	Dimensions du dalot cadre
PK 390+300	1,5	1,35	0,15	2,89	1,29	0,35	1 x [1,5 x 1,5]
PK 392+200	3	2,85	0,10	48,11	1,88	0,35	3 x [3,00 x 3,00]

8.2.4 Dimensionnement mécanique

Le dimensionnement mécanique des dalots consistera donc à déterminer les différentes sollicitations que subit la structure afin de prévoir les ferraillages adéquats.

8.2.4.1 Prédimensionnement de l'ouvrage

L'épaisseur de la dalle supérieure du dalot est déterminée par la relation suivante :

$$e_d = e_0 \sqrt{1 + \frac{H_r \cdot l^2}{2000 \cdot e_0}} \quad (73)$$

Avec :

- e_d : épaisseur de la dalle supérieure [m] ;
- H_r : hauteur de remblai au-dessus du dalot [m] ;
- l : ouverture biaise de l'ouvrage [m] ;
- e_0 est une épaisseur telle que :

$$e_0 = \frac{l}{40} + 0,10 \quad (74)$$

Pour tenir compte de l'enrobage des aciers, l'épaisseur de la dalle supérieure est prise égale à 0,30m pour le dalot cadre à triple ouverture et 0,20 m pour le dalot cadre simple.

Tableau 65. Tableau de calcul de prédimensionnement des dalots cadre.

Types de dalot	Hauteur de remblai [m]	Epaisseur de la dalle e_d [m]
1 x [1,50x1,50]	0,6	0,2
3 x [3,00x3,00]	0,6	0,2

Pour faciliter la mise en œuvre ainsi que pour assurer la stabilité des ouvrages, l'épaisseur des piédroits, de la dalle supérieure et du radier seront les mêmes.

8.2.4.2 Evaluation des actions

La largeur roulable est de 7m permettant ainsi une double voie de circulation. Les ouvrages sont classés en pont de première classe.

8.2.5 Hypothèses de calcul

Le calcul d'un dalot s'effectue pour un mètre de largeur de l'ouvrage.

➤ Caractéristiques du remblai et des matériaux

Le remblai d'accès et le remblai sur dalot sont en limon sableux avec :

Poids volumique $\gamma_h = 1,9 \text{ T/m}^3$ et un angle de frottement $\varphi = 25^\circ$.

Tableau 66. Poids volumique des matériaux.

Désignation	Poids volumique [T/m ³]
béton	2,5
chaussée	2,3
remblai	1,9

➤ Modélisation de la structure des dalots

Les nœuds sont encastrés et la structure forme des cadres fermés. La modélisation des structures est comme l'indique les figures ci-après :

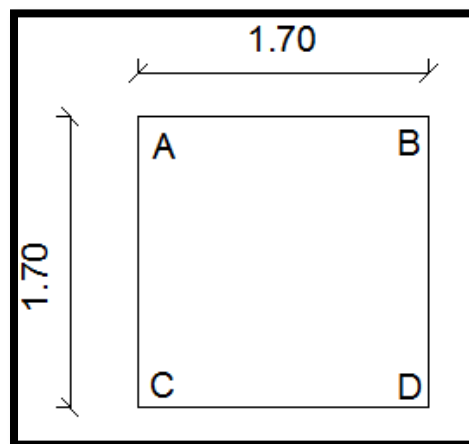


Figure 36. Modélisation du dalot 1x[1,50x1,50].

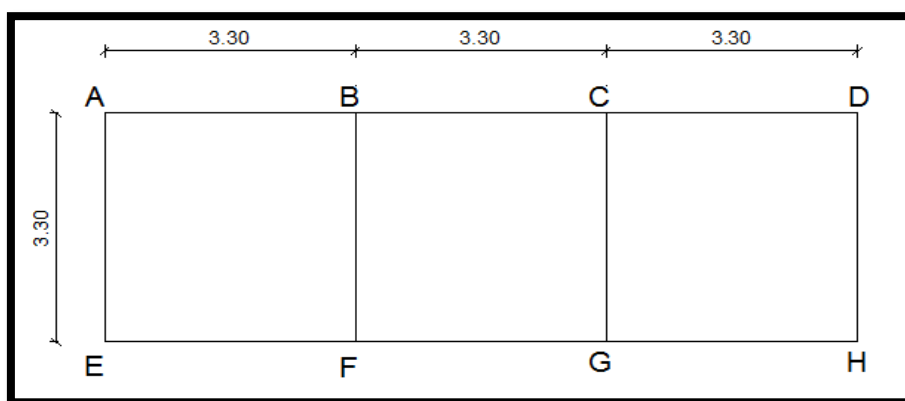


Figure 37. Modélisation de structure du dalot 3x [3,00x3,00].

8.2.6 Evaluation des actions

Les actions appliquées à la structure sont les charges permanentes et les surcharges d'exploitation.

8.2.6.1 *Charges permanentes appliquées sur la dalle supérieure ou traverse*

Ces charges sont les poids propres de tous les éléments que supporte la dalle ainsi que le poids mort de cette dernière.

➤ Poids propre de la dalle : $g_1 = \gamma_{\text{béton}} \times e_d$ (75)

➤ Poids propre de la chaussée : $g_2 = \gamma_c \times h_c$ (76)

➤ Poids propre du remblai : $g_3 = \gamma_h \times h_r$ (77)

Ainsi la charge totale est de : $G = g_1 + g_2 + g_3$. (78)

8.2.6.2 *Charges permanentes appliquées aux pénétrations extrêmes*

Ces charges sont essentiellement les poussées des terres. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$P(h) = \gamma_h K_{ay} h + g_3 K_{aq} \quad (79)$$

Dans laquelle :

$$\circ \quad K_{ay} = \frac{\cos^2(\varphi - \lambda)}{\cos(\lambda - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \varphi) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2} \quad (80) \quad \text{selon COULOMB-PONCELET}$$

$$\circ \quad K_{aq} = \frac{K_{ay}}{\cos(\beta - \lambda)} \quad (81)$$

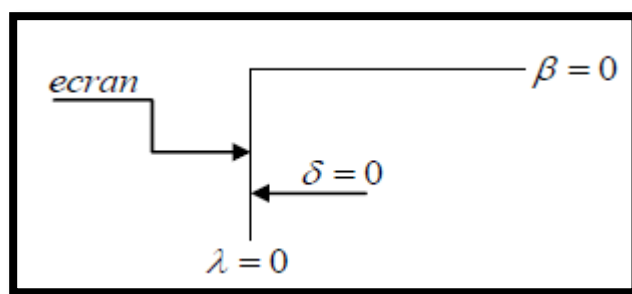


Figure 38. Présentation des différents angles dans le calcul des forces de poussée.

- β : angle de la surface libre du sol avec l'horizontal ;
- 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.

Dans le cas de $\beta = \lambda = \delta = 0$:

$$K_{ay} = K_{aq} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (82)$$

$$K_{ay} = K_{aq} = \frac{1 - \sin 25^\circ}{1 + \sin 25^\circ} = 0,406$$

8.2.6.3 Charges permanentes appliquées au radier

C'est la réaction du sol due aux poids propres de l'ensemble de la structure.

- Charges venants de la dalle supérieure : G ;
- Poids propre du radier : $g_r = e_r \gamma_{\text{béton}}$ (83)
- Poids propre des piédroits : $g_p = \gamma_{\text{béton}} e_p \times \frac{n_p}{(n_c l) + (n \times e_p)}$; (84)

Avec :

- e_p : épaisseur des piédroits ;
- n_p : nombre de piédroits ;
- n_c : nombre de cadre fermé ;

La réaction du sol totale est donc de :

$$R = G + g_p + g_r \quad (85)$$



8.2.6.4 Surcharge de remblai

Elle s'applique aux pénétrations extrêmes et a pour valeur :

$$Q_r = qK_{aq} \quad (86)$$

Avec : q est une surcharge prise égale à 1T/m². Pour un mètre de largeur de dalot :

8.2.6.5 Surcharges routières

Les surcharges routières considérées sont les systèmes B_c et B_t de l'article 5 du fascicule 61 titre II. Il est nécessaire de définir l'effet de ces deux types de surcharge afin de déterminer le plus défavorable.

Diffusion des charges

Les charges se diffusent d'un angle de 45° dans le béton et de 30° dans le remblai. L'impact des roues du système B est $a_0 \times b_0$, avec la transmission des charges, l'impact sera de :

$$a_1 = a_0 + e_d \tan 45^\circ + 2(h_c + h_r) \tan 30^\circ \quad (87)$$

$$b_1 = b_0 + e_d \tan 45^\circ + 2(h_c + h_r) \tan 30^\circ \quad (88)$$

Système B_c

Un camion du système B_c comporte trois essieux à roues simples munies de pneumatiques tels que la masse portée par chacun des essieux arrières est de 12T et celle portée par l'essieu avant est de 6T. L'effet défavorable considéré est le cas de deux camions placés côte à côte sur le dalot. La surface d'impact des roues arrière est un carré de 0,25 m de côté.

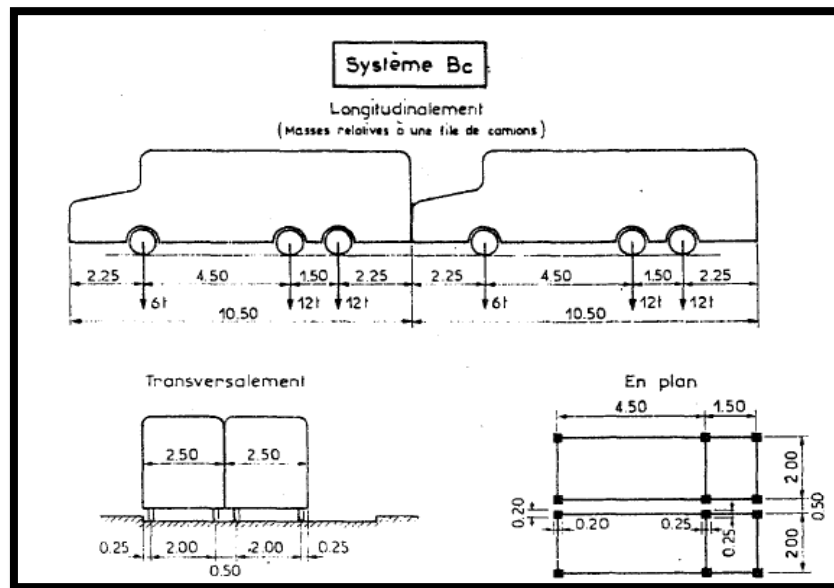


Figure 39. Présentation du système B_c selon le fascicule 61 titre II.

Ainsi :

$$a_1 = b_1 = 0,25 + e_d + 1,16(h_c + h_r) \quad (89)$$

La charge transmise est de :

$$Q_{bc} = 1,2 \times 6 \times bc \times \delta \times \vartheta \quad (90)$$

Avec :

- $bc = 1,1$ pour les ouvrages de classe 1 ;
- δ : coefficient de majoration dynamique ;
- $\vartheta = \begin{cases} 2/[(0,5 + a_1) * a_1] & \text{si } a_1 < 1,5 \\ 4/[(1,5 + a_1)(0,5 + a_1)] & \text{si } 1,5 < a_1 < 2 \\ 8/[(4,5 + a_1)(1,5 + a_1)] & \text{si } 2 < a_1 < 4,5 \\ 12/[(6 + a_1)(4,5 + a_1)] & \text{si } a_1 > 4,5 \end{cases} \quad (91)$

✚ Système B_t

Le système B_t se compose de groupe de deux essieux dénommés essieux-tandems. Chaque essieu comporte une masse de 16 T. La surface d'impact des roues est de 0,25m x 0,6m.

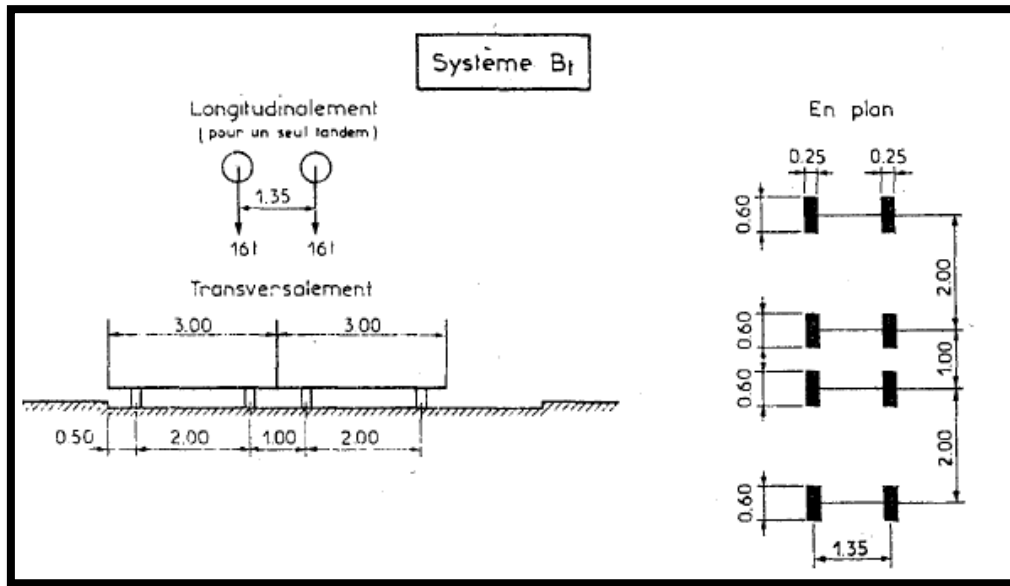


Figure 40. Présentation du système B_t selon le fascicule 61 titre II.

$$a_1 = 0,25 + e_d + 1,16(h_c + h_r) \quad (92)$$

$$b_1 = 0,60 + e_d + 1,16(h_c + h_r) \quad (93)$$

La charge Q_{bt} équivaut à :

$$Q_{bt} = 1,2 \times 8 \times bt \times \delta \times \lambda \quad (94)$$

Avec :

➤ $bt = 1$ pour ouvrage de classe 1 ;

$$\lambda = \begin{cases} 2/[a_1(1 + b_1)] \text{ si } 1 < b_1 < 1,7 \\ 4/[(1,35 + a_1)(1 + b_1)] \text{ si } 1,7 < b_1 < 2 \\ 8/[(1,35 + a_1)(5 + b_1)] \text{ si } b_1 > 2 \end{cases} \quad (95)$$

✚ Coefficient de majoration dynamique

Le coefficient de majoration dynamique (CMD) δ tient compte du phénomène que les surcharges sont appliquées rapidement et qu'il y a production de choc.

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + \frac{0,4}{(1 + 0,2L)} + \frac{0,6}{(1 + 4\frac{P}{S})} \quad (96)$$

Avec :

- P : charge permanente appliquée à l'ouvrage;
- S : surcharge maximale appliquée sur l'élément ;
- L : longueur exprimée en m.

Récapitulation des surcharges routières

Les résultats de calcul des surcharges routières sont mentionnés dans le tableau suivant.
Le système qui produit l'effet le plus défavorable sera pris en compte pour le calcul.

Tableau 67. Récapitulation des surcharges routières.

Type de dalot	1 x [1,50 x 1,50]		3 x [3,00 x 3,00]	
Paramètres	Système Bc	Système Bt	Système Bc	Système Bt
Largeur surface d'impact a1 [m]	1,552	1,552	1,652	1,652
Longueur surface d'impact b1 [m]	1,552	1,902	1,652	2,002
Charge G [T]	26		192	
Charge Q [T]	30		60	
CMD	1,30		1,21	
Surcharge Qi [T]	6,588	5,938	5,651	4,421

8.2.7 Récapitulation des actions

Les charges appliquées sur chaque type de dalot sont résumées dans le tableau ci-après.

Tableau 68. Tableau récapitulatif de calcul des actions.

Type de dalot	1 x [1,50 x 1,50]		3 x [3,00 x 3,00]	
Désignation	G [T/m]	Q [T/m]	G [T/m]	Q [T/m]
Dalle supérieure	2,45	6,59	2,70	5,65
Piédroits extrêmes	0,46	0,41	0,46	0,41
	1,77		3,01	
Radier	3,66	6,59	4,26	5,65

Les charges appliquées aux dalots sont montrées par les figures ci-dessous.

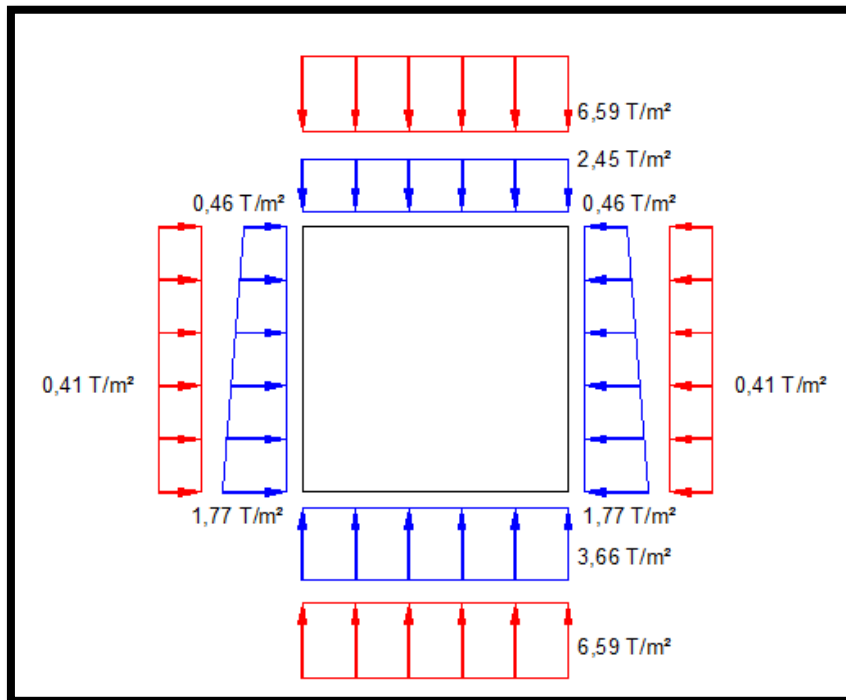


Figure 41.Charges appliquées au dalot 1x [1,50x1,50].

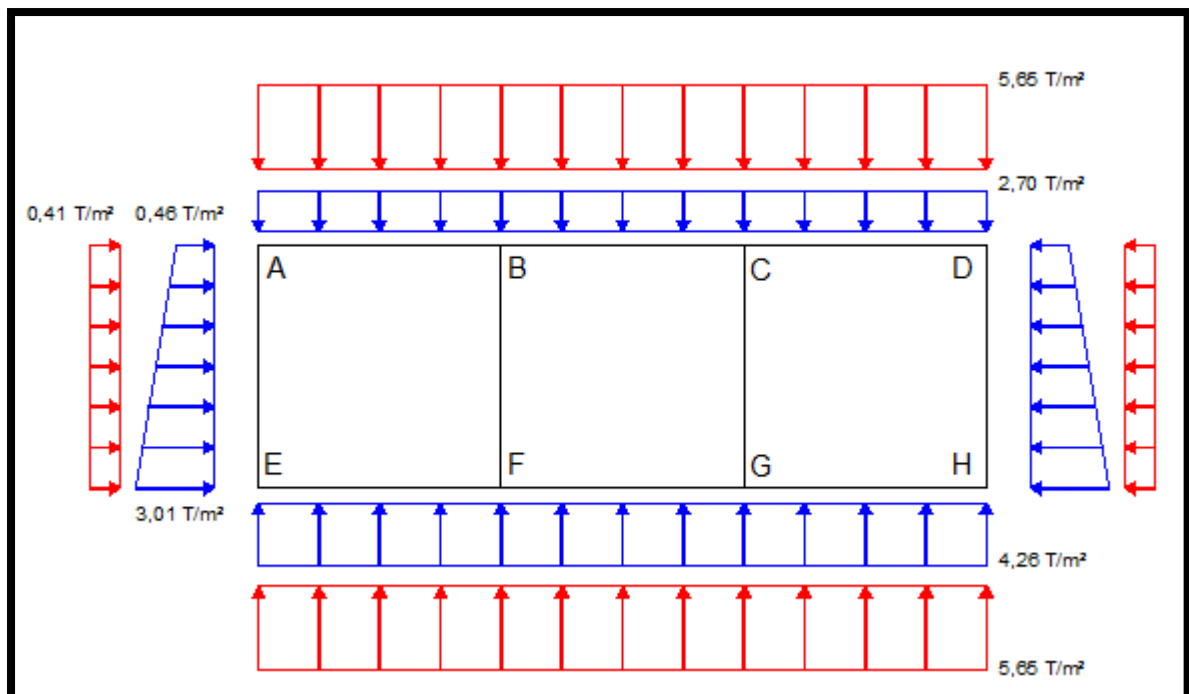


Figure 42.Charges appliquées au dalot 3x[3,00x3,00].



8.2.8 Détermination des sollicitations

Il existe plusieurs méthodes pour calculer les sollicitations dans une structure, à savoir :

- Méthode de rotation ;
- Méthode de Hardy Cross.

Dans le cadre de ce projet, la structure étant hyperstatique, les sollicitations sont déterminées par la méthode de Cross. Cette dernière permet de déterminer par approximation successive les moments de flexion aux extrémités des barres.

Cas du dalot 1x[1,50x1,50]

8.2.8.1 *Hypothèses de calcul*

Les hypothèses de calcul considérées sont les suivantes :

- Les nœuds ne subissent pas de déplacement;
- Les barres sont parfaitement encastrees ;
- Les barres travaillent en flexion.

8.2.8.2 *Raideurs des barres et coefficient de répartition*

La raideur des barres est donnée par la formule suivante :

$$K_{ij} = \frac{I}{L} \quad (97)$$

Avec :

- ✓ L : longueur de la barre ;
- ✓ I : moment d'inertie tel que :

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (98)$$

- ✓ b : base de la section de la barre ;
- ✓ h : hauteur de la section de la barre.

Les barres sont de même section par conséquent, les moments d'inertie sont égaux. Le coefficient de répartition :

$$c_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sum K_{ij}} \quad (99)$$

8.2.8.3 Moments d'encastrement parfait

Le moment d'encastrement parfait est fonction de la répartition des charges :

✓ Pour une charge uniformément répartie G :

$$M_{ij} = -M_{ji} = \frac{GL_{ij}^2}{12} \quad (100)$$

✓ Pour une charge répartie trapézoïdalement :

$$M_{ij} = L_{ij}^2 \left(\frac{P(0)}{12} + \frac{P(0) - P(h)}{20} \right) \quad (101)$$

$$M_{ji} = -L_{ji}^2 \left(\frac{P(0)}{12} + \frac{P(0) - P(h)}{30} \right) \quad (102)$$

Tableau 69. Calcul des moments d'encastrement parfait pour le dalot 1x [1,50x1,50].

Barres	Charges permanentes		Surcharges d'exploitation	
	M _{ij} [Tm/m]	M _{ji} [Tm/m]	M _{ij} [Tm/m]	M _{ji} [Tm/m]
AB	0,59	-0,59	1,59	-1,59
DC	0,88	-0,88	1,59	-1,59
CA	0,30	-0,24	0,10	-0,10
BD	0,24	-0,30	0,10	-0,10

8.2.8.4 Calcul des moments et des efforts tranchants

Les moments aux nœuds calculés par la méthode de cross sont détaillés aux annexes. Le moment en un point M(x) est exprimé par la relation :

$$M(x) = \mu(x) - M_{ij} + \frac{M_{ij} + M_{ji}}{L} x \quad (103)$$

Avec :

- $\mu(x)$: moment du point d'abscisse x dans le système isostatique associé à la barre ;
- M_{ij} : moment transmis par le nœud i à la barre ij ;
- M_{ji} : moment transmis par le nœud j à la barre ij ;
- L : longueur de la barre ij.

L'effort tranchant en un point d'abscisse x $T(x)$ est obtenu par la formule ci-après :

$$T(x) = \tau(x) + \frac{M_{ij} + M_{ji}}{L} \quad (104)$$

Avec :

- $\tau(x) = \frac{d\mu(x)}{dx}$: effort tranchant dans le système isostatique associé.

Le tableau suivant récapitule les moments à gauche (Mg), à droite (Md) et en travée (Mt) sous les charges permanentes et les surcharges d'exploitation de chaque barre composant la structure.

Tableau 70. Résultats de calcul des moments pour le dalot 1x [1,50x1,50].

Barres		Sous charges permanentes			Sous surcharges d'exploitation		
		Mg [Tm/m]	Md [Tm/m]	Mt [Tm/m]	Mg [Tm/m]	Md [Tm/m]	Mt [Tm/m]
Dalle supérieure	AB	-0,39	-0,39	0,50	-0,84	-0,84	1,54
radier	CD	-0,62	-0,62	0,70	-0,84	-0,85	1,54
Piédroits extrêmes	CA	-0,62	-0,39	-0,10	-0,85	-0,84	-0,70
	DB	-0,39	-0,62	-0,10	-0,84	-0,84	-0,69

Les résultats de calcul des efforts tranchant maximaux dans les barres sont mentionnés dans le tableau ci-après.

Tableau 71. Effort tranchant maximal dans les barres du dalot 1x [1,50x1,50].

Barres		Vmax [T/m]	
		Sous charges permanentes	Sous surcharges d'exploitation
Dalle supérieure	AB	2,08	5,60
radier	CD	3,11	5,60
Piédroits	CA	0,90	0,35
extrêmes	DB	0,63	0,35

8.2.8.5 Combinaison d'actions

Les combinaisons d'action considérées sont les combinaisons stipulées dans le BAEL 91 modifiée 99 à savoir :

- ✓ l'Etat Limite Ultime (ELU) : correspondant généralement par la limite de résistance mécanique au-delà de laquelle il y a ruine de l'ouvrage, la combinaison est la suivante : $1,35G + 1,5Q$
- ✓ l'Etat Limite de Service (ELS) : correspondant à des critères dont le non-respect ne permet pas à l'élément d'être exploité dans les conditions satisfaisantes ou compromet sa durabilité. Il n'y a pas de coefficient de pondération des charges pour l'ELS, ainsi, la combinaison s'écrit : $G + Q$.

Ainsi, les moments fléchissants et les efforts tranchants obtenus selon les Etats limites considérés sont récapitulés ci-après.

Tableau 72. Résultats de calcul des moments fléchissants selon la combinaison d'action du dalot 1x[1,50x1,50].

Barres		ELS			ELU		
		Mg,ser	Md,ser	Mt,ser	Mg,u	Md,u	Mt,u
		[Tm/m]	[Tm/m]	[Tm/m]	[Tm/m]	[Tm/m]	[Tm/m]
Dalle supérieure	AB	-1,23	-1,23	2,04	-1,79	-1,79	2,98
radier	CD	-1,46	-1,47	2,24	-2,10	-2,11	3,25
Piédroits extrêmes	CA	-1,47	-1,23	-0,80	-2,11	-1,79	-1,18
	DB	-1,23	-1,47	-0,79	-1,79	-2,10	-1,17

Tableau 73. Effort tranchant maximal selon les combinaisons d'action du dalot 1x[1,50x1,50].

Barres		Vmax [T/m]	
		ELS	ELU
Dalle supérieure	AB	7,68	11,21
radier	CD	8,72	12,61
Piédroits extrêmes	CA	1,25	1,74
	DB	0,97	1,37

Les diagrammes des moments fléchissant selon les Etats Limites sont montrés par les figures suivantes.

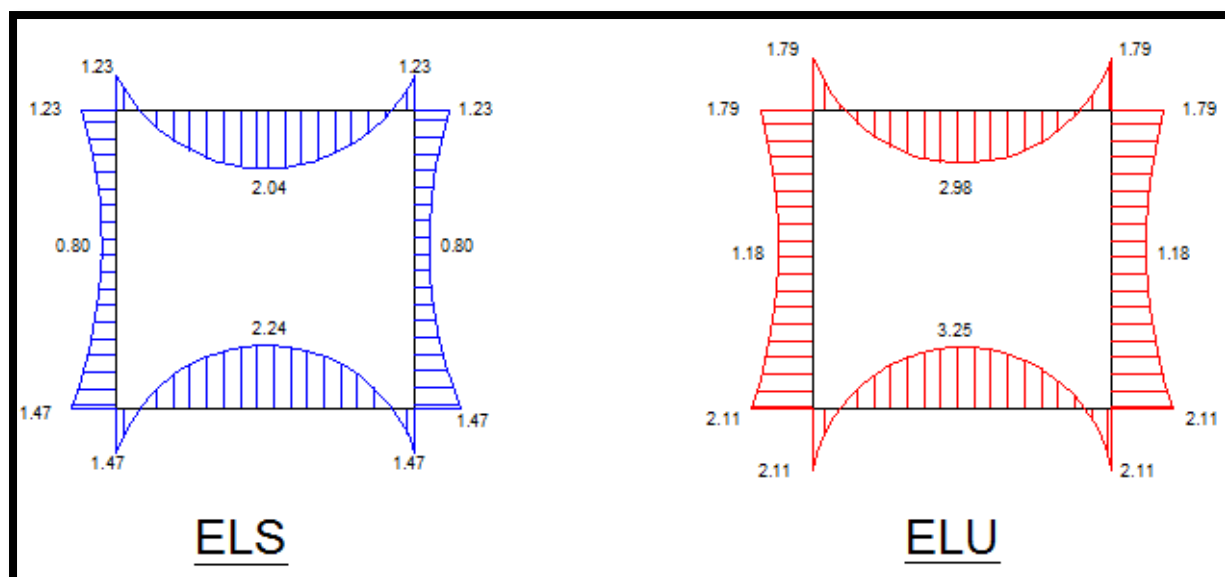


Figure 43. Diagrammes des moments fléchissant à l'ELS et à l'ELU en Tm.

Cas du dalot 3x[3,00x3,00]

Les mêmes hypothèses sont prises en compte pour le calcul des deux types de dalot. Le principe de calcul est semblable au calcul du dalot simple. Ainsi, les moments d'encastrement parfait sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau 74. Moments d'encastrement parfait pour le cas du dalot 3x [3,00x3,00].

Barres		Charges permanentes		Surcharges d'exploitation	
		Mij	Mji	Mij	Mji
Dalle	AB	2,45	-2,45	5,13	-5,13
	BC	2,45	-2,45	5,13	-5,13
	CD	2,45	-2,45	5,13	-5,13
Piédroits	EA	1,81	-1,34	0,37	-0,37
	HD	-1,81	1,34	-0,37	0,37
Radier	FE	3,86	-3,86	5,13	-5,13
	GF	3,86	-3,86	5,13	-5,13
	HG	3,86	-3,86	5,13	-5,13

Les moments fléchissants et efforts tranchants dans les barres calculés à partir de la méthode de cross sont mentionnés ci-après.

Tableau 75. Résultats de calcul des moments fléchissants pour le dalot 3 x [3,00x3,00]

Barres		Sous charges permanentes			Sous surcharges d'exploitation		
		Mg [Tm/m]	Md [Tm/m]	Mt [Tm/m]	Mg [Tm/m]	Md [Tm/m]	Mt [Tm/m]
Dalle	AB	-1,62	-2,67	1,52	-2,10	-5,99	3,65
	BC	-2,57	-2,57	1,10	-5,56	-5,56	2,13
	CD	-2,67	-1,62	1,52	-5,99	-2,10	3,65
Piédroits extrêmes	EA	-2,68	-1,62	0,21	-2,10	-2,10	-1,55
	DH	-1,62	-2,68	0,21	-2,10	-2,10	-1,55
Piédroits centraux	FB	0,19	0,09	0,14	0,43	0,43	0,43
	GC	-0,19	-0,09	-0,14	-0,43	-0,43	-0,43
Radier	EF	-4,22	-2,68	2,35	-5,99	-2,10	3,65
	GF	-4,02	-4,02	1,77	-5,56	-5,56	2,13
	GH	-2,68	-4,22	2,35	-2,10	-5,99	3,65

Les moments fléchissants obtenus avec la combinaison d'actions sont illustrés ci-après.

Tableau 76. Moments fléchissants selon les combinaisons d'actions pour le cas du dalot 3x [3,00x3,00].

Barres		ELS			ELU		
		Mg,ser [Tm/m]	Md,ser [Tm/m]	Mt,ser [Tm/m]	Mg,u [Tm/m]	Md,u [Tm/m]	Mt,u [Tm/m]
Dalle	AB	-3,72	-8,66	5,17	-5,34	-12,59	7,53
	BC	-8,13	-8,13	3,23	-11,81	-11,82	4,68
	CD	-8,66	-3,72	5,17	-12,59	-5,34	7,53
Piédroits extrêmes	EA	-4,78	-3,72	-1,33	-6,76	-5,34	-2,03
	DH	-3,72	-4,78	-1,33	-5,34	-6,76	-2,03
Piédroits centraux	FB	0,63	0,53	0,58	0,91	0,78	0,84
	GC	-0,63	-0,53	-0,58	-0,91	-0,78	-0,84
Radier	EF	-10,21	-4,78	5,99	-14,68	-6,76	8,64
	GF	-9,58	-9,58	3,90	-13,77	-13,77	5,59
	GH	-4,78	-10,21	5,99	-6,76	-14,68	8,64

L'effort tranchant maximal dans les barres est déterminé d'une manière analogue avec le calcul du dalot à simple ouverture.

Tableau 77. Effort tranchant maximal dans les barres du dalots 3x[3,00x 3,00].

Barres		Vmax [T/m]	
		ELS	ELU
Dalle	AB	15,27	22,19
	BC	13,77	19,99
	CD	15,27	22,19
Piédroits extrêmes	EA	4,55	6,25
	DH	4,55	6,25
Piédroits centraux	FB	0,03	0,04
	GC	0,03	0,04
Radier	EF	17,99	25,87
	GF	16,35	23,47
	GH	17,99	25,87

Les diagrammes des efforts fléchissant permettent de déterminer la nature des sollicitations que subit chaque barre composant la structure.

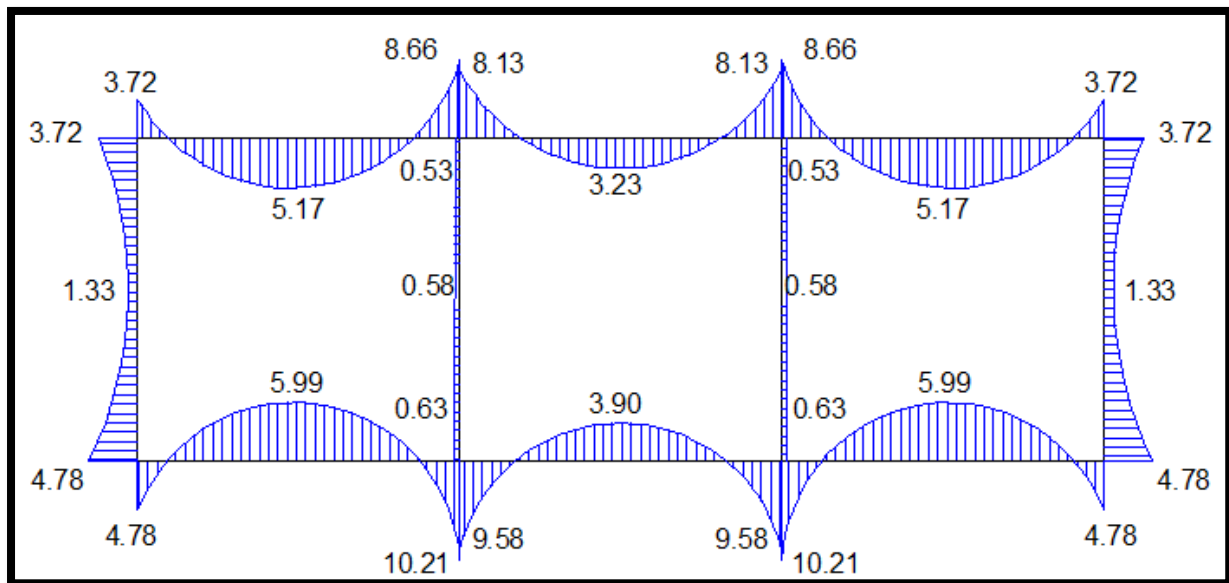


Figure 44. Diagrammes des moments fléchissant à l'ELS du dalot 3x[3,00x3,00] en Tm.

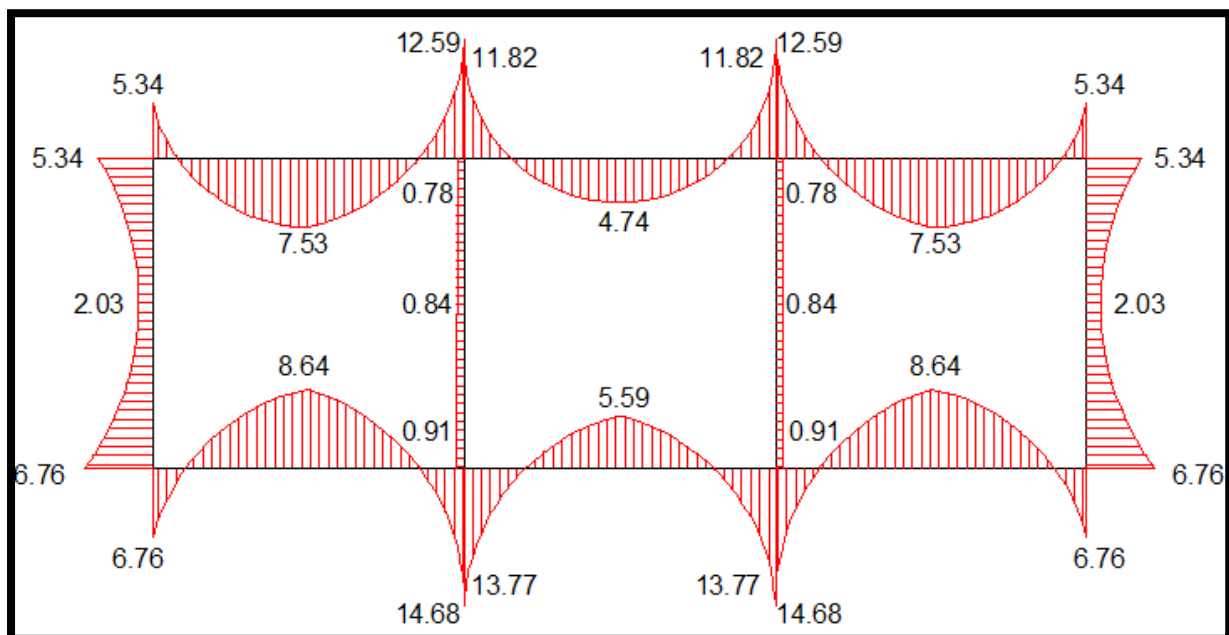


Figure 45. Diagrammes des moments fléchissants à l'ELU du dalot 3x[3,00x3,00] en Tm.

8.3 Calcul des éléments en béton armé

8.3.1 Hypothèses

a) Béton

Le béton utilisé présente les caractéristiques suivantes :

- Dosage du béton à 350 kg/m³ ;
- Résistance à la compression à 28 jours d'âge $f_{c28}=25\text{MPa}$ (cette valeur étant obtenue sur chantier avec un contrôle régulier) ;
- Résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours d'âge ;

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

- Contrainte admissible du béton à l'ELS

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6f_{c28} = 15\text{MPa}$$

- Contrainte admissible du béton à l'ELU

$$\sigma_{bc} = f_{bu} = \frac{0,85f_{c28}}{\theta\gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} = 14,17 \text{ MPa}$$

Avec : γ_b coefficient de sécurité pour une combinaison fondamentale et $\theta = 1$ pour une durée d'application de charge supérieure à 1h.

- Cas de fissuration préjudiciable (FP), par conséquent, l'enrobage est de 3 cm.

b) Acier

- Les aciers sont de type haute adhérence et de nuance Fe E 400. La valeur de sa limite d'élasticité f_e est donc $f_e = 400 \text{ MPa}$.
- La contrainte de l'acier en service σ_s est :

$$\sigma_s = f_{ed} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,83 \text{ MPa}$$

Avec : $\gamma_s = 1,15$ coefficient partiel de sécurité de l'acier pour une combinaison fondamentale.



➤ La contrainte admissible de l'acier $\bar{\sigma}_s$

$$\bar{\sigma}_s = \text{Min} \left\{ \frac{2}{3} f_e; \text{Max} (0,5 f_e; 110 \sqrt{\eta f_{t28}}) \right\} = 201,6 \text{ MPa}$$

Avec : $\eta = 1,6$ coefficient de fissuration des aciers HA de diamètre $\phi \geq 6 \text{ mm}$.

8.3.2 Calcul des ferraillements

8.3.2.1 *Ferraillements de la dalle supérieure et du radier*

Selon les diagrammes des moments fléchissant précédents, la dalle et le radier des dalots travaillent en flexion simple. La démarche du calcul des armatures se présente comme suit.

a) **Armatures longitudinales**

La section de calcul est un rectangle de base b et de hauteur h .

❖ Le moment réduit μ

$$\mu = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}} \quad (105)$$

Avec : $d = 0,9h$

❖ Condition de nécessité des armatures comprimées

Si $\mu \leq \mu_{lim} = 0,392$ la section est simplement armée sinon des aciers comprimés sont nécessaires.

❖ Section d'acier simplement armée

$$A_u = \frac{M_u}{z_b f_{ed}} \quad (106)$$

Avec : $z_b = d(1 - 0,4\alpha)$ et $\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$ (107) et (108)

❖ Condition de non fragilité

$$A \geq A_{min} = \text{Max} \left(\frac{b \cdot h}{1000}; 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e} \right) \quad (109)$$

❖ Section d'acier théorique

$$A_{th} = \text{Max}(A_u; A_{min}) \quad (110)$$

b) Vérification des contraintes à l'ELS

Cette vérification consiste à déterminer si les contraintes du béton σ_{bc} et celle de l'acier σ_s sont inférieures respectivement aux contraintes admissibles $\overline{\sigma}_{bc}$ et $\overline{\sigma}_s$, c'est-à-dire :

$$\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc} \text{ et } \sigma_s \leq \overline{\sigma}_s$$

Si ces conditions sont respectées, les sections d'armatures réelles choisies peuvent être adoptées. Le cas échéant, il faudrait redimensionner la section à l'ELS.

❖ Calcul des contraintes

$$\sigma_{bc} = K \cdot y_1 \quad (111)$$

$$\sigma_s = n \cdot K \cdot (d - y_1) \quad (112)$$

Avec : $n = 15$ et

$$K = \frac{M_{ser}}{I} \quad (113)$$

$$\text{Et le moment d'inertie } I = b \frac{y_1^3}{3} + nA(d - y_1)^2 \quad (114)$$

y_1 est la position de l'axe neutre par rapport à la fibre la plus tendue, déterminer à partir de la résolution de l'équation suivante :

$$\frac{by_1^2}{2} + n(A)y_1 - n(Ad) = 0 \quad (115)$$

Avec : $y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E}$ tel que :

$$D = \frac{15A}{b} \text{ et } E = \frac{30Ad}{b}$$

c) Récapitulation de calcul des aciers longitudinaux

Les calculs des ferraillages longitudinaux de la dalle supérieure et du radier sont mentionnés dans les tableaux ci-après.

Cas du dalot 1x[1,50x1,50]

La section de calcul est un rectangle de base $b = 100$ cm et de hauteur $h = 20$ cm.

Tableau 78. Récapitulation de calcul des ferraillages longitudinaux pour le dalot 1x[1,50x1,50]

Barres		μ	α	zb [m]	Ath [cm ²]	A réelle [cm ²]	
Travée	AB	0,065	0,084	0,174	4,953	5,495	7 HA 10
	CD	0,071	0,092	0,173	5,421	5,495	7 HA 10
Appui	A/B	0,039	0,050	0,176	2,928	3,140	4 HA 10
	C/D	0,046	0,060	0,176	3,466	4,522	4 HA 12

La vérification des contraintes évite les désordres provoqués dans l'ouvrage pendant son exploitation et sa durée de vie. Les conditions de vérification des contraintes de service sont respectées pour les valeurs de contraintes admissibles suivantes :

$$\bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPa et } \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Tableau 79. Vérification des contraintes à l'ELS pour les armatures longitudinales du dalot 1x[1,50x1,50]

Barres		D[cm]	E[cm]	y1 [cm]	I [cm ⁴]	K [MN/m ³]	σ_{bc} [Mpa]	σ_s [Mpa]
Travée	AB/CD	0,824	29,673	4,685	18040,8	81,5	3,8	33
Appui	A/B	0,471	16,956	3,674	11319,6	129,9	4,8	33
	C/D	0,678	24,412	4,31	15381,2	95,6	4,1	33

Cas du dalot 3x[3,00x3,00]

La section de calcul est un rectangle de base $b = 100$ cm et de hauteur $h = 30$ cm Les contraintes admissibles du béton et de l'acier sont les mêmes qu'avec le calcul du dalot simple car les caractéristiques des matériaux utilisés sont identiques.

Tableau 80. Calcul des aciers longitudinaux pour le dalot 3x[3,00x3,00]

Barres			μ	α	zb [m]	Ath [cm ²]	A réelle [cm ²]	
Dalle	Travée	AB/CD	0,073	0,095	0,260	8,385	9,270	4 HA 14+ 4 HA 10
		BC	0,046	0,056	0,263	5,19	5,652	5 HA 12
	Appui	A/D	0,052	0,066	0,262	5,868	6,792	6 HA 12
		B/C	0,122	0,163	0,252	14,207	15,700	5 HA 12+ 5 HA 16
Radier	Travée	EF/GH	0,084	0,109	0,258	9,686	10,042	5 HA 16
		FG	0,054	0,070	0,262	6,152	7,693	5 HA 14
	Appui	E/H	0,065	0,085	0,260	7,492	8,038	4 HA 16
		F/G	0,142	0,192	0,249	17,089	17,741	5 HA 14+ 5 HA 16

Les résultats de calcul pour les vérifications à l'ELS sont illustrés ci-dessous.

Tableau 81. Récapitulation des vérifications des contraintes pour le dalot 3x[3,00x3,00]

Barres			D[cm]	E[cm]	y1 [cm]	I [cm ⁴]	K [MN/m ³]	σ_{bc} [Mpa]	σ_s [Mpa]
Dalle	Travée	AB/CD	1,309	75,087	7,385	66924,7	75,6	5,6	50
		BC	0,848	45,781	5,971	44587,4	73,3	4,4	33
	Appui	A/D	1,019	55,015	6,468	51968,5	77,4	5	40
		B/C	2,355	127,17	9,165	100570,7	85,3	7,8	79
Radier	Travée	EF/GH	1,506	81,34	7,638	71322,4	82,2	6,3	57
		FG	1,154	62,313	6,824	57566,4	68,8	4,7	68
	Appui	E/H	1,206	65,108	6,953	59659,5	86,5	6	51
		F/G	2,661	143,702	9,618	110059,8	91,8	8,8	91



d) Armatures transversales

La détermination des armatures transversales consiste à vérifier l'effort tranchant à l'ELU. La contrainte tangentielle τ_u doit être inférieure à la contrainte tangentielle admissible $\overline{\tau_u}$, c'est-à-dire :

$$\tau_u \leq \overline{\tau_u} = \text{Min} \left\{ \frac{0,07 f_{c28}}{\gamma_b}; 1,5 \right\} [MPa] \quad (116)$$

$$\overline{\tau_u} = \text{Min} \left\{ \frac{0,07 \times 25}{1,5} = 1,166; 1,5 \right\} = 1,2 \text{ MPa}$$

Avec :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b.d} \quad (117)$$

V_u : Effort tranchant maximal à l'ELU.

Cas du dalot 1x[1,50x1,50]

Selon la formule 117, on a : $\tau_u = \frac{V_u}{b.d}$

Avec :

- $V_u = 12,61 \text{ T/m}$ selon le tableau 73 précédent ;
- $b = 1 \text{ m}$;
- $d = 0,18 \text{ m}$.

$$\tau_u = \frac{12,61 \times 0,01}{1 \times 0,18} = 0,7 \text{ MPa} < \overline{\tau_u} = 1,2 \text{ MPa}$$

Cas du dalot 3x[3,00x3,00]

En utilisant les mêmes formules et avec :

- $V_u = 25,87 \text{ T/m}$ selon le tableau 77 précédent ;
- $b = 1 \text{ m}$;

$$\circ \quad d = 0,27 \text{ m.}$$

$$\tau_u = \frac{25,87 \times 0,01}{1 \times 0,27} = 0,958 \text{ MPa} < \overline{\tau_u} = 1,2 \text{ MPa}$$

Les armatures d'âmes ne sont pas nécessaires pour les deux types de dalot puisque les contraintes de calcul sont toutes inférieures aux contraintes admissibles c'est-à-dire,

$$\tau_u < \overline{\tau_u}$$

e) Armatures de répartition

Le diamètre des armatures de répartition est donné par la relation :

$$A_{rep} = \frac{A}{3} \quad (118)$$

Avec A : armatures principales ou longitudinales.

Tableau 82. Récapitulation des armatures de répartition de la dalle et du radier.

Type de dalot 1x[1,50x1,50]				
Barres		A [cm ²]	Ar [cm ²]	
Travée	AB	5,495	1,832	4 HA 8
	CD	5,495	1,832	4 HA 8
Appui	A/B	3,140	1,047	4 HA 8
	C/D	4,522	1,507	4 HA 8
Type de dalot 3x[3,00x3,00]				
Barres		A [cm ²]	Ar [cm ²]	
Travée	AB/CD	9,270	3,090	7 HA 8
	BC	5,652	1,884	4 HA 8
Appui	A/D	6,792	2,264	5 HA 8
	B/C	15,700	5,233	7 HA 10
Travée	EF/GH	10,042	3,347	7 HA 8
	FG	7,693	2,564	7 HA 8
Appui	E/H	8,038	2,679	7 HA 8
	F/G	17,741	5,914	8 HA 10



8.3.2.2 Ferrailages des piédroits extrêmes

Les piédroits extrêmes subissent un effort normal et un moment, par conséquent, ils sont sollicités en flexion composée à priori. Les efforts normaux sont égaux aux efforts tranchants au niveau des appuis des barres horizontaux.

Cas du dalot 1x[1,50x1,50]

Les sollicitations de calcul sont les suivantes :

- ✓ $N_{ser} = 16,40 \text{ T/ml}$ et $N_u = 23,81 \text{ T/ml}$;
- ✓ $M_{ser} = 0,80 \text{ Tm/ml}$ et $M_u = 1,18 \text{ Tm/ml}$.

L'excentricité de l'effort N par rapport au centre de gravité du béton est exprimée par :

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{1,18}{23,81} = 0,05 \text{ m}$$

N_u est positif et le centre de pression se situe à l'extérieure du noyau central, donc la section est partiellement tendue.

a) Vérification de la stabilité de forme

Les efforts de compression augmentent les excentricités c'est pourquoi, les pièces élancées risquent de flamber. Par conséquent, une vérification de la stabilité de forme s'impose telle que :

- ✓ Si $\frac{l_f}{h} > \max\left(15; \frac{20(e_0 + e_a)}{h}\right)$: la pièce est à vérifier à l'ELU au flambement ;
- ✓ Sinon, la pièce est à vérifier à l'ELU à la flexion composée.

Avec : e_a excentricité additionnelle

$$e_a = \max\left(2 \text{ cm}; \frac{l}{250}\right) = \max\left(2 \text{ cm}; \frac{170}{250} = 0,68\right) = 2 \text{ cm}$$

$$l_f = 0,5l = 0,5 \times 1,7 = 0,85 \text{ m}$$



$$\frac{l_f}{h} = \frac{0,85}{0,2} = 5 < \max \left(15; \frac{20(0,05 + 0,02)}{0,2} = 7 \right) = 15$$

→ La pièce est à vérifier à la flexion composée.

b) Calcul des armatures longitudinales

Le démarche de calcul consiste à calculer le moment ultime par rapport au centre de gravité des aciers en tenant compte de l'effet de l'excentricité de second ordre e_2 telle que :

$$e_2 = (2 + \alpha\varphi) \frac{3l_f^2}{10^4 h} \quad (119)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{M_1^L(G + \sum \psi_{2i} Q_i)}{M_1(G + Q_1 + \sum \psi_{2i} Q_i)} \text{ ou } \alpha = 10 \left(1 - \frac{M_u}{1,5 M_{ser}} \right) \text{ et } \varphi = 2.$$

M_1^L et M_1 sont des moments de service.

Les sollicitations deviennent :

$$\checkmark N_u = 23,81 T/ml \text{ et } N_{ser} = 16,40 T/ml$$

$$\checkmark M_{uA} = N_u \left[(e_0 + e_a + e_2) + \left(d - \frac{h}{2} \right) \right] \quad (120)$$

$$M_{uA} = 23,81 * \left[(0,05 + 0,02 + 0,003) + \left(0,18 - \frac{0,2}{2} \right) \right] = 3,64$$

$$M_{uA} = 3,64 Tm/ml$$

Les sections d'acier sont obtenues par les formules suivantes :

$$\begin{cases} A'_{FC} = A'_{FS} \\ A_{FC} = A_{FS} - \frac{N}{\sigma_s} \end{cases} \quad (121) \text{ et } (122)$$

La section est partiellement tendue si $\mu_{bu} < \mu_{bc}$ avec :

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b_0 d^2 f_{bu}} \text{ et } \mu_{bc} = 0,8 \frac{h}{d} \left(1 - 0,4 \frac{h}{d} \right) \quad (123) \text{ et } (124)$$

$$\mu_{bu} = \frac{3,64 \times 10^{-2}}{1 \times 0,18^2 \times 14,17} = 0,079$$

$$\mu_{bc} = 0,8 \frac{0,2}{0,18} \left(1 - 0,4 \frac{0,2}{0,18} \right) = 0,494 > \mu_{bu} = 0,0765$$

Ainsi, la section est partiellement tendue.

$$\mu_{bu} = 0,0765 < \mu_{lim} = 0,392$$

La section est simplement armée c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} A'_{FC} &= A'_{FS} = 0 \\ A_{FC} &= A_{FS} - \frac{N}{\sigma_s} \end{aligned}$$

$$A_{FS} = \frac{0,0364 \times 10^4}{0,17 \times 347,83} = 6,15 \text{ cm}^2$$

$$A_{FC} = 6,15 - \frac{0,2381 \times 10^4}{347,83} = -0,69 \text{ cm}^2 < 0$$

Les armatures finales adoptées doivent respectées les conditions de non fragilité du béton et de la règle du millièème :

$$A_{th} \geq \text{Max} \left[\frac{bh}{1000}; 0,23bd \frac{f_{t28}}{f_e} \right] \quad (125)$$

$$A_{th} \geq \text{Max} \left[\frac{100 \times 20}{1000} = 2,17 \text{ cm}^2; 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2 \right] = 2,17 \text{ cm}^2$$

Soit : $A_{réelle} = 4 \text{ HA } 10 = 3,14 \text{ cm}^2$.

c) Armatures transversales

Le diamètre ϕ_t des armatures transversales doit être inférieur à 12 mm avec :

$$\phi_t \geq \frac{\phi_l}{3} \quad (126)$$

Tableau 83. Diamètre des armatures transversales.

ϕ_l [mm]	12 à 20	25	32	40
ϕ_t [mm]	8 ou 6	10 ou 8	12 ou 10	12

Selon le tableau 83 ci-dessus, les aciers transversaux adoptés seront des **HA 8** espacés de s_t avec :

$$s_t \leq \text{Min}(15\phi_l; a + 10; 40) [\text{cm}] = \text{Min}(15; 40; 40) = 18 \text{ cm}$$

Ainsi les armatures transversales sont des **HA 8 t.l 15 cm**.

8.3.2.3 Ferrailages des piédroits centraux

Ce paragraphe concerne uniquement le dalot à triple ouvertures. Les piédroits centraux subissent aussi un effort normal et un moment de flexion :

$$\checkmark N_{ser} = 63,38 \text{ T/ml et } N_u = 89,11 \text{ T/ml} ;$$

$$\checkmark M_{ser} = 1,33 \text{ Tm/ml et } M_u = 2,03 \text{ Tm/ml}.$$

Conventionnellement, une pièce est considérée comme soumise à une compression simple lorsqu'en plus de l'effort normal N , elle subit un moment qui conduit à de petites excentricités (inférieures à $\frac{h}{12}$).

$$e_{u0} = \frac{M_u}{N_u} = \frac{2,03}{89,11} = 0,023 \text{ m} < \frac{h}{12} = \frac{0,3}{12} = 0,025 \text{ m}$$

→ La pièce est à dimensionner en compression simple.

a) Armatures longitudinales

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

Avec :

$$\checkmark \beta = \frac{0,85}{\lambda} \text{ à priori, } \lambda = \frac{2}{h} l_f \sqrt{3} = \frac{2}{0,3} \times 0,5 \times 3 \times \sqrt{3} = 17,32 < 35.$$



Pour $\lambda < 35$: la compression centrée est assurée. Et l'expression de β devient :

$$\beta = 1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2 = 1 + 0,2 \times \left(\frac{17,32}{35} \right)^2 = 1,05$$

Plus de la moitié des charges est appliquée avant 90 jours donc β est multiplié par 1,10.

$$\checkmark B_r = (b - 0,02)(h - 0,02) = (1 - 0,02) \times (0,3 - 0,02) = 0,2744 m^2$$

Ainsi :

$$A \geq \frac{1}{0,85 \times 347,83} \times \left[1,05 \times 1,1 \times 89,11 \times 10^{-2} - \frac{0,2744 \times 14,17}{0,9} \right] = -0,011 m^2$$

Comme $A < 0$, les armatures considérées sont les armatures minimales A_{min} telle que :

$$A_{min} = \max\left(\frac{0,2B}{100}; 4u\right) \quad (127)$$

$$A = A_{min} = \max\left(\frac{0,2 \times 100 \times 30}{100} = 0,2 cm^2; 4 \times 2 \times (100 + 30) = 10,4 cm^2\right)$$

$$A = 10,4 cm^2$$

Soit **10 HA 12 = 11,304 cm²** ou **5 HA 12 = 5,652 cm²** par chaque face.

b) Armatures transversales

D'une manière analogue avec le calcul des ferraillements transversaux des piédroits extrêmes, les armatures transversales adoptées sont des **HA 8 tl 15 cm**.

8.3.3 Récapitulation de toutes les armatures

Les tableaux suivants illustrent les armatures finales adoptées pour chaque élément du dalot. La dalle supérieure et le radier étant sollicités en flexion simple tandis que les piédroits extrêmes travaillent en flexion composé et les piédroits centraux sont soumis à une compression centrée.

Tableau 84. Tableau récapitulatif de calcul des armatures des dalots.

Type de dalot 1x[1,50x1,50]			
Barres		Armatures principales	Armatures transversales
Travée	AB	7 HA 10	4 HA 8
	CD	7 HA 10	4 HA 8
Appui	A/B	4 HA 10	4 HA 8
	C/D	4 HA 12	4 HA 8
Piédroits		4 HA 10	12 HA 8
Type de dalot 3x[3,00x3,00]			
Travée	AB/CD	4 HA 14+ 4 HA 10	7 HA 8
	BC	5 HA 12	4 HA 8
Appui	A/D	6 HA 12	5 HA 8
	B/C	5 HA 12+ 5 HA 16	7 HA 10
Travée	EF/GH	5 HA 16	7 HA 8
	FG	5 HA 14	7 HA 8
Appui	E/H	4 HA 16	7 HA 8
	F/G	5 HA 14+ 5 HA 16	8 HA 10
Piédroits extrêmes		4 HA 12	7 HA 8
Piédroits centraux		5 HA 12	7 HA 8

Conclusion partielle

Cette partie a permis de cerner les problèmes techniques d'un projet routier. L'étude de dimensionnement de la chaussée ainsi que l'étude hydrologique y afférent constitue la base de ce projet. Par ailleurs, la détermination des ferraillements adéquats pour les ouvrages de franchissement assure la pérennité de ceux-ci. Pour assurer la rentabilité des investissements mais aussi promouvoir le développement de la zone d'influence, l'étude technique ne doit pas être négligée. La dernière partie qui va suivre renseigne sur le coût et la rentabilité de ce projet ainsi que son impact sur l'environnement.



PARTIE III ETUDE FINANCIERE ET EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX



CHAPITRE IX EVALUATION DU COUT DU PROJET

Le cout d'un projet varie avec le temps, il est nécessaire de toujours actualiser les prix. Ce chapitre concerne surtout les différents types de devis à établir pour un projet de construction routière.

9.1 Devis descriptifs

9.1.1 TRAVAUX PREPARATOIRES

9.1.1.1 *Prix n°101 : Installation de chantier*

Ce prix non révisable rémunère au prix forfaitaire (Fft). Il comprend :

- Le transport des engins, les matériels nécessaires affectés au chantier ;
- L'installation et l'aménagement des bases des services généraux du Titulaire;
- La facture, la confection et la pose des panneaux de chantier ;
- L'amenée du personnel nécessaire ;
- L'aménagement et l'entretien des déviations éventuelles ;
- L'installation du laboratoire commun de chantier ;
- Le déplacement total ou partiel de ces installations au cours du chantier ;
- La construction et l'équipement des bâtiments mis à la disposition de la mission de contrôle.

9.1.1.2 *Prix n°102: Repli de chantier*

Ce prix non révisable rémunère au prix forfaitaire (fft). Il comprend :

- Le rapatriement des matériels ;
- L'enlèvement de tous les produits utilisés issus de l'installation de chantier et de l'exécution des travaux ;
- la remise en état de tous les lieux d'intervention ;

9.1.2 TERRASSEMENT

9.1.2.1 *Prix n°201 : Nettoyage, désherbage et débroussaillage*

Ce prix est rémunéré par METRE CARRE (m²) de surface mesurée en projection horizontale de l'emprise de chaussée et toutes sujétions d'accès. Il comprend :

- L'arrachage de toute végétation existante ;
- L'enlèvement des racines et souches éventuelles ;
- Le transport et l'évacuation des produits jusqu'à un lieu de dépôt agréé quelle que soit la distance.

9.1.2.2 Prix n°202 : Décapage et redans

Ce prix est rémunéré par METRE CARRE (m²) de surface mesurée sur toute la plateforme de la chaussée et comprend :

- Le décapage de la terre végétale sur une épaisseur convenable (20cm) sur toute la largeur de l'assiette des terrassements ;
- Le transport des matériaux, l'évacuation jusqu'au lieu de dépôt ;
- Le réglage sommaire de la plateforme ainsi que toutes sujétions diverses ;
- La confection des redans ;
- Le compactage de sols décapés, à au moins 90% de l'OMP.

9.1.2.3 Prix n°203 : Déblai mis en remblai

Ce prix est rémunéré au METRE CUBE (m³) de volume en place de déblai effectué. Il concerne les déblais nécessaires pour la réalisation du profil en travers type. Il comprend :

- L'extraction des matériaux, la rectification d'éventuels talus ;
- Le décaissement des talus ;
- Le transport des produits de déblai ;
- La mise en œuvre : répandage, réglage, arrosage et compactage.

9.1.2.4 Prix n°204 : Remblai en provenance d'un emprunt

Ce prix est rémunéré au METRE CUBE (m³) de fourniture et de mise en œuvre de remblai en provenance d'emprunt pour l'exécution de tous travaux de remblayage. Il comprend :

- Les pistes d'accès et leur entretien ;
- L'extraction après débroussaillage et décapage ;
- Le chargement, le transport sur toute distance, le déchargement des matériaux ;
- La mise en œuvre : répandage, réglage, arrosage et compactage.



9.1.2.5 *Prix n° 205 : Engazonnement*

Ce prix est rémunéré au METRE CARRE (m²) de talus à protéger. Il comprend :

- L'extraction des gazons et le transport ;
- Le transport sur toute distance ;
- La pose, le réglage et la fixation des gazons ;
- L'arrosage et l'entretien jusqu'à la période vivace.

9.1.2.6 *Prix n°206 : Enrochement de protection*

Ce prix rémunère au METRE CUBE (m³) de blocs de roche dure 30 à 50kg. Il comprend :

- La fourniture et le transport des blocs quel que soit la distance ;
- La préparation du lit de pose et l'exécution des terrassements correspondant en terrain de toute nature ;
- La mise en œuvre, l'agencement, le pilonnage ;
- Le réglage et l'arasement des parties supérieures et des parements visibles.

9.1.2.7 *Prix n°207 : Géotextile*

Ce prix est rémunéré au METRE CARRE (m²) la fourniture et la mise en œuvre d'un géotextile non tissé aiguilleté en polypropylène. Il comprend :

- La fourniture et le transport à pied d'œuvre ;
- La préparation de la surface de pose ;
- Les chutes et les recouvrements recommandés par le fournisseur ;
- Toutes sujétions de mise en œuvre.

9.1.3 ASSAINISSEMENT

9.1.3.1 *Prix n°301 : Démolition d'ouvrages existants*

Ce prix est rémunéré au METRE CUBE (m³) de démolition totale ou partielle d'ouvrage d'assainissement ou de murs existants de toutes natures (maçonneries, bétons, etc) quelles que soient leurs dimensions. Il comprend :

- Tous terrassements utiles, y compris les fouilles en terrain rocheux ;



- La démolition proprement dite, complète ou une partie de l'ouvrage, y compris têtes, puisards, dalle ou plate-forme, etc. et toutes sujétions d'exécutions ;
- Le chargement ;
- Le transport, le déchargement, et la mise en dépôt des gravats ou matériaux extraits ;
- Le remblaiement des fouilles jusqu'au niveau de l'ancienne plate-forme

9.1.3.2 Prix n°302 : Fossé rectangulaire maçonné

Ce prix s'applique au METRE LINEAIRE (ml) de fossé rectangulaire maçonné, exécuté conformément au plan-type et par les spécifications techniques. Il comprend :

- Les terrassements et fouilles en terrains de toutes natures y compris rocheux ;
- Le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et le réglage des terres en excès et des gravois issus des fouilles ;
- La fourniture et le transport à pied d'œuvre de tous les matériaux requis ;
- La réalisation en maçonnerie du fond et des parements ;
- Le remblaiement, le damage et le compactage, la remise en état des abords.

9.1.3.3 Prix n°303 : Fossé triangulaire en terre

Ce prix est rémunéré au METRE LINEAIRE (ml) de fossé en terre de type triangulaire et comprend :

- L'excavation, le réglage et toutes finitions utiles ;
- L'extraction et le chargement ;
- Le transport et le déchargement en lieu de dépôt.

9.1.3.4 Prix n°304 : Curage des dalots ou buses

Ce prix se rémunère au METRE LINEAIRE (ml) de curage des ouvrages transversaux existants, quel que soit le diamètre ou l'ouverture. Il comprend :

- L'extraction des matériaux existants à l'intérieur de l'ouvrage ;
- Le transport, y compris le chargement et le déchargement ;
- Toutes sujétions de nettoyage.



9.1.3.5 Prix n°305 : Descente d'eau maçonné

Ce prix concerne le METRE LINEAIRE (ml) des travaux finis, ils concernent les descentes d'eau hourdées au mortier de ciment, ils sont constitués par :

- Les terrassements correspondants et les fouilles;
- La fourniture des matériaux et leur transport;
- La fabrication et la fourniture des matériaux pour maçonneries ;
- La mise en œuvre, l'exécution des joints et toutes sujétions de mise en œuvre.

9.1.3.6 Prix n° 306 : Dalot

Ce prix s'applique à l'UNITE (U) des dalots d'Assainissement selon son ouverture et sa hauteur. Il comprend :

- Les fournitures y compris l'armature et le transport sur toutes distances ;
- Les fouilles en terrain de toutes natures ;
- Le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et le réglage ;
- Le lit de sable, le béton de propreté ordinaire dosé à 150 kg/m³ de ciment ;
- Les maçonneries de moellons pour la réalisation des piédroits, des murs en ailes en aval, du puisard en amont et des parafoilles;
- Les coffrages et la mise en place des armatures.

9.1.3.7 Prix n°307 : Buse

Ce prix s'applique à l'UNITE (U) des buses d'Assainissement selon son diamètre. Il comprend

- Les fournitures y compris l'armature et le transport sur toutes distances ;
- Les fouilles en terrain de toutes natures ;
- Le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et le réglage ;
- Et toutes autres sujétions.

9.1.4 CHAUSSEE

9.1.4.1 Prix n°401 : Scarification

Ce prix s'applique au METRE CUBE (m³) de scarification de chaussée revêtue. Il comprend :



- Le piochage de la chaussée existante sur une épaisseur définie par l'Autorité chargée du contrôle ;
- La réduction de la dimension des produits de la scarification ;
- Toutes sujétions pour l'exécution des travaux et le compactage des matériaux scarifiés.

9.1.4.2 Prix n°402 : Reprofilage léger du tronçon non revêtu

Ce prix est rémunéré au METRE LINEAIRE (ml) de travaux de Reprofilage léger. Il comprend :

- La mise en forme de la plateforme existante sur une profondeur au maximum 0,40cm ;
- Scarification, arrosage et compactage des matériaux ;
- L'évacuation des matériaux sans emploi en un lieu de dépôt agréé ;
- Toutes sujétions de mise en œuvre.

9.1.4.3 Prix n°403 : Couche de fondation en Matériaux Sélectionnés

Ce prix rémunère au mètre cube (m3) de Matériau Sélectionnés naturels répondant aux critères pour la couche de fondation, pour la réalisation d'accotement, de déchargement divers (aires de stationnement, accès riverains). Il comprend :

- L'identification des gîtes ;
- L'extraction, le chargement, le transport du Matériau jusqu'au lieu d'emploi ;
- Le déchargement, réglage mécanique, arrosage nécessaire jusqu'à la teneur en eau
- Le compactage ;
- Les dépenses relatives au respect de l'environnement naturel et humain, le frais de mise en état des emprunts ;
- Toutes les sujétions de mise en œuvre ;
- Le réchauffage et le répandage ;
- Le dope éventuel.

9.1.4.4 Prix n°404 : Couche de base en GCNT 0/31⁵

Ce prix s'applique au mètre cube (m3) des opérations relatives à la production et la mise en œuvre de Grave Concassée Non Traitée 0/31₅(GCNT 0/31₅) pour couche de base et aménagement divers (accotements) quelles que soient l'épaisseur et la surface. Il comprend :



- L'identification des carrières et l'analyse géotechnique ;
- L'extraction, le concassage, le criblage, le dépoussiérage ;
- Le chargement, le transport des matériaux jusqu'à la teneur en eau nécessaire ;
- Le compactage selon les prescriptions techniques ;
- Les dépenses relatives au respect de l'environnement naturel et humain, les frais de mise en état des emprunts ;
- Toutes sujétions de mise en œuvre.

9.1.4.5 Prix n°405 : Couche d'imprégnation avec du cut back 0/1

Ce prix se rémunère à la TONNE (t) de bitume résiduel de bitume fluidifié 0/1 pour imprégnation de grave concassé. Il comprend :

- La préparation de la surface par balayage, soufflage, arrosage ;
- La fourniture de bitume fluidifié ;
- Son transport sur les distances ;
- Le réchauffage et le répandage du bitume fluidifié (à la rampe ou à la lance) ;
- Le dope éventuel ;
- Le sablage des zones circulées ;
- Les surlargeurs d'exécution et les pertes diverses, et toutes sujétions.

9.1.4.6 Prix n°406 : Enduit superficiel bicouche

Ce prix se rémunère à la TONNE (t) la fourniture, il comprend :

- Balayage et soufflage du support ;
- Répandage uniforme du liant ECR 65 à raison de 1,2kg/m² ;
- Répandage des gravillons 10/14 à raison de carré 10litres/m² ;
- Compactage léger à l'aide de compacteur pneumatique,
- Répandage uniforme de la deuxième couche de liant ECR 69 à raison de 0,8kg/m² ;
- Répandage de la deuxième couche de gravillons 6/10 à raison de 7litres/m² ;
- Léger sablage de la couche à raison de 4litres/m² ;
- Compactage léger à l'aide de compacteur pneumatique.



9.1.5 OUVRAGES

9.1.5.1 *Prix n°501 : Dalot de franchissement*

Ce prix rémunère à l'UNITE (U) le dalot de franchissement, exécuté conformément au plan-type et par les spécifications techniques. Il comprend :

- Les fournitures et le transport sur toutes distances ;
- Les fouilles en terrain de toutes natures, y compris rocheux ;
- Le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et le réglage aux lieux de dépôt des terres et ou gravois issus des fouilles ;
- Le lit de sable ;
- Le béton de propreté ordinaire dosé à 150 kg/m³ de ciment ;
- Les armatures pour BA ;
- Les coffrages et la mise en place des armatures ;
- Le coulage du dalot en béton dosé à 350 kg/m³ de ciment CEM I.

9.1.5.2 *Prix n°502 : Gabion de protection*

Ce prix s'applique au METRE CUBE (m³) de gabionnage pour aménagements divers tels que : extrémités d'ouvrages, protection en rivières, mur de soutènement et ceci quelles que soient les dimensions de la caisse métallique utilisée. Il comprend :

- Les fournitures et transports de tous les matériaux nécessaires y compris les ligatures et éventuellement les barres de liaisonnement nécessaires ;
- Le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et réglage sommaire aux lieux de dépôts des terres et gravois en excès ;
- L'apport éventuel de remblais complémentaires, avec compactage, nécessaire pour la mise en œuvre et la mise en état des abords.

9.1.5.3 *Prix n°503 : Mur de soutènement*

Ce prix rémunère au METRE CUBE (m³) de fourniture et l'exécution de murs maçonnés. Il comprend :

- Les fournitures et le transport sur toutes distances ;
- Les terrassements et fouilles en terrains de toutes natures y compris rocheux ;
- Le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et le réglage ;



- Le lit de sable, le béton de propreté ordinaire dosé à 150 kg/m³ de ciment ;
- Les maçonneries de moellons pour la réalisation des murs et des semelles ;
- Le mortier de ciment dosé à 350 kg/m³ pour jointoyer les maçonneries de moellons.

9.1.6 EQUIPEMENT ET SIGNALISATION

9.1.6.1 *Prix n°601 : Bornes kilométriques*

Ce prix rémunère à l'UNITE(U), la fourniture et la mise en place des bornes kilométriques en béton, conforme aux spécifications. Il comprend :

- La fourniture et la fabrication des bornes en béton B2 ferrailé ;
- Implantation précise chaque kilomètre,
- Leur transport sur toutes distances ;
- La fouille, la pause, le massif de scellement en béton B1 ;
- La peinture et les inscriptions ;
- Toutes autres sujétions.

9.1.6.2 *Prix n°602 : Panneaux de localisation et de direction*

Ce prix rémunère à l'UNITE(U), la fourniture et la mise en place des panneaux de localisation et de direction en béton armé, conforme aux spécifications. Il s'applique quelles que soient les dimensions des panneaux et quel que soit le lieu d'implantation. Il comprend :

- La fourniture et la fabrication des bornes en béton B2 ferrailé ;
- Implantation précise selon les instructions,
- Leur transport sur toutes distances ;
- La fouille, la pause, le massif de scellement en béton B1 ;
- Le lissage, réglage, finition de la partie supérieure du massif de scellement ;
- Le remblaiement ;
- Peinture selon les jeux de couleurs réglementaires ;
- Les inscriptions correctement orthographiées ;
- La vérification des distances portées sur les panneaux ;
- Toutes autres sujétions.



9.1.6.3 *Prix n°603 : Balises de virage*

Ce prix rémunère à l'UNITE (U), la fourniture et la mise en place des balises de virage en béton armé, conforme aux spécifications. Il comprend :

- La fourniture et la fabrication des bornes en béton B2 ferrailé ;
- Implantation précise selon les prescriptions,
- Leur transport sur toutes distances ;
- La fouille, la pause, le massif de scellement en béton B1 ;
- Le lissage, réglage, finition de la partie supérieure du massif de scellement ;
- La peinture et les dispositifs de refléctorisation ;
- Toutes autres sujétions.

9.1.6.4 *Prix n°604 : Marquage de chaussées*

Ce prix rémunère au METRE LINEAIRE (ml), il comprend :

- Le nettoyage énergétique préalable de la chaussée ;
- La fabrication des masques ou gabarit ;
- La fourniture à pied d'œuvre et l'application mécanique des produits (peinture, résine) selon les dosages et procédés prescrits.

9.2 **Détail quantitatif**

Le devis quantitatif renseigne sur les quantités de travaux à exécuter dans le descriptif. Le tableau ci-après illustre ces quantitatifs.

Tableau 85.Detail quantitatif.

N° PRIX	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	QUANTITE
1. TRAVAUX PREPARATOIRES			
101	Installation de chantier	FFT	1,00
102	Repli de chantier	FFT	1,00
2. TERRASSEMENT			
201	Nettoyage, débroussaillage et désherbage	M2	15 565,00
202	Décapage et redans	M2	300,00
203	Déblai mis en remblai	M3	25 950,00
204	Remblai en provenance d'un emprunt	M3	55 356,00
205	Engazonnement	M2	26 000,00
206	Enrochement de protection	M3	218,40
207	Géotextile	M2	5 324,67
3. ASSAINISSEMENT			
301	Démolition d'ouvrage existant	M3	132,00
302	Fossé rectangulaire maçonné	ML	4 513,00
303	Fossé triangulaire en terre	ML	4 947,00
304	Curage des dalots ou buses	ML	32,00
305	Descente d'eau maçonnée	ML	53,20
306	Dalot	U	1,00
307	Buses	U	3,00
4. CHAUSSEE			
401	Scarification	M3	682,00
402	Reprofilage léger du tronçon non revêtu	ML	1 295,40
403	Couche de fondation en Matériaux sélectionnés	M3	7 560,00
404	Couche de base en GCNT 0/315	M3	43 750,00
405	Couche d'imprégnation avec du cut back 0/1	T	150,00
406-a	ECR 69 première couche	T	150,00
406-b	ECR 69 deuxième couche	T	120,00
406-c	Gravillon 6/10	M3	1 714,29
406-d	Gravillon 10/14	M3	1 000,00
5. OUVRAGES			
501	Dalot de franchissement	U	2
502	Gabion de protection	M3	42
503	Mur de soutènement	M3	80
6. EQUIPEMENT ET SIGNALISATION			
601	Bornes kilométriques	U	22
602	Panneaux de localisation et de direction	U	54
603	Balises de virage	U	35
604	Marquage de chaussée	ML	22 000

9.3 Détails estimatifs

9.3.1 Sous détail des prix

Le sous détail des prix évalue le prix unitaire des différents travaux à réaliser. Il comprend les différents coûts de matériaux et des mains d'œuvres ainsi que l'allocation éventuelle des matériels. Le calcul des sous détail tient compte aussi du rendement des personnels travaillant sur site et du coefficient de déboursés K_1 . Ce dernier présente un aperçu sur l'importance du projet. Ainsi, le prix unitaire est calculé par la relation suivante :

$$PU = \frac{K_1 \cdot D}{R} \quad (128)$$

Avec :

- PU : prix unitaire
- K_1 : coefficient de déboursés ;
- D : total des déboursés ;
- R : rendement.

9.3.2 Coefficient de déboursés K_1

Le coefficient de déboursés permet de classer les différentes entreprises lors de l'évaluation des offres. Plusieurs paramètres sont inclus dans la détermination de ce coefficient à savoir les différents aléas et frais de l'exécution des travaux.

La formule ci-après donne le calcul de K_1 :

$$K_1 = \frac{\left(1 + \frac{A_1}{100}\right) \left(1 + \frac{A_2}{100}\right)}{1 - \left[\left(\frac{A_3}{100}\right) \left(1 + \frac{TVA}{100}\right)\right]} \quad (129)$$

Dans laquelle :

- A_1 : frais généraux proportionnels aux déboursés, [%]

$$A_1 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 \quad (130)$$

- A_2 : bénéfice brut et frais financier proportionnel au prix de revient de l'entreprise, [%]

$$A_2 = a_5 + a_6 + a_7 + a_8 \quad (131)$$

- A_3 : frais proportionnels aux TVA, [%]

$$A_3 = a_9 \quad (132)$$

- TVA : taxe sur la valeur ajoutée, elle est de 20% à Madagascar.

Les marges de valeurs des coefficients a_i sont mentionnées dans le tableau ci-après.

Tableau 86. Marges de valeur des coefficients a_i .

Coefficient a_i	Désignation	Valeur minimale	Valeur maximale
a1	Frais d'agence et de patente	3,5	7,0
a2	Frais de chantier	8,0	12,0
a3	Frais d'études et de laboratoires	3,0	4,0
a4	Assurances	0,5	1,0
a5	Bénéfices nets et impôts sur le bénéfice	6,0	10,0
a6	Aléas techniques	2,0	3,0
a7	Aléas de révision de prix	1,5	6,0
a8	Frais financiers	2,0	4,0
a9	Frais de siège	0,0	

Pour un délai d'exécution inférieur à 9 mois (selon le planning des travaux ANNEXE XIX), la valeur des aléas de révision de prix est de 1,5. De plus, pour les entreprises ayant leurs sièges à Madagascar, le frais de siège est nul. Les valeurs prises pour le calcul du coefficient de déboursés K_1 sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 87. Valeurs des coefficients pour le calcul de K_1 .

Origine des frais	Décomposition à l'intérieur de chaque catégorie de frais	Indice de décomposition (%)	$A_i = \sum a_i$
Frais généraux proportionnels aux déboursés	Frais d'agence et patente	$a_1 = 5$	$A_1 = 20,7$
	Frais de chantier	$a_2 = 11$	
	Frais d'étude et de laboratoire	$a_3 = 4$	
	Assurances	$a_4 = 0,7$	
Bénéfice brut et frais financiers proportionnels au prix de revient	Bénéfices nets et impôts sur les bénéfices	$a_5 = 9$	$A_2 = 14,5$
	Aléas techniques	$a_6 = 2,5$	
	Aléas de révision des prix	$a_7 = 1,5$	
	Frais financiers	$a_8 = 3$	
Frais proportionnel au prix de règlement avec TVA	Frais de siège	$a_9 = 0$	$A_3 = 0$

$$K_1 = \frac{\left(1 + \frac{20,7}{100}\right) \left(1 + \frac{16}{100}\right)}{1 - \left[\left(\frac{0}{100}\right) \left(1 + \frac{20}{100}\right)\right]} = 1,40$$

Donc : $K_1 = 1,40$.

9.3.3 Devis quantitatif et estimatif (DQE)

Le devis quantitatif et estimatif suivant donne le calcul du montant de la réalisation du projet.



N° PRIX	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	QUANTITE	PU [Ar]	MONTANT [Ar]
100.TRAVAUX PREPARATOIRES					
101	Installation de chantier	FFT	1,00	897 066 682,67	897 066 682,67
102	Repli de chantier	FFT	1,00	672 800 012,00	672 800 012,00
Sous total					1 569 866 694,67
200.TERRASSEMENT					
201	Nettoyage, débroussaillage et désherbage	M2	15 565,00	1 400,00	21 791 000,00
202	Décapage et redans	M2	300,00	1 750,00	525 000,00
203	Déblai mis en remblai	M3	25 950,00	17 500,00	454 125 000,00
204	Remblai en provenance d'un emprunt	M3	55 356,00	56 330,00	3 118 203 480,00
205	Engazonnement	M2	26 000,00	3 500,00	91 000 000,00
206	Enrochement de protection	M3	218,40	78 680,00	17 183 712,00
207	Géotextile	M2	5 324,67	19 460,00	103 618 078,20
Sous total					3 806 446 270,20
300.ASSAINISSEMENT					
301	Démolition d'ouvrage existant	M3	132,00	22 160,00	2 925 120,00
302	Fossé rectangulaire maçonné	ML	4 513,00	62 610,00	282 558 930,00
303	Fossé triangulaire en terre	ML	4 947,00	3 500,00	17 314 500,00
304	Curage des dalots ou buses	ML	32,00	2 910,00	93 120,00
305	Descente d'eau maçonné	ML	53,20	52 170,00	2 775 444,00
306	Dalot	U	1,00	27 345 900,25	27 345 900,25
307	Buses	U	3,00	38 450 228,45	115 350 685,35
Sous total					448 363 699,60
400.CHAUSSEE					
401	Scarification	M3	682,00	3 200,00	2 182 400,00
402	Reprofilage léger du tronçon non revêtu	ML	1 295,40	3 400,00	4 404 360,00
403	Couche de fondation en MS	M3	7 560,00	72 550,00	548 478 000,00
404	Couche de base en GCNT 0/315	M3	43 750,00	96 670,00	4 229 312 500,00
405	Couche d'impregnation avec du cut back 0/1	T	150,00	3 846 240,00	576 936 000,00
406-a	ECR 69 première couche	T	150,00	1 799 590,00	269 938 500,00
406-b	ECR 69 deuxième couche	T	120,00	1 749 480,00	209 937 600,00
406-c	Gravillon 6/10	M3	1 714,29	71 810,00	123 102 857,14
406-d	Gravillon 10/14	M3	1 000,00	70 510,00	70 510 000,00
Sous total					6 034 802 217,14
500.OUVRAGES					
501-a	Dalot de franchissement 1x[1,50x1,50]	U	1	34 291 967,40	34 291 967,40
501-b	Dalot de franchissement 3x[3,00x3,00]	U	1	185 465 246,25	185 465 246,25
502	Gabion de protection	M3	42	136 860,00	5 748 120,00
503	Mur de soutènement	M3	80	183 760,00	14 700 800,00
Sous total					240 206 133,65

600.EQUIPEMENTS ET SIGNALISATIONS

601	Bornes kilométriques	U	22	97 200,00	2 138 400,00
602	Panneaux de localisation et de direction	U	54	111 200,00	6 004 800,00
603	Balises de virage	U	35	256 680,00	8 983 800,00
604	Marquage de chaussée	ML	22000	1 060,00	23 320 000,00
Sous total					40 447 000,00
MONTANT TOTAL HT DES TRAVAUX					12 140 132 015,26
TVA (20%)					2 428 026 403,05
MONTANT TOTAL TTC DES TRAVAUX					14 568 158 418,31

RECAPITULATION DU DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau 88. Tableau récapitulatif du DQE.

N° PRIX	DESIGNATION DES TRAVAUX	MONTANT [Ar]
100	TRAVAUX PREPARATOIRES	1 569 866 694,67
200	TERRASSEMENT	3 806 446 270,20
300	ASSAINISSEMENT	448 363 699,60
400	CHAUSSÉE	6 034 802 217,14
500	OUVRAGES	240 206 133,65
600	EQUIPEMENTS ET SIGNALISATIONS	40 447 000,00
MONTANT TOTAL HT DES TRAVAUX		12 140 132 015,26
TVA (20%)		2 428 026 403,05
MONTANT TOTAL TTC DES TRAVAUX		14 568 158 418,31

Arrêté le présent Détail Quantitatif Estimatif à la somme de QUATORZE MILLIARDS CINQ CENT SOIXANTE-HUIT MILLIONS CENT CINQUANTE-HUIT MILLE QUATRE CENT DIX HUIT ARIARY TRENTÉ UN (14 568 158 418, 31), y compris la Taxe à la Valeur Ajoutée (TVA) à un taux de 20% et pour un montant de DEUX MILLIARDS QUATRE CENT VINGT-HUIT MILLIONS VINGT-SIX MILLE QUATRE CENT TROIS ARIARY CINQ. Le coût au km de la route est de 662 189 019 ,01 Ariary.



CHAPITRE X ETUDE DE RENTABILITE

La rentabilité du projet peut s'exprimer par l'existence de bénéfices pas seulement vis-à-vis des usagers directs de la route mais aussi des autres secteurs qui peuvent se développer lors de l'aménagement de la route. Les principaux bénéfices économiques identifiés sont de deux types :

- Les bénéfices directs résultants de la réduction des coûts d'exploitation des véhicules (CEV);
- Les bénéfices exogènes qui sont liés au développement des activités économiques induites par le projet. Ces effets se traduisent par la création de nouveaux emplois et contribuent à un accroissement du revenu moyen des ménages. Ces bénéfices sont évalués par la recette des communes de la zone d'influence ;

D'autres bénéfices, bien que prévisibles, n'ont pas été évalués parce que les éléments disponibles ne permettent pas de les calculer de façon précise comme la réduction des pertes de marchandises ou la réduction des accidents.

10.1 Coût d'exploitation des véhicules (CEV)

Les coûts d'exploitation des véhicules diminuent du fait de l'amélioration de la chaussée. La différence des CEV avec et sans projet reflète le bénéfice économique direct du projet. De façon concomitante, les coûts d'entretien d'une chaussée en bon état sont moins élevés que ceux d'une chaussée dégradée. Trois types de véhicules sont pris dans l'hypothèse de l'évaluation de cette différence de CEV pour une route dégradée et une route réhabilitée, à savoir :

- Camionnettes de charge utile de 1Tonne : T_1 ;
- Autocars de 28 places : T_2
- Camions de charge utile supérieure à 5Tonne : T_3

Il existe deux types de coût d'exploitation : les coûts fixes et les coûts proportionnels. Le tableau suivant illustre la composition de ces deux coûts.

Tableau 89.Composition des deux types de coûts.

Coûts fixes	Coûts proportionnels
Assurances	Carburants
Rémunération des personnels de conduite	Lubrifiants
Taxes professionnels	Pneumatiques
Coûts des réparations	Frais d'amortissement
	Réparations (matériels)

10.1.1 Coûts fixes

Les hypothèses suivantes sont tenues en compte pour le calcul des coûts fixes. Elles sont obtenues par suite d'une enquête auprès des services de transport.

Tableau 90. Assurances suivant les catégories de véhicules.

Types	CU	Activités	Assurance Ar/mois
Camionnettes	2	Transporteurs	35 700,00
Autocars	2	Transporteurs	42 840,00
Camion	5	Transporteurs	39 780,00

(Source : Service des transports.)

Tableau 91.Taxes professionnels.

Types	CU	Activités	Assurance Ar/mois
Camionnettes	2	Transporteurs	160 000,00
Autocars	2	Transporteurs	170 000,00
Camion	5	Transporteurs	300 000,00

(Source : Service des transports.)

Tableau 92.Rémunération des personnels de conduite.

Types	CU	Chauffeurs	Aide chauffeur
Camionnettes	2	200 000,00	120 000,00
Autocars	2	200 000,00	120 000,00
Camion	5	300 000,00	150 000,00

(Source : Service des transports.)

Tableau 93.Coûts des réparations.

Types	Couts de réparations
Camionnettes	138 600,00
Autocars	168 000,00
Camion	315 000,00

(Source : Service des transports.)

10.1.2 Coûts proportionnels

Les coûts proportionnels ou variables sont fonction de l'état de la route. Ils sont différents pour une route dégradée et une route bitumée. Les hypothèses pour les coûts proportionnels sont établies dans les tableaux qui suivent.

Tableau 94. Hypothèses des coûts proportionnels pour une route dégradée.

Désignation des coûts	Camionnettes(T ₁)	Autocars(T ₂)	Camions(T ₃)
Carburant (l/100 km)	20	30	40
Lubrifiant (% carburant)	7	7	7
Pneumatique (durée de vie en km)	30 000	30 000	30 000
Amortissement (Année)	4	4	5
Distance parcourue en km/an	22 035	13 409	8 814
Distance de parcours en km	20	20	20

Tableau 95. Hypothèses des coûts proportionnels pour une aménagée.

Désignation des coûts	Camionnettes(T ₁)	Autocars(T ₂)	Camions(T ₃)
Carburant (l/100 km)	12	17	22
Lubrifiant (% carburant)	4	4	4
Pneumatique (durée de vie en km)	15 000	15 000	15 000
Amortissement (Année)	7	7	7
Distance parcourue en km/an	18 360	10 098	9 180
Distance de parcours en km	20	20	20

10.1.3 Calcul des avantages

Les avantages sont classés selon la catégorie de véhicules. Elles s'expriment par la relation suivante :

$$\Delta C = C_{\text{dégradée}} - C_{\text{bitumée}} \quad (133)$$

- ΔC : avantage ;
- $C_{\text{dégradée}}$: Coût d'exploitation du véhicule pour une route dégradée ;
- $C_{\text{bitumée}}$: Coût d'exploitation du véhicule pour une route revêtue.

Les résultats de calcul des coûts fixes et coûts proportionnels sont mentionnés dans les tableaux ci-après.

Tableau 96. Calcul des coûts pour une route dégradée.

Désignation des coûts	T ₁	T ₂	T ₃
Coûts proportionnels [Ar]			
Carburant	12 600,00	18 900,00	25 200,00
Lubrifiant	882,00	1 323,00	1 764,00
Réparations matérielles	3 100,00	4 550,00	12 300,00
Pneumatiques	320,00	320,00	320,00
Amortissement	27 000,00	34 000,00	132 000,00
Total coûts proportionnels	43 902,00	59 093,00	171 584,00
Coûts fixes [Ar]			
Assurances	1 785,00	2 142,00	1 989,00
Taxes professionnels	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	7 500,00
Réparations	6 930,00	8 400,00	15 750,00
Total coûts fixes	25 381,67	27 250,33	41 489,00
TOTAL [Ar]	69 283,67	86 343,33	213 073,00

Tableau 97. Calcul des coûts pour une route bitumée.

Désignation des coûts	T ₁	T ₂	T ₃
Coûts proportionnels [Ar]			
Carburant	7 560,00	10 710,00	13 860,00
Lubrifiant	302,40	428,40	554,40
Réparations matérielles	1 500,00	2 100,00	4 500,00
Pneumatiques	160,00	160,00	160,00
Amortissement	19 000,00	24 000,00	79 000,00
Total coûts proportionnels	28 522,40	37 398,40	98 074,40
Coûts fixes [Ar]			
Assurances	1 785,00	2 142,00	1 989,00
Taxes professionnels	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	7 500,00
Réparations	6 930,00	8 400,00	15 750,00
Total coûts fixes	25 381,67	27 250,33	41 489,00
TOTAL [Ar]	53 904,07	64 648,73	139 563,40

Ainsi, les avantages par catégorie de véhicules sont illustrés ci-après.

Tableau 98 .Valeur des avantages selon la catégorie de véhicule.

Catégorie de véhicules	Camionnettes T1	Autocars T2	Camions T3
Avantage [Ar]	15 379,60	21 694,60	73 509,60

Ces avantages sont combinés avec le nombre de trafic annuel de ces trois types de véhicules afin de calculer les flux nets dans l'évaluation financière qui va suivre.

Tableau 99.Estimation du trafic à partir de l'année de mise en service.

Année	T1	T2	T3
2017	16 425	17 885	11 680
2018	17 082	18 600	12 147
2019	17 765	19 344	12 633
2020	18 476	20 118	13 138
2021	19 215	20 923	13 664
2022	19 984	21 760	14 211
2023	20 783	22 630	14 779
2024	21 614	23 535	15 370
2025	22 479	24 477	15 985
2026	23 378	25 456	16 624
2027	24 313	26 474	17 289
2028	25 286	27 533	17 981
2029	26 297	28 634	18 700
2030	27 349	29 780	19 448
2031	28 443	30 971	20 226

10.2 Evaluation économique

L'évaluation économique consiste à déterminer les intrants et les dépenses pendant la durée de vie de la route afin de conclure sur la rentabilité et la faisabilité du projet.

10.2.1 Avantages nets du projet

Ces avantages nets sont déterminés par la différence entre les recettes et les dépenses. Ces derniers sont les coûts des entretiens courants et des entretiens périodiques de la route.

10.2.1.1 Dépenses

L'entretien préventif systématique consiste à réaliser des travaux de réparation des petites dégradations en vue de maintenir en bon état la route ou de préserver la route contre d'éventuelles dégradations. Ainsi, il existe deux types d'entretien :

- L'entretien courant qui s'effectue dès l'apparition des petites dégradations au court de l'année pendant la saison sèche ;
- L'entretien périodique consistant à mettre en œuvre une nouvelle couche de revêtement. Cet entretien a lieu en général tous les cinq ans pendant la durée de vie de la route.

Selon le Ministère des Travaux Publics, les coûts de l'entretien périodique et de l'entretien courant sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 100. Coûts d'Entretien Courant et d'Entretien Périodique.

Entretien Courant		Entretien Périodique	
EC [Ar/km/an]	TOTAL EC [Ar]	EP [Ar/km/an]	TOTAL EP [Ar]
1 253 000,00	25 060 000,00	103 450 000,00	2 069 000 000,00

10.2.1.2 Recettes

Outre les coûts d'exploitation de véhicule, l'ensemble des recettes des Communes traversées par le projet constitue aussi une source de revenu. Ces recettes communales sont estimées à 455 657 000,00 Ar dès la mise en service de la route et croît avec un taux de 10% pendant la durée de vie du projet. L'ensemble des recettes du projet est alors obtenu par la relation :

$$R_p = \Delta C_i \cdot T_i + R_{communales} \quad (134)$$

- R_p : total des recettes à l'année p ;
- ΔC_i : avantage par trafic ;
- T_i : nombre de trafic ;
- $R_{communales}$: recettes communales.

Les résultats de calcul sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 101. Récapitulation des recettes.

Année	$\Delta C1 T1$	$\Delta C2 T2$	$\Delta C3 T3$	Rcommunales	Rp
2017	252 609 930,00	388 007 921,00	858 592 128,00	455 657 000,00	1 954 866 979,00
2018	262 714 327,20	403 528 237,84	892 935 813,12	501 222 700,00	2 060 401 078,16
2019	273 222 900,29	419 669 367,35	928 653 245,64	551 344 970,00	2 172 890 483,29
2020	284 151 816,30	436 456 142,05	965 799 375,47	606 479 467,00	2 292 886 800,82
2021	295 517 888,95	453 914 387,73	1 004 431 350,49	667 127 413,70	2 420 991 040,87
2022	307 338 604,51	472 070 963,24	1 044 608 604,51	733 840 155,07	2 557 858 327,33
2023	319 632 148,69	490 953 801,77	1 086 392 948,69	807 224 170,58	2 704 203 069,72
2024	332 417 434,64	510 591 953,84	1 129 848 666,64	887 946 587,63	2 860 804 642,75
2025	345 714 132,02	531 015 631,99	1 175 042 613,30	976 741 246,40	3 028 513 623,72
2026	359 542 697,30	552 256 257,27	1 222 044 317,83	1 074 415 371,04	3 208 258 643,45
2027	373 924 405,20	574 346 507,56	1 270 926 090,55	1 181 856 908,14	3 401 053 911,45
2028	388 881 381,40	597 320 367,87	1 321 763 134,17	1 300 042 598,96	3 608 007 482,40
2029	404 436 636,66	621 213 182,58	1 374 633 659,54	1 430 046 858,85	3 830 330 337,63
2030	420 614 102,13	646 061 709,88	1 429 619 005,92	1 573 051 544,74	4 069 346 362,66
2031	437 438 666,21	671 904 178,28	1 486 803 766,15	1 730 356 699,21	4 326 503 309,86

10.2.1.3 Avantages nets ou flux nets

Le flux net annuel est donné par la formule :

$$F_p = R_p - D_p \quad (135)$$

- F_p : Flux net à l'année p ;
- R_p : recettes à l'année p ;
- D_p : dépense à l'année p, défini par le coût d'entretien courant ou entretien périodique.

Tableau 102.Calcul des flux nets de trésorerie.

Année	R_p	D_p	F_p
1	1 954 866 979,00	25 060 000,00	1 929 806 979,00
2	2 060 401 078,16	25 060 000,00	2 035 341 078,16
3	2 172 890 483,29	25 060 000,00	2 147 830 483,29
4	2 292 886 800,82	25 060 000,00	2 267 826 800,82
5	2 420 991 040,87	2 069 000 000,00	351 991 040,87
6	2 557 858 327,33	25 060 000,00	2 532 798 327,33
7	2 704 203 069,72	25 060 000,00	2 679 143 069,72
8	2 860 804 642,75	25 060 000,00	2 835 744 642,75
9	3 028 513 623,72	25 060 000,00	3 003 453 623,72
10	3 208 258 643,45	2 069 000 000,00	1 139 258 643,45
11	3 401 053 911,45	25 060 000,00	3 375 993 911,45
12	3 608 007 482,40	25 060 000,00	3 582 947 482,40
13	3 830 330 337,63	25 060 000,00	3 805 270 337,63
14	4 069 346 362,66	25 060 000,00	4 044 286 362,66
15	4 326 503 309,86	2 069 000 000,00	2 257 503 309,86

10.2.2 Etude de rentabilité

La rentabilité du projet dépend du calcul des paramètres suivants :

- La valeur actuelle nette ou VAN qui doit être positive ;

- Le taux de rentabilité interne ou TRI supérieure au taux directeur de la banque centrale, égale à 12% ;
- La durée de récupération du capital investi ou DRCI supérieure à la durée de vie du projet ;
- L'indice de profitabilité supérieure à 1.

10.2.2.1 Calcul de la Valeur Actuelle Nette (VAN)

Un investissement ne peut être jugé rentable qu'à condition de créer de la valeur. La VAN fournit la mesure de cette création de valeur. Elle est calculée par la formule ci-après :

$$VAN = \sum_{p=1}^n F_p(1+r)^{-p} - I_0 \quad (136)$$

- F_p : flux nets de trésorerie à l'année p ;
- $(1+r)^{-p}$: facteur d'actualisation ;
- r : taux d'actualisation égale à 12% ;
- I_0 : investissement initial c'est-à-dire le montant de la réalisation des travaux.

Tableau 103. Calcul des flux nets actualisés.

Année	F_p	$(1+r)^{-p}$	$F_p(1+r)^{-p}$
1	1 929 806 979,00	0,8929	1 723 041 945,54
2	2 035 341 078,16	0,7972	1 622 561 446,24
3	2 147 830 483,29	0,7118	1 528 783 313,65
4	2 267 826 800,82	0,6355	1 441 244 930,61
5	351 991 040,87	0,5674	199 729 169,56
6	2 532 798 327,33	0,5066	1 283 194 456,29
7	2 679 143 069,72	0,4523	1 211 908 265,37
8	2 835 744 642,75	0,4039	1 145 309 700,04
9	3 003 453 623,72	0,3606	1 083 075 486,28
10	1 139 258 643,45	0,3220	366 810 792,75
11	3 375 993 911,45	0,2875	970 517 577,12
12	3 582 947 482,40	0,2567	919 653 378,06
13	3 805 270 337,63	0,2292	872 069 747,85
14	4 044 286 362,66	0,2046	827 541 117,69
15	2 257 503 309,86	0,1827	412 437 414,50
$\sum_{p=1}^n F_p(1+r)^{-p}$			15 607 878 741,55



Avec un investissement initial, $I_0 = 14.568.158.418,31$ la VAN sera :

$$VAN = 15.607.878.741,55 - 14.568.158.418,31 = 1.039.720.323,24[Ar]$$

Le projet génère une VAN positive, il peut être jugé rentable.

10.2.2.2 Calcul du Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Le Taux de Rentabilité Interne est le taux d'actualisation qui annule la Valeur Actuelle Nette. Ainsi :

$$\sum_{p=1}^n F_p(1 + TRI)^{-p} - I_0 = 0 \quad (137)$$

Après calcul sur Excel, avec un taux d'actualisation de 15%, la VAN est négative avec une valeur de -1.439.812.064,81 [Ar], le TRI se trouve donc entre 12% et 15%, Après interpolation,

$$TRI = 13,3\%$$

Donc le projet est rentable avec un $TRI > 12\%$.

10.2.2.3 Calcul de la durée de récupération du capital investi (DRCI)

La DRCI comme son nom l'indique correspond au nombre de période au bout duquel les flux cumulés permettent de récupérer le capital investi.

Tableau 104. Cumul des flux actualisés.

Année	Flux nets	Flux nets actualisés	Cumuls des flux
1	1 929 806 979,00	1 723 041 945,54	1 723 041 945,54
2	2 035 341 078,16	1 622 561 446,24	3 345 603 391,77
3	2 147 830 483,29	1 528 783 313,65	4 874 386 705,43
4	2 267 826 800,82	1 441 244 930,61	6 315 631 636,04
5	351 991 040,87	199 729 169,56	6 515 360 805,60

Tableau 105.Cumul des flux (Suite).

Année	Flux nets	Flux nets actualisés	Cumuls des flux
6	2 532 798 327,33	1 283 194 456,29	7 798 555 261,89
7	2 679 143 069,72	1 211 908 265,37	9 010 463 527,26
8	2 835 744 642,75	1 145 309 700,04	10 155 773 227,29
9	3 003 453 623,72	1 083 075 486,28	11 238 848 713,57
10	1 139 258 643,45	366 810 792,75	11 605 659 506,32
11	3 375 993 911,45	970 517 577,12	12 576 177 083,44
12	3 582 947 482,40	919 653 378,06	13 495 830 461,51
13	3 805 270 337,63	872 069 747,85	14 367 900 209,36
14	4 044 286 362,66	827 541 117,69	15 195 441 327,05
15	2 257 503 309,86	412 437 414,50	15 607 878 741,55

Après interpolation, la DRCI est de **13 ans 2 mois et 27 jours**. Avec une durée de vie de 15 ans, le projet est rentable au regard du critère de la DRCI.

10.2.2.4 Calcul de l'indice de profitabilité (IP)

L'IP permet de donner une indication de création de valeur relative. Il est égal à la somme des flux actualisés, rapporté à l'investissement initial.

$$IP = 1 + \frac{VAN}{I_0} \quad (138)$$

$$IP = 1,1 > 1.$$

10.3 Conclusion

Le capital investi pour la réalisation de ce projet est de 14.405.290.378,49Ar, après calcul des différents critères de rentabilité, les résultats suivant sont obtenues :

- La VAN est positive avec une valeur de 1.039.720.323,24 [Ar] ;
- Le TRI est de 13,3%, supérieur au taux d'actualisation de 12% ;
- Le DRCI est de 13 ans 3mois, inférieur à la durée de vie du projet qui est de 15 ans ;
- L'IP est de 1,1, supérieure à 1.

Au regard de tous ces critères, le projet est rentable. La réalisation de ce projet génère des bénéfices au près des exploitants et de l'Etat.



CHAPITRE XI ETUDE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

La réalisation de l'Aménagement de la RNS13 a pour finalité de promouvoir la croissance économique et sociale de la population locale. Simultanément, ce projet présente également des effets sur l'environnement physique aux environs de la route.

Dans ce cadre même, l'adoption de la loi portant Charte de l'Environnement Malagasy et la promulgation du décret relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE) impliquent une obligation pour les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement d'être soumis à une étude d'impact environnemental (EIE). Le but de l'EIE est d'identifier les différentes sources d'impacts pendant et après la réalisation des travaux tout en analysant les mesures d'accompagnement possibles afin d'atténuer ou éviter les impacts négatifs et capitaliser les impacts positifs sur les récepteurs.

11.1 Description du milieu récepteur

Le milieu récepteur des impacts peut être de natures diverses. Il concerne premièrement la population aux alentours de la route nationale et s'étend au milieu biophysique c'est-à-dire le sol, les animaux, l'eau, la forêt etc.

En outre les impacts touchent également l'économie et le social de la population. Les modifications apportées par la réalisation du projet sont surtout bénéfiques pour l'économie du milieu récepteur.

Durant chaque phase des travaux, plusieurs composantes de l'environnement peuvent être affectées. Ces composants sont illustrés dans le tableau ci-après.

Tableau 106.Composantes concernées selon la nature des travaux.

Phases de travaux	Détails de chaque phase	Composantes concernées
Phases préparatoires	Installation de chantier (Signalisation, base vie, arpentage, aire de dépôt)	Végétation, population
	Transport et circulation des engins, machinerie et des équipements	Circulation et sécurité routière, végétation, habitats faunistiques et population
Phase construction	Terrassement Déboisement, décapage, dessouchage	Sols, eaux de surface, sédimentations, air, végétation, habitats faunistiques, utilisation du sol, paysage, activités humaines, économie, emploi, patrimoine culturel.
	Déblai, remblai	
	Construction de la chaussée Réglage et régalage	
	Préparation et Mise en œuvre- Concassés et Produits noirs	Sols, eaux de surface, air, bruit, végétation, habitats faunistiques, utilisation du sol, patrimoine et archéologique, activités humaines population, économie, emploi, santé publique
	Engazonnement	Sols, végétation, habitats faunistiques, activités humaines
	Travaux d'assainissement (construction de dalots et buses)	Sols, eaux de surface, sédimentation, végétation, usage de l'eau, bruit, habitats faunistiques, utilisation du sol
	Ouvrages de franchissement	Sols, eaux de surface, sédimentation, végétation, usage de l'eau, bruit, habitats faunistiques, utilisation du sol,
	Déviations	Sols, végétation, habitats faunistiques, utilisation du sol, sécurité routière
Phase exploitation	Transport et circulation	Air, bruit, circulation et sécurité routière, population
	Présence des infrastructures	Ruissellement et infiltration des eaux de surface, sédiment, air, bruit axes de circulation, activités humaines, population



11.2 Critères d'évaluation des sources d'impact

Les impacts sont appréciés suivant les trois critères suivants :

- ✓ L'intensité ;
- ✓ La durée ;
- ✓ L'étendue.

L'intensité caractérise l'ampleur de l'impact. Elle est qualifiée de :

- ✓ *Forte* lorsque l'impact apporte de grandes modifications ou perturbe totalement le milieu récepteur ;
- ✓ *Moyenne* quand les changements résultants des impacts produisent des effets intermédiaires ;
- ✓ *Faible* si les modifications induisent de médiocres conséquences sur l'environnement concerné.

La durée renseigne sur la période d'existence de l'impact. Trois appréciations permettent d'évaluer la durée :

- ✓ *Permanente* s'il a un caractère d'irréversibilité et ses effets sont ressentis de manière définitive ou sur une longue durée ;
- ✓ *Temporaire* si l'impact s'étend sur quelques jours ou mois mais doit être lié à une notion de réversibilité ;
- ✓ *Courte* lorsque l'impact ne touche qu'un élément de manière ponctuelle.

L'étendue correspond à la portée spatiale de l'impact. Elle peut être :

- ✓ *Généralisé* lorsque l'impact touche une part importante du milieu récepteur ;
- ✓ *Intermédiaire* quand l'impact est ressenti dans une zone située dans la proximité du projet ;
- ✓ *Localisé* si l'effet de l'impact ne concerne qu'une faible partie du milieu récepteur.

11.3 Evaluation des impacts négatifs

L'évaluation des impacts négatifs s'effectue suivant le milieu récepteur. Ils sont classés suivant leur moment d'apparition c'est-à-dire durant les travaux ou pendant l'exploitation de la route et des différents ouvrages. Les impacts sont récapitulés dans les tableaux ci-après.

Tableau 107. Impacts négatifs sur le milieu biophysique.

Identification d'impact	Sources d'impacts	Phases	Evaluation		
			Intensité	Durée	Etendue
Pollution du sol	Produits chimiques des engins et des matériaux	Chantier, exploitation	Faible	Temporaire	Localisée
Pollution des eaux	Epandage de produit chimique	Chantier, exploitation	Faible	Temporaire	Localisée
Pollution de l'air	Utilisation des engins	Chantier, exploitation	Faible	Temporaire	Localisée
Modification et dégradation du paysage naturel	Tracé de la route	chantier, après les travaux	Faible	Permanente	Généralisée
Perturbation des animaux	Bruits pendant toutes activités	Chantier, exploitation	Faible	Temporaire	Localisée
Modification de la texture du sol et changement de la nature du sol	Déviation provisoires, sites de dépôts	Chantier, exploitation	Forte	Permanente	Intermédiaire
Erosion en ravin et lavaka	Exutoires des ouvrages d'assainissement	Exploitation	Moyen	Temporaire	Intermédiaire
Augmentation des feux de brousse accidentels	Circulation des véhicules	Chantier, exploitation	Moyen	Permanente	Localisée

Les impacts négatifs touchant le social et l'économie de la population peuvent concerner directement la vie quotidienne des gens vivant aux alentours de l'axe du projet mais influent également les autres personnes à long terme. Ces impacts sont illustrés dans le tableau suivant.

Tableau 108.Impacts négatifs sur le milieu socioéconomique.

Identification d'impact	Sources d'impacts	Phases	Evaluation		
			Intensité	Durée	Etendue
Perte de terrain de culture	Remblais, élargissement de la route	Chantier, exploitation	Moyen	Permanente	Intermédiaire
Augmentation du risque d'accidents.	Travaux routiers y compris transport des matériaux et circulations des véhicules	Chantier, exploitation	Forte	Permanente	Généralisée
Nuisances sonores	Explosion lors de l'exploitation des carrières, bruit des engins	Chantier, exploitation	Faible	Temporaire	Localisée
Bitumage de la route	Atteinte à la santé des travailleurs et des populations avoisinantes, en raison de l'émission de gaz nocif provenant des produits noirs	Chantier	Faible	Temporaire	Localisée
Maladies pulmonaires dues à la poussière	Décapage du sol et travaux de terrassement	Chantier	Faible	Temporaire	Localisée
Augmentation des risques de transmission de maladies d'une communauté à l'autre surtout pour les maladies sexuellement transmissibles	Augmentation des échanges	Chantier, exploitation	Faible	Permanente	Généralisée
Perturbation de la circulation	Travaux d'aménagement	Chantier	Moyen	Temporaire	Localisée
Migration de la population	Attraction de population et d'activités en raison des travaux	Chantier, Exploitation	Faible	Permanente	Localisée

11.4 Evaluation des impacts positifs

L'évaluation des impacts positifs s'explique aussi par la raison d'être du projet et les différents objectifs à atteindre en aménageant l'ancienne route. Sur le plan biophysique, les impacts concernent principalement l'effet de la remise en état de la route.

Tableau 109. Impacts positifs sur le milieu biophysique.

Identification d'impact	Sources d'impacts	Phases	Evaluation		
			Intensité	Durée	Etendue
Amélioration de l'écoulement des eaux	Assainissement longitudinal et transversale	Chantier, Exploitation	Faible	Permanente	Localisée
Protection des abords immédiats	Engazonnement, descente d'eau, mur de soutènement	Chantier, Exploitation	Faible	Permanente	Localisée
Augmentation de praticabilité	Construction des ouvrages de franchissement	Chantier, Exploitation	Faible	Permanente	Localisée
Diminution de l'érosion des talus en déblai et remblai et de la chaussée	Système de drainage de la route remise en état	Chantier, Exploitation	Forte	Permanente	Localisée
Diminution des poussières	Chaussée revêtue	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée

Les principaux impacts positifs de la réalisation du projet sur le plan socioéconomique sont :

- Le désenclavement des régions très reculées ;
- Le développement des différents secteurs économiques, en effet, les activités ne sont plus interrompues lors de la saison de pluie et les opérateurs n'ont plus à utiliser les détours vers la RN12A pour aller à Fort Dauphin ;
- La valorisation des ressources locales grâce à la facilité d'accès à ces ressources qui peuvent être physiques ou pas, le développement du secteur du tourisme est relié étroitement à ces ressources naturelles ;
- Le renforcement de la sécurité est facilité par le bon état de la route, les interventions ne sont plus difficiles ;

- La condition de vie et le revenu des ménages s'améliorent par la création d'emploi et l'arrivée des investisseurs potentiels lors de la mise en service de la route.

Ces différents impacts sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 110. Impacts positifs sur le milieu socioéconomique.

Identification d'impact	Sources d'impacts	Phases	Evaluation		
			Intensité	Durée	Etendue
Désenclavement	Aménagement de la route	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée
Amélioration des conditions de vie des ménages	Facilité d'accès aux différents services, meilleur conditionnement	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée
Valorisations des différentes ressources locales	Facilité d'accès aux ressources	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée
Développement des différents secteurs d'activités économiques	Facilité des échanges entre acteurs	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée
renforcement de la sécurité	Mobilité des forces de l'ordre	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée
Création d'emploi	Travaux d'aménagement	Chantier	Moyenne	Temporaire	Localisée
Echange de cultures	Facilité de transport	Exploitation	Moyenne	Permanente	Généralisée
Facilité d'accès à l'administration	Aménagement de la route	Exploitation	Forte	Permanente	Généralisée

11.5 Mesures d'accompagnement

Le but principal de l'étude des impacts environnementaux est de prendre les mesures nécessaires pour atténuer l'effet des impacts négatifs et capitaliser les impacts positifs. Ces derniers sont évalués et caractérisés selon leur importance. Ils peuvent être d'une importance :

- *Mineure* lorsque l'analyse des trois critères d'évaluation a jugé que l'effet des impacts présente de faible influence sur le milieu récepteur ;
- *Moyenne* quand l'équilibre entre étendue, la durée et l'intensité de l'impact est atteint ;
- *Majeure* si les impacts induisent des transformations radicales sur le milieu récepteur.

Les mesures d'atténuation se définissent comme l'ensemble des moyens envisagés pour éviter, réduire les impacts négatifs sur l'environnement. Ces mesures sont illustrées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 111. Mesures d'atténuations des impacts négatifs sur le milieu récepteur biophysique.

Impacts	Importance	Mesure
Pollution du sol, pollution des eaux	Mineure	Délimiter les zones sensibles, collecter et entreposer les filtres et huiles usés dans des récipients fermés.
Pollution de l'air	Mineure	Ne pas utiliser des engins usés
Modification et dégradation du paysage naturel	Moyenne	Reboisement, aménagement des espaces verts
Perturbation des animaux	Mineure	Engins, équipements de chantiers et véhicules insonorisés aux normes internationales et en parfait état de fonctionnement
Modification de la texture du sol et changement de la nature du sol	Mineure	Restaurer au fur et à mesure les sols et leur couverture végétale des que les travaux/activités sont terminés en un site : terrassment/restauration, Limiter les surfaces au minimum
Erosion en ravin et lavaka	Mineure	Exutoires des drainages protégés et vers des zones non sensibles à l'érosion, protection des berges
Augmentation des feux de brousse accidentels	Moyenne	Sensibilisation des usagers de la route

Tableau 112. Mesures d'atténuation pour les impacts négatifs sur le milieu socioéconomique.

Impacts	Importance	Mesure
Perte de terrain de culture, migration de la population	Moyen	Concertation des autorités locales, Eviter de toucher autant que possible les habitations, les aires de culture et les tombeaux, indemniser les populations à la hauteur de la valeur actuelle de remplacement
Augmentation du risque d'accidents.	Moyen	Mise en place de panneaux. Assistance de la gendarmerie et police
Nuisances sonores	Mineure	Etablir les chantiers loin des habitations. Engins, équipements de chantiers et véhicules insonorisés aux normes internationales et en parfait état de fonctionnement
Bitumage de la route, Maladies pulmonaires dues à la poussière	Mineure	Masques pour les travailleurs. Etablir les chantiers loin des habitations, arrosage de la zone de travail
Risque de transmission de maladie	Moyen	sensibilisation de la population
Perturbation de la circulation	Mineure	Construire les déviations et finaliser les activités en ville ou dans les gros villages, le plus vite possible. Utiliser plusieurs panneaux

Pour capitaliser les impacts positifs, plusieurs mesures ont été prises, à savoir :

- L'entretien périodique de la route qui garantit l'existence des impacts à long terme mais permet également d'éviter d'autres effets négatifs ;
- L'incitation des investisseurs ;
- Amélioration des conditions de travail de la population.

Tableau 113. Mesures d'accompagnement des impacts positifs.

Milieu récepteur	Impacts	Importance	Mesure
BIOPHYSIQUE	Amélioration de l'écoulement des eaux	Mineure	Entretien de la route
	Protection des abords immédiats	Mineure	
	Augmentation de praticabilité	Mineure	
SOCIAL ET ECONOMIQUE	Désenclavement	Majeure	Entretien de la route
	Amélioration des conditions de vie des ménages	Majeure	Améliorer les conditions de travail, formation de la population
	Valorisations des différentes ressources locales	Majeure	Mise en œuvre des techniques d'exploitation appropriées
	Développement des différents secteurs d'activités économiques, Création d'emploi	Majeure	Encourager les investisseurs à investir dans la région, formation des personnels de travail locaux
	Renforcement de la sécurité	Majeure	Affectation des forces dans les régions concernées
	Facilité d'accès à l'administration	Majeure	Formation de la population

Conclusion partielle

Cette dernière partie a permis d'évaluer le coût total ainsi que l'étude de faisabilité et de rentabilité du projet. Avec une Valeur Actuelle Nette positive et un Taux de Rentabilité Interne supérieure à 12%, le projet est rentable. Des mesures ont été obtenues après avoir identifié les différents impacts positifs et négatifs du projet sur le plan environnemental.



CONCLUSION GENERALE

L'économie des régions Androy et Anosy est handicapée par le mauvais état des infrastructures routières existantes. L'examen visuel de la RNS13 ainsi que l'étude des différents paramètres de la route a permis de conclure sur l'état de fatigue de la chaussée. L'absence des entretiens périodiques et courants aggravent les dégradations notamment lors la saison des pluies.

Ainsi la structure finale de la chaussée a été choisie pour assurer une certaine longévité de la route et les matériaux existants à proximité sont utilisés afin de réduire le coût de la réalisation du projet. En outre, une étude des divers ouvrages hydrauliques présents le long du tracé de la route a été effectuée pour assurer un assainissement optimal de la chaussée. Des ferraillements adéquats sont également obtenus à l'issue de dimensionnement des dalots de franchissement en béton armé tout en respectant les différentes normes en vigueur.

Les projets de construction routière nécessitent de grands investissements, une étude financière en vue de juger la rentabilité du présent projet de mémoire s'avère indispensable et effectivement, après le calcul des différents critères de rentabilité, le projet est rentable pour une durée de vie de 15 ans.

Sur le plan pédagogique, le présent mémoire de fin d'étude concernant l'aménagement de la partie non revêtue (du PK 370+200 au PK 380+700) et la réhabilitation de la section bitumée (du PK 380+700 au PK 392+200) de la route nationale RNS13 a été une occasion pour assimiler et approfondir les diverses connaissances apprises dans le domaine du génie civil.

Sur le plan économique, les régions du Sud de Madagascar ne seront plus mises à l'écart et pourront profiter des différentes opportunités générées par la remise en état de la RNS13. Notons que la pauvreté est la plus accentuée dans cette partie de l'île.

BIBLIOGRAPHIE

Livres et revues :

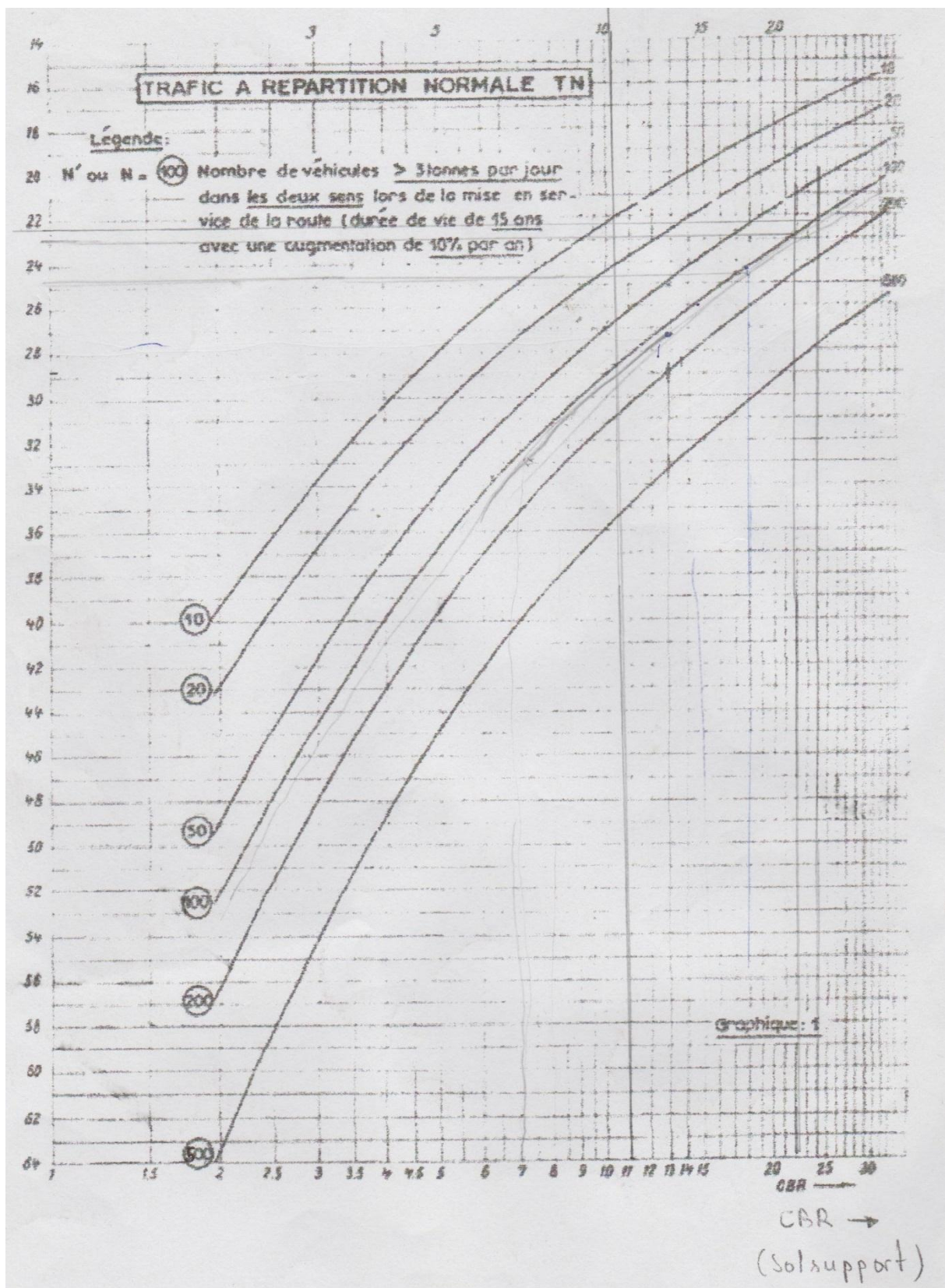
1. MOUGIN Jean Pierre. Maitrise de BAEL 91 modifié 99 et DTU associés. Edition Eyrolles, Paris, Février 2000 ;
2. LCPC/SETRA, Manuel de conception des chaussées à faible trafic, Ministère des transports, juillet 1981 ;
3. LNTPB, Dimensionnement des chaussées neuves à Madagascar, Les chroniques du LNTPB, numéro spéciale « A », Antananarivo, 1973 ;
4. LCPC-SETRA, Ponts-cadre en Béton armé, SETRA, Décembre 1991 ;
5. Aménagement des Routes Principales Guide Technique Août 1994 SETRA ;
6. Manuel d'Utilisation du Logiciel ALIZE –LCPC.
7. VAN TUU Nguyen, Hydraulique Routière, Paris : Ministère de la coopération et du Développement, 1981 ;

Cours à l'ESPA :

8. Cours de Route I et Route II, 2012 et 2014 : RANDRIANTSIMBAZAFY Andrianirina ;
9. Cours de béton armée, 2012 et 2014 : RAVAOHARISOA Lalatiana et Pierre ANDRIANANTENAINA ;
10. Cours d'hydraulique général, 2012 : RANDRIANASOLO David ;
11. Cours d'hydraulique routière et de géotechnique routière, 2014 : RABENANTOANDRO Martin ;
12. Cours de Calcul des Structures, 2014 : RAKOTOARIVELO Rivonirina ;
13. Cours Procédés Généraux de Construction, 2014 : RAJAONARY Veroniaina
14. Cours de management de construction routière, 2015 : RAHELISON Landy Harivony ;
15. Cours de Gestion d'entreprise, 2015 : RANDRIAHERINDRAINY Selmer. ;
16. Cours de Probabilité et Statistiques, 2011 : RAMASY Aimée.

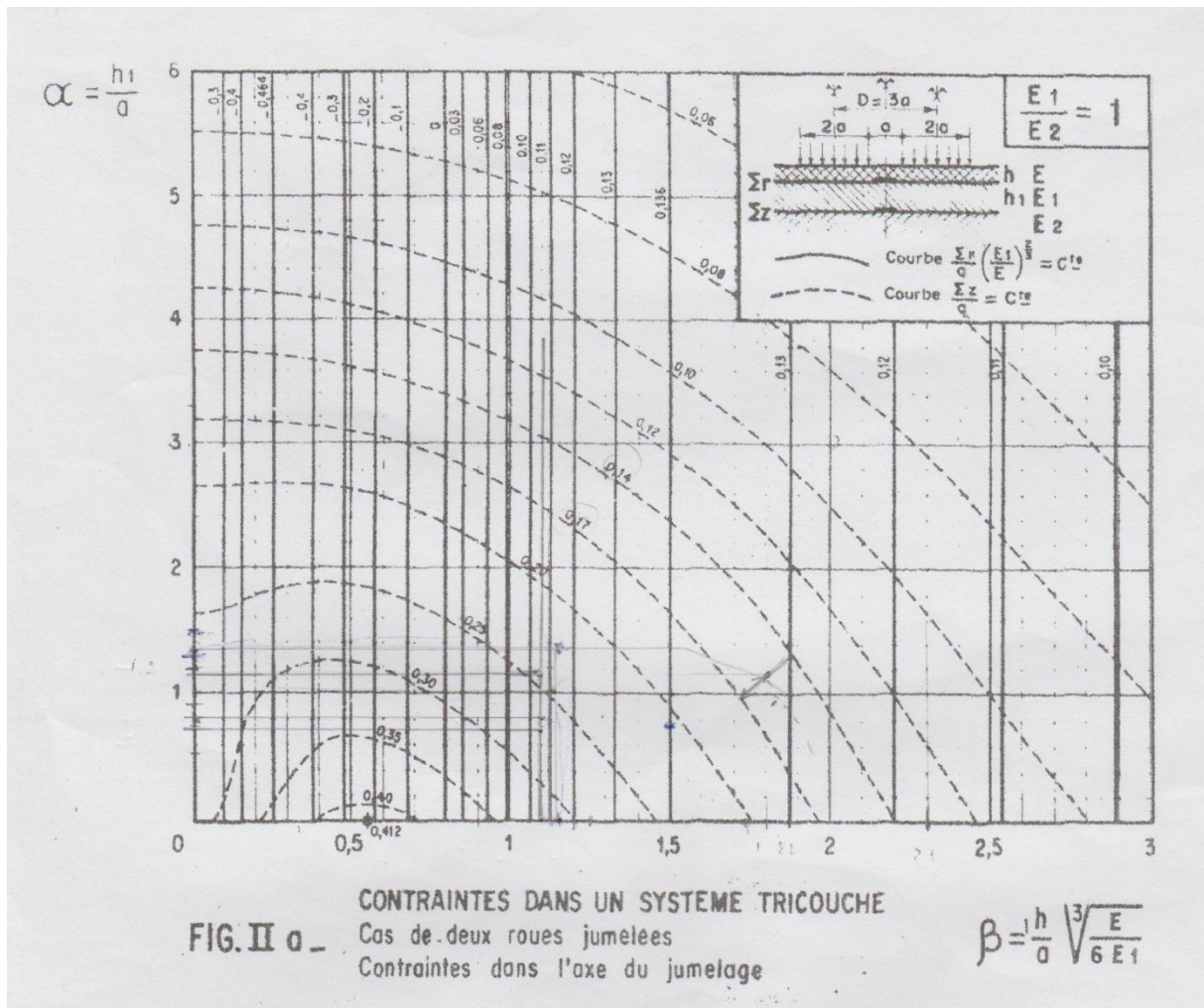
ANNEXES

ANNEXE I. Abaque de dimensionnement LNTPB pour Trafic Normal

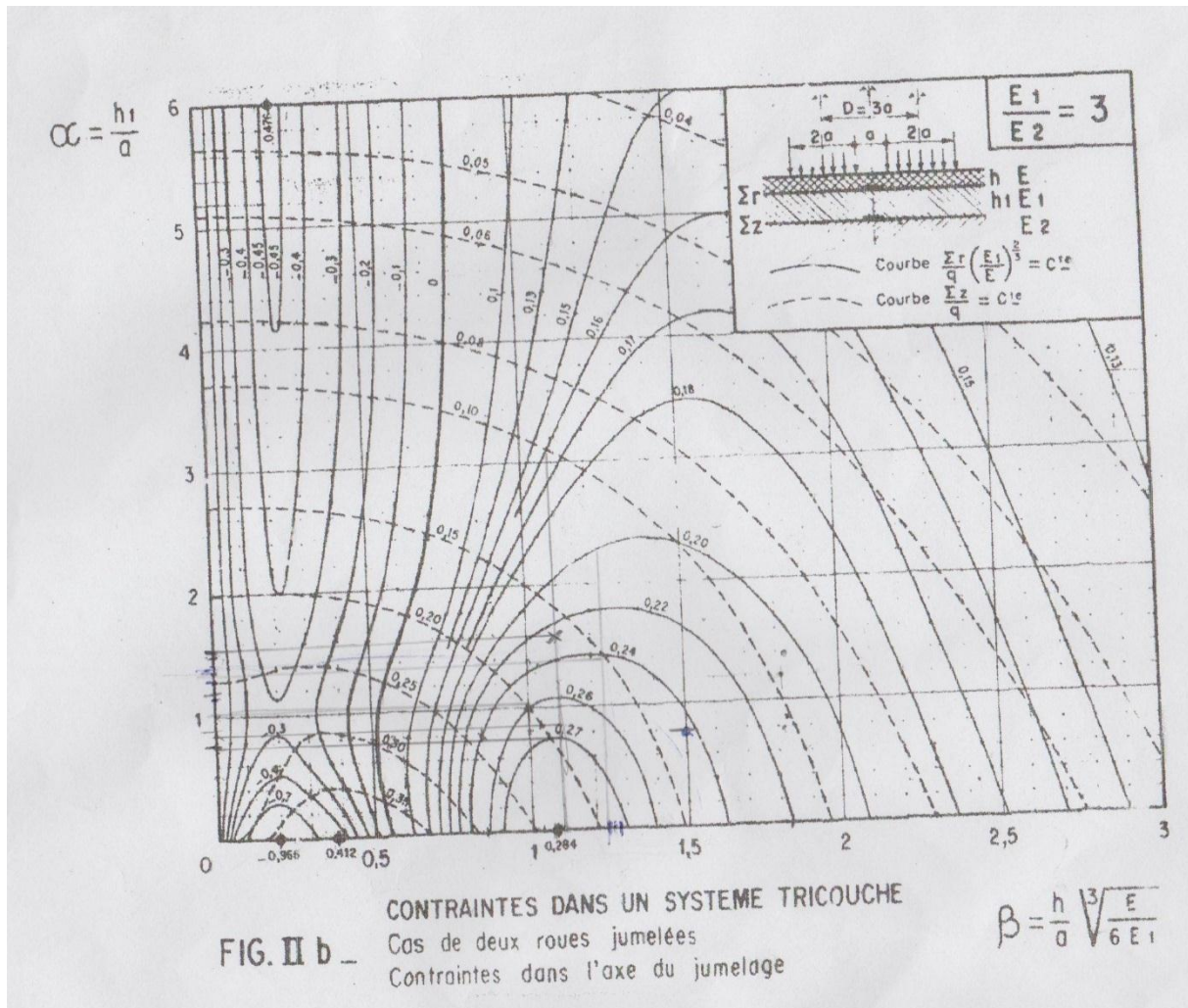


ANNEXE II. Abaque de détermination des contraintes de JEUFFROY-BACHELEZ.

➤ Pour $\frac{E_1}{E_2} = 1$



➤ Pour $\frac{E_1}{E_2} = 3$



➤ Pour $\frac{E_1}{E_2} = 9$

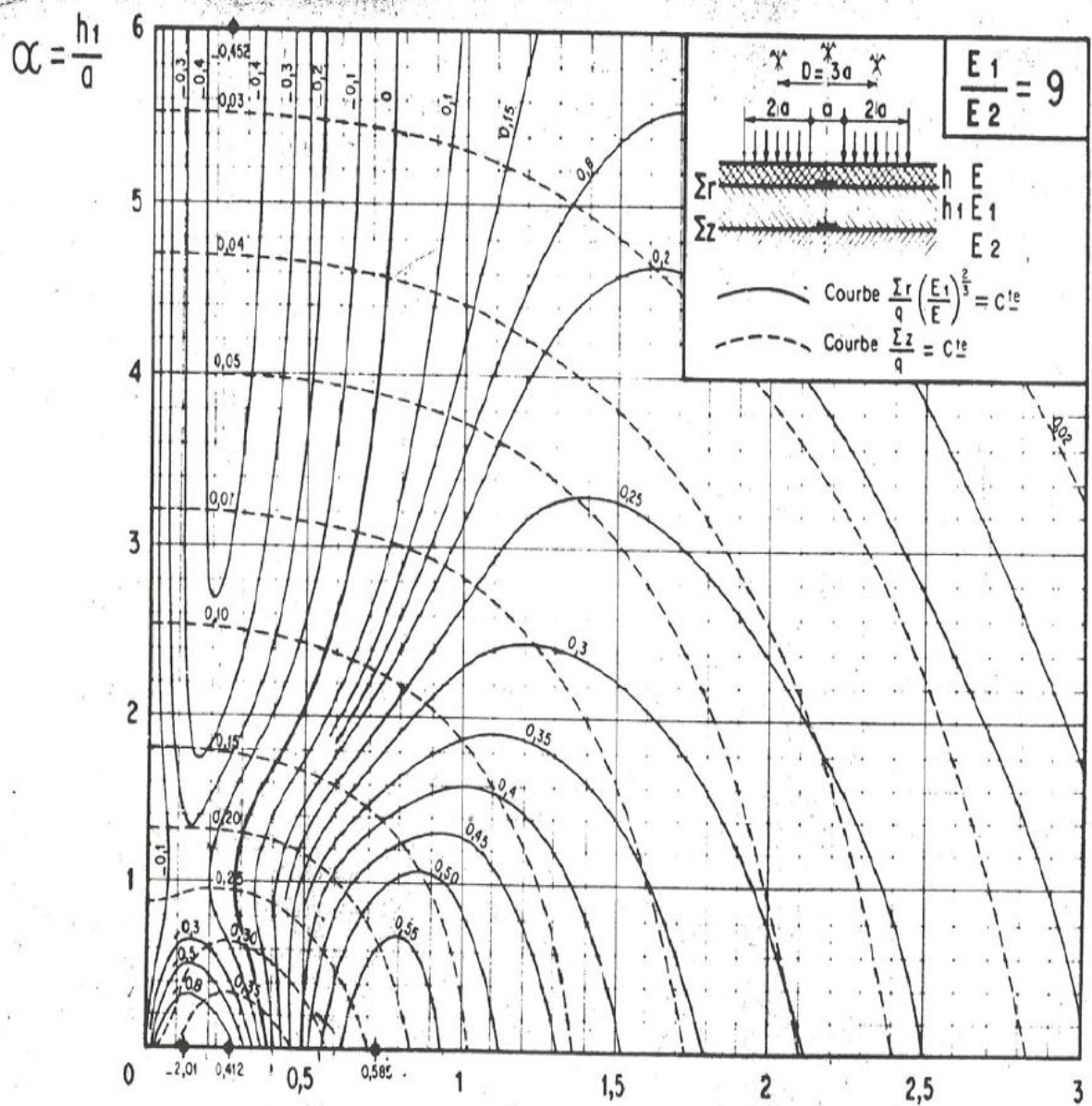
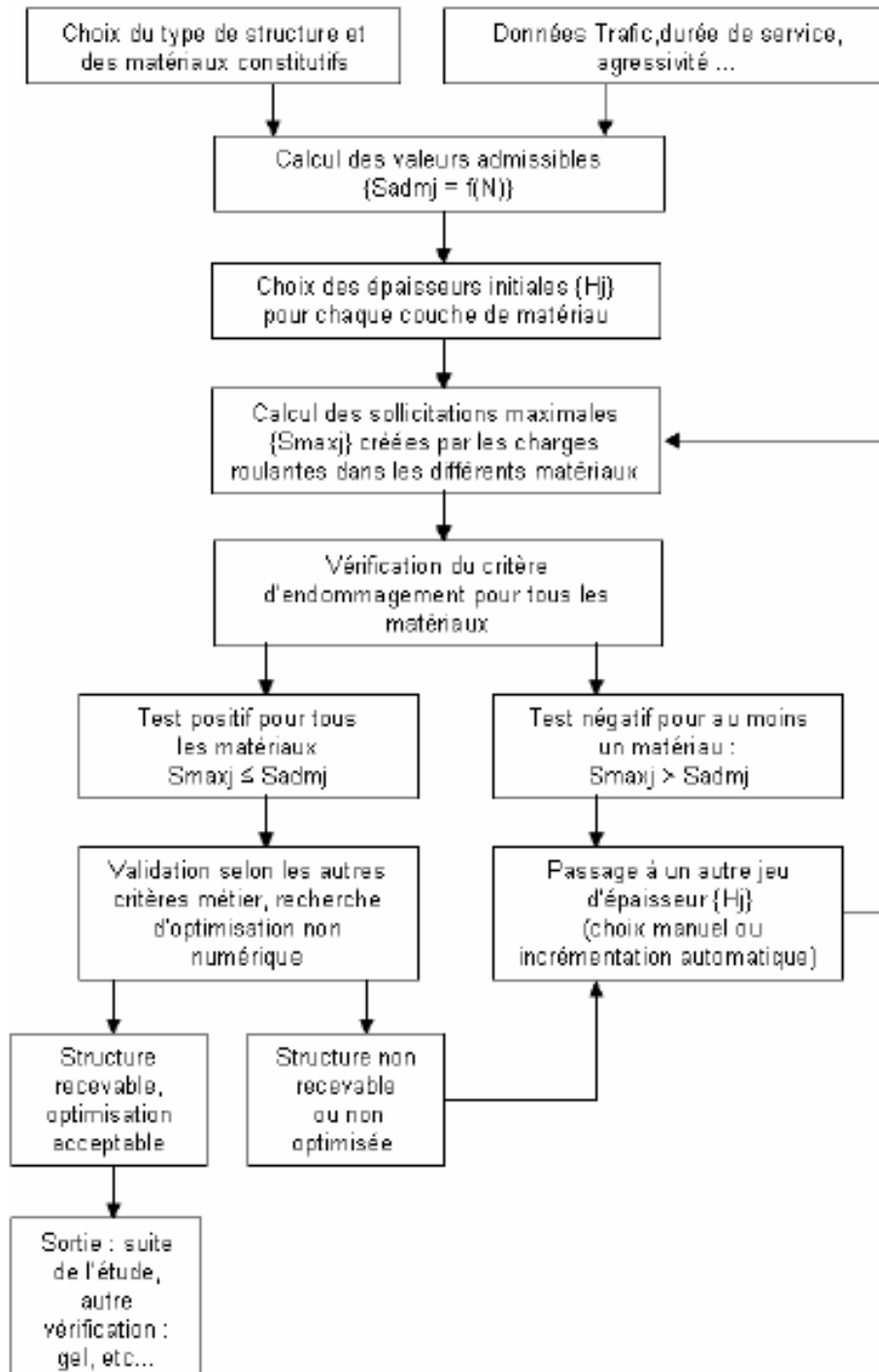


FIG. II c - CONTRAINTES DANS UN SYSTEME TRICOUCHE
Cas de deux roues jumelées
Contraintes dans l'axe du jumelage

$$\beta = \frac{h}{a} \sqrt[3]{\frac{E}{6E_1}}$$

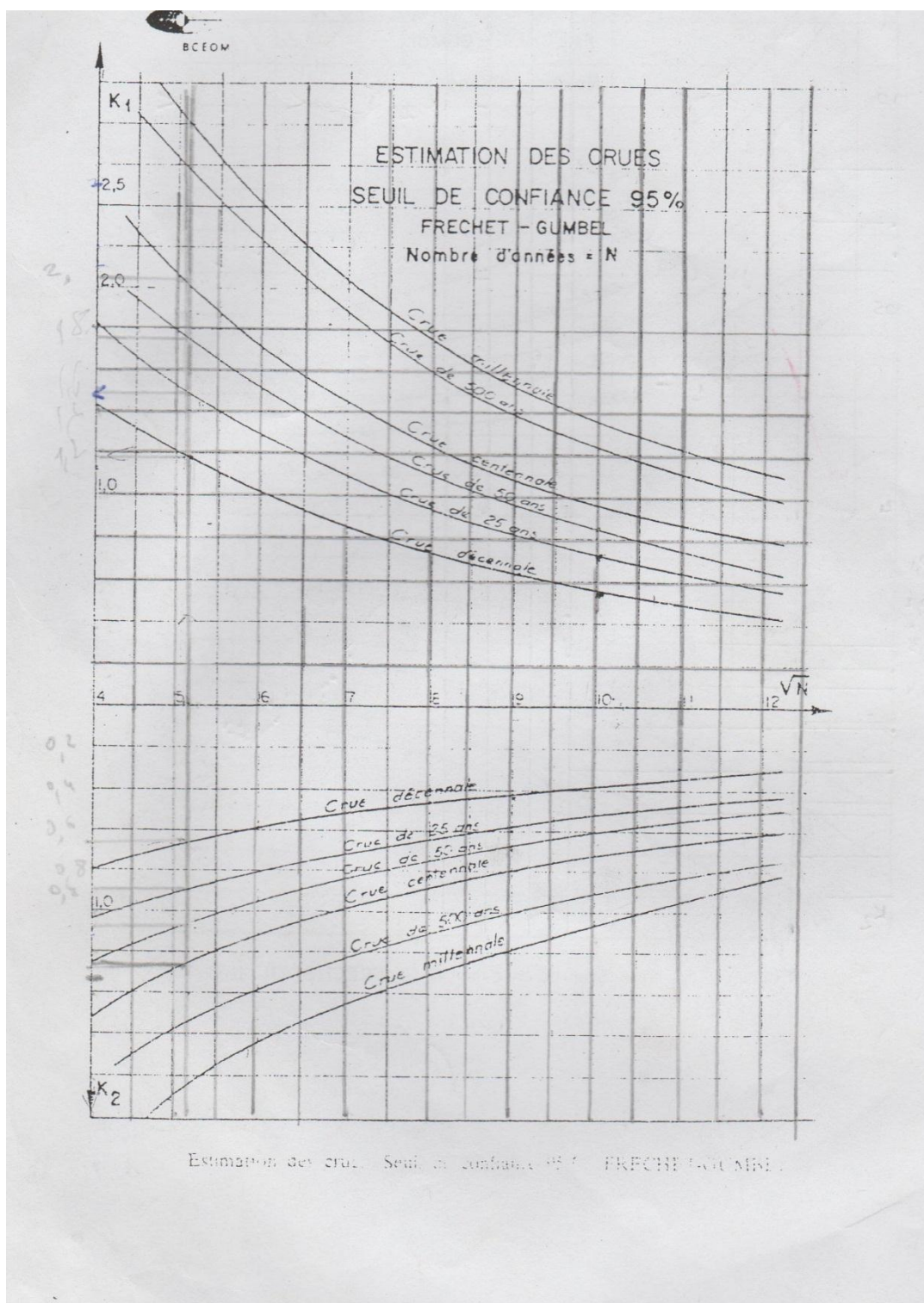
ANNEXE III. Organigramme du déroulement du logiciel ALIZE



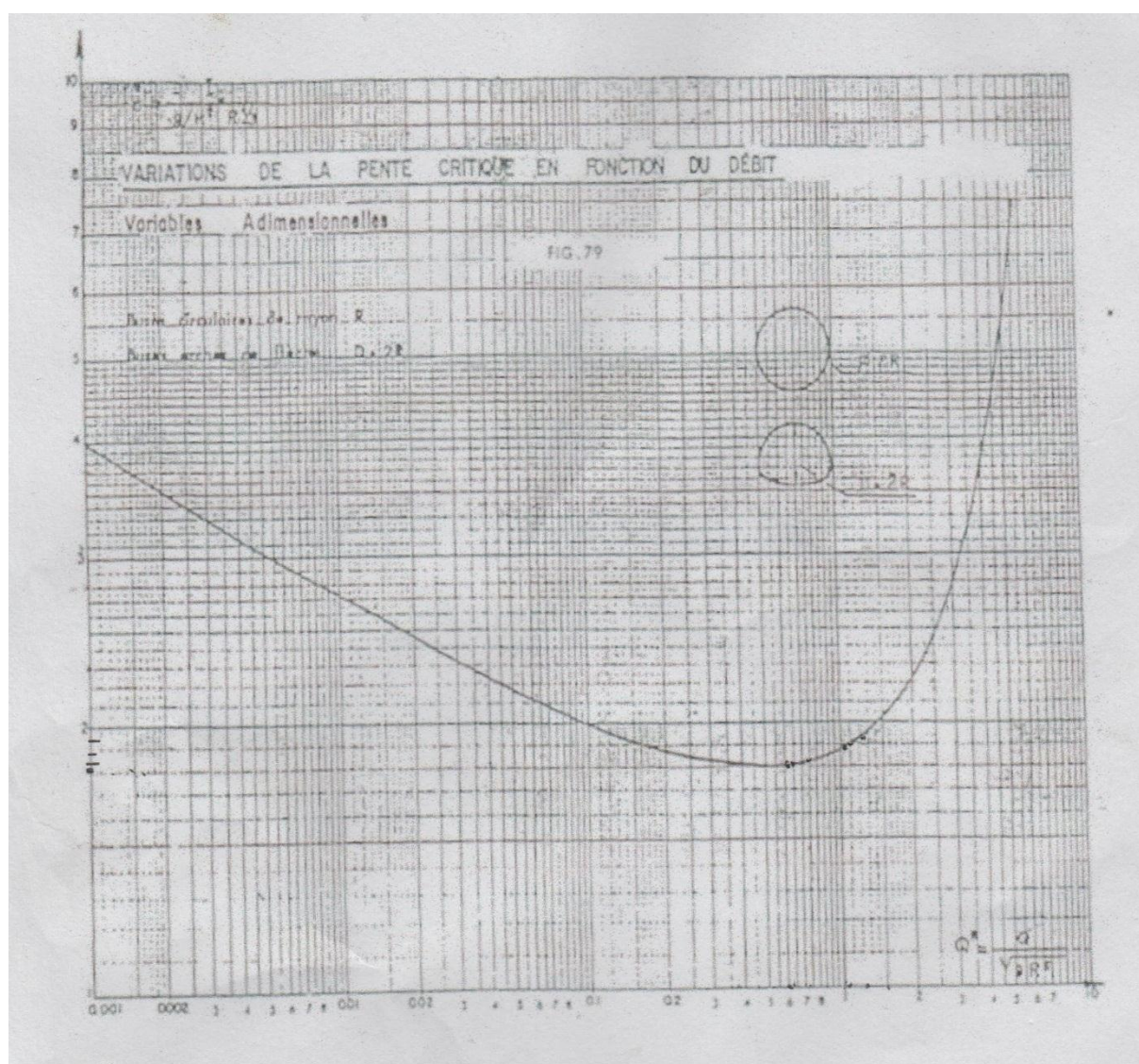
ANNEXE IV. Table de distribution χ^2 de PEARSON.

χ^2	0,9995	0,999	0,995	0,990	0,975	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	χ^2
1	0,000045	0,000055	0,0001	0,00015	0,00025	0,0004	0,0007	0,0012	0,0018	0,0025	0,0035	0,0050	0,0070	0,0100	0,0150	0,0250	0,0400	0,0800	0,1600	0,3200	1
2	0,000100	0,000120	0,00015	0,00020	0,00030	0,00045	0,00070	0,0010	0,0015	0,0020	0,0028	0,0040	0,0055	0,0080	0,0120	0,0200	0,0300	0,0600	0,1200	0,2400	2
3	0,000200	0,000240	0,00030	0,00040	0,00055	0,00080	0,0012	0,0018	0,0025	0,0035	0,0050	0,0070	0,0100	0,0150	0,0250	0,0400	0,0600	0,1200	0,2400	0,4800	3
4	0,000300	0,000360	0,00045	0,00060	0,00080	0,0012	0,0018	0,0025	0,0035	0,0050	0,0070	0,0100	0,0150	0,0250	0,0400	0,0600	0,1000	0,1800	0,3600	0,7200	4
5	0,000400	0,000480	0,00060	0,00080	0,0011	0,0016	0,0024	0,0035	0,0050	0,0070	0,0100	0,0150	0,0250	0,0400	0,0600	0,1000	0,1600	0,3000	0,6000	1,2000	5
6	0,000500	0,000600	0,00080	0,0011	0,0015	0,0022	0,0033	0,0048	0,0065	0,0090	0,0130	0,0190	0,0280	0,0420	0,0650	0,1100	0,1800	0,3300	0,6600	1,3200	6
7	0,000600	0,000720	0,0010	0,0013	0,0018	0,0027	0,0040	0,0058	0,0080	0,0110	0,0160	0,0240	0,0360	0,0550	0,0850	0,1400	0,2400	0,4500	0,9000	1,8000	7
8	0,000700	0,000840	0,0012	0,0016	0,0021	0,0032	0,0048	0,0070	0,0100	0,0140	0,0210	0,0320	0,0480	0,0720	0,1100	0,1800	0,3000	0,5400	1,0800	2,1600	8
9	0,000800	0,000960	0,0014	0,0018	0,0024	0,0036	0,0055	0,0080	0,0120	0,0170	0,0260	0,0390	0,0580	0,0880	0,1300	0,2200	0,3600	0,6300	1,2600	2,5200	9
10	0,000900	0,001080	0,0016	0,0021	0,0028	0,0042	0,0065	0,0100	0,0150	0,0210	0,0320	0,0480	0,0720	0,1100	0,1600	0,2700	0,4500	0,8100	1,6200	3,2400	10
11	0,001000	0,001200	0,0018	0,0024	0,0032	0,0048	0,0075	0,0110	0,0160	0,0230	0,0360	0,0540	0,0810	0,1200	0,1800	0,3000	0,5000	0,9000	1,8000	3,6000	11
12	0,001100	0,001320	0,0020	0,0026	0,0036	0,0054	0,0085	0,0130	0,0190	0,0270	0,0420	0,0630	0,0930	0,1400	0,2100	0,3600	0,6000	1,0800	2,1600	4,3200	12
13	0,001200	0,001440	0,0022	0,0029	0,0040	0,0060	0,0095	0,0140	0,0210	0,0300	0,0480	0,0720	0,1080	0,1600	0,2400	0,4000	0,6600	1,2000	2,4000	4,8000	13
14	0,001300	0,001560	0,0024	0,0032	0,0044	0,0066	0,0100	0,0160	0,0240	0,0360	0,0560	0,0840	0,1260	0,1800	0,2700	0,4500	0,7500	1,3500	2,7000	5,4000	14
15	0,001400	0,001680	0,0026	0,0035	0,0048	0,0072	0,0110	0,0180	0,0270	0,0400	0,0620	0,0930	0,1400	0,2100	0,3200	0,5400	0,9000	1,6200	3,2400	6,4800	15
16	0,001500	0,001800	0,0028	0,0038	0,0052	0,0078	0,0120	0,0200	0,0300	0,0450	0,0690	0,1050	0,1560	0,2400	0,3600	0,6000	1,0200	1,9200	3,8400	7,6800	16
17	0,001600	0,001920	0,0030	0,0040	0,0056	0,0084	0,0130	0,0220	0,0330	0,0500	0,0760	0,1160	0,1720	0,2600	0,4000	0,6600	1,1000	2,2000	4,4000	8,8000	17
18	0,001700	0,002040	0,0032	0,0043	0,0060	0,0090	0,0140	0,0240	0,0360	0,0550	0,0840	0,1280	0,1920	0,2900	0,4400	0,7200	1,2000	2,4000	4,8000	9,6000	18
19	0,001800	0,002160	0,0034	0,0046	0,0064	0,0096	0,0150	0,0260	0,0390	0,0600	0,0900	0,1380	0,2080	0,3100	0,4600	0,7800	1,3200	2,6400	5,2800	10,5600	19
20	0,001900	0,002280	0,0036	0,0048	0,0068	0,0100	0,0160	0,0280	0,0420	0,0650	0,0980	0,1500	0,2250	0,3400	0,5000	0,8400	1,4400	2,8800	5,7600	11,5200	20
21	0,002000	0,002400	0,0038	0,0050	0,0072	0,0110	0,0180	0,0300	0,0450	0,0700	0,1050	0,1620	0,2450	0,3700	0,5400	0,9000	1,6200	3,2400	6,4800	12,9600	21
22	0,002100	0,002520	0,0040	0,0053	0,0076	0,0120	0,0200	0,0330	0,0500	0,0760	0,1160	0,1780	0,2700	0,4000	0,5800	0,9600	1,7400	3,4800	6,9600	13,9200	22
23	0,002200	0,002640	0,0042	0,0056	0,0080	0,0130	0,0220	0,0360	0,0550	0,0840	0,1280	0,1960	0,2950	0,4400	0,6400	1,0800	1,9200	3,8400	7,6800	15,3600	23
24	0,002300	0,002760	0,0044	0,0058	0,0084	0,0140	0,0240	0,0390	0,0600	0,0900	0,1380	0,2100	0,3150	0,4600	0,6800	1,1400	2,1000	4,2000	8,4000	16,8000	24
25	0,002400	0,002880	0,0046	0,0060	0,0088	0,0150	0,0260	0,0420	0,0650	0,0980	0,1500	0,2250	0,3400	0,5000	0,7200	1,2000	2,4000	4,8000	9,6000	19,2000	25
26	0,002500	0,003000	0,0048	0,0063	0,0092	0,0160	0,0280	0,0450	0,0700	0,1050	0,1620	0,2450	0,3700	0,5400	0,8000	1,3200	2,6400	5,2800	10,5600	21,1200	26
27	0,002600	0,003120	0,0050	0,0066	0,0096	0,0170	0,0300	0,0480	0,0720	0,1100	0,1700	0,2580	0,3900	0,5600	0,8400	1,4000	2,8000	5,6000	11,2000	22,7200	27
28	0,002700	0,003240	0,0052	0,0069	0,0100	0,0180	0,0320	0,0500	0,0750	0,1150	0,1780	0,2700	0,4000	0,5800	0,8800	1,4800	3,0000	6,0000	12,0000	24,0000	28
29	0,002800	0,003360	0,0054	0,0072	0,0104	0,0190	0,0340	0,0530	0,0780	0,1200	0,1850	0,2800	0,4100	0,6000	0,9000	1,5600	3,2000	6,4000	12,8000	25,6000	29
30	0,002900	0,003480	0,0056	0,0075	0,0108	0,0200	0,0360	0,0560	0,0820	0,1250	0,1920	0,2900	0,4200	0,6200	0,9300	1,6400	3,4000	6,8000	13,6000	27,2000	30

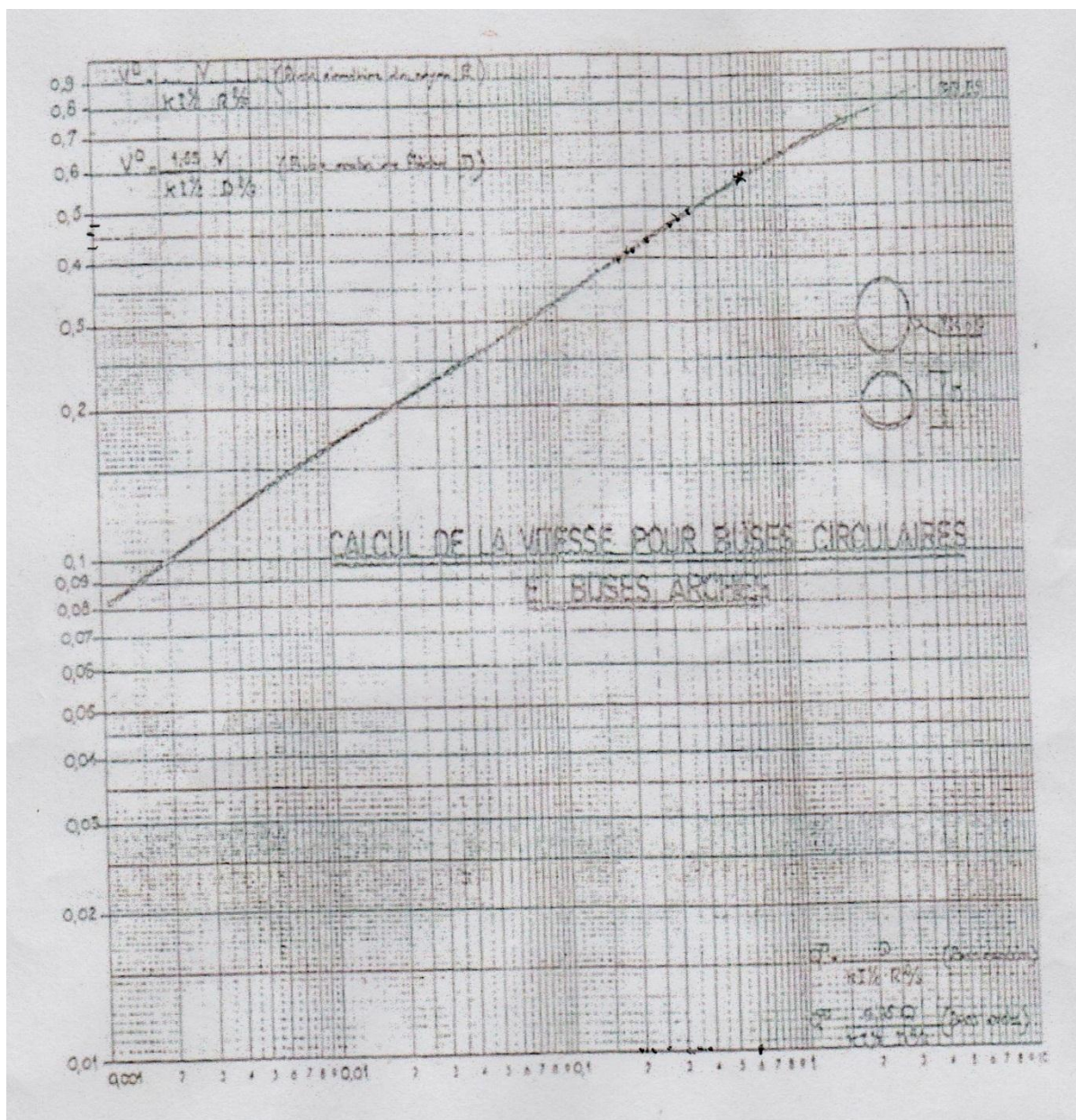
ANNEXE V. Estimation des crues selon FRECHET GUMBEL.



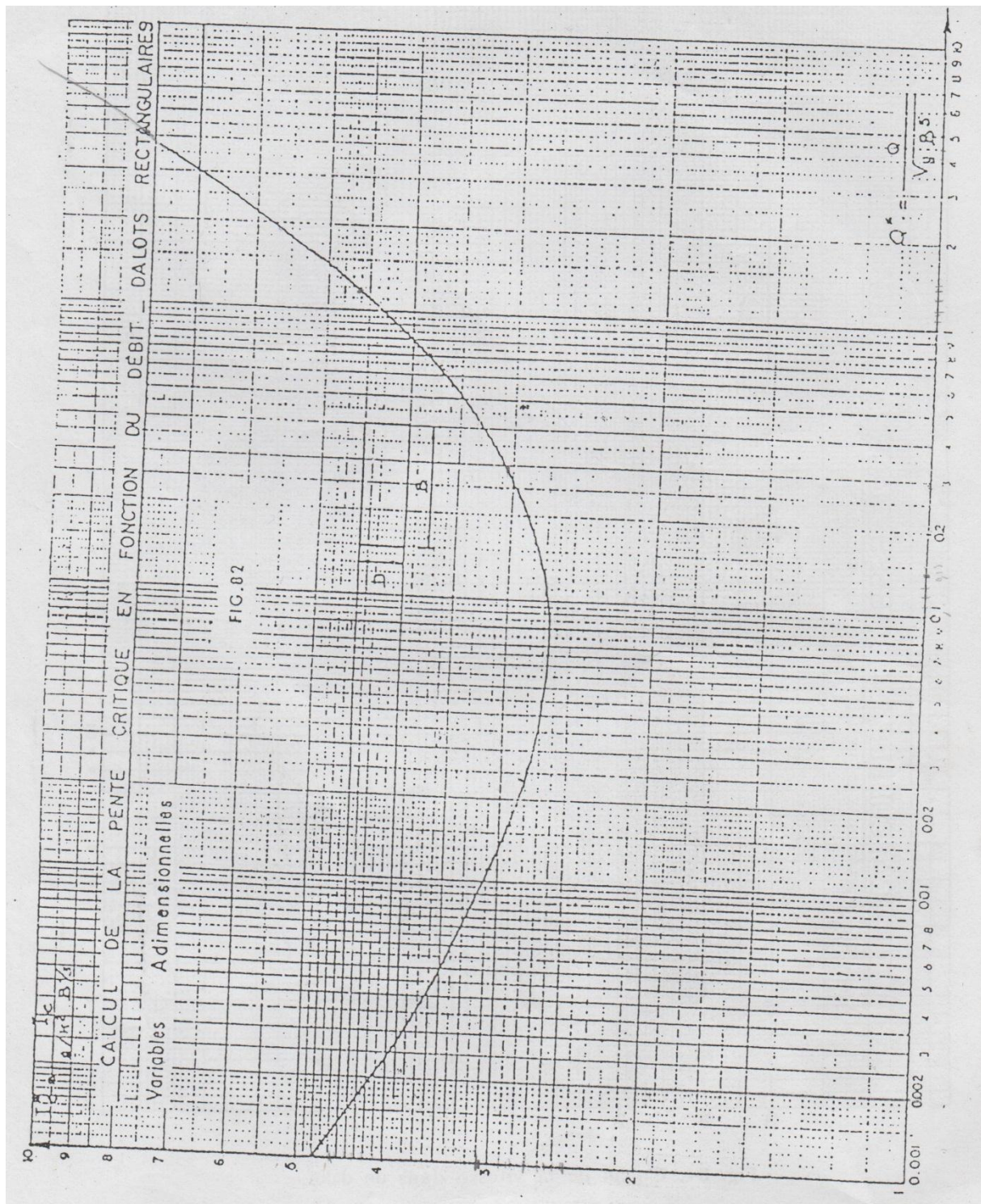
ANNEXE VI. Abaque de calcul de la pente d'une buse.



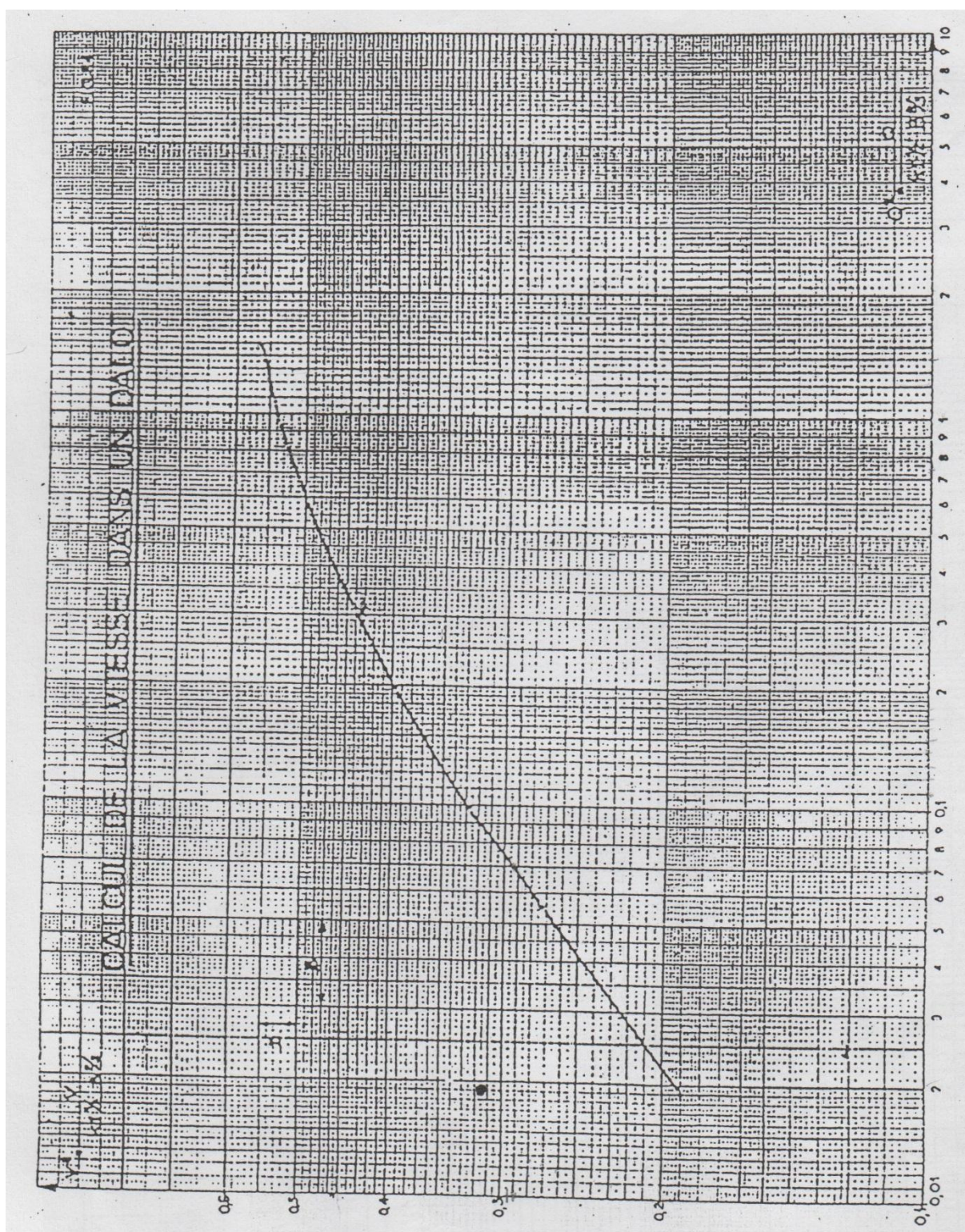
ANNEXE VII. Abaque de détermination de la vitesse dans une buse.



ANNEXE VIII. Abaque de calcul de la pente d'un dalot.

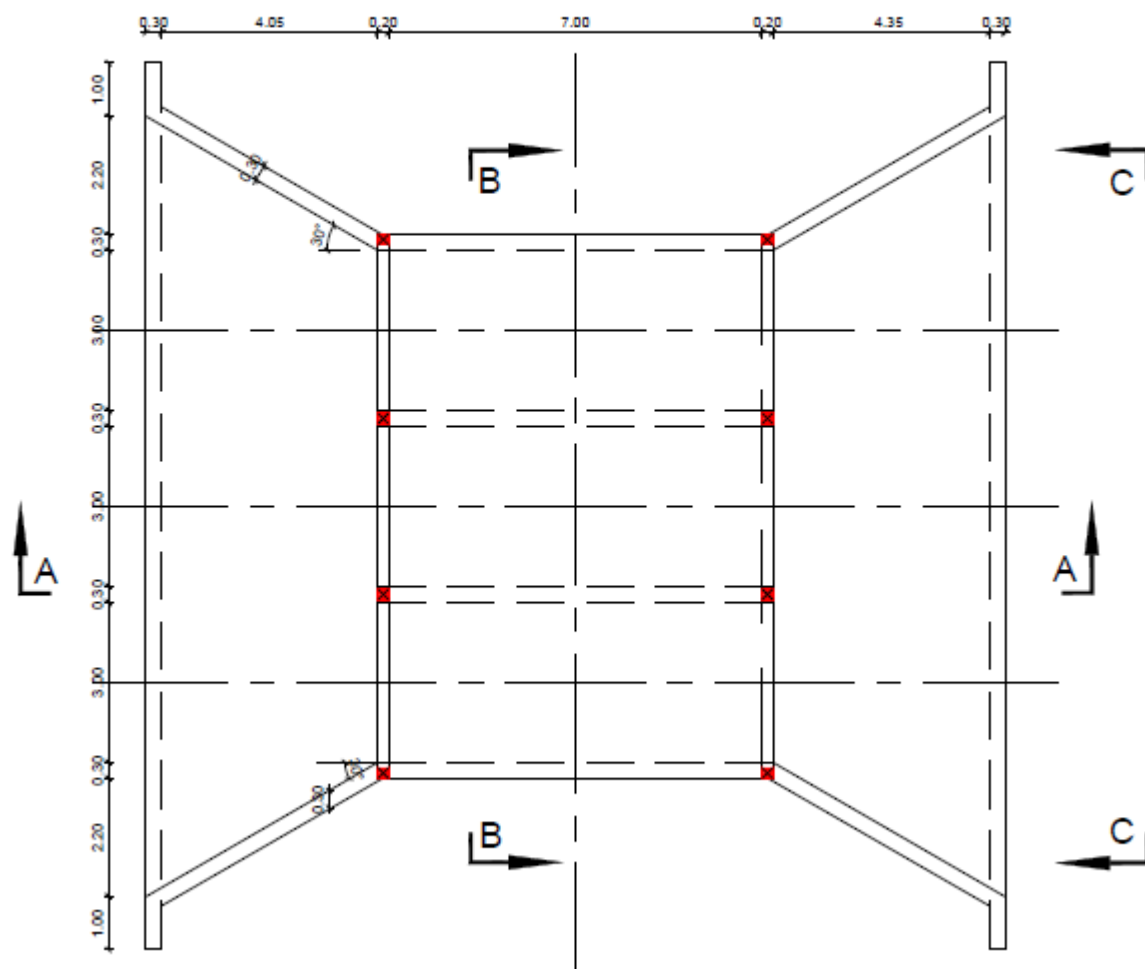


ANNEXE IX. Abaque de calcul de la vitesse dans un dalot.



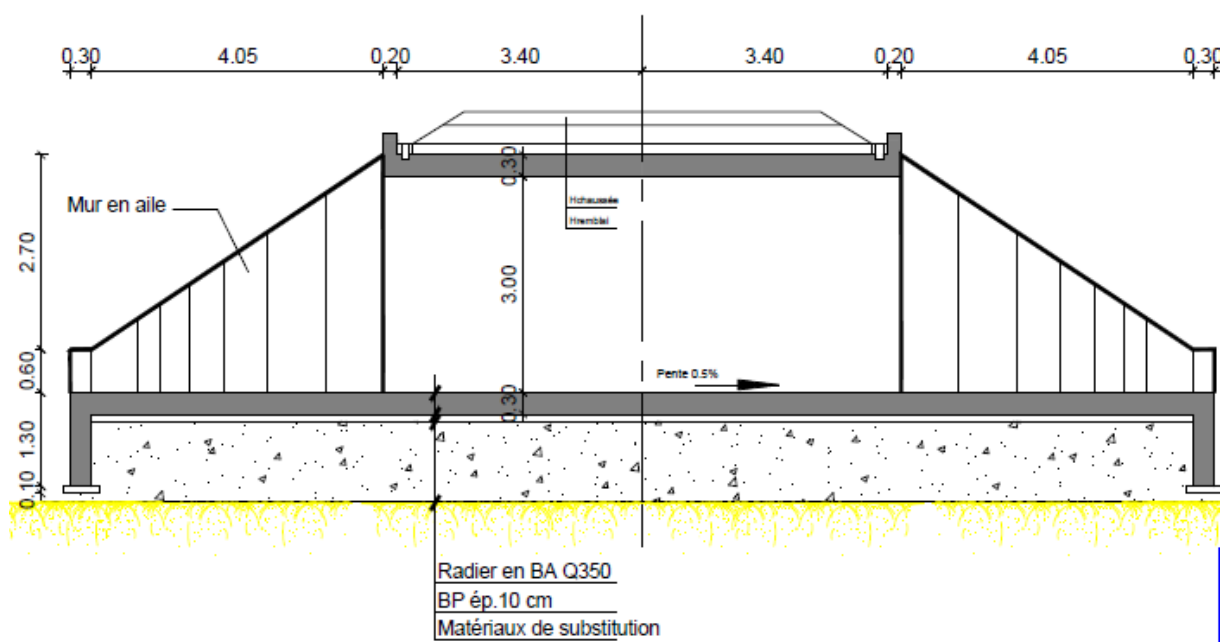
ANNEXE X. Plan type des ouvrages : dalot 3x[3,00x3,00].

VUE EN PLAN



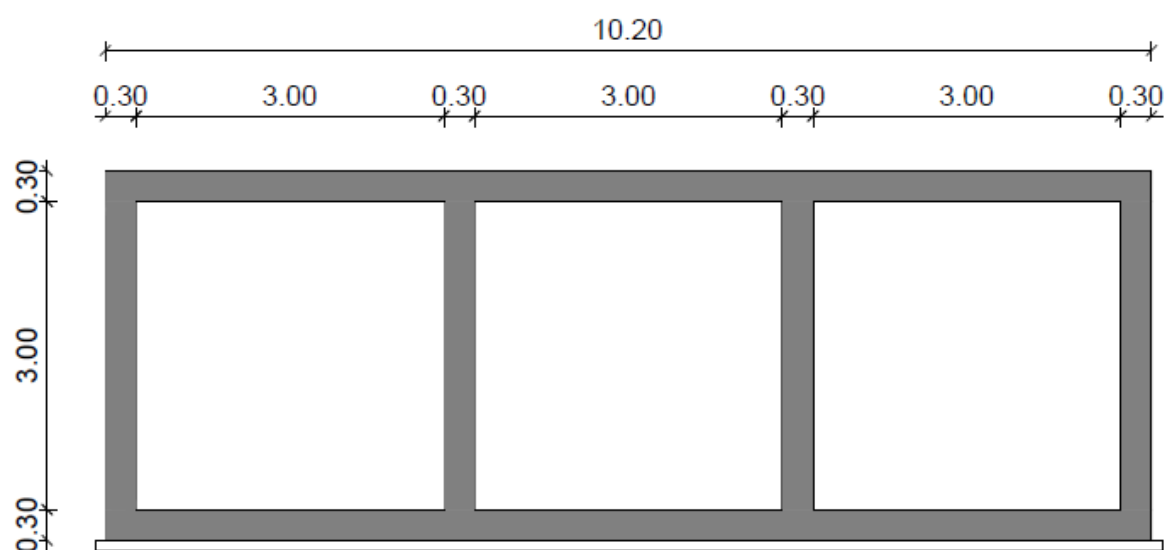
E=1/150

COUPE A-A



E=1/120

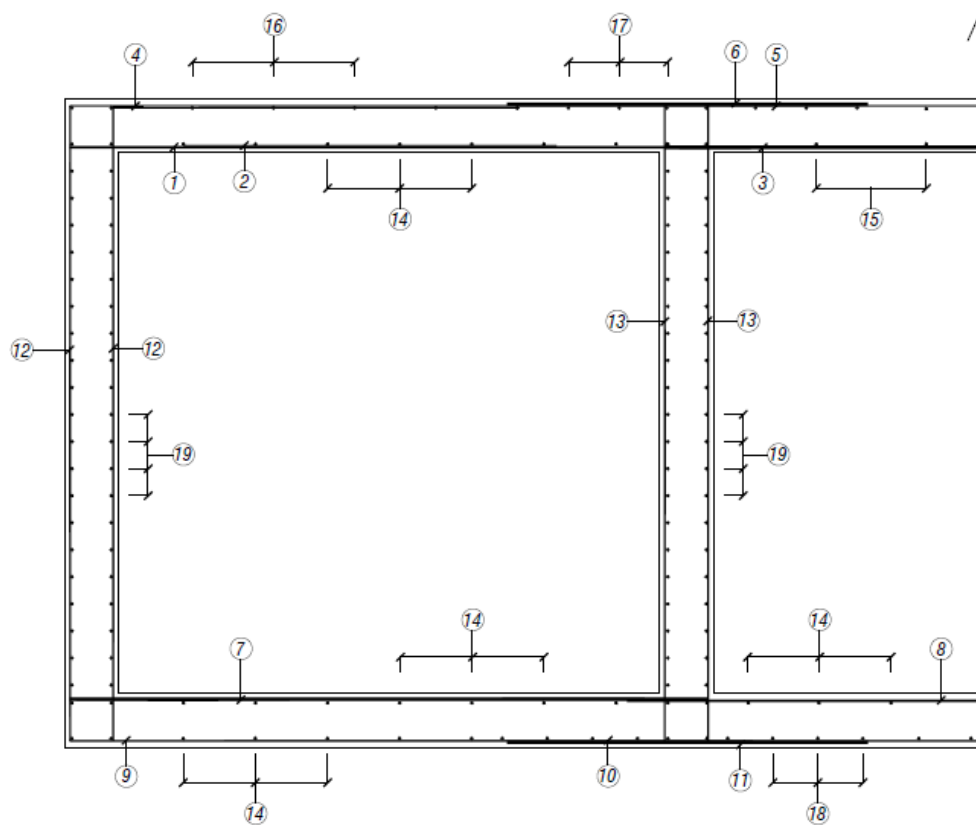
COUPE B-B

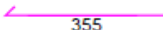
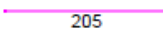
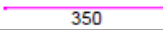
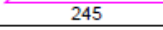
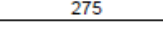
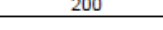
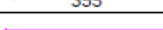
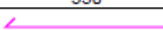
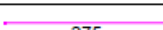
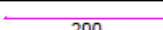
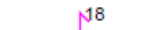
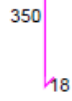

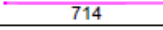
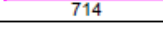
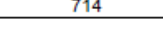
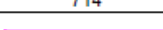
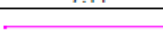
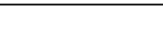


E=1/80

Technical drawing of a bridge cross-section. The drawing shows a symmetrical structure with a central span and side spans. Key dimensions include a total width of 16.00m (1.00m + 2.20m + 0.30m + 4.80m + 4.80m + 0.30m + 2.20m + 1.00m) and a central span height of 3.00m. The drawing also indicates a 0.20m top width, a 2.70m side slope height, and a 0.90m base width. The structure is labeled 'Mur en aile' (wing wall) and features a central pier and two side piers. The drawing is a technical cross-section showing the bridge's profile and dimensions.

Ferrailage dalot 3x[3.00x3.00]

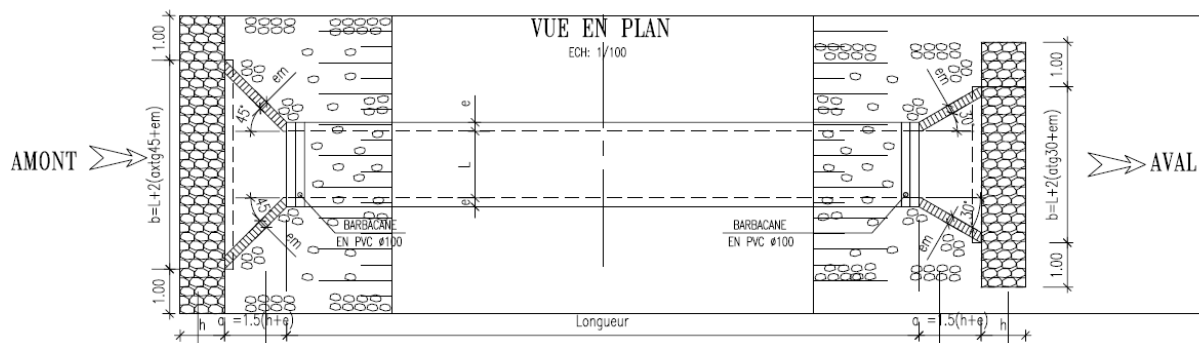
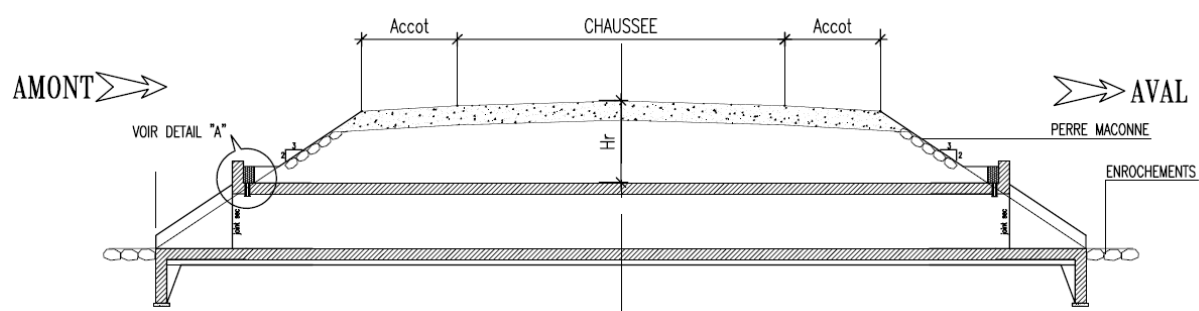

$$E=1/50$$

N°	Dimensions	Nb	Ld	Forme	Espacement
1	HA14	28	3.78	23 	25
2	HA10	28	2.05		25
3	HA12	36	3.50		20
4	HA12	43	2.63	18 	16
5	HA12	36	2.75		20
6	HA16	36	2.00		20
7	HA16	36	3.78	23 	20
8	HA14	36	3.50		20
9	HA16	28	2.70	25 	15
10	HA14	36	2.75		20
11	HA16	36	2.00		20
12	HA12	28	3.86		25
13	HA12	36	3.86		20
14	HA8	20	7.14		40
15	HA8	4	7.14		60
16	HA8	10	7.14		45
17	HA10	8	7.14		30
18	HA10	9	7.14		25
19	HA8	40	7.14		15

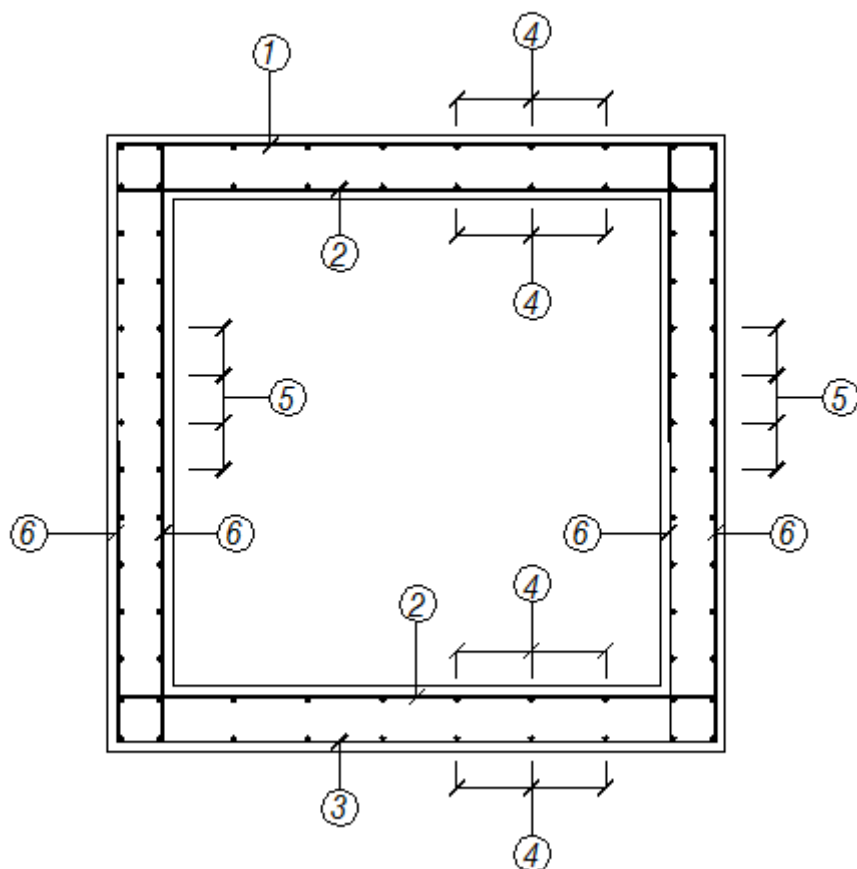
ANNEXE XI. Plan type des ouvrages : dalot 1x[1,50x1,50]

COUPE LONGITUDINALE

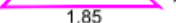
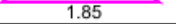
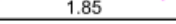

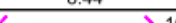

ECH: 1/100



Ferrailage dalot 1x[1.50x1.50]



E=1/25

N°	Diamètre	Nb	Ld	Forme	Espacement
1	HA10	34	2.17	16  16 1.85	25
2	HA10	60	2.17	16  16 1.85	15
3	HA12	34	2.17	18  18 1.85	25
4	HA8	40	8.44	 8.44	25
5	HA8	48	8.44	 8.44	15
6	HA10	34	2.17	16  16 1.85	25

ANNEXE XII. Calcul des moments aux nœuds dû au poids propre de la barre AB par la méthode des cross. (Cas du dalot simple)

Nœud	A		B		C		D	
Barres	AB	AC	BA	BD	CA	CD	DC	DB
C _{ij}	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
μ _{ij}	0,59	0,00	-0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A	-0,29441875	-0,29441875	-0,147209375		-0,14720938			
B	0,184011719		0,368023438	0,368023438				0,184011719
C		0,036802344			0,07360469	0,073604688	0,036802344	
D				-0,055203516		-0,05520352	-0,110407031	-0,110407031
A	-0,110407031	-0,110407031	-0,055203516		-0,05520352			
B	0,027601758		0,055203516	0,055203516				0,027601758
C		0,027601758			0,05520352	0,055203516	0,027601758	
D				-0,013800879		-0,01380088	-0,027601758	-0,027601758
A	-0,027601758	-0,027601758	-0,013800879		-0,01380088			
B	0,006900439		0,013800879	0,013800879				0,006900439
C		0,006900439			0,01380088	0,013800879	0,006900439	
D				-0,00345022		-0,00345022	-0,006900439	-0,006900439
A	-0,006900439	-0,006900439	-0,00345022		-0,00172511			
B	0,00172511		0,00345022	0,00345022				0,00172511
C		0,001293832			0,00258766	0,002587665	0,001293832	
D				-0,000754736		-0,00075474	-0,001509471	-0,001509471
A	-0,001509471	-0,001509471	-0,000754736		-0,00075474			
B	0,000377368		0,000754736	0,000754736				0,000377368
C		0,000377368			0,00075474	0,000754736	0,000377368	
D				-0,000188684		-0,00018868	-0,000377368	-0,000377368
A	0,000	-0,000377368	-0,000188684		-0,00018868			
B	9,43419E-05		0,000188684	0,000188684				9,43419E-05
C		9,43419E-05			0,00018868	0,000188684	9,43419E-05	
D				-4,7171E-05		-4,7171E-05	-9,43419E-05	-9,43419E-05
A	0,000	-9,43419E-05	-4,7171E-05		-4,7171E-05			
B	2,35855E-05		4,7171E-05	4,7171E-05				2,35855E-05
C		2,35855E-05			4,7171E-05	4,7171E-05	2,35855E-05	
D				-1,17927E-05		-1,1793E-05	-2,35855E-05	-2,35855E-05
Moment	0,368	-0,368	-0,368	0,368	-0,073	0,073	-0,074	0,074
Somme	0,000		0,000		0,000		0,000	

ANNEXE XIII. Sous détail de prix

Désignation : Remblai en provenance d'un emprunt							
Numéro du prix: 204							
Unité:m3							
Désignation	U	QTE	P.U	Depenses en			Récapitulation des dépenses
				matériels	matériaux	main d'œuvre	
<u>Matériel</u>							
camion	U	3	150 000	450 000			
chargeuse	U	3	100 000	300 000			
Petits outillages	fft	1	10 000	10 000			
<u>Matériaux</u>							760 000
Remblai	M3	30	13 000		390 000		390 000
<u>Main d'oeuvre</u>							
conducteur	H	1	8 000			8 000	
chef d'équipe	H	1	7 000			7 000	
Ouvriers spécialisés	H	1	6 000			6 000	
conducteur engin	H	6	6 000			36 000	
							57 000
Rendement :R= 30,00				Total des déboursés D			1 207 000
Coefficient de majoration de déboursé : K= 1,40				Prix Unitaire (Ar)=(K*D)/R			56 330

Désignation : Fossé triangulaire en terre							
Numéro du prix: 303							
Unité:mL							
Désignation	U	QTE	P.U	Depenses en			Récapitulation des dépenses
				matériels	matériaux	main d'œuvre	
<u>Matériel</u>							
Petits outillages	fft	1	10 000	10 000			10 000
<u>Matériaux</u>							
<u>Main d'oeuvre</u>							
Ouvriers spécialisés	H	1	6 000			6 000	
Manœuvre	H	3	3 000			9 000	
							15 000
Rendement :R= 10,00				Total des déboursés D			25 000
Coefficient de majoration de déboursé : K= 1,40				Prix Unitaire (Ar)=(K*D)/R			3 500

Désignation :Béton dosé à 350 kg/m3							
Unité:m3							
Désignation	U	QTE	P.U	Depenses en			Récapitulation des dépenses
				matériels	matériaux	main d'œuvre	
<u>Matériel</u>							
Petits outillages	fft	1	5 000	5 000			
Pervibrateur	fft	1	150 000	150 000			155 000
<u>Matériaux</u>							
Ciment	Kg	350	700		245 000		
Gravillon 5/25	m3	0,85	50 950		43 308		
Sable 0,10-5	m3	0,45	200 000		90 000		
Eau de gachage	l	170	5		850		379 158
<u>Main d'oeuvre</u>							
Chef de chantier	H	0	-			-	
Chef d'équipe	H	1	7 000			7 000	
Ouvriers spécialisés	H	1	6 000			6 000	
Manœuvre	H	4	3 000			12 000	
							25 000
Rendement :R= 1				Total des déboursés D			559158
Coefficient de majoration de déboursé : K= 1,40				Prix Unitaire (Ar)=(K*D)/R			782 800

ANNEXE XIV. Avant métré et DQE des dalots de franchissement.

➤ Avant métré du dalot 1x [1,50x1, 50]

Désignation	U	Concerne	Nbre	longueur (m)	largeur (m)	ép ou haut (m)	Sous total
Fouille	M3	Corps de dalot	1	8,5	1,5	3,3	42,08
		Radier	1	4,6	2,25	1,5	15,53
		Radier	1	6,6	2,25	1,5	22,28
		Parafouille amont	1	6,6	0,2	0,4	0,53
		Parafouille aval	1	4,6	0,2	0,4	0,37
Total fouille							80,77
Lit de pose sable	M3	Sous ouvrage	1	13	6,6	0,05	4,29
Total lit de pose sable							4,29
Béton Q150	M3	Sous ouvrage	1	13	6,6	0,05	4,29
Total Q150							4,29
Béton Q350	M3	corps du dalot	2	8,5	1,9	0,2	6,46
			2	8,5	1,5	0,2	5,10
		Parafouille amont	1	6,6	0,2	0,4	0,53
		Parafouille aval	1	4,6	0,2	0,4	0,37
		Mur en aile amont	2	3,18	1,7	0,2	2,16
		Mur en aile aval	2	2,3	1,7	0,2	1,56
		Mur de tête	1	6,6	0,2	0,4	0,53
		Mur de tête	1	4,6	0,2	0,4	0,37
Total Q350							17,08
Coffrage	M2	Corps du dalot	2	8,5	1,9		32,30
			2	8,5	1,5		25,50
			1	8,5	1,5		12,75
		Mur en aile amont	4	3,18	1,7		21,62
		Mur en aile aval	4	2,3	1,7		15,64
		Mur de tête	2	6,6	0,4		5,28
			2	4,6	0,4		3,68
Total Coffrage							116,77
Armature (ratio 85)	KG	Ouvrage en BA					1451,66
Total armatures							1451,66
Enrochement	M3	Enrochement amor	1	8,6	1,5	0,2	2,58
		Enrochement aval	1	6,6	1,5	0,2	1,98
Total enrochement							4,56
Enduit de ciment Q300	M2	Surface apparente	4	1,9	0,2		1,52
			4	1,5	0,2		1,2
		Mur de tête	2	6,6	0,4		5,28
			2	4,6	0,4		3,68
			1	6,6	0,2		1,32
			1	4,6	0,2		0,92
		Mur en aile	4	3,18	1,7		21,624
			4	2,3	1,7		15,64
			2	3,18	0,2		1,272
			2	2,3	0,2		0,92
Total enduit							53,376

➤ Avant métré du dalot 3x [3,00x3, 00]

Désignation	U	Concerne	Nbre	longueur(m)	largeur (m)	ép ou haut(m)	Sous total
Fouille	M3	Corps de dalot	1	10,2	7,2	4,3	315,79
		Radier	2	4,6	4,35	3	120,06
		Parafouille amont	2	16,6	0,3	1,3	12,95
Total fouille							448,80
Lit de pose sable	M3	Sous ouvrage	1	15,3	14,6	0,05	11,17
Total lit de pose sable							11,17
Béton Q150	M3	Sous ouvrage	1	15,3	14,6	0,05	11,17
Total Q150							11,17
Béton Q350	M3	Corps du dalot	2	10,2	7,4	0,3	45,29
			4	7,4	3	0,3	26,64
		Parafouille	4	16,6	1,3	0,3	25,90
		Mur en aile	4	3,7	3,3	0,3	1,83
Total Q 350							99,66
Coffrage	M2	Corps du dalot	2	7,4	3,6		53,28
			6	7,4	3		133,20
			3	7,4	3		66,60
		Mur en aile	8	3,7	3,3		97,68
Total coffrage							350,76
Armatures (ratio 85)	KG	Ouvrage en BA					8470,72
Total armatures							8470,72
Enrochement	M3		2	16,6	1,5	0,3	14,94
Total enrochement							14,94
Enduit de ciment Q 300	M3	Surface apparente corps	2	9,6	0,3		5,76
			4	3	0,3		3,6
		Mur en aile	8	3,7	3,3		97,68
			4	3,7	0,3		4,44
Total enduit de ciment Q300							111,48

➤ DQE du dalot 1 x [1,50x1,50]

Désignation	Unité	Quantité	PU (Ar)	Montant (Ar)
Fouille	M3	80,77	5 880,00	474933,48
Lit de pose sable	M3	4,29	28 700,00	123123,00
Béton Q150	M3	4,29	375 400,00	1610466,00
Béton Q350	M3	17,08	782 800,00	13368971,52
Coffrage	M2	116,77	14 100,00	1646513,40
Armatures	KG	1451,66	10 900,00	15823137,60
Enrochement	M3	4,56	78 680,00	358780,80
Enduit de ciment	M2	53,376	16 600,00	886041,60
TOTAL				34 291 967,40

➤ DQE du dalot 3x [3,00x3, 00]

Désignation	Unité	Quantité	PU (Ar)	Montant (Ar)
Fouille	M3	448,80	5 880,00	2 638 944,00
Lit de pose sable	M3	11,17	28 700,00	320 550,30
Béton Q150	M3	11,17	375 400,00	4 192 842,60
Béton Q350	M3	99,66	782 800,00	78 010 325,40
Coffrage	M2	350,76	14 100,00	4 945 716,00
Armatures	KG	8470,72	10 900,00	92 330 820,75
Enrochement	M3	14,94	78 680,00	1 175 479,20
Enduit de ciment	M2	111,48	16 600,00	1 850 568,00
TOTAL				185 465 246,25

ANNEXE XV. Profil en travers type

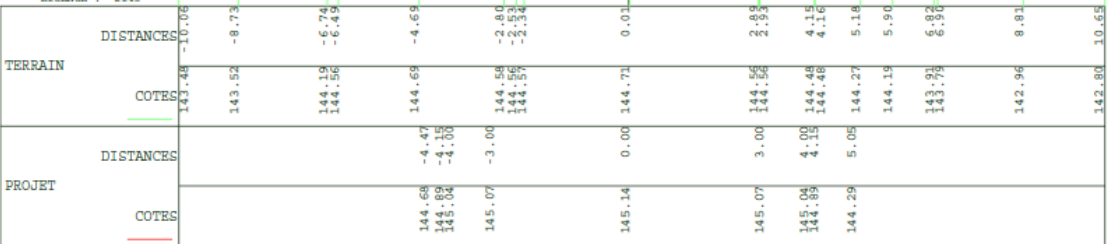
PROFIL 315

379_408.PIS
#437

S = 385896.534
ZTN = 144.710
ZPRO= 145.140

ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 141.0

LICENCE : 2143



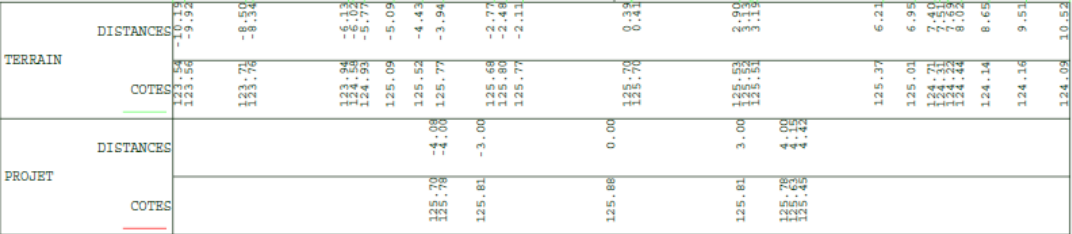
PROFIL 118

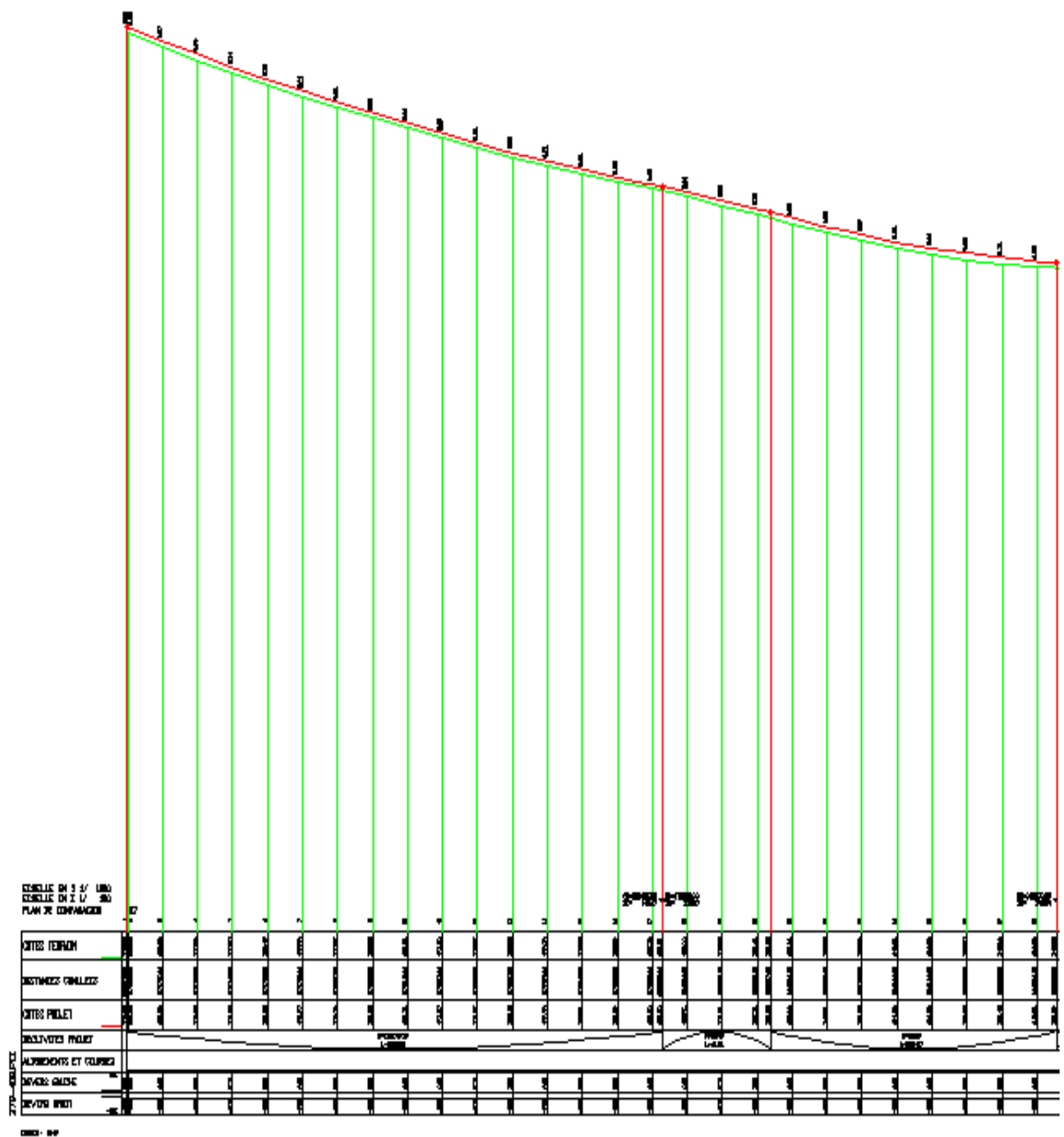
379_408.PIS
#435

S = 381988.816
ZTN = 125.712
ZPRO= 125.880

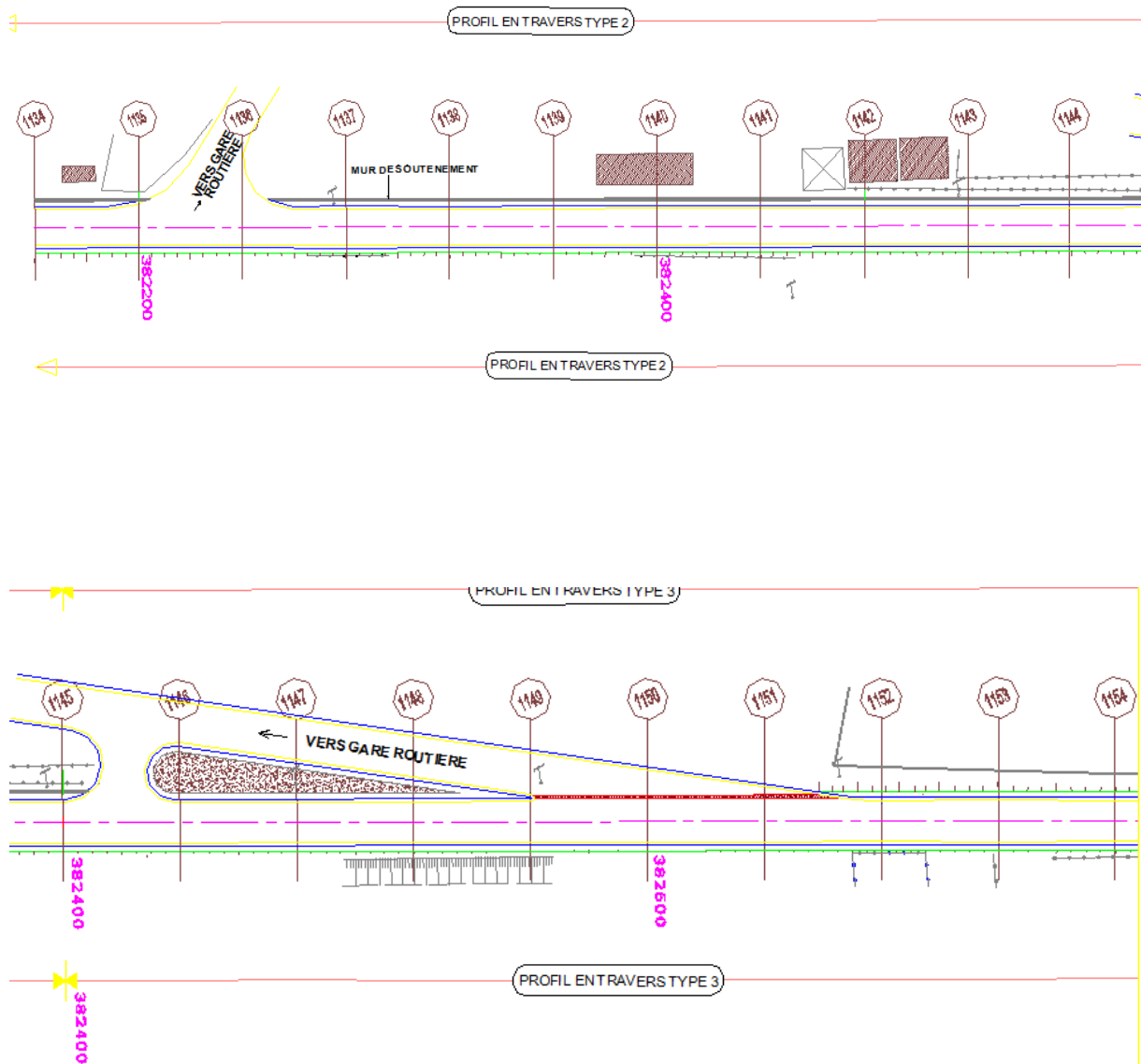
ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 122.0

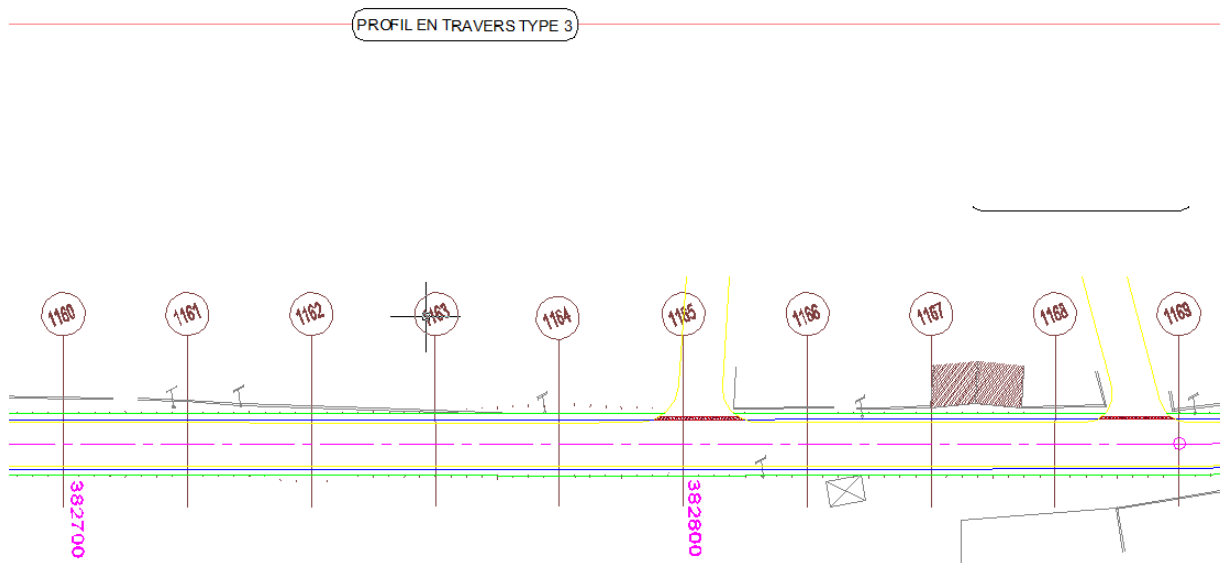
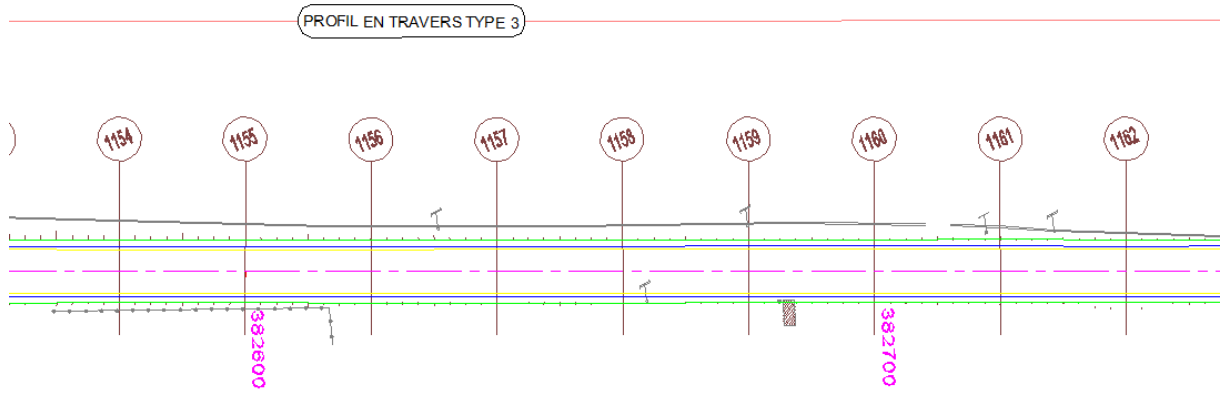
LICENCE : 2143





ANNEXE XVII. Tracé en plan.





ANNEXE XVIII. Schémas d'itinéraire.


SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 370+200 au PK370+600

DISTANCES CUMULEES						N°	Rive	Unité	370,2 km	370220	370240	370260	370280	370300	370320	370340	370360	370380	370400	370420	370440	370460	370480	370500	370520	370540	370560	370580	370,6 km	TOTAL			
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																
	ALIGNEMENT ET COURBE																																
	PROFIL EN LONG								0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2				
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)								NdP	NdP	NdP		NdP			NdP			NdP	NdP	Ndp	NdP											
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)									DR	DR				DR			DR			DR	DR	DR	DR									
AMENAGEMENT	Bourbier(B)								B	B	B																						
	Fosse obstrués									G																							
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)									D																	B						
TERRASSEMENT																											Partiel	Cumulé					
Nettoyage, désherbage, débroussaillage										m2																						20284	
Abattage d'arbre										U																						27	
Fossé de crête										ml																							
Fossé en terre type triangulaire									G	ml	20	20	20	20	20	20	20	17															
									D	ml																							
Fossé en terre type trapézoïdal									G	ml																							
									D	ml																							
Déblai mis en depot										m3																							
Decapage										m3				5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							48	5095		
Dessablage										m3																						94	
Déblai rocheux										m3																							
Déblai mis en remblai										m3																							
Remblai provenant d'emprunt										m3	20	20	20											20	20	20	20	20	20	200	5966		
Enlèvement des matériaux compressibles										m3														14						14	294		
Enlèvement d'éboulement										m3																							
Finition de la plate forme										m2																							
Engazonnement										m2																							
Clayonnage de talus										m2																							
ASSAINISSEMENT																																	
Fossés maçonnés type1 : Triangulaire									G	ML																						299	
									D	ML																						20	
Fossé maçonné type rectangulaire									G	ML																						2823	
									D	ML																						2879	
Fossé maçonné type trapézoïdal									G	ML																						1666	
									D	ML																						406	
Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)										ML																		1	1	46			
Curage des ouvrages longitudinaux										ML																					40		
Dalot 80 x 100										U																					6		
Dalot 100x100										U																						3	
Descente en amont										ML																							
Descente en aval										ML																							
Consolidation par fascinage									G	ml																							
									D	ml																							
Déblai pour exutoire et fosse de décharge										M3																							
Démolition d'ouvrage autre que béton armé										M3																							
Démolition d'ouvrages en béton armé										M3																							
Cunette en pierre sèche										ML																							
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)										U																							
Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)										U																							
Déssableur en maçonnerie de moellons										U																							
Drains sous fossés										ML																							
Gabion										M3																							
Enrochement										M3																							
CHAUSSEE																																	
Reprofilage léger										ml																						1010	
Reprofilage lourd										ml			20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	180	1725	
couche de roulement en Esb										m3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298		
couche de base en GCNT 0/315										m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016		
couche de fondation en MS										m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652		
Couche de chaussée en empierrement par cloutage										m3																					10		
Pavé										m3																							
Réfection localisée										ml	10	10	10			10			10	10	10	10								90	90		
OUVRAGE D'ART																																	
Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																																	
Dimension																																	
Longueur										ML																							

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 370+600 au PK371+0

DISTANCES CUMULEES						N°	Rive	Unité	370,6 km	370620	370640	370660	370680	370700	370720	370740	370760	370780	370800	370820	370840	370860	370880	370900	370920	370940	370960	370980	371 km	TOTAL			
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																
	ALIGNEMENT ET COURBE																																
	PROFIL EN LONG								0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2					
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																
	ASSAIS CHAUSSE								NdP	NdP	NdP		NdP			NdP			NdP	NdP	Ndp	NdP											
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																																
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)								DR	DR	DR		DR			DR			NdP	NdP	DR	NdP		DR	DR	DR							
	Bourbier(B)								B	B	B																						
AMENAGEMENT	Fosse obstrués																																
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																										B						
	TERRASSEMENT																													Partiel	Cumulé		
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage								m2																						20284		
	Abattage d'arbre								U																						27		
	Fossé de crête								ml																								
	Fossé en terre type triangulaire								G	ml					20	20	17																
	D								ml																								
	Fossé en terre type trapézoïdal								G	ml																							
	D								ml																								
Déblai mis en depot								m3																									
Decapage								m3				5	5	5	5	5	5	5	5	5	5									48	5095		
Dessablage								m3																							94		
Déblai rocheux								m3																									
Déblai mis en remblai								m3																									
Remblai provenant d'emprunt								m3	20	20	20												20	20	20	20	20	20	20	20	200	5996	
Enlèvement des matériaux compressibles								m3															14								14	294	
Enlèvement d'éboulement								m3																									
Finition de la plate forme								m2																									
Engazonnement								m2																									
Clayonnage de talus								m2																									
ASSAINISSEMENT																																	
Fossés maçonnés type1 : Triangulaire								G	ML																							299	
D								ML																							20		
Fossé maçonné type rectangulaire								G	ML																							2823	
D								ML																							2879		
Fossé maçonné type trapézoïdal								G	ML																							1666	
D								ML																							406		
Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)								ML																				1	1	46			
Curage des ouvrages longitudinaux								ML																							40		
Dalot 80 x 100								U																							6		
Dalot 100x100								U																								3	
Descente en amont								ML																									
Descente en aval								ML																									
Consolidation par fascinage								G	ml																								
D								ml																									
Déblai pour exubire et fosse de décharge								M3																									
Démolition d'ouvrage autre que béton armé								M3																									
Démolition d'ouvrages en béton armé								M3																									
Cunette en pierre sèche								ML																									
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)								U																									
Passage véhicule avec couverture en BA (5.00x1.20x0.20)								U																									
Dessableur en maçonnerie de moellons								U																									
Drains sous fossés								ML																									
Gabion								M3																									
Enrochement								M3																									
CHAUSSEE																																	
Reprofilage léger								ml																									1010
Reprofilage lourd								ml																								180	1725
couche de roulement en Esb								m3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298	
couche de base en GQNT 0/315								m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016
couche de fondation en MS								m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652
Couche de chaussée en empiement par cloutage								m3																									10
Pavé								m3																									
Réfection localisée								ml	10	10	10		10				10				10	10	10	10								90	90
OUVRAGE D'ART																																	
Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																																	
Dimension																																	
Longueur								ML																									

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 371+000 au PK372+0

DISTANCES CUMULEES						N°	Rive	Unité	371 km	371050 km	371100 km	371150 km	371200 km	371250 km	371300 km	371350 km	371400 km	371450 km	371500 km	371550 km	371600 km	371650 km	371700 km	371750 km	371800 km	371850 km	371900 km	371950 km	372 km	TOTAL					
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																		
	ALIGNEMENT ET COURBE																																		
	PROFIL EN LONG								0.3	0.3	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2						
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																		
	ASSAIS CHAUSSE								NdP	NdP	NdP		NdP			NdP			NdP	NdP	Ndp	NdP													
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																																		
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)								B	B	DR		DR			DR			DR	DR	DR	DR	DR	DR	DR										
	Bourbier(B)																																		
AMENAGEMENT	Fosse obstrués								G																										
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)								D																		B								
	TERRASSEMENT																																		
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																													Partiel	Cumulé				
	Abattage d'arbre																														20284				
	Fossé de crête																														27				
	Fossé en terre type triangulaire								G																		35	50	50	50	185				
									D																										
	Fossé en terre type trapézoïdal								G																										
									D																										
	Déblai mis en depot																																		
	Decapage																														67	5113			
	Dessablage													8	8	8	8	8	9	8			5	5											
	Déblai rocheux																																94		
	Déblai mis en remblai																																		
	Remblai provenant d'emprunt										20	20	20													20	20	20	20	20	20	200	5966		
	Enlèvement des matériaux compressibles																								14							14	294		
	Enlèvement d'éboulement																																		
	Finition de la plate forme																																		
	Engazonnement																																		
	Clayonnage de talus																																		
	ASSAINISSEMENT																																		
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire								G	ML																							299		
									D	ML																							20		
	Fossé maçonné type rectangulaire								G	ML																								2823	
									D	ML																							2879		
	Fossé maçonné type trapézoïdal								G	ML																								1666	
									D	ML																							406		
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)									ML																				1		1	46		
	Curage des ouvrages longitudinaux									ML																							40		
	Dalot 80 x 100									U																							6		
	Dalot 100x100									U																								3	
	Descente en amont									ML																									
	Descente en aval									ML																									
	Consolidation par fascinage								G	ml																									
									D	ml																									
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge									M3																									
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé									M3																									
	Démolition d'ouvrages en béton armé									M3																									
	Cunette en pierre sèche									ML																									
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)									U																										
Passage véhicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)									U																										
Déssableur en maçonnerie de moellons									U																										
Drains sous fossés									ML																										
Gabion									M3																										
Enrochement									M3																										
CHAUSSEE																																			
Reprofilage léger									ml																								1010		
Reprofilage lourd									ml					20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	180	1725	
couche de roulement en Esb									m3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298	
couche de base en GCNT 0/315									m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016
couche de fondation en MS									m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652
Couche de chaussée en empiérement par cloutage									m3																									10	
Pavé									m3																										
Réfection localisée									ml	10	10	10				10						10	10	10	10								90	90	
OUVRAGE D'ART																																			
Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																																			
Dimension																																			
Longueur									ML																										

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 372+000 au PK373+0

DISTANCES CUMULEES						N°	Rive	Unité	372 km	372050 km	372100 km	372150 km	372200 km	372250 km	372300 km	372350 km	372400 km	372450 km	372500 km	372550 km	372600 km	372650 km	372700 km	372750 km	372800 km	372850 km	372900 km	372950 km	373 km	TOTAL				
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																	
	ALIGNEMENT ET COURBE																																	
	PROFIL EN LONG								0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2				
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																	
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)								NdP	NdP	NdP	NdP	NdP							NdP	NdP	Ndp	NdP		DR	DR	DR							
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																																	
	Bourbier(B)								B	B	B																							
AMENAGEMENT	Fosse obstrués								G																									
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)								D																		B							
	TERRASSEMENT																											Partiel	Cumulé					
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																															20284		
	Abattage d'arbre																															27		
	Fossé de crête																																	
	Fossé en terre type triangulaire								G								50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	33			483				
									D																									
	Fossé en terre type trapézoïdal								G																									
									D																									
	Déblai mis en depot																																	
	Decapage															8	8	8	8	8	9	8		5	5				67		5113			
	Dessablage																															94		
	Déblai rocheux																																	
	Déblai mis en remblai																																	
	Remblai provenant d'emprunt									35		35		35	20										20		20	20	20	20	20	265	6031	
	Enlèvement des matériaux compressibles																							14							14	294		
	Enlèvement d'éboulement																																	
	Finition de la plate forme																																	
	Engazonnement																																	
	Clayonnage de talus																																	
	ASSAINISSEMENT																																	
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire								G	ML																							299	
									D	ML																							20	
	Fossé maçonné type rectangulaire								G	ML																							2823	
									D	ML																							2879	
	Fossé maçonné type trapézoïdal								G	ML																							1666	
									D	ML																							406	
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																												1		1		46	
	Curage des ouvrages longitudinaux																																40	
	Dalot 80 x 100																																6	
	Dalot 100x100																																	3
	Descente en amont																																	
	Descente en aval																																	
	Consolidation par fascinage								G	ml																								
									D	ml																								
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge																																	
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé																																	
	Démolition d'ouvrages en béton armé																																	
	Cunette en pierre sèche																																	
	Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																																	
	Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																																	
	Dessableur en maçonnerie de moellons																																	
	Drains sous fossés																																	
	Gabion																																	
	Enrochement																																	
	CHAUSSEE																																	
	Reprofilage léger																																1010	
	Reprofilage lourd																																1725	
	couche de roulement en Esb										7		7		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298	
	couche de base en GCNT 0/315										24		24		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016	
	couche de fondation en MS										24		24		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652	
	Couche de chaussée en empierrement par cloutage																																10	
	Pavé																																	
	Réfection localisée										10		10										10	10	10	10						90	90	
	OUVRAGE D'ART																																	
	Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																																	
	Dimension																																	
	Longueur																																	

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 373+000 au PK374+0

DISTANCES CUMULEES			N°	Rive	Unité	373 km	373050 km	373100 km	373150 km	373200 km	373250 km	373300 km	373350 km	373400 km	373450 km	373500 km	373550 km	373600 km	373650 km	373700 km	373750 km	373800 km	373850 km	373900 km	373950 km	374 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																										
	ALIGNEMENT ET COURBE																										
	PROFIL EN LONG					0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
	PROFIL EN TRAVERS																										
DEGRADATION	ASSAIS CHAUSSE					NdP	NdP	NdP	NdP	NdP			NdP			NdP	Ndp	NdP		DR	DR	DR					
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)					B	B	B																			
	Bourbier(B)																										
	Fosse obstrués					G																					
AMENAGEMENT	D																										
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																							B			
	TERRASSEMENT																									Partiel	Cumulé
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage					m2																					20284
	Abattage d'arbre					U																					27
	Fossé de crête					ml																					
	Fossé en terre type triangulaire					G	50	50	50	50	81					10	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	741
						D	ml																				
	Fossé en terre type trapézoïdal					G	ml																				
						D	ml																				
	Déblai mis en depot					m3																					
	Decapage					m3				8	8	8	8	8	9	8		5	5							67	5113
	Dessablage					m3																					94
	Déblai rocheux					m3																					
	Déblai mis en remblai					m3																					
	Remblai provenant d'emprunt					m3						10	5	5	16	18			20	20	20	20	20	20	20	194	5960
	Enlèvement des matériaux compressibles					m3												14								14	294
	Enlèvement d'éboulement					m3																					
	Finition de la plate forme					m2																					
	Engazonnement					m2																					
	Clayonnage de talus					m2																					
	ASSAINISSEMENT																										
	Fossés maçonnés type 1 : Triangulaire					G	ML																				299
						D	ML																				20
	Fossé maçonné type rectangulaire					G	ML																				2823
						D	ML																				2879
	Fossé maçonné type trapézoïdal					G	ML																				1666
						D	ML																				406
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)					ML																		1		1	46
	Curage des ouvrages longitudinaux					ML																					40
	Dalot 50x50					U																					6
	Buse 50					U																					3
	Descente en amont					ML																					
	Descente en aval					ML																					
	Consolidation par fascinage					G	ml																				
						D	ml																				
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge					M3																					
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé					M3																					
	Démolition d'ouvrages en béton armé					M3																					
	Curlette en pierre sèche					ML																					
	Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)					U																					
	Passage véhicule avec couverture en B A (5.00x1.20x0.20)					U																					
	Disasableur en maçonnerie de moellons					U																					
	Drains sous fossés					ML																					
	Gabion					M3																					
	Enrochement					M3																					
	CHAUSSEE																										
	Reprofilage léger					ml			34																	66	1076
	Reprofilage lourd					ml				20	20	20	20	20	20	20										180	1725
	couche de roulement en Est					m3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298
	couche de base en GCNT D/315					m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016
	couche de fondation en MS					m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652
	Couche de chaussée en empiérement par cloutage					m3																					10
	Pavé					m3																					
	Réfection localisée					ml	10	10	10		10					10	10	10	10							90	90
	OUVRAGE D'ART																										
	Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																										
	Dimension																										
	Longueur					ML																					

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 374+000 au PK375+0

DISTANCES CUMULEES						N°	Rive	Unité	374 km	374050 km	374100 km	374150 km	374200 km	374250 km	374300 km	374350 km	374400 km	374450 km	374500 km	374550 km	374600 km	374650 km	374700 km	374750 km	374800 km	374850 km	374900 km	374950 km	375 km	TOTAL					
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																		
	ALIGNEMENT ET COURBE																																		
	PROFIL EN LONG								0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2					
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																		
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)								NdP	NdP	NdP	NdP	NdP						NdP	NdP	NdP	NdP	NdP												
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																							DR	DR	DR									
	Bourbier(B)								B	B	B																								
AMENAGEMENT	Fosse obstrués																																		
	D																																		
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																											B							
	TERRASSEMENT																																		
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																													Partiel	Cumulé				
	Abattage d'arbre																														20284				
	Fossé de crête																														27				
	Fossé en terre type triangulaire																																		
	D																																		
	Fossé en terre type trapézoïdal																																		
	D																																		
	Déblai mis en depot																																		
	Decapage																																		
	Dessablage																																		
	Déblai rocheux																																		
	Déblai mis en remblai																																		
	Remblai provenant d'emprunt																																		
	Enlèvement des matériaux compressibles																																		
	Enlèvement d'éboulement																																		
	Finition de la plate forme																																		
Engazonnement																																			
Clayonnage de talus																																			
ASSAINISSEMENT																																			
Fossés maçonnés type1 : Triangulaire																																			
D																																			
Fossé maçonné type rectangulaire																																			
D																																			
Fossé maçonné type trapézoïdal																																			
D																																			
Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																																			
Curage des ouvrages longitudinaux																																			
Dalot 50x50																																			
Buse 50																																			
Descente en amont																																			
Descente en aval																																			
Consolidation par fascinage																																			
D																																			
Déblai pour exutoire et fosse de décharge																																			
Démolition d'ouvrage autre que béton armé																																			
Démolition d'ouvrages en béton armé																																			
Cunette en pierre sèche																																			
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																																			
Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																																			
Dessableur en maçonnerie de moellons																																			
Drains sous fossés																																			
Gabion																																			
Enrochement																																			
CHAUSSEE																																			
Reprofilage léger																																			
Reprofilage lourd																																			
couche de roulement en Esb																																			
couche de base en GONT 0/315																																			
couche de fondation en MS																																			
Couche de chaussée en empierrement par cloutage																																			
Pavé																																			
Réfection localisée																																			
OUVRAGE D'ART																																			
Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																																			
Dimension																																			
Longueur																																			

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 375+000 au PK376+0

DISTANCES CUMULEES					N°	Rive	Unité	375 km	375050 km	375100 km	375150 km	375200 km	375250 km	375300 km	375350 km	375400 km	375450 km	375500 km	375550 km	375600 km	375650 km	375700 km	375750 km	375800 km	375850 km	375900 km	375950 km	376 km	TOTAL						
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																		
	ALIGNEMENT ET COURBE																																		
	PROFIL EN LONG							0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2								
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																		
	ASSAIS CHAUSSE							NdP	NdP											NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP	NdP				
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																																		
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																																		
	Bourbier(B)							B	B	B											B														
AMENAGEMENT	Fosse obstrués																																		
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																											B							
	TERRASSEMENT																											Partiel	Cumulé						
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																													20284					
	Abattage d'arbre																													27					
	Fossé de crête																																		
	Fossé en terre type triangulaire							G																											
	Fossé en terre type trapézoïdal							D																											
	Fossé en terre type trapézoïdal							G																											
	Fossé en terre type trapézoïdal							D																											
	Déblai mis en depot																																		
	Decapage																																		
	Dessablage																																		
	Déblai rocheux																																		
	Déblai mis en remblai																																		
	Remblai provenant d'emprunt																																		
	Enlèvement des matériaux compressibles																																		
	Enlèvement d'éboulement																																		
	Finition de la plate forme																																		
	Engazonnement																																		
Clayonnage de talus																																			
ASSAINISSEMENT																																			
Fossés maçonnés type1 : Triangulaire							G																												
Fossés maçonnés type1 : Triangulaire							D																												
Fossé maçonné type rectangulaire							G																												
Fossé maçonné type rectangulaire							D																												
Fossé maçonné type trapézoïdal							G																												
Fossé maçonné type trapézoïdal							D																												
Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																																			
Curage des ouvrages longitudinaux																																			
Dalot 50x50																																			
Buse 50																																			
Descente en amont																																			
Descente en aval																																			
Consolidation par fascinage							G																												
Consolidation par fascinage							D																												
Déblai pour exubire et fosse de décharge																																			
Démolition d'ouvrage autre que béton armé																																			
Démolition d'ouvrages en béton armé																																			
Cunette en pierre sèche																																			
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																																			
Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																																			
Déssableur en maçonnerie de moellons																																			
Drains sous fossés																																			
Gabion																																			
Enrochement																																			
CHAUSSÉE																																			
Reprofilage léger																																			
Reprofilage lourd																																			
couche de roulement en Esb																																			
couche de base en GCNT 0/315																																			
couche de fondation en MS																																			
Couche de chaussée en empierrement par cloutage																																			
Pavé																																			
Réfection localisée																																			
OUVRAGE D'ART																																			
Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																																			
Dimension																																			
Longueur																																			

P.K 376+000 au PK377+0

[XXXVI]

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 377+000 au PK378+0

DISTANCES CUMULEES				N°	Rive	Unité	377 km	377050 km	377100 km	377150 km	377200 km	377250 km	377300 km	377350 km	377400 km	377450 km	377500 km	377550 km	377600 km	377650 km	377700 km	377750 km	377800 km	377850 km	377900 km	377950 km	378 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																											
	ALIGNEMENT ET COURBE																											
	PROFIL EN LONG																											
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																											
	ASSAIS CHAUSSE																											
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																											
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																											
AMENAGEMENT	Bourbier(B)																											
	Fosse obstrués																											
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																											
	TERRASSEMENT																											
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																											
	Abattage d'arbre																											
	Fossé de crête																											
	Fossé en terre type triangulaire																											
	Fossé en terre type trapézoïdal																											
	Déblai mis en depot																											
	Decapage																											
	Dessablage																											
	Déblai rocheux																											
	Déblai mis en remblai																											
	Remblai provenant d'emprunt																											
	Enlèvement des matériaux compressibles																											
	Enlèvement d'éboulement																											
	Finition de la plate forme																											
	Engazonnement																											
	Clayonnage de talus																											
	ASSAINISSEMENT																											
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire																											
	Fossé maçonné type rectangulaire																											
	Fossé maçonné type trapézoïdal																											
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																											
	Curage des ouvrages longitudinaux																											
	Dalot 50x50																											
	Buse 50																											
	Descente en amont																											
	Descente en aval																											
	Consolidation par fascinage																											
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge																											
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé																											
	Démolition d'ouvrages en béton armé																											
	Cunette en pierre sèche																											
	Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																											
	Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																											
	Dessableur en maçonnerie de moellons																											
	Drains sous fossés																											
	Gabion																											
Enrochement																												
CHAUSSEE																												
Reprofilage léger																												
Reprofilage lourd																												
couche de roulement en Esb																												
couche de base en GCNT 0/315																												
couche de fondation en MS																												
Couche de chaussée en empiement par cloutage																												
Pavé																												
Réfection localisée																												
OUVRAGE D'ART																												
Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																												
Dimension																												
Longueur																												

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 378+000 au PK379+0

DISTANCES CUMULEES					N°	Rive	Unité	378 km	378050 km	378100 km	378150 km	378200 km	378250 km	378300 km	378350 km	378400 km	378450 km	378500 km	378550 km	378600 km	378650 km	378700 km	378750 km	378800 km	378850 km	378900 km	378950 km	379 km	TOTAL																
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																												
	ALIGNEMENT ET COURBE																																												
	PROFIL EN LONG							0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,2																		
	PROFIL EN TRAVERS																																												
DEGRADATION	ASSAIS CHAUSSE																																												
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																																												
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																																												
	Bourbier(B)																																												
AMENAGEMENT	Fosse obstrués																																												
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																																												
	TERRASSEMENT																																												
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																																												
Abattage d'arbre																																													
Fossé de crête																																													
Fossé en terre type triangulaire																																													
Fossé en terre type trapézoïdal																																													
Déblai mis en depot																																													
Decapage							8	8	8	8	8	9	8		5	5													67	5113															
Dessablage																																													
Déblai rocheux																																													
Déblai mis en remblai																																													
Remblai provenant d'emprunt																											4	5	5	5	20	20	20	20	20	159	5925								
Enlèvement des matériaux compressibles																													14					14	294										
Enlèvement d'éboulement																																													
Finition de la plate forme																																													
Engazonnement																																													
Clayonnage de talus																																													
ASSAINISSEMENT																																													
Fossés maçonnés type1 : Triangulaire																																				299									
																																				20									
Fossé maçonné type rectangulaire																																					2823								
																																					3079								
Fossé maçonné type trapézoïdal																																						1666							
																																					406								
Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																																						46							
Curage des ouvrages longitudinaux																																							40						
Dalot 50x50																																							6						
Buse 50																																							3						
Descente en amont																																													
Descente en aval																																													
Consolidation par fascinage																																													
Déblai pour exutoire et fosse de décharge																																													
Démolition d'ouvrage autre que béton armé																																													
Démolition d'ouvrages en béton armé																																													
Cunette en pierre sèche																																													
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																																													
Passage véhicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																																													
Déssableur en maçonnerie de moellons																																													
Drains sous fossés																																													
Gabion																																													
Enrochement																																													
CHAUSSÉE																																													
Reprofilage léger																																									76	1086			
Reprofilage lourd																																										180	1725		
couche de roulement en Esb																																										144	3298		
couche de base en GCNT 0/315																																											24	480	11016
couche de fondation en MS																																											24	480	2652
Couche de chaussée en empiement par cloutage																																											10		
Pavé																																													
Réfection localisée																																												90	90
OUVRAGE D'ART																																													
Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																																													
Dimension																																													
Longueur																																													

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 379+000 au PK380+0

DISTANCES CUMULEES					N°	Rive	Unité	379 km	379050 km	379100 km	379150 km	379200 km	379250 km	379300 km	379350 km	379400 km	379450 km	379500 km	379550 km	379600 km	379650 km	379700 km	379750 km	379800 km	379850 km	379900 km	379950 km	380 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																												
	ALIGNEMENT ET COURBE																												
	PROFIL EN LONG																												
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																												
	ASSAIS CHAUSSE																												
	Fosse obstrués																												
AMENAGEMENT	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																												
	TERRASSEMENT																											Partiel	Cumulé
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																												20284
	Abattage d'arbre																												27
	Fossé de crête																												
	Fossé en terre type triangulaire																												
	Fossé en terre type trapézoïdal																												
	Déblai mis en depot																												
	Decapage																											67	5113
	Dessablage																												94
	Déblai rocheux																												
	Déblai mis en remblai																												
	Remblai provenant d'emprunt																											159	5925
	Enlèvement des matériaux compressibles																											14	294
	Enlèvement d'éboulement																												
	Finition de la plate forme																												
	Engazonnement																												
	Clayonnage de talus																												
	ASSAINISSEMENT																												
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire																												299
																													20
	Fossé maçonné type rectangulaire																												2823
																													3079
	Fossé maçonné type trapézoïdal																												1666
																													406
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																											1	46
	Curage des ouvrages longitudinaux																												40
	Dalot 50x50																												6
	Buse 50																												3
	Descente en amont																												
	Descente en aval																												
	Consolidation par fascinage																												
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge																												
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé																												
Démolition d'ouvrages en béton armé																													
Cunette en pierre sèche																													
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																													
Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																													
Dessableur en maçonnerie de moellons																													
Drains sous fossés																													
Gabion																													
Enrochement																													
CHAUSSEE																													
Reprofilage léger																											76	1086	
Reprofilage lourd																											180	1725	
couche de roulement en Esb																											144	3298	
couche de base en GCNT 0/315																											480	11016	
couche de fondation en MS																											480	2652	
Couche de chaussée en empierrement par cloutage																												10	
Pavé																													
Réfection localisée																											90	90	
OUVRAGE D'ART																													
Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																													
Dimension																													
Longueur																													

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 380+000 au PK381+0

DISTANCES CUMULEES			N°	Rive	Unité	380 km	380050 km	380100 km	380150 km	380200 km	380250 km	380300 km	380350 km	380400 km	380450 km	380500 km	380550 km	380600 km	380650 km	380700 km	380750 km	380800 km	380850 km	380900 km	380950 km	381 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																										
	ALIGNEMENT ET COURBE																										
	PROFIL EN LONG					0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,2		
	PROFIL EN TRAVERS																										
DEGRADATION	ASSAIS CHAUSSE																										
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)													Ndp									Ndp	Ndp	Ndp		
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)								B	B																	
	Bourbier(B)																										
AMENAGEMENT	Fosse obstrués			G																							
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)			D																							
	TERRASSEMENT																									Partiel	Cumulé
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage				m2																						20284
	Abattage d'arbre				U																						27
	Fossé de crête				ml																						
	Fossé en terre type triangulaire			G	ml																						
	Fossé en terre type trapézoïdal			D	ml																						
	Déblai mis en depot				m3																						
	Decapage				m3	8	8	8	8	8	9	8		5	5											67	5113
	Dessablage				m3																						94
	Déblai rocheux				m3																						
	Déblai mis en remblai				m3																						
	Remblai provenant d'emprunt				m3											4	5	5	5	20	20	20	20	20	20	159	5925
	Enlèvement des matériaux compressibles				m3													14								14	294
	Enlèvement d'éboulement				m3																						
	Finition de la plate forme				m2																						
	Engazonnement				m2																						
	Clayonnage de talus				m2																						
	ASSAINISSEMENT																										
	Fossés maçonnés type 1 : Triangulaire			G	ML																						299
				D	ML																						20
	Fossé maçonné type rectangulaire			G	ML																						2823
				D	ML	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50						50	50	50	50	750	3629
	Fossé maçonné type trapézoïdal			G	ML																						1666
				D	ML																						406
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)				ML																				1	1	46
	Curage des ouvrages longitudinaux				ML																						40
	Dalot 50x50				U																						6
	Buse 50				U																						3
	Descente en amont				ML																						
	Descente en aval				ML																						
	Consolidation par fascinage			G	ml																						
				D	ml																						
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge				M3																						
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé				M3																						
	Démolition d'ouvrages en béton armé				M3																						
	Cunette en pierre sèche				ML																						
	Passeage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)				U																						
	Passeage vehicule avec couverture en BA (5.00x1.20x0.20)				U																						
	Dessableur en maçonnerie de moellons				U																						
	Drains sous fossés				ML																						
	Gabion				M3																						
	Enrochement				M3																						
	CHAUSSEE																										
	Reprofilage léger				ml									15	12	25	24									76	1086
	Reprofilage lourd				ml				20	20	20	20	20	20	20	20	20									180	1725
	couche de roulement en Esb				m3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298
	couche de base en GCNT 0/315				m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016
	couche de fondation en MS				m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652
	Couche de chaussée en empierrement par cloutage				m3																						10
	Pavé				m3																						
	Réfection localisée				ml	10	10	10								10	10	10	10							90	90
	OUVRAGE D'ART																										
	Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																										
	Dimension																										
	Longueur				ML																						

[XL]

P.K 381+000 au PK382+0

[XLI]

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 382+000 au PK383+0

DISTANCES CUMULEES							N°	Rive	Unité	382 km	382050 km	382100 km	382150 km	382200 km	382250 km	382300 km	382350 km	382400 km	382450 km	382500 km	382550 km	382600 km	382650 km	382700 km	382750 km	382800 km	382850 km	382900 km	382950 km	383 km	TOTAL					
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																			
	ALIGNEMENT ET COURBE																																			
	PROFIL EN LONG																																			
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																			
	ASSAIS CHAUSSE																																			
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																																			
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																																			
AMENAGEMENT	Bourbier(B)																																			
	Fosse obstrués																																			
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																																			
	TERRASSEMENT																																			
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																																			
	Abattage d'arbre																																			
	Fossé de crête																																			
	Fossé en terre type triangulaire																																			
	Fossé en terre type trapézoïdal																																			
	Déblai mis en depot																																			
	Decapage																																			
	Dessablage																																			
	Déblai rocheux																																			
	Déblai mis en remblai																																			
	Remblai provenant d'emprunt																																			
	Enlèvement des matériaux compressibles																																			
	Enlèvement d'éboulement																																			
	Finition de la plate forme																																			
	Engazonnement																																			
	Clayonnage de talus																																			
	ASSAINISSEMENT																																			
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire																																			
	Fossé maçonné type rectangulaire																																			
	Fossé maçonné type trapézoïdal																																			
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																																			
	Curage des ouvrages longitudinaux																																			
	Dalot 50x50																																			
	Buse 50																																			
	Descente en amont																																			
	Descente en aval																																			
	Consolidation par fascinage																																			
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge																																			
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé																																			
	Démolition d'ouvrages en béton armé																																			
	Cunette en pierre sèche																																			
	Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)																																			
	Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)																																			
	Déssableur en maçonnerie de moellons																																			
	Drains sous fossés																																			
	Gabion																																			
	Enrochement																																			
	CHAUSSEE																																			
	Reprofilage léger																																			
	Reprofilage lourd																																			
	couche de roulement en Esb																																			
	couche de base en GCNT 0/315																																			
	couche de fondation en MS																																			
	Couche de chaussée en empierrement par cloutage																																			
	Pavé																																			
	Réfection localisée																																			
	OUVRAGE D'ART																																			
	Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																																			
	Dimension																																			
	Longueur																																			

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 383+000 au PK384+0

DISTANCES CUMULEES			N°	Rive	Unité	383 km	383050 km	383100 km	383150 km	383200 km	383250 km	383300 km	383350 km	383400 km	383450 km	383500 km	383550 km	383600 km	383650 km	383700 km	383750 km	383800 km	383850 km	383900 km	383950 km	384 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																										
	ALIGNEMENT ET COURBE																										
	PROFIL EN LONG					0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,2		
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																										
	ASSAIS CHAUSSE	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)							Ndp				ndp	Ndp													
		Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																									
		Bourbier(B)																									
AMENAGEMENT	ASSAIS CHAUSSE	Fosse obstrués	G																								
		D																									
		Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																									
	TERRASSEMENT																									Partiel	Cumulé
		Nettoyage, désherbage, débroussaillage			m2																						20284
		Abattage d'arbre			U																						27
		Fossé de crête			ml																						
		Fossé en terre type triangulaire	G		ml																						
		D			ml																						
		Fossé en terre type trapézoïdal	G		ml					50	50																
		D			ml																						
		Déblai mis en depot			m3																						
		Decapage			m3				7					12											19		5065
		Dessablage			m3																						94
		Déblai rocheux			m3																						
		Déblai mis en remblai			m3																						
		Remblai provenant d'emprunt			m3																						
		Enlèvement des matériaux compressibles			m3											4	5	5	5	20	20	20	20	20	20	159	5925
		Enlèvement d'éboulement			m3													14							14		294
		Finition de la plate forme			m2																						
		Engazonnement			m2																						
		Clayonnage de talus			m2																						
		ASSAINISSEMENT																									
		Fossés maçonnés type 1 : Triangulaire	G		ML																						299
		D			ML																						20
		Fossé maçonné type rectangulaire	G		ML																						2823
		D			ML																						
		Fossé maçonné type trapézoïdal	G		ML																						3079
		D			ML																						1666
		Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)			ML																						406
		Curage des ouvrages longitudinaux			ML																						46
		Dalot 50x50			U																						40
		Buse 50			U																						6
		Descente en amont			ML																						3
		Descente en aval			ML																						
		Consolidation par fascinage	G		ml																						
		D			ml																						
		Déblai pour exubire et fosse de décharge			M3																						
		Démolition d'ouvrage autre que béton armé			M3																						
		Démolition d'ouvrages en béton armé			M3																						
		Cunette en pierre sèche			ML																						
		Passeage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)			U																						
		Passeage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)			U																						
		Déssableur en maçonnerie de moellons			U																						
		Drains sous fossés			ML																						
		Gabion			M3																						
		Enrochement			M3																						
		CHAUSSÉE																									
		Reprofilage léger			ml											15	12	25	24							76	1086
		Reprofilage lourd			ml				20	20	20	20	20	20	20	20	20	20								180	1725
		couche de roulement en Esb			m3		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298
		couche de base en GCNT 0/315			m3		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016
		couche de fondation en MS			m3		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652
		Couche de chaussée en empierrement par cloutage			m3																						10
		Pavé			m3																						
		Réfection localisée			ml		10	10	10							10	10	10	10							90	90
		OUVRAGE D'ART																									
		Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																									
		Dimension																									
		Longueur			ML																						


SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 384+000 au PK385+850

DISTANCES CUMULEES		N° Prix	Rive G/D	Unité	384 km	384100 km	384200 km	384300 km	384400 km	384500 km	384600 km	384700 km	384800 km	384900 km	385000 km	385100 km	385200 km	385300 km	385400 km	385500 km	385600 km	385700 km	385750 km	385800 km	385,85 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																									
	ALIGNEMENT ET COURBE																									
	PROFIL EN LONG				0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,2		
ASSAIS	PROFIL EN TRAVERS																									
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																	Ndp	Ndp	Ndp						
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)				DR	DR	DR	DR	DR	DR	DR	DR	DR	DR						DR	DR	DR		DR		
AMENAGEMENT	Bourbier(B)																									
	Fosse obstruée	G																								
	D																									
AMENAGEMENT	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																									
	TERRASSEMENT																								Partiel	Cumulé
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage			m2																						20284
AMENAGEMENT	Abattage d'arbre	U																								27
	Fossé de crête	ml																								
	Fossé en terre type triangulaire	G						100	100	100	100	100	100	100	100	100									900	
AMENAGEMENT	Fossé en terre type trapézoïdal	D																								
	D	ml																								
	D	ml																								
AMENAGEMENT	Déblai mis en depot	m3																								
	Decapage	m3											12												12	5058
	Dessablage	m3								1															1	95
AMENAGEMENT	Déblai rocheux	m3																								
	Déblai mis en remblai	m3																								
	Remblai provenant d'emprunt	m3			4	5	5	5						4	5	5	5	20	20	20	20	20	20	20	178	5944
AMENAGEMENT	Enlèvement des matériaux compressibles	m3															14								14	294
	Enlèvement d'éboulement	m3																								
	Finition de la plate forme	m2																								
AMENAGEMENT	Engazonnement	m2																								
	Clayonnage de talus	m2																								
	ASSAINISSEMENT																									
AMENAGEMENT	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire	G																								299
	D	ML																								20
	Fossé maçonné type rectangulaire	G																								2823
AMENAGEMENT	D	ML																								3079
	Fossé maçonné type trapézoïdal	G																			50	50	50	50	200	1666
	D	ML																								406
AMENAGEMENT	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)	ML																								46
	Curage des ouvrages longitudinaux	ML																								40
	Dalot 50x50	U																								6
AMENAGEMENT	Buse 50	U																								3
	Descente en amont	ML																								
	Descente en aval	ML																								
AMENAGEMENT	Consolidation par fascinage	G																								
	D	ml																								
	D	ml																								
AMENAGEMENT	Déblai pour exutoire et fosse de décharge	M3																								
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé	M3																								
	Démolition d'ouvrages en béton armé	M3																								
AMENAGEMENT	Cunette en pierre sèche	ML																								
	Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)	U																								
	Passage véhicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)	U																								
AMENAGEMENT	Dessableur en maçonnerie de moellons	U																								
	Drains sous fossés	ML																								
	Gabion	M3																								
AMENAGEMENT	Enrochement	M3																								
	CHAUSSEE																									
	Reprofilage léger	ml											15	12	25	24									76	1086
AMENAGEMENT	Reprofilage lourd	ml											20	20	20	20									180	1725
	couche de roulement en Est	m3		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298
	couche de base en GCNT 0/315	m3		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016
AMENAGEMENT	couche de fondation en MS	m3		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652
	Couche de chaussée en empierrement par cloutage	m3																								10
	Pavé	m3																								
AMENAGEMENT	Réfection localisée	ml		10	10	10			10						10	10	10	10							90	90
	OUVRAGE D'ART																									
	Pont BA (PBA)- Pont Métallique (PM)																									
AMENAGEMENT	Dimension																									
	Longueur	ML																								

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 385+900 au PK387+700

DISTANCES CUMULEES					N°	Prix	Rive	Unité	385,85 km	385950 km	386050 km	386150 km	386250 km	386350 km	386450 km	386550 km	386650 km	386750 km	386850 km	386950 km	387050 km	387150 km	387250 km	387350 km	387450 km	387550 km	387600 km	387650 km	387,7 km	TOTAL				
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																	
	ALIGNEMENT ET COURBE																																	
	PROFIL EN LONG								0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,2					
	PROFIL EN TRAVERS																																	
DEGRADATION	ASSAIS CHAUSSE																																	
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																																	
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																																	
	Bourbier(B)																																	
AMENAGEMENT	Fosse obstrués								G																									
									D																									
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																																	
	TERRASSEMENT																											Partiel	Cumulé					
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																														20284			
	Abattage d'arbre																														27			
	Fossé de crête																																	
	Fossé en terre type triangulaire								G	ml			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000		
									D	ml																								
	Fossé en terre type trapézoïdal								G	ml																								
									D	ml																								
	Déblai mis en depot									m3																								
	Decapage									m3																				12	5058			
	Dessablage									m3						1														1	95			
	Déblai rocheux									m3																								
	Déblai mis en remblai									m3																								
	Remblai provenant d'emprunt									m3		4		5		5		5		4		5		5		20		20		20		20	178	5944
	Enlèvement des matériaux compressibles									m3																					14	294		
	Enlèvement d'éboulement									m3																								
	Finition de la plate forme									m2																								
	Engazonnement									m2																								
	Clayonnage de talus									m2																								
	ASSAINISSEMENT																																	
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire								G	ML																							299	
									D	ML																						20		
	Fossé maçonné type rectangulaire								G	ML																						2823		
									D	ML																						3079		
	Fossé maçonné type trapézoïdal								G	ML																	50		50		50		200	1666
									D	ML																						406		
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)									ML																			1		1	46		
	Curage des ouvrages longitudinaux									ML																						40		
	Dalot 50x50									U																							6	
	Buse 50									U																						3		
	Descente en amont									ML																								
	Descente en aval									ML																								
	Consolidation par fascinage								G	ml																								
									D	ml																								
	Déblai pour exutoire et fosse de décharge									M3																								
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé									M3																								
	Démolition d'ouvrages en béton armé									M3																								
	Cunette en pierre sèche									ML																								
	Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)									U																								
	Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)									U																								
	Dessableur en maçonnerie de moellons									U																								
	Drains sous fossés									ML																								
	Gabion									M3																								
	Enrochement									M3																								
	CHAUSSEE																																	
	Reprofilage léger									ml									15		12		25		24					76	1086			
	Reprofilage lourd									ml																					180	1725		
	couche de roulement en Est									m3		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	144	3298		
	couche de base en GCNT 0/315									m3		24		24		24		24		24		24		24		24		24		24		24	480	11016
	couche de fondation en MS									m3		24		24		24		24		24		24		24		24		24		24				

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 387+700 au PK389+550

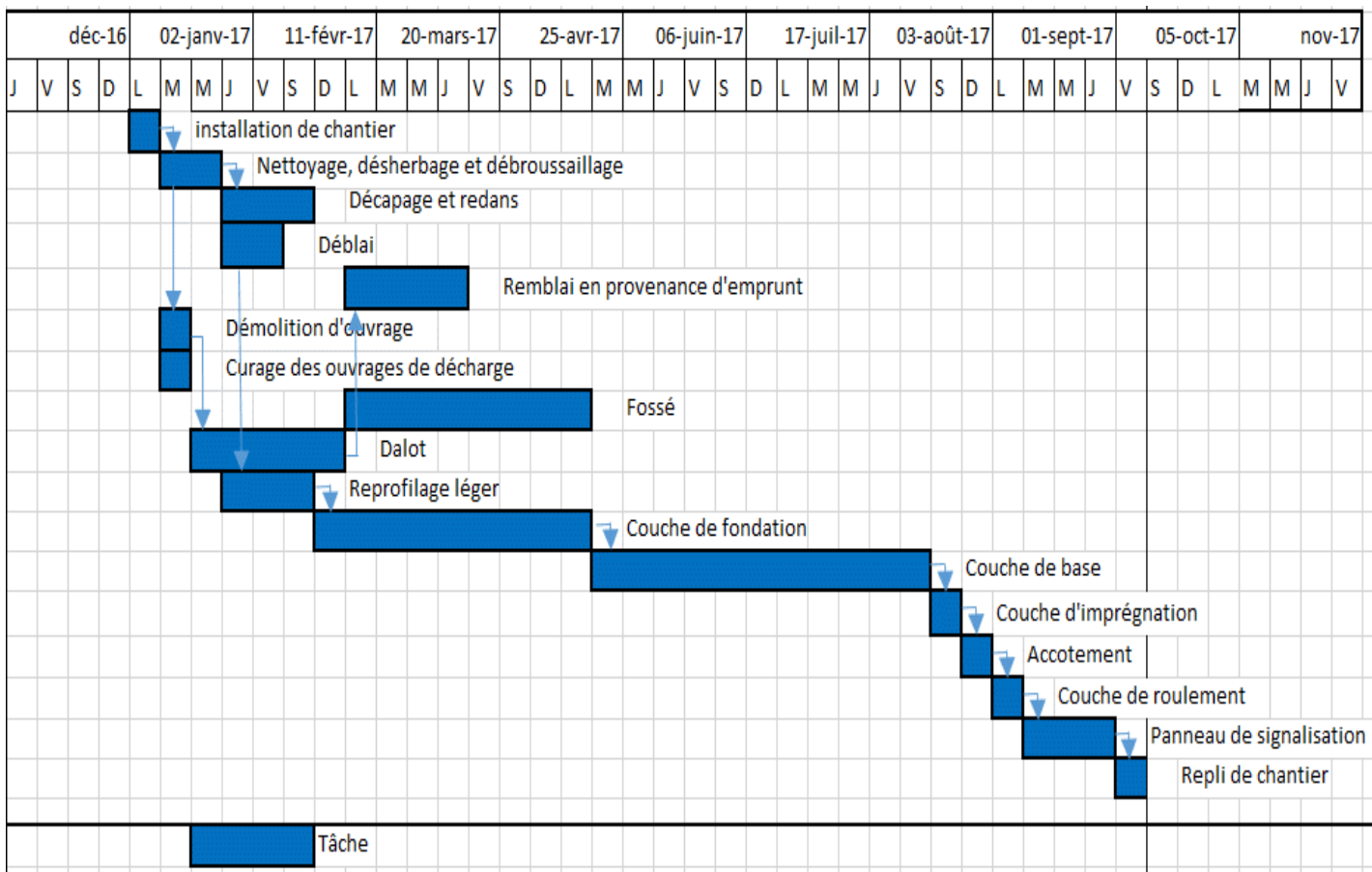
DISTANCES CUMULEES					N°	Rive	Unité	387,7 km	387800 km	387900 km	388000 km	388100 km	388200 km	388300 km	388400 km	388500 km	388600 km	388700 km	388800 km	388900 km	389000 km	389100 km	389200 km	389300 km	389400 km	389450 km	389500 km	389,55 km	TOTAL						
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																																		
	ALIGNEMENT ET COURBE																																		
	PROFIL EN LONG							0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,2								
DEGRADATION	PROFIL EN TRAVERS																																		
	ASSAIS CHAUSSE																																		
	Nid de poule (Ndp) - Ensablement (E)																																		
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																																		
	Bourbier(B)																																		
AMENAGEMENT	Fosse obstrués							G																											
	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)							D																											
	TERRASSEMENT																																		
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage							m2																											
	Abattage d'arbre							U																											
	Fossé de crête							ml																											
	Fossé en terre type triangulaire							G																											
								D																											
	Fossé en terre type trapézoïdal							G																											
								D																											
	Déblai mis en depot							m3																											
	Decapage							m3																											
	Dessablage							m3																											
	Déblai rocheux							m3																											
	Déblai mis en remblai							m3																											
	Remblai provenant d'emprunt							m3																											
	Enlèvement des matériaux compressibles							m3																											
	Enlèvement d'éboulement							m3																											
	Finition de la plate forme							m2																											
	Engazonnement							m2																											
	Clayonnage de talus							m2																											
	ASSAINISSEMENT																																		
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire							G	ML	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1300	1599				
								D	ML																						20				
	Fossé maçonné type rectangulaire							G	ML																							2823			
								D	ML																										
	Fossé maçonné type trapézoïdal							G	ML																								3079		
								D	ML																								1666		
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)							ML																									406		
	Curage des ouvrages longitudinaux							ML																									46		
Dalot 50x50							U																									40			
Buse 50							U																									6			
Descente en amont							MI																										3		
Descente en aval							ML																												
Consolidation par fascinage							G	ml																											
							D	ml																											
Déblai pour exubire et fosse de décharge							M3																												
Démolition d'ouvrage autre que béton armé							M3																												
Démolition d'ouvrages en béton armé							M3																												
Cunette en pierre sèche							ML																												
Passage piéton avec couverture en BA (1.20x0.80x0.10)							U																												
Passage vehicule avec couverture en B.A (5.00x1.20x0.20)							U																												
Dessableur en maçonnerie de moellons							U																												
Drains sous fossés							ML																												
Gabion							M3																												
Enrochement							M3																												
CHAUSSEE																																			
Reprofilage léger							ml																									76	1086		
Reprofilage lourd							ml																											180	1725
couche de roulement en Esb							m3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	144	3298		
couche de base en GCNT 0/315							m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	11016	
couche de fondation en MS							m3	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	480	2652	
Couche de chaussée en empierrement par cloutage							m3																											10	
Pavé							m3																												
Réfection localisée							ml	10	10	10				10				10	10	10	10											90	90		
OUVRAGE D'ART																																			
Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)																																			
Dimension																																			
Longueur							ML																												

SCHEMA D'ITINERAIRE ET D'AMENAGEMENT

P.K 389+600 au PK392+250

DISTANCES CUMULEES							N°	Rive	Unité	389,55 km	389650 km	389750 km	389850 km	389950 km	390050 km	390150 km	390250 km	390350 km	390450 km	390550 km	390750 km	390950 km	391150 km	391350 km	391550 km	391750 km	391950 km	392150 km	392200 km	392,25 km	TOTAL
GEOMETRIE	POINTS PARTICULIERS																														
	ALIGNEMENT ET COURBE																														
	PROFIL EN LONG																														
	PROFIL EN TRAVERS																														
DEGRADATION	ASSAIS CHAUSSE																														
	Nid de poule (NdP) - Ensablement (E)																														
	Dentelle de rive (DR)- Ravinement longitudinal (RL)																														
	Bourbier(B)																														
	Fosse obstrués																														
AMENAGEMENT	Dalots (D) - Buse (B) - Pont (P)																														
	TERRASSEMENT																														
	Nettoyage, désherbage, débroussaillage																														
	Abattage d'arbre																														
	Fossé de crête																														
	Fossé en terre type triangulaire																														
	Fossé en terre type trapézoïdal																														
	Déblai mis en depot																														
	Decapage																														
	Dessablage																														
	Déblai rocheux																														
	Déblai mis en remblai																														
	Remblai provenant d'emprunt																														
	Enlèvement des matériaux compressibles																														
	Enlèvement d'éboulement																														
	Finition de la plate forme																														
	Engazonnement																														
	Clayonnage de talus																														
	ASSAINISSEMENT																														
	Fossés maçonnés type1 : Triangulaire																														
	Fossé maçonné type rectangulaire																														
	Fossé maçonné type trapézoïdal																														
	Curage des ouvrages transversaux (dalots, buses)																														
	Curage des ouvrages longitudinaux																														
	Dalot 50x50																														
	Buse 50																														
	Descente en amont																														
	Descente en aval																														
	Consolidation par fascinage																														
	Déblai pour exubire et fosse de décharge																														
	Démolition d'ouvrage autre que béton armé																														
	Démolition d'ouvrages en béton armé																														
	Cunette en pierre sèche																														
	Passage piéton avec couverture en BA (1,20x0,80x0,10)																														
	Passage vehicule avec couverture en B.A (5,00x1,20x0,20)																														
	Déssableur en maçonnerie de moellons																														
	Drains sous fossés																														
	Gabion																														
	Enrochement																														
	CHAUSSEE																														
Reprofilage léger																															
Reprofilage lourd																															
couche de roulement en Esb																															
couche de base en GONT 0/315																															
couche de fondation en MS																															
Couche de chaussée en empierrment par cloutage																															
Pavé																															
Réfection localisée																															
OUVRAGE																															
Pont BA (PBA)- Pont Metallique (PM)-dalot																															
Dimension																															
Longueur																															

ANNEXE XIX. PLANNING DES TRAVAUX



Numéro	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs	Noms ressources
0	Installation de chantier	5	Lun 02/01/17	Ven 06/01/17		Installation de chantier
1	nettoyge et désherbage et débroussaillage	10	Lun 09/01/17	Ven 20/01/17	1	nettoyge et désherbage et débroussaillage
2	Décapage et redans	15	Lun 23/01/17	Ven 11/02/17	2	Décapage et redans
3	Déblai	12	Lun 23/01/17	Mar 07/02/17	2	Déblai
4	Remblai en provenance d'emprunt	20	Mer 22/02/17	Lun 20/03/17	9	Remblai en provenance d'emprunt
5	Démolition d'ouvrage	2	Lun 09/01/17	Mar 10/01/17	1	Démolition d'ouvrage
6	Curage d'ouvrage de décharge	1	Lun 09/01/17	Lun 09/01/17	1	Curage d'ouvrage de décharge
7	Fossé	45	Mer 22/02/17	Mar 25/04/17	9	Fossé
8	dalot	30	Mer 11/01/17	Mar 21/02/17	6	dalot
9	Reprofilage léger	16	Lun 23/01/17	Lun 13/02/17	2	Reprofilage léger
10	Couche de fondation	50	Mar 14/02/17	Lun 24/04/17	10	Couche de fondation
11	Couche de base	60	Mar 25/04/17	Lun 17/07/17	11	Couche de base
12	Couche d'imprégnation	3	Mar 18/07/17	Jeu 20/07/17	12	Couche d'imprégnation
13	accotement	5	Ven 21/07/17	Jeu 27/07/17	13	accotement
14	Couche de roulement	5	Ven 28/07/17	Jeu 03/08/17	14	Couche de roulement
15	Panneau de signalisation et équipement de sécur	16	Ven 04/08/17	Ven 25/08/17	15	Panneau de signalisation et équipement de sécurité
16	Repli de chantier	5	Lun 28/08/17	Ven 01/09/17	16	Repli de chantier

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I CONTEXTE GENERAL DU PROJET	2
CHAPITRE I PRESENTATION DU PROJET.....	3
1.1 Localisation et Délimitation du projet.....	3
1.1.1 Plan de situation du projet.....	4
1.2 Objectifs du projet	4
1.3 Durée de vie du projet.....	5
CHAPITRE II MONOGRAPHIE DE LA ZONE D'INFLUENCE	6
2.1 Présentation de la zone d'influence	6
2.1.1 Situation administrative des zones d'influence	7
2.2 Milieu naturel	8
2.3 Etude socioéconomique	9
2.3.1 Etude Sociale	9
2.3.2 Etude économique	14
CHAPITRE III HISTORIQUE ET DIAGNOSTIC DE LA CHAUSSEE.....	21
3.1 Historique	21
3.2 Diagnostic de la chaussée.....	21
PARTIE II ETUDE TECHNIQUE	33
CHAPITRE IV ETUDE DU TRACE.....	34
4.1 Tracé en plan	34

4.2	Profil en long	34
4.3	Profil en travers	35
CHAPITRE V INVENTAIRE DES GISEMENT DE MATERIAUX		36
5.1	Spécifications du sol d'emprunt pour le remblai	36
5.2	Spécifications des matériaux de la couche de fondation.....	36
5.3	Spécification des matériaux de couche de base en GCNT 0/315.....	37
5.4	Spécifications des matériaux pour couche de roulement	38
5.5	Gisement de matériaux meubles.....	38
5.6	Gisement de matériaux rocheux	39
CHAPITRE VI ETUDE DU TRAFIC		40
6.1	Comptage du trafic.....	40
6.2	Trafic généré ou induit	41
6.3	Prévision du trafic à l'année de mise en service.....	41
6.4	Pourcentage des poids lourds	42
CHAPITRE VII ETUDE DE DIMENSIONNEMENT		44
7.1	Méthode LNTPB	44
7.1.1	Epaisseur équivalente e_{eq}	45
7.1.2	Epaisseur de la couche de fondation.....	46
7.1.3	Résultats de dimensionnement	46
7.1.4	Vérification des contraintes.....	48
7.2	Méthode Alizé-LCPC	53
7.2.1	Architecture générale du module Alizé Mécanique	53
7.2.2	Paramètres de base.....	54
7.2.3	Démarrage de l'application	56
7.2.4	Configuration du programme	57
7.2.5	Valeurs admissibles	59

7.2.6	Modélisation de la structure	60
7.2.7	Lancement du calcul	61
7.2.8	Résultats de calcul	63
7.2.9	Conclusion.....	64
7.3	Etude de réhabilitation	64
7.3.1	Solution adoptée	64
7.3.2	Dimensionnement	65
7.3.3	Epaisseur réelle.....	66
7.3.4	Résultats de dimensionnement	66
CHAPITRE VIII ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE		67
8.1	Hydrologie.....	67
8.1.1	Pluviométrie	67
8.1.2	Traitement des données pluviométriques.....	68
8.1.3	Bassin versant.....	74
8.1.4	Méthode de calcul des débits.....	76
8.1.5	Débit des fossés de pied	77
8.1.6	Calcul des débits des ouvrages de franchissement	81
8.2	Etude hydraulique	81
8.2.1	Dimensionnement des fossés.....	82
8.2.2	Dimensionnement des ouvrages de décharges	92
8.2.3	Dimensionnement des ouvrages de franchissement	99
8.2.4	Dimensionnement mécanique	102
8.2.5	Hypothèses de calcul	103
8.2.6	Evaluation des actions.....	104
8.2.7	Récapitulation des actions.....	109
8.2.8	Détermination des sollicitations	111

8.3	Calcul des éléments en béton armé	119
8.3.1	Hypothèses	119
8.3.2	Calcul des ferraillages	120
8.3.3	Récapitulation de toutes les armatures.....	130
PARTIE III ETUDE FINANCIERE ET EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX		132
CHAPITRE IX EVALUATION DU COUT DU PROJET.....		133
9.1	Devis descriptifs	133
9.1.1	TRAVAUX PREPARATOIRES.....	133
9.1.2	TERRASSEMENT	133
9.1.3	ASSAINISSEMENT	135
9.1.4	CHAUSSÉE	137
9.1.5	OUVRAGES	140
9.1.6	EQUIPEMENT ET SIGNALISATION	141
9.2	Devis quantitatif	142
9.3	Détails estimatifs	144
9.3.1	Sous détail des prix	144
9.3.2	Coefficient de déboursés K_1	144
9.3.3	Devis quantitatif et estimatif (DQE)	146
CHAPITRE X ETUDE DE RENTABILITE		149
10.1	Coût d'exploitation des véhicules (CEV)	149
10.1.1	Coûts fixes.....	150
10.1.2	Coûts proportionnels.....	151
10.1.3	Calcul des avantages.....	151
10.2	Evaluation économique.....	153
10.2.1	Avantages nets du projet.....	153

10.2.2 Etude de rentabilité	156
10.3 Conclusion.....	159
CHAPITRE XI ETUDE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	160
11.1 Description du milieu récepteur	160
11.2 Critères d'évaluation des sources d'impact.....	162
11.3 Evaluation des impacts négatifs	163
11.4 Evaluation des impacts positifs	165
11.5 Mesures d'accompagnement	166
CONCLUSION GENERALE.....	170
BIBLIOGRAPHIE	171
ANNEXES	I
ANNEXE I. Abaque de dimensionnement LNTPB pour Trafic Normal	II
ANNEXE II. Abaque de détermination des contraintes de JEUFFROY-BACHELEZ. ..	III
ANNEXE III. Organigramme du déroulement du logiciel ALIZE	VI
ANNEXE IV. Table de distribution χ^2 de PEARSON.....	VII
ANNEXE V. Estimation des crues selon FRECHET GUMBEL.....	VIII
ANNEXE VI. Abaque de calcul de la pente d'une buse.	IX
ANNEXE VII. Abaque de détermination de la vitesse dans une buse.	X
ANNEXE VIII. Abaque de calcul de la pente d'un dalot.....	XI
ANNEXE IX. Abaque de calcul de la vitesse dans un dalot.....	XII
ANNEXE X. Plan type des ouvrages : dalot 3x[3,00x3,00].....	XIII
ANNEXE XI. Plan type des ouvrages : dalot 1x[1,50x1,50].....	XVII
ANNEXE XII. Calcul des moments aux nœuds dû au poids propre de la barre AB par la méthode des cross. (Cas du dalot simple)	XIX
ANNEXE XIII. Sous détail de prix	XX
ANNEXE XIV. Avant métré et DQE des dalots de franchissement.....	XXI

ANNEXE XV. Plans en travers type	XXIV
ANNEXE XVI. Extrait de profil en long	XXV
ANNEXE XVII. Tracé en plan.	XXVI
ANNEXE XVIII. Schéma d'itinéraire.	XXVIII
ANNEXE XIX. PLANNING DES TRAVAUX	XLVIII
TABLE DES MATIERES	L

Auteur : RAMINOSOA Harinala Colombe

Contact : 032 74 140 45

Adresse mail : colombebtp@yahoo.fr



Titre du mémoire : ETUDE DE LA RNS 13 DANS LA REGION ANOSY (Section AMBOVOMBE-FORT DAUPHIN) : AMENAGEMENT DU PK 370+200 AU PK 384+200 ET REHABILITATION DU PK 384+700 AU PK 392+200

Nombre de page : 170

Nombre de figure : 45

Nombre de tableau : 113

RESUME

Le présent projet d'aménagement de la Route Nationale Secondaire N°13 est bénéfique pour les zones reculées du Sud de Madagascar, à savoir, les régions Anosy et Androy. La remise en état de la route permettra leur développement socioéconomique. Le dimensionnement de la chaussée ainsi que les ouvrages hydrauliques est développé dans ce mémoire. L'évaluation financière, l'étude de rentabilité ainsi que l'étude des impacts environnementaux sont également mis en exergue dans la troisième partie.

SUMMARY

This project of the National Road N°13 will be profitable for the region in the south of Madagascar such as the region Anosy and Androy. The reconstruction of the road will increase the economy of the population living in these areas. This book talks about road's design and sanitation establishment. The estimation of the investment's costs followed by the project's profitability and the environment's impact are developed in the third part of this document.

Mots clés: aménagement, réhabilitation, dimensionnement, rentabilité.

Rapporteur : Monsieur RABENATOANDRO Martin.