



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEUR POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur au grade
de master en hydraulique

**SIMULATION DU CALAGE DES OUVRAGES
HYDRAULIQUES SUR DES VOIES CONSTRUITES
SUR DES PLAINES INNONDABLES -
APPLICATION SUR LA NOUVELLE VOIE
TSARASAOTRA IVATO**



Présenté par : ANDRIATSIFERANA Solotahina Josvah

Promotion 2015

Date de soutenance : 08 Avril 2017

Année de soutenance 2017



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEUR POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur au grade
de master en hydraulique

**SIMULATION DU CALAGE DES OUVRAGES
HYDRAULIQUES SUR DES VOIES CONSTRUITES
SUR DES PLAINES INNONDABLES -
APPLICATION SUR LA NOUVELLE VOIE
TSARASAO TRAIVATO**



Membre du jury :

Président du jury : Mr. RAMANARIVO Solofomampionona Chef de département
hydraulique et Enseignant Chercheur à l'ESPA

Encadreur : Mr. RAMBININTSOA Tahina Michel, Enseignant Chercheur à l'ESPA

Examineurs : Mr. RAKOTO DAVID Rambinintsoa, Enseignant Chercheur à l'ESPA

Mr. RANDRIAMAHERISOA Alain, Enseignant Chercheur à l'ESPA

Mr. RANDRIANARIVONY Charles, Enseignant Chercheur à l'ESPA

Date de soutenance : 08 Avril 2017

Année de soutenance 2017

DECLARATION SUR L'HONNEUR

Je soussigné, ANDRIATSIFERANA Solotahina Josvah, auteur de ce mémoire intitulé : «SIMULATION DU CALAGE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES SUR DES VOIES CONSTRUITES SUR DES PLAINES INNONDABLES - APPLICATION SUR LA NOUVELLE VOIE TSARASAO TRA IVATO », déclaré sur l'honneur que :

- Ce document est le résultat de mes recherches personnelles et de mes travaux qui n'ont pas encore été publiés.
- Conformément à l'usage en matière de travaux destinés au public, j'ai précisé à partir de la bibliographie les ressources exactes des extraites et des documents exploités.

Antananarivo, le 27 Mars 2017

ANDRIATSIFERANA Solotahina Josvah

REMERCIEMENT

Avant tout, je ne saurai rendre grâce à mon Père céleste, pour son amour et toutes ses bénédictions qui ont fait de moi tel que je suis.

Je désire remercier cordialement :

– Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour mes cinq années d'études au sein de l'ESPA;
– Monsieur RAMANARIVO Solofomampionona, Chef de Département de la Filière Hydraulique à l'ESPA qui s'est toujours efforcé à faire bénéficier les étudiants de la meilleure des formations, et qui me fait l'honneur de présider le jury de soutenance de ce mémoire ;
– Monsieur RAMBININTSOA Tahina Michel, Encadreur de ce mémoire, pour m'avoir guidé durant ce travail, et sans qui l'élaboration de ce document n'aurait jamais eu lieu.
Mes vifs remerciements également vont à l'endroit de :

– Monsieur RAKOTO David Rambinintsoa, Enseignant Chercheur à l'ESPA,
– Monsieur RANDRIAMAHERISOA Alain, Enseignant Chercheur à l'ESPA,
– Monsieur RANDRIANARIVONY Charles, Enseignant Chercheur à l'ESPA
qui ont bien voulu consacré une partie de leur temps pour examiner et juger ce travail, et cela, malgré leurs maintes et innombrables occupations. Je leur suis entièrement reconnaissant de l'intérêt qu'ils ont porté à ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à toute ma famille. Merci à mes parents, à mes sœurs, à mes cousins et mes cousines pour tout ce qu'ils ont fait pour moi durant ces années.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	I
TABLE DES MATIERES.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES CARTES.....	VI
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VII
INTRODUCTION	1
PARTIE I : DIAGNOSTIC DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENTS DES CAS EXISTANTS DES ROUTES EN REMBLAI A ANTANANARIVO.	
CHAPITRE I- ETUDES ET DIAGNOSTICS ROUTIERS DES CAS EXISTANTS SUR ANTANANARIVO :	2
1.1. Route By pass :	2
1.2. Route Boulevard de l'Europe :	4
1.3. La route Bretelle Ankadimbahoaka :	6
CHAPITRE II- INTERPRETATION DES PROBLEMES DE DUALITE ENTRE ROUTE ET BARRAGE :	2
PARTIE II : ÉTUDE DES CAS DE LA NOUVELLE VOIE IVATO TSARASAOTRA EN TERMES DE SENS D'ÉCOULEMENT	
CHAPITRE I- GENERALITE SUR LA ZONE D'ÉTUDE	9
1.1. Situation géographique de la zone d'étude :	9
1.2. Relief de la zone et potentialité du sol	11
1.3. Hydrographie.....	11
CHAPITRE II- CLIMATOLOGIE	13
2.1. Définition :	13
2.2. Climat :	13
CHAPITRE III-HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ÉTUDE :	16
3.1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude.....	16
3.2. Etudes des crues.....	22
3.3. Etudes de volume de crue décennale en amont de la route :	22
3.4. Estimation du débit maximal transité par la rivière et le court d'eau avant ses débordements :	23
3.5. Estimation du volume d'eau retenu à évacuer pendant le temps de ruissellement.....	23
3.6. Volume du contenu du bassin jusqu'à la hauteur de la route :	23
PARTIE III- ETUDES DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA NOUVELLE VOIE IVATO-TSARASAOTRA.	
CHAPITRE I : PRINCIPE DE CALAGE ET DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE	27
CHAPITRE II- CALCULATION DE NOUVEAU DU DEBIT DE CRUE DECENNALE.....	28
2.1. Bassin versant BV.....	28
2.2. Laminage de crue :	29
CHAPITRE III- DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENTS EN BETON ARME A L' AIDE DU LOGICIEL ROBOBAT :	43
3.1. Présentation du logiciel	43
3.2. Principales fonctions du Robot Millenium	43
3.3. Etapes de fonctionnement du logiciel (robot 25).....	43

3.4. Dalots et Buses.....	45
PARTIE IV- IRRIGATION DE LA PLAINE LANIERA	
CHAPITRE I- ADEQUATION RESSOURCE – BESOIN	53
1.1. Estimation des apports :	53
1.2. Besoin en eau de la riziculture.....	54
1.2.1. Généralité sur le Logiciel CROPWAT 8.0 :	54
1.3. Adequation ressource –besoin :.....	58
1.4. Débit de pointe.....	59
1.6. Débit d'équipement (q_e)	59
1.6. Débit nominal	59
PARTIE V- ETUDES ECONOMIQUES	
CHAPITRE I- DEVIS DESCRIPTIF	62
1.1. Principe du sous détail des prix.....	62
1.2. Coefficient de déboursé K.....	62
CHAPITRE II- DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF :.....	63
PARTIE VI- ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIALE (EIES).	
CHAPITRE I- PROCEDURES POUR L'ETABLISSEMENT D'UNE ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....	65
1.1. Charte de l'environnement	65
1.2. Décret MECIE	66
1.3. Impacts environnementaux	66
1.4. Mode de détermination et évaluation des impacts.....	67
CONCLUSION	74
BIBLIOGRAPHIE	
WEBOGRAPHIE	
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : TEMPERATURES MENSUELLES DU SITE	13
TABLEAU 2 : PLUVIOMETRIE MOYENNE MENSUELLE ENTRE 1961 ET 1998.....	14
TABLEAU 3 : VALEURS DE LA PLUVIOMETRIE MENSUELLE DE DIFFERENTES FREQUENCES.....	14
TABLEAU 4 : MOYENNE MENSUELLE DES VITESSES DU VENT DU SITE.....	14
TABLEAU 5 : HUMIDITE RELATIVE DU SITE	15
TABLEAU 6 : INSOLATION REELLE ET THEORIQUE	15
TABLEAU 7 : RECAPITULATION DES CARACTERISTIQUES DES BV.....	20
TABLEAU 8 : VALEURS DE T_{C1} ET T_{C2} SELON LA FORMULE DE PASSINI.....	21
TABLEAU 9 : RESULTATS DU DEBIT DE CRUE DECENNALE SELON LA METHODE LOUIS DURET	22
TABLEAU 10 : VOLUME DE CRUE DECENNALE.....	23
TABLEAU 11 : VOLUME DE RETENUE EN FONCTION DES COTES DE LA ZONE D'ETUDE A PARTIR DU MNT	26
TABLEAU 12 : CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT BV.....	29
TABLEAU 13 : EMBLEMES DES OUVRAGES LE LONG DE LA ROUTE EN FONCTION DU TERRAIN NATUREL	38
TABLEAU 14 : LES VALEURS DES COEFFICIENTS D'ELASTICITE DU SOL EN FONCTION DES CARACTERISTIQUES DU SOL, TIREES DU LIVRE FORMULAIRE DE L'INGENIEUR PAGE 151.....	46
TABLEAU 15 : REPARTITION DES COEFFICIENTS D'ALDEGHERI	54
TABLEAU 16 : LES RESULTATS DES CALCULS EFFECTUES POUR LES BESOINS BRUTS DE LA CULTURE ET LE DFC SONT DONNES DANS LE TABLEAU SUIVANT :	58
TABLEAU 17 : LES RESULTATS DE L'ADEQUATION RESSOURCE-BESOIN SONT DONNES PAR LE TABLEAU CI-DESSOUS :	58
TABLEAU 18 : INDICES QUI CARACTERISENT LE COEFFICIENT DE DEBOURSE.....	62
TABLEAU 19 : DEVIS DU DALOT A 03 OUVERTURES	63
TABLEAU 20 : DEVIS DU DALOT A 02 OUVERTURES	63
TABLEAU 21 : DEVIS DES 33 BUSES.....	63
TABLEAU 22 : RECAPITULATION DES COUTS DES OUVRAGES	64
TABLEAU 23 : NOTE D'EVALUATION DES IMPACTS	68
TABLEAU 24 : IMPACTS NEGATIFS SUR LE MILIEU BIOPHYSIQUE	68
TABLEAU 25 : IMPACTS NEGATIFS SUR LE MILIEU SOCIAL ET ECONOMIQUE	69
TABLEAU 26 : IMPACTS POSITIFS SUR LE MILIEU BIOPHYSIQUE :	70
TABLEAU 27 : IMPACTS POSITIFS SUR LE MILIEU SOCIAL ET ECONOMIQUE	70
TABLEAU 28 : MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS NEGATIFS.....	71
TABLEAU 29 : MESURES D'ACCOMPAGNEMENT DES IMPACTS POSITIFS	72

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : DEBIT DE LA RIVIERE 1 ET DE LA RIVIERE 2.....	23
FIGURE 2 : PHENOMENE DE LAMINAGE DE CRUE.....	29
FIGURE 3 : METHODE DE RESOLUTION GRAPHIQUE SELON L'EPURE DE BLACKMORE ..	31
FIGURE 4 : CONSTRUCTION PRATIQUE A L'EPURE DE BLACKMORE.....	33
FIGURE5 : COURBE D'AJUSTEMENT DE SURFACE EN FONCTION DE LA HAUTEUR	34
FIGURE 6 : FORME DE LA BUSE	35
FIGURE 7 : HYDROGRAMME DE CRUE.....	37
FIGURE 8 : RESULTAT DU DEBIT DE SORTIE EN FONCTION DE LA HAUTEUR.....	40
FIGURE 9 : RESULTAT DE L'EPURE DE BLACKMORE :	41
FIGURE 10: CREATION DE LIGNES DE CONSTRUCTION POUR LA MODELISATION	44
FIGURE 11 : DETERMINATION DES CHARGES APPLIQUEES A LA STRUCTURE SUR ROBOT.....	44
FIGURE 12 : FENETRE DE CALCUL DES FERRAILLAGES	45
FIGURE 13 : EMBLACEMENT DE LA CHARGE ROULANTE	48
FIGURE 14 : DALLE 1 :	48
FIGURE 15 : PANNEAU 1 :	49
FIGURE 16 : CHARGE REELLE APPLIQUER SUR LA BUSE	51
FIGURE 17 : APPLICATION SUR ROBOT	52
FIGURE 18 :LE RAYONNEMENT JOURNALIER ET L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE :	55
FIGURE 19 : LES RESULTATS DE CALCUL SONT PRESENTES DANS LE TABLEAU SUIVANT :	56
FIGURE 20 : LA PHASE DE CROISSANCE ET COEFFICIENT CULTURAL :	56
FIGURE 21 : ADEQUATION RESSOURCE BESOIN	59

LISTE DES CARTES

CARTE 1 : OUVRAGES SUR LA ROUTE BY PASS	2
CARTE 2 : OUVRAGES SUR LA ROUTE BOULEVARD DE L'EUROPE.....	5
CARTE 3 : OUVRAGE SUR LA ROUTE BRETELLE	7
CARTE 4 : SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE	9
CARTE 5 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	12
CARTE 6 : LIMITES DES BV1 ET BV2.....	17
CARTE 7 : MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN DE LA ZONE D'ETUDE COUPEE PAR LA ROUTE.....	25
CARTE 8 : DELIMITATION DU BASSIN VERSANT D'ENSEMBLE BV	28
CARTE 9 : PENTES	36
CARTE 10 : CALAGE DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT SUR LA NOUVELLE VOIE TSARASAOTRA-IVATO.....	42
CARTE 11 : CARTE D'IRRIGATION DE LANIERA.....	61

LISTE DES ABREVIATIONS

B.C.E.O.M : Bureau Central pour les Equipements d’Outre-Mer
BDE : Bordereaux des Détails Estimatifs
BPPAR : Bureau des Projets de Promotion et D’Aménagement des Régions
BV : Bassin Versant
CTGREF : Centre Technique de Génie Rural et des Eaux et Forêts
Dfc : Débit fictif continu
EIE : Etude d’Impact Environnemental
ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo
ETP : Evapotranspiration potentielle
ETR : Evapotranspiration réelle
FAO : Food and Agricultural Organisation
GPS: Global Positioning System
HTVA : Hors Taxe sur la Valeur Ajoutée
MECIE : Mise En Compatibilité des Investissements avec l’Environnement
MNT : Modèle Numérique du Terrain
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
ONG : Organisme Non Gouvernementale
RN : Route National
SIG : Système d’Information Géographique
TVAC : Taxe sur la Valeur Ajoutée Comprise
WGS : World Geodesic System

INTRODUCTION

Actuellement, la route est un élément indispensable à la vie humaine. Elle tient une place prépondérante dans le développement d'un pays, en l'occurrence ceux qui sont en voie de développement tel que Madagascar. Une bonne infrastructure routière est un des facteurs importants pour un bon développement économique car elle facilite la mobilité, réduit les temps de parcours dans un confort, favorise les échanges commerciaux, le tourisme, l'accès à l'emploi et aux services sociaux de base, et la valorisation des ressources. Toute submersion d'une route peut pourtant avoir des conséquences négatives : la gêne voire la suspension de la circulation, la dégradation de la route elle-même (diminution de la portance).

La création de route perturbe les écoulements naturels. L'assainissement de la voie routière est alors indispensable pour régler les problèmes causés par l'eau et la crue, notamment celui de la route de Tsarasaotra-Ivato dans le cas d'Antananarivo, car celle-ci se trouve dans la plaine Laniera, principalement constituée de rizières. Pour assurer le bon fonctionnement l'assainissement de la route avec l'irrigation, des ouvrages de franchissement bien dimensionnés le long de la route et d'irrigation de la plaine sont à procéder, d'où l'intitulé de ce mémoire : « **Simulation du calage des ouvrages hydrauliques sur des voies construites sur des plaines inondables – application sur la nouvelle voie Tsarasaotra Ivato** ».

Dans cette étude, notre travail sera divisé en six grandes parties. En premier lieu, nous allons effectuer des diagnostics des ouvrages de franchissement de route en remblai sur quelques cas existant à Antananarivo, puis voir particulièrement le cas de la nouvelle voie Ivato Tsarasaotra en termes de sens d'écoulement. Ensuite, nous ferons l'étude hydrologique de la zone et celle des ouvrages de franchissement adéquats à cette nouvelle voie (Tsarasaotra-Ivato). En dernier lieu, nous allons faire des études financière et environnementale pour la prise de décision dans l'exécution du projet.

**PARTIE I : DIAGNOSTIC DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENTS DES CAS
EXISTANTS DES ROUTES EN REMBLAI A ANTANANARIVO.**

Allons faire des diagnostics des ouvrages de franchissement sur les routes en remblai existant à Antananarivo, soit sur By Pass, Boulevard de l'Europe et sur Bretelle.

CHAPITRE I- ETUDES ET DIAGNOSTICS ROUTIERS DES CAS EXISTANTS SUR ANTANANARIVO :

1.1. Route By pass :

La route By pass est la route entre Ambohimangakely (rond-point RN2) et Tanjombato (rond-point RN7). Les ouvrages de franchissement sont plus ou moins suffisants sur By pass, ce qui explique son irrigation pas trop perturbée ; néanmoins, il y a quelques parties de la plaine, au niveau des rizières, qui sont en manque d'eau, et d'autres en surélévation d'eau. Le remblaiement est un facteur aggravant la montée d'eau sur cette plaine, et pourtant il ne cesse d'augmenter au bord de cette route. Il est alors nécessaire de placer des ouvrages de canalisation en béton ou en maçonnerie de moellons sur la partie Est de la route By Pass, afin d'évacuer les eaux stagnantes.

Voyons l'illustration de ces ouvrages (diagnostic et constatation sur terrain) sur la carte ci-dessous, carte élaborée à partir des données GPS.

Carte 1 : Ouvrages sur la route By Pass



1.2. Route Boulevard de l'Europe :

Du point de vue assainissement, les dégâts par les remblaiements de terre à cause des nouvelles constructions sont, pour la portion de la route Boulevard de l'Europe, sur la partie ouest, de 67 Ha à Ankorondrano.

La carte ci-dessous nous illustre les ouvrages d'assainissement sur cette route.

Carte 2 : Ouvrages sur la route Boulevard de l'Europe



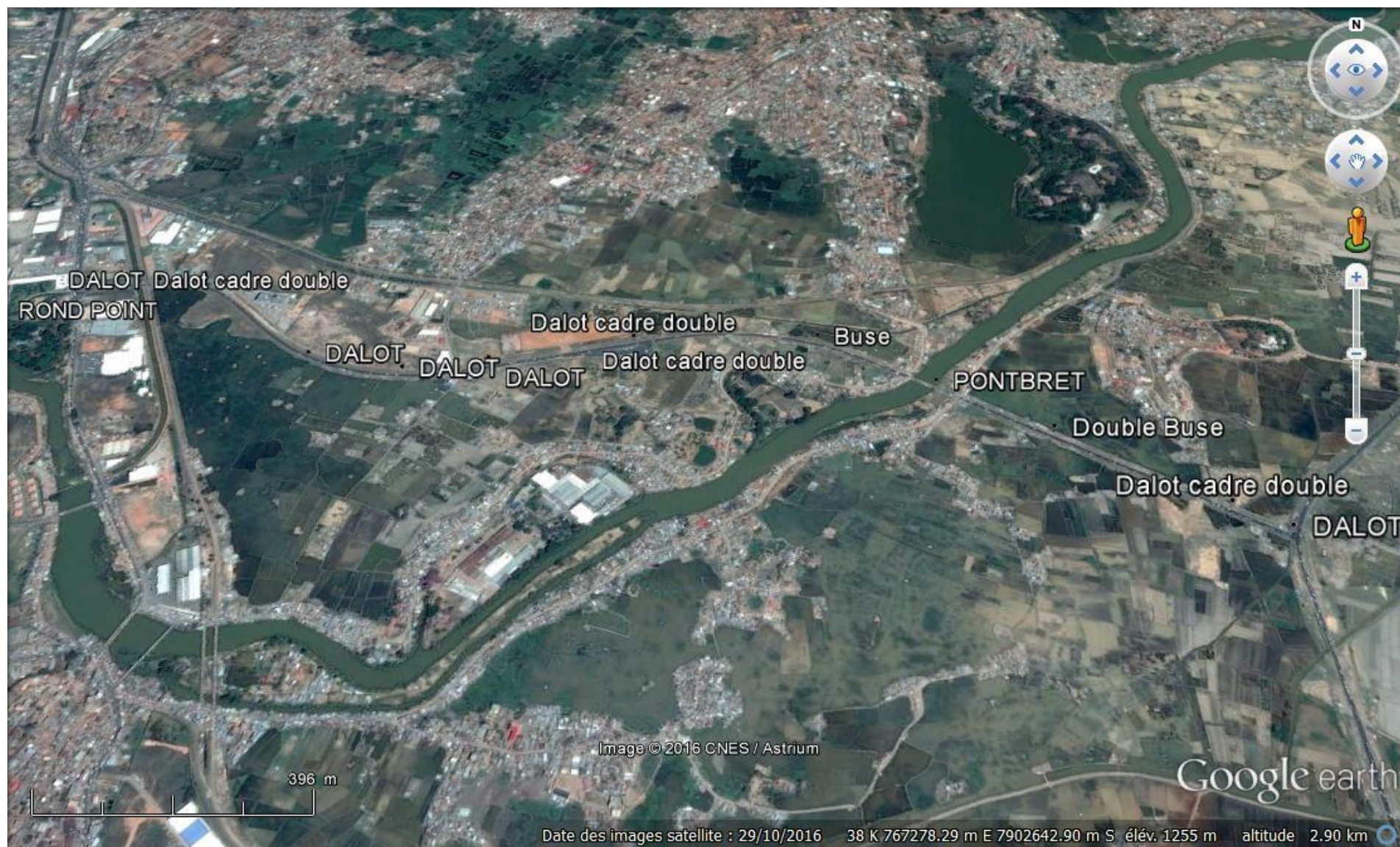
1.3. La route Bretelle Ankadimbahoaka :

Sur la route Bretelle, à 2,5 km d'Ankadimbahoaka vers le sud, suivant la RN 7, la plupart des dalots sont bouchés par les éboulements et les ordures ménagères, notamment les matières plastiques. Cela explique l'inondation de la partie sud de cette route en période pluvieuse et la stagnation des eaux sur la partie nord.

Remarquons que les routes Boulevard de l'Europe et Bretelle jouent le rôle de digue.

L'illustration des ouvrages routiers de la dite route est sur la carte ci-dessous :

Carte 3 : ouvrage sur la route Bretelle



La liste des photos de certains de ces ouvrages se trouve en annexe I.

Les ouvrages hydrauliques de franchissement sur les trois routes en remblaie sont insuffisants, mais encore certains de ceux de la route Bretelle sont bouchés, sans doute à cause de leur manque d'entretien.

Le remblayage des plaines dans la capitale de Madagascar doit être fortement interdit parce que cela favorise l'inondation et la perturbation de l'agriculture dans ces plaines. Cependant, comme les collines sont saturées, les Tananariviens ont dû s'installer en périphérie, sur les quartiers bas et les rizières en les remblayant. C'est ce qui explique les eaux stagnantes, l'inondation des parties basses de la ville et même le danger des vies humaines, pendant les périodes de crues.

CHAPITRE II- INTERPRETATION DES PROBLEMES DE DUALITE ENTRE ROUTE ET BARRAGE :

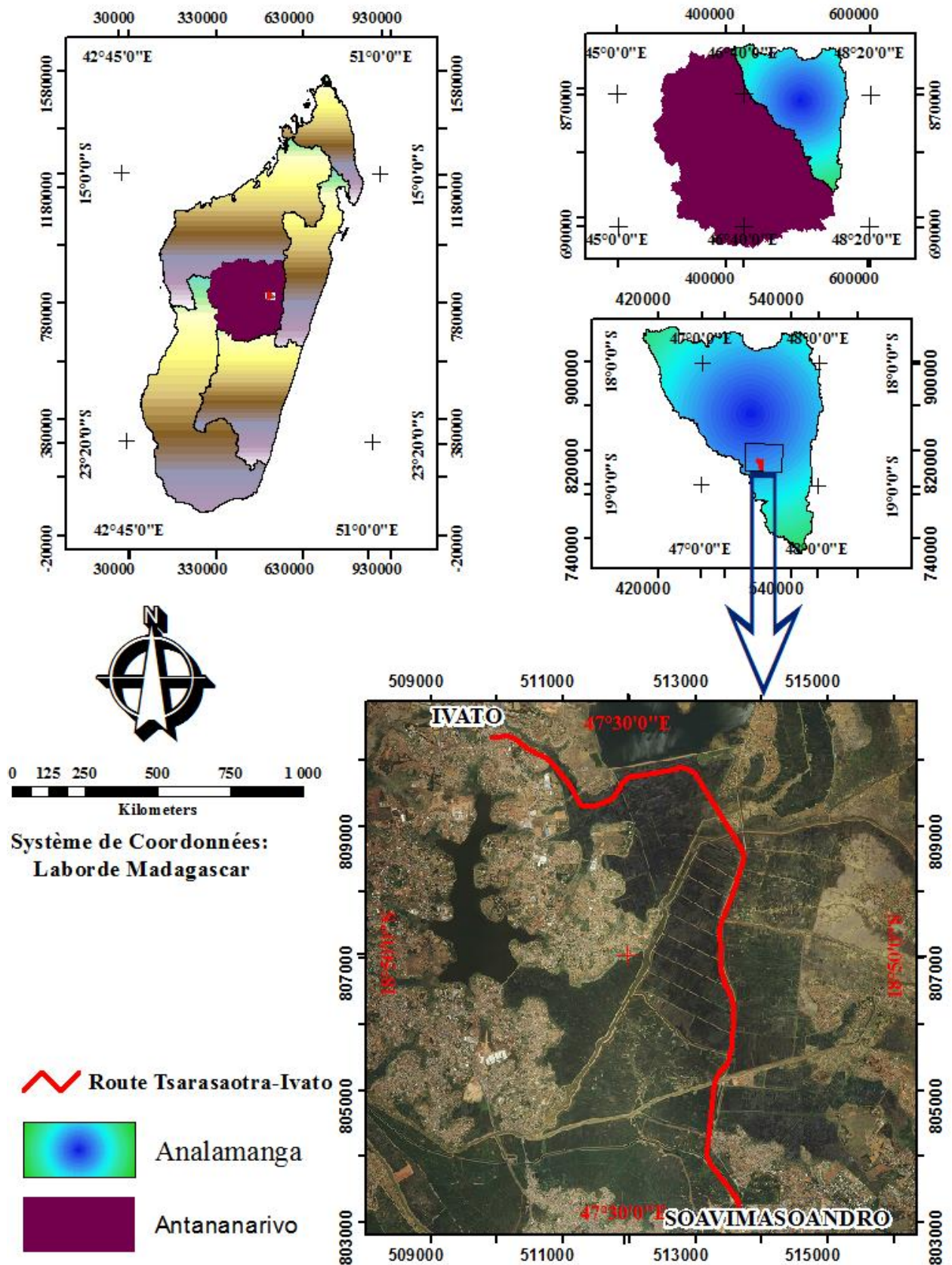
Une route construite en remblaie dans une plaine pourrait modifier ou même bloquer l'écoulement naturel des eaux, dans le cas où les ouvrages hydrauliques étaient insuffisants, car elle jouera un rôle de barrage. Cela est prouvé par le fait qu'en période de crue, les hauteurs des eaux de part et d'autre de ladite route sont différentes. Et comme il s'agit de plaine, les problèmes d'irrigation devraient être réglés.

**PARTIE II : ÉTUDE DES CAS DE LA NOUVELLE VOIE IVATO TSARASAOTRA
EN TERMES DE SENS D'ÉCOULEMENT.**

CHAPITRE I- GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE

1.1. Situation géographique de la zone d'étude :

Carte 4 : Situation de la zone d'étude



1.2. Relief de la zone et potentialité du sol

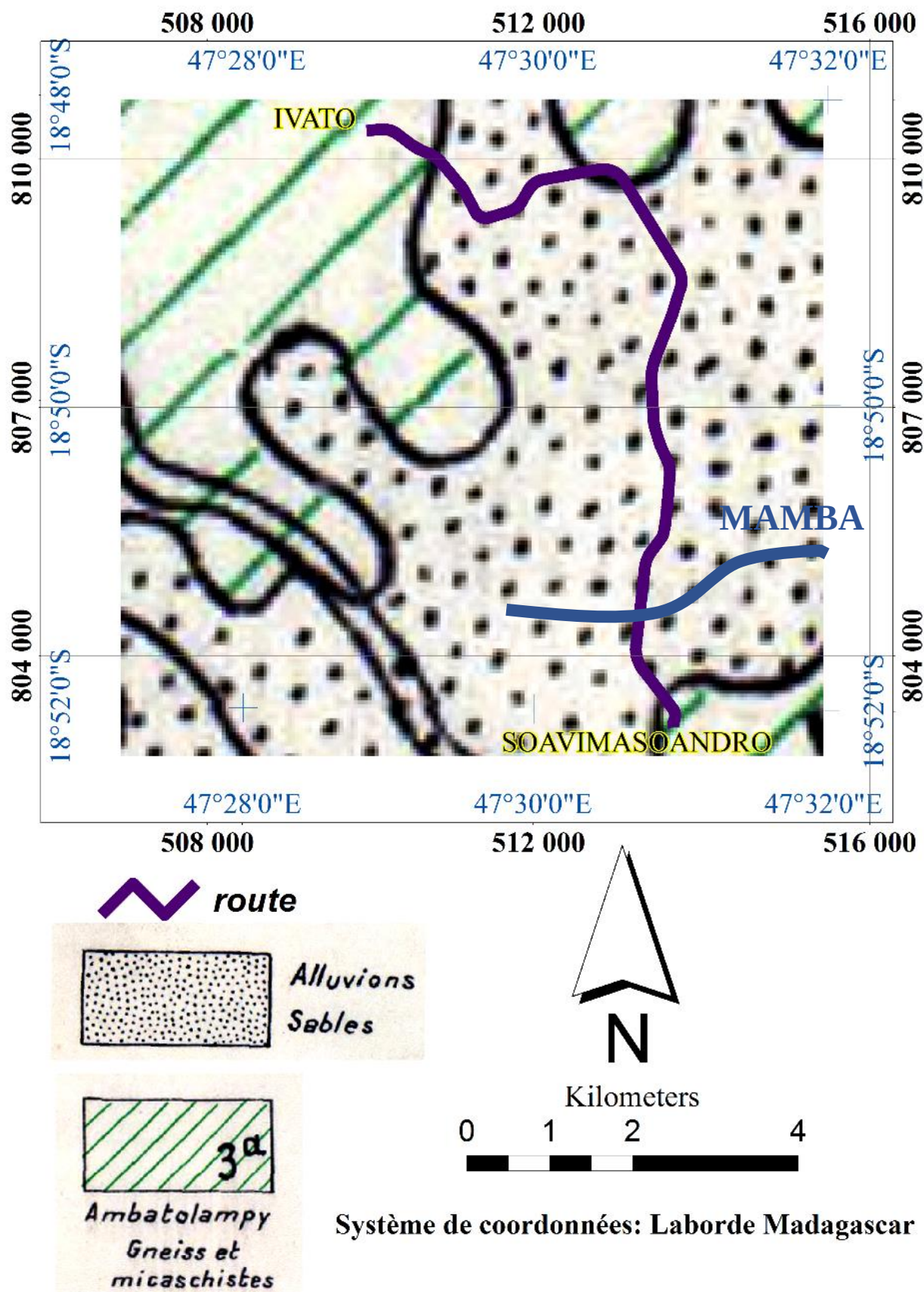
En général, la zone d'étude est une plaine, son bassin versant est doté, d'une part, d'un relief composé de plaines littorales, et d'autre part, de collines moins accidentées et à très faibles altitudes.

1.3. Hydrographie

L'hydrographie de la zone est marquée par la rivière Mamba, un des affluents de la rivière IKOPA au niveau de la plaine d'Antananarivo. Cette dernière figure parmi les grandes rivières de Madagascar.

1.4. Géologie

Carte 5 : Carte géologique de la zone d'étude



CHAPITRE II- CLIMATOLOGIE

2.1. Définition :

Dans son sens le plus courant, « le climat est l'ensemble des qualités de l'atmosphère d'un lieu sur une longue durée ». Selon l'Encarta 2009, le climat est la météorologie moyenne sur une période d'environ 30 ans.

Par ailleurs, la climatologie s'intéresse sur l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des paramètres requis au niveau d'une station météorologique. Mais ce qui nous intéresse et fait l'objet de notre étude sont : la température de l'air ; la pluviométrie ; la direction et la vitesse du vent ; l'humidité de l'air et l'évapotranspiration.

2.2. Climat :

La zone d'étude appartient à la région des Hauts plateaux du centre de Madagascar. Cette région est soumise à un climat tropical d'altitude relativement frais et humide.

2.2.1. Température

La zone d'étude est caractérisée par une température moyenne annuelle de 25°C. Les données disponibles de la température sont celles relevées à la station d'Ivato-Aéroport.

Tableau 1 : Températures mensuelles du site

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmax [°C]	27,0	26,2	27,0	26,1	24,1	22,0	21,1	22,1	24,3	26,6	27,8	28,0
Tmin [°C]	17,4	17,6	16,9	15,7	13,3	11,1	10,2	10,7	11,5	13,5	15,6	16,6
Tmoy [°C]	22,2	21,9	22,0	20,9	18,7	16,6	15,7	16,4	17,9	20,1	21,7	22,3

(Source : Direction des Exploitations Météorologiques Ampasapito)

2.2.2. Pluviométrie

La station météo la plus proche est celle d'Ivato Aéroport. Malheureusement, les données existantes sont insuffisantes pour les études statiques. Il n'en a que 10 années d'observation.

Les séries de 38 années d'observation de pluie mensuelle et de 49 années d'observation de pluie maximale journalière à la station Antananarivo Observatoire sont utilisées, pas vraiment éloignée de notre zone d'étude.

Entre les années d'observation de 1961 à 1998, la pluviométrie moyenne annuelle est de 1321,8 mm. Les pluviométries moyennes mensuelles varient de 7,4 mm à 283 mm.

Le tableau suivant donne les résultats de la pluviométrie moyenne mensuelle et de l'écart-type du site d'étude.

Tableau 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle entre 1961 et 1998

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
Moyenne	283	263	177	46	20	7	10	13	12	59	153	279	1321,8

(Source : Direction des Exploitations Météorologiques Ampasapito)

Les détails des données pluviométriques sont donnés en annexe II.

2.2.2.1. Pluviométrie de différentes fréquences :

Les données de pluie annuelle ont été ajustées par la loi normale de Gauss. Après vérification de celle-ci de Khi-deux χ^2 , le détail de calcul figure en annexe II.

La pluviométrie quinquennale sèche annuelle est égale à 1105 mm.

La distribution mensuelle de **P5s** s'obtient en appliquant le pourcentage de répartition mensuelle sur la pluviométrie moyenne annuelle au sein de la station étudiée, détaillé dans l'annexe II.

Tableau 3 : Valeurs de la pluviométrie mensuelle de différentes fréquences

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
P5s	236,6	220	148	38,7	16,4	6,2	8,4	11	10	50	128	234	1105,1

(Source : Direction des Exploitations Météorologiques Ampasapito)

2.2.2.2. Pluviométries maximales journalières de différentes fréquences

La pluie maximale journalière de fréquence décennale humide est obtenue par ajustement statistique suivant la loi de GUMBEL qui a été vérifiée par le test de Khi-deux χ^2 . (Conférer annexe II). Elle est égale à 119 mm.

2.2.3. Vent et cyclone

Le vent est modéré toute l'année, avec une dominance de l'Alizé du Sud-Est, d'avril à septembre.

Tableau 4 : Moyenne mensuelle des vitesses du vent du site

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Direction	NE/NW	NE/NW	E/NW	E/NW	SE	SE	E/N	E/NW	E/NW	E/NW	E/NW	E/NW
V [km/h]	12	11	10	9	9	11	13	14	16	15	16	12
V [km/j]	288	264	240	216	216	264	312	336	384	360	384	288

(Source : Direction Générale de la Météorologie Ampandrianomby)

2.2.4. Humidité relative

L'humidité relative participe directement dans le processus des pertes par évaporation des eaux de surface. Pour les bassins versants de la zone d'étude, nous avons utilisé les données recueillies à la station d'Ivato Aéroport (conférer Annexe I).

Tableau 5 : Humidité relative du site

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
HR [%]	78	80	77	72	68	63	61	58	54	54	64	70

(Source : Direction des Exploitations de la Météorologie Ampandrianomby)

2.2.5. Insolation

L'insolation représente la durée du jour sans nuage. A part la nébulosité, elle dépend de la position du soleil, de la latitude et du jour de l'année. Elle est exprimée en nombre d'heure et le rayonnement favorise l'évaporation.

Pour le bassin versant de notre zone d'étude, les données relatives à l'insolation mensuelle sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 6 : Insolation réelle et théorique

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
n [h]	7,78	7,75	6,55	6,46	6,43	6,43	6,47	6,40	6,35	5,95	5,92	7,07
N [h]	13,00	12,60	12,20	11,80	11,40	11,20	11,24	11,58	12,00	12,48	12,86	13,06
n/N	0,60	0,62	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,55	0,53	0,48	0,46	0,54

(Source : Direction des Exploitations de la Météorologie Ampandrianomby)

[h] : heure

Où : n, désigne la durée d'insolation réelle mesurée sur le site

N, désigne la durée d'insolation maximale théorique en fonction de la latitude et de la période de l'année.

n/N, désigne l'insolation relative

2.2.6. Evapotranspiration

L'évapotranspiration réelle (ETR) est la quantité réelle d'eau évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libres d'un bassin versant (J.P. Laborde, Eléments d'Hydrologie de surface, Edition 2009).

CHAPITRE III-HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ÉTUDE :

D'après le Modèle Numérique de Terrain conçu à partir des courbes de niveau équidistant de 1m téléchargées à partir du logiciel global mapper 15, il y a deux bassins versants générant des débits vers la rivière Mamba qui prennent source au Nord-Est de l'agglomération.

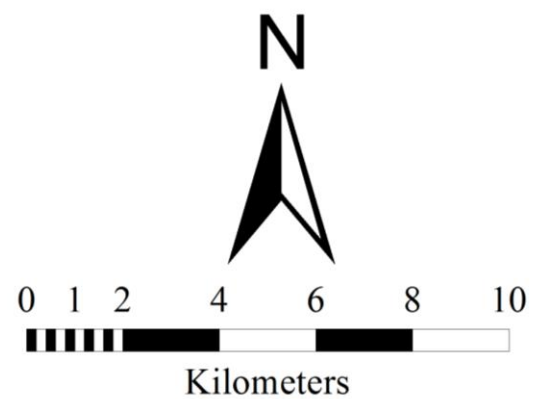
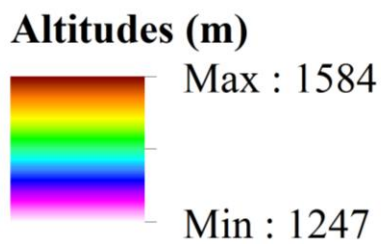
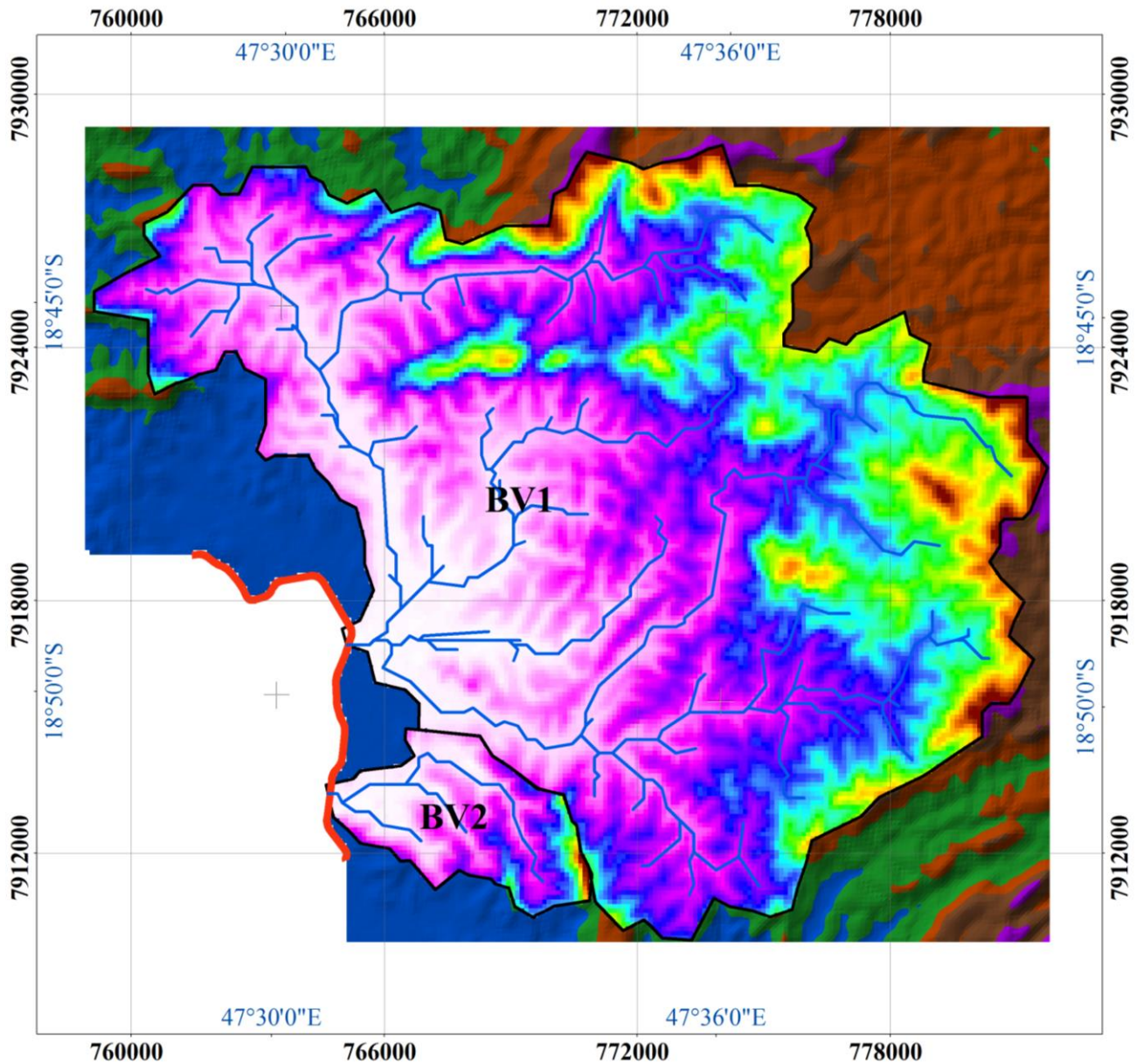
3.1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude

3.1.1. Caractéristiques géomorphologiques

Le bassin versant est l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. C'est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section de contrôle appelée exutoire.

Selon le Modèle Numérique de Terrain, dans cette étude les deux bassins versants sont considérés générant des débits qui passent sur la nouvelle voie Tsarasaotra -Ivato.

Carte 6 : Limites des BV1 et BV2



Système de coordonnées: UTM Zone 38 Sud

3.1.1.1. Surface et perimetre

La surface (S) d'un bassin versant est la portion du plan délimité par son contour ou périmètre (P). Sa mesure peut se faire soit à l'aide d'une planimétrie, soit par la méthode des petits carrés, soit par l'utilisation d'un logiciel SIG (Système d'Information Géographique).

Dans notre cas, on a tracé à l'aide du logiciel ARCGIS 10.1, un logiciel SIG, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain transformé en image raster élaboré à partir des courbes de niveaux téléchargé par le logiciel global mapper. En système de coordonnées WGS 84 Zone 38 Sud, puis traitée.

3.1.1.2. Drain principal

C'est le plus long cheminement hydraulique noté L_{riv} , obtenu en traçant sur la carte à l'aide du logiciel ARCGIS 10.1.

3.1.1.3. Forme du bassin versant

La forme du bassin versant a une influence sur l'allure de l'hydrogramme à son exutoire. L'indice de compacité de Gravelius (1914), noté K_G , permet de caractériser la forme du bassin versant. Elle est définie comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{S} \quad (1)$$

Où :

K_G , désigne l'indice de compacité de Gravelius [adimensionnel]

P, désigne le périmètre du bassin versant

[km] S, désigne la surface du bassin versant

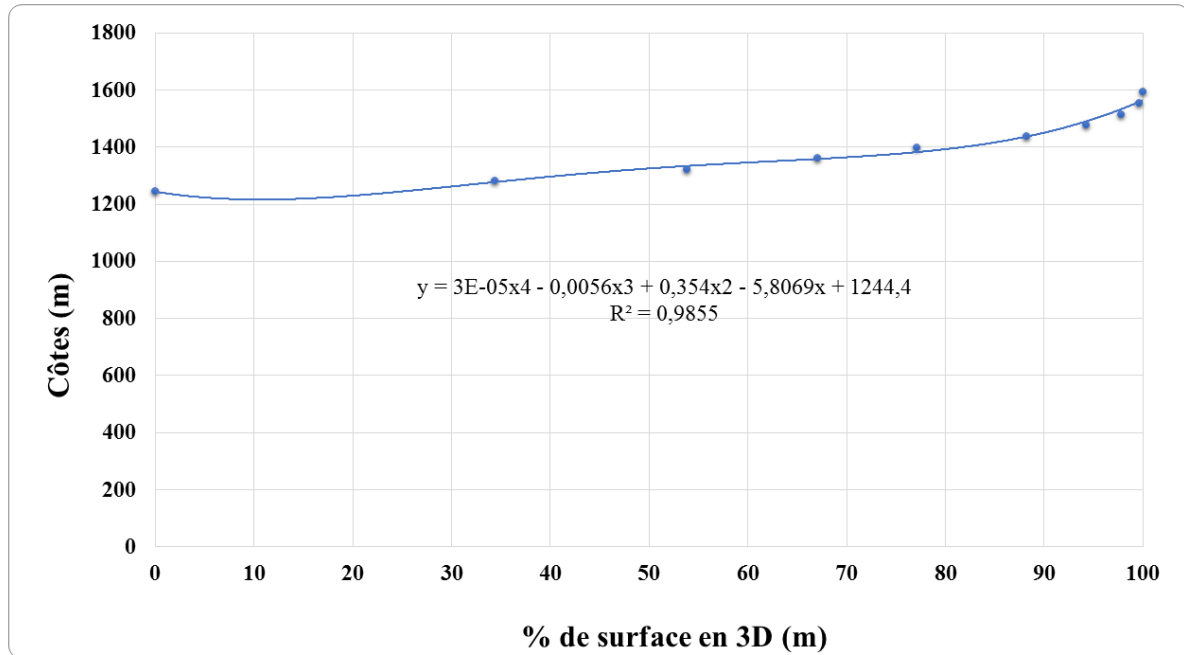
[km²]

Plus la valeur de K_G est proche de 1, plus la forme du bassin est arrondie, par contre si K_G est largement supérieur à 1, on a une forme allongée. Hydrologiquement, cela signifie que pour une même pluie, un bassin de forme allongée favorise de plus faibles débits de pointe de crue, ceci est dû à un cheminement important de l'eau à l'exutoire. Par contre, un bassin de forme arrondie présente un temps de concentration plus court et génère des débits de pointe plus forte.

3.1.1.4. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est la représentation de la surface des deux bassins versants, exprimée en pourcentage, en fonction de l'altitude. Elle donne un bon aperçu de la répartition altimétrique du bassin versant. Elle porte en abscisse le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus de l'altitude représentée en ordonnée (Figure ci-dessous).

Courbe hypsométrique des bassins versants donnée par l'MNT coupé par la route, surfaces 3D du MNT en fonction des côtes.



3.1.1.5. Rectangle équivalent

La notion du rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Il s'agit de transformer géométriquement le bassin en un rectangle de même périmètre et de même surface dont les dimensions peuvent être calculées à partir des relations suivantes :

$$L_{req} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right) \quad (2)$$

$$l_{req} = \frac{P}{2} - L_{req} \quad (3)$$

Où :

L_{req} , désigne la longueur du rectangle équivalent

[km] l_{req} , désigne la largeur du rectangle équivalent

[km]

3.1.1.6. Pente du bassin versant

C'est une caractéristique topographique très importante qui conditionne directement deux facteurs du cycle de l'eau : le ruissellement et l'infiltration. Deux manières peuvent être utilisées pour calculer la pente d'un bassin versant, selon les données utilisées, soit :

- A partir des altitudes maximales et minimales, selon la formule de Louis Duret :

$$I = \frac{0,95(Z_{max} - Z_{min})}{L_{req}} \quad (4)$$

Où :

I, désigne la pente moyenne du bassin versant [m/km]

Z_{max}, désigne l'altitude maximale ou cote du point culminant du bassin versant [m]

Z_{min}, désigne l'altitude au niveau de l'exutoire [m]

L_{req}, désigne la longueur du rectangle équivalent [km]

- A partir des courbes hypsométriques, selon la relation suivante :

$$I = \frac{|Z_{5\%} - Z_{95\%}|}{L_{req}} \quad (5)$$

|Z_{5%} - Z_{95%}| est la différence des altitudes respectivement à 5% et 95% de la surface du bassin versant.

3.1.1.7. Indice de pente

M. Roche a défini l'indice de pente en tenant compte de la totalité du relief du bassin versant :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{req}}} \sum_{i=1}^n \sqrt{S_i(d_{i-1} - d_i)} \quad (6)$$

Où :

I_p, désigne l'indice de pente [adimensionnel]

L_{req}, désigne la longueur du rectangle équivalent [m]

S_i, désigne la surface comprise entre deux courbes de niveau voisines

[m²] d_i et d_{i-1}, désignent les côtes des courbes de niveaux voisines [m]

Par ailleurs, une relation reliant la pente moyenne du bassin versant et l'indice de pente a été établit par Louis Duret, selon la relation suivante $I = 1250 I_p^2$ (Louis Duret, Estimation des débits de crues à Madagascar, page 29).

Tableau 7 : Récapitulation des caractéristiques des BV

	S	P	L _{riv}	L _{req}	l _{req}		Z _{max}	Z _{min}	I	
	[km ²]	[km]	[km]	[km]	[km]	KG	[m]	[m]	[m/km]	I _p
BV1	238,5	82,2	22,3	34,1	7,00	1,49	1592	1247	9,61	0,09
BV2	15,8	18,3		6,8	2,32	1,29	1410	1247	22,71	0,13

S : surface du BV

P : Périmètre du BV

L_{riv} : longueur du plus long cheminement hydraulique

L_{req} : longueur équivalente

L_{req} : largeur équivalente

I : pente moyenne

I_p : indice de pente

K_G : indice de compacité de Gravelius

Z_{max} : côte maximale du BV.

Z_{min} : Côte minimale du BV.

3.1.2. Détermination du coefficient de ruissellement C_r

Le coefficient de ruissellement dépend du relief et de la perméabilité des terrains constituant le bassin mais il est quasiment indépendant de sa superficie. Les bassins versants sont très hétérogènes et complexes qu'il s'avère difficile de chiffrer la perméabilité. Des règles de calcul sont difficiles, voire même impossibles à définir. Les valeurs du coefficient de ruissellement C_r sont alors déduites des observations et expériences sur la zone d'étude.

Le BCEOM a proposé la formule suivante :

$$C_r = \left(1 - \frac{36}{P(24; F)}\right)^2$$

$P(24; F)$ est la pluie maximale journalière de fréquence F.

Après calcul, pour les BV de la zone d'étude, on a $C_r = 0,48$

3.1.3. Temps de concentration

C'est le temps, noté T_c , mis par une particule d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin versant de l'exutoire pour l'atteindre. Pratiquement, il peut être déduit d'une mesure sur terrain ou à l'aide des formules empiriques.

Il existe plusieurs formules empiriques permettant d'évaluer T_c , tels que : VENTURA, PASSINI, SOMEAH, CALIFORNIENNE (cf. Annexe III), mais dans cette étude, nous allons considérer la formule de PASSINI car la valeur de T_c obtenue est la plus proche de la valeur moyenne de toutes ces formules.

Tableau 8 : Valeurs de T_{c1} et T_{c2} selon la formule de PASSINI

Formule	T_c BV 1 (h)	T_c BV 2 (h)
PASSINI	5,72	2,07

3.2. Etudes des crues

A Madagascar, les débits de crue sont souvent occasionnés par des averses exceptionnelles dont la détermination exige la connaissance de l'intensité maximale de la pluie calculée sur des intervalles de temps assez faibles et ayant une fréquence déterminée.

Nous allons nous intéresser plus particulièrement au débit de crue décennale humide pour chaque bassin versant en supposant que chaque débit sera généré par la pluviométrie maximale de 24h décennale humide fautes de données hydrométriques. Dans ce chapitre, les débits maximaux de crue seront déterminés en utilisant des formules qui ne seront, évidemment, valables que sous certaines conditions liées à leur établissement.

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau ci-après. Les détails se trouvent en annexe.

Tableau 9 : Résultats du débit de crue décennale selon la méthode LOUIS DURET

	F	Débit Q (m ³ /s)
		Louis Duret
BV1	1/10	290
BV2	1/10	75

3.3. Etudes de volume de crue décennale en amont de la route :

Nous devons recourir au calcul du volume de crue décennale puisque on veut évacuer ce volume grâce aux ouvrages de franchissement que l'on dimensionnera pour éviter la submersion de la route.

Nous avons pris les débits de crue décennale humide ci-dessus.

En effet, le volume de crue décennale dans un bassin versant peut être obtenu par le débit décennal multiplié par le demi du temps de base (T_b) et diminué de la perte par évapotranspiration. Or, le temps de base est égal environ au temps de concentration (T_c) multiplié par 2, d'après le cours d'hydrologie de Jean Donnée RASOLOFONIAINA.

L'évapotranspiration est négligeable pendant le ruissellement.

L'infiltration est aussi négligeable, car le calcul est considéré pendant le temps de base, c'est-à-dire pendant le ruissellement avec lequel le terrain est quasi saturé.

Nous pouvons donc modéliser la formule suivante :

$$V_{10} \cong Q_{10} \cdot \left[\frac{T_b}{2} \right] = Q_{10} \cdot T_c - EPT - I$$

$$V_{10} = V1 + V2 = Q_{10} \cdot T_{c1} + Q_{210} \cdot T_{c2}$$

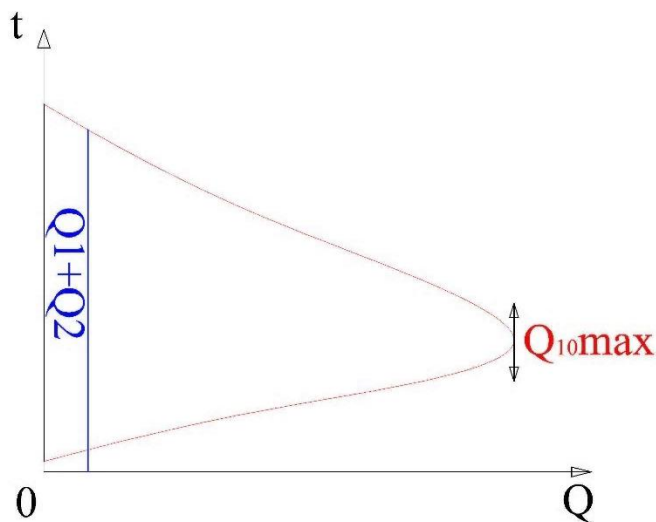
Tableau 10 : Volume de crue décennale

	Q_{10}	T_c	V	$V \text{ totale}$
	$[m^3/s]$	$[h]$	$[m^3]$	$[m^3]$
BV1	253	6,36	5 971 454	6 530 668
BV2	75	2,08	559 214	

3.4. Estimation du débit maximal transité par la rivière et le court d'eau avant ses débordements :

En utilisant la formule de Manning Strickler tenant compte des profils des terrains naturels, les débits maxima transités aux exutoires du BV1 et du BV2 sont respectivement égaux à 7,5 m³/s et 3 m³/s

Figure 1 : Débit de la rivière 1 et de la rivière 2



Les cours d'eau des deux rivières ne peuvent pas contenir les débits de crue décennale.

3.5. Estimation du volume d'eau retenu à évacuer pendant le temps de ruissellement

Le volume d'eau retenu à évacuer pendant le temps de ruissellement est le volume d'eau débordé pendant le passage de crue décennale qui est égale au volume de la crue décennale.

Le volume d'eau retenu à évacuer est équivalent à 6 530 600 m³.

3.6. Volume du contenu du bassin jusqu'à la hauteur de la route :

L'objectif est déterminé si la route est immergée en cas d'avènement de crue décennale humide, dans le cas d'inexistence d'ouvrages d'évacuation d'eau à part les deux dalots.

Pour atteindre cet objectif, la hauteur d'eau maximale engendrée par le volume réel de crue décennale est calculer à partir du Modèle Numérique du Terrain Elaboré sur le logiciel Arcgis 10.1 et la comparer avec la hauteur de la route donnée en profil et en travers en Annexe V.

3.6.1. Topographie de la zone de retenue

Elle est déterminée à partir de la courbe de niveau équidistante de 1m téléchargée à partir des données satellitaires mondiales, soit le logiciel global mapper.

Concernant l'étendue de la zone de retenue, l'usage des appareils topographiques y est très onéreux.

3.6.2. Méthodologie de construction du Modèle Numérique de Terrain

Les informations exploitables sur les images satellitaires via le MNT ont l'avantage d'être plus précises que sur un GPS, bien que beaucoup moins précises qu'avec les levés topographiques. En effet, en planimétrie, le MNT donne une qualité d'information infaillible, mais il est admis qu'en altimétrie, ces informations sont approximatives ; il ne peut alors remplacer les levés topographiques. La réalisation du MNT pour le site suit les étapes suivantes:

Ouvrir la zone à étudier préétablie en fichier Shapefile projeté à un système de coordonnées voulues sur le logiciel Global Mapper,

Télécharger et enregistrer la courbe de niveau avec une équidistance de 1m à l'aide du logiciel Global Mapper,

Générer et enregistrer ces courbes de niveau sur le logiciel Global Mapper,

Faire entrer les courbes de niveaux dans le logiciel Arcgis 10.1,

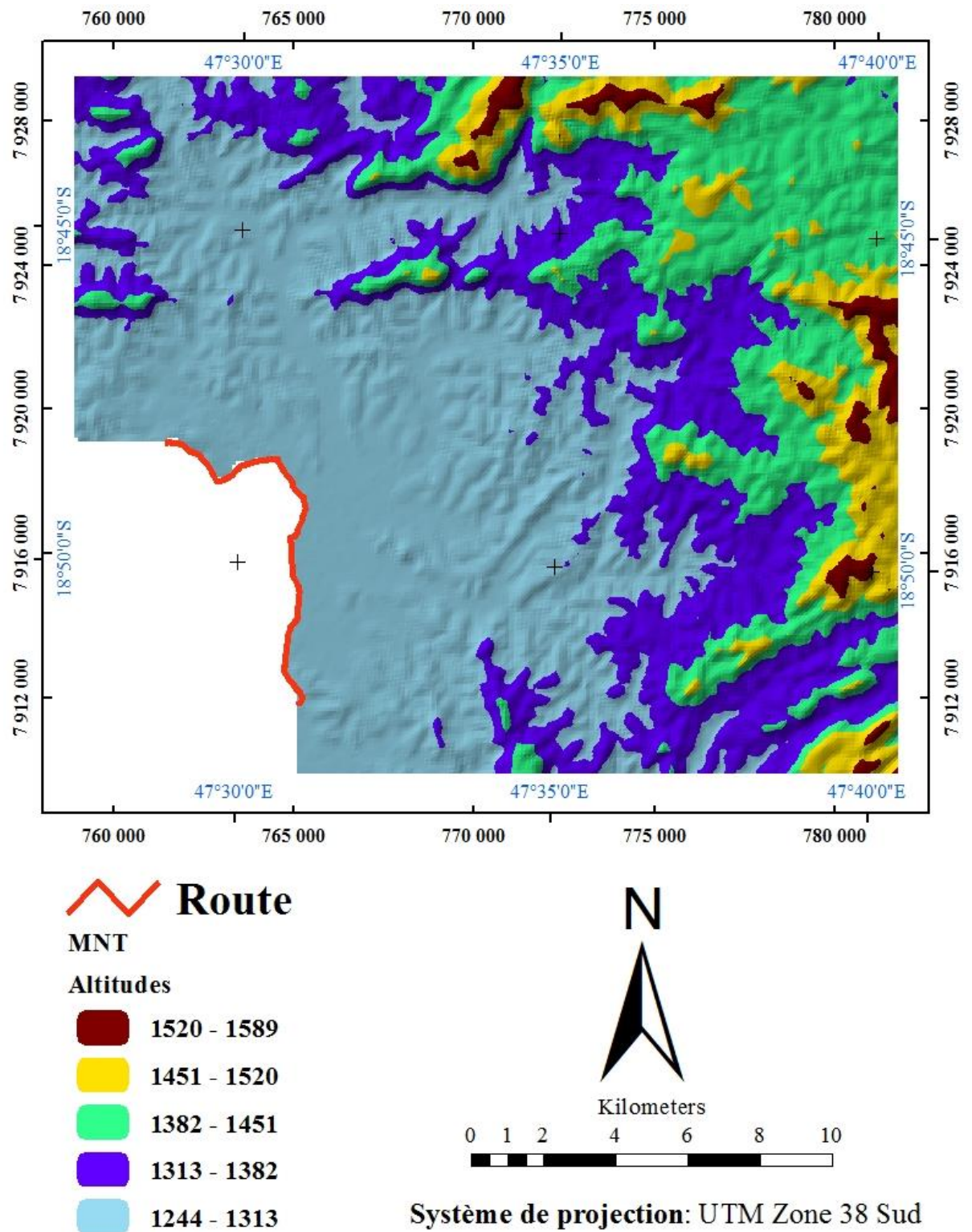
Créer le MNT sur le logiciel Arcgis 10.1.

3.6.3. Résultats de la Modélisation Numérique de Terrain par Arcgis 10.1

Les principaux résultats qui nous intéressent sont donnés dans la carte suivante :

La carte 7 ci-après, représente les altitudes en chaque point de la zone d'étude coupée par la nouvelle voie Tsarasaotra-Ivato. Elle servira de modèle de base pour tout traitement relatif à la topographie de la retenue.

Carte 7 : Modèle Numérique du Terrain de la zone d'étude coupée par la route



3.6.4. Relation hauteur-surface-volume

L'analyse de la carte 7 permet d'établir la relation hauteur-volume de crue de la zone d'étude selon la figure suivante :

A partir du MNT, Arcgis 10.1 permet de calculer tous les volumes de ruissellements en fonction des côtes choisies.

Tableau 11 : Volume de retenue en fonction des côtes de la zone d'étude à partir du MNT

Côtes [m]	H [m]	Volume
		[m ³]
1244	0	0
1245	1	2 059
1246	2	30 047
1247	3	193 710
1247,5	3,5	453 930
1248	4	1 048 025
1248,5	4,5	3 205 582
1248,9	4,9	6 300 400
1248,93	4,93	6 587 800
1248,95	4,95	6 784 500
1249	5	7 296 151

Adéquation entre le volume de la crue décennale par rapport au volume de retenue du modèle numérique du terrain :

Le volume généré par les débits débordants les rivières et court d'eau correspond à une hauteur de 4,93 [m], équivalent à la côte de 1248,93 m, côte supérieure à 1248,53 m, mesure de la côte minimale du projet de la route Tsarasaotra. (Marqué en annexe V).

Donc si la nouvelle voie Tsarasaotra-Ivato ne contient pas assez d'ouvrages de franchissement, la route est submergée et inondée sur certaines parties.

**PARTIE III- ETUDES DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE LA NOUVELLE
VOIE IVATO-TSARASAOTRA.**

Cette partie concerne l'étude des ouvrages de franchissement qui serviront à transiter les débits de crue décennale générés par l'ensemble de tous les bassins versants en amont de la route Tsarasaotra-Ivato. Rappelons que cette dernière joue le rôle d'exutoire pour tous ces bassins.

Pour la suite des calculs, nous allons considérer un grand bassin versant nommé BV englobant les BV1 et BV2.

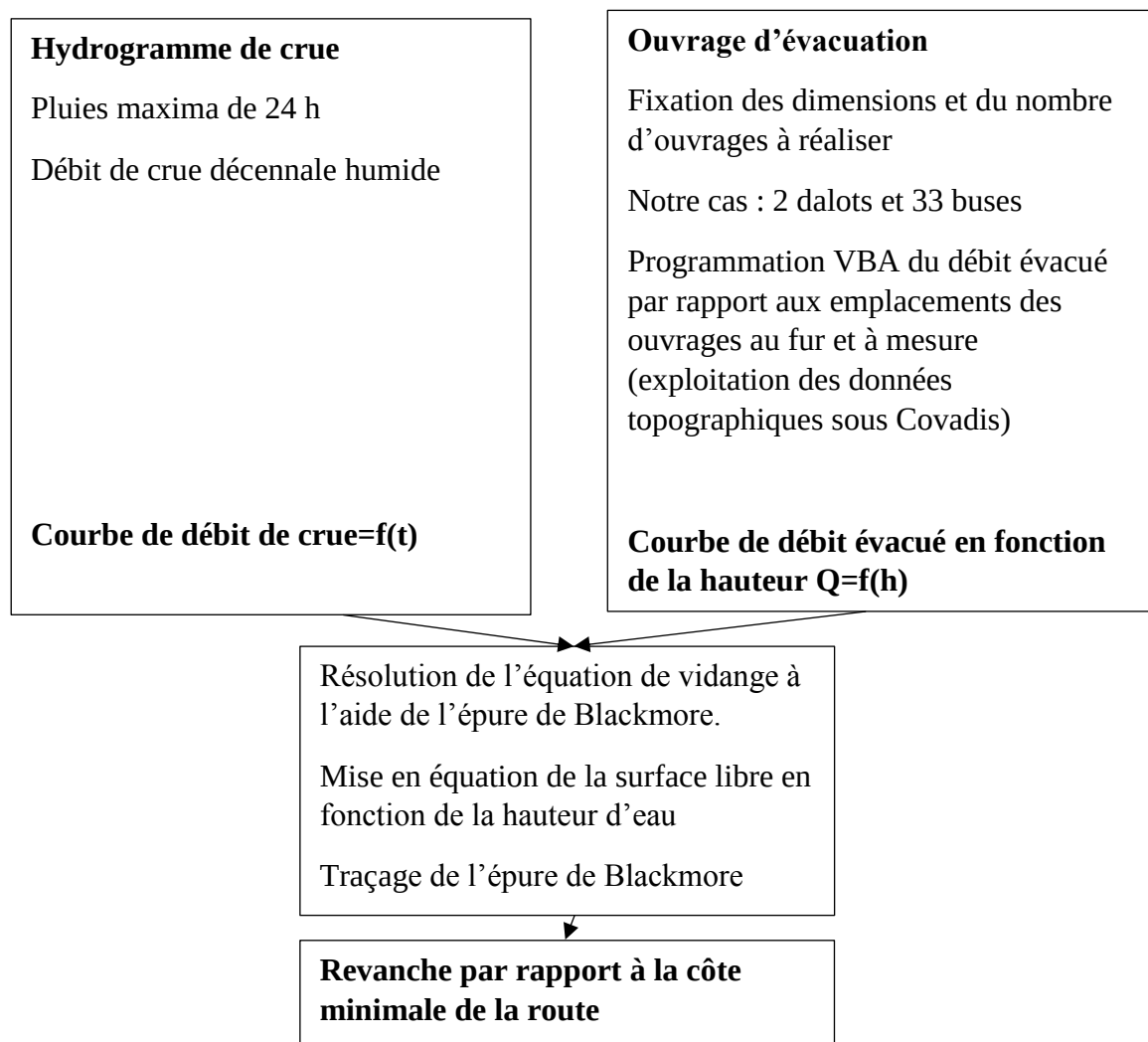
Cette partie contient en premier lieu la détermination de nouveau du débit de crue décennale du BV.

Il se présente un phénomène de crue entraînant une diminution des débits sortant des ouvrages de franchissement par rapport au pic du débit de crue. L'étude laminage qui sera détaillée dans cette deuxième partie va être faite selon la méthode graphique nommée épure de Blackmore.

En troisième lieu, les dimensionnements des ouvrages à partir du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2012 sont effectués.

CHAPITRE I : PRINCIPE DE CALAGE ET DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Principe :

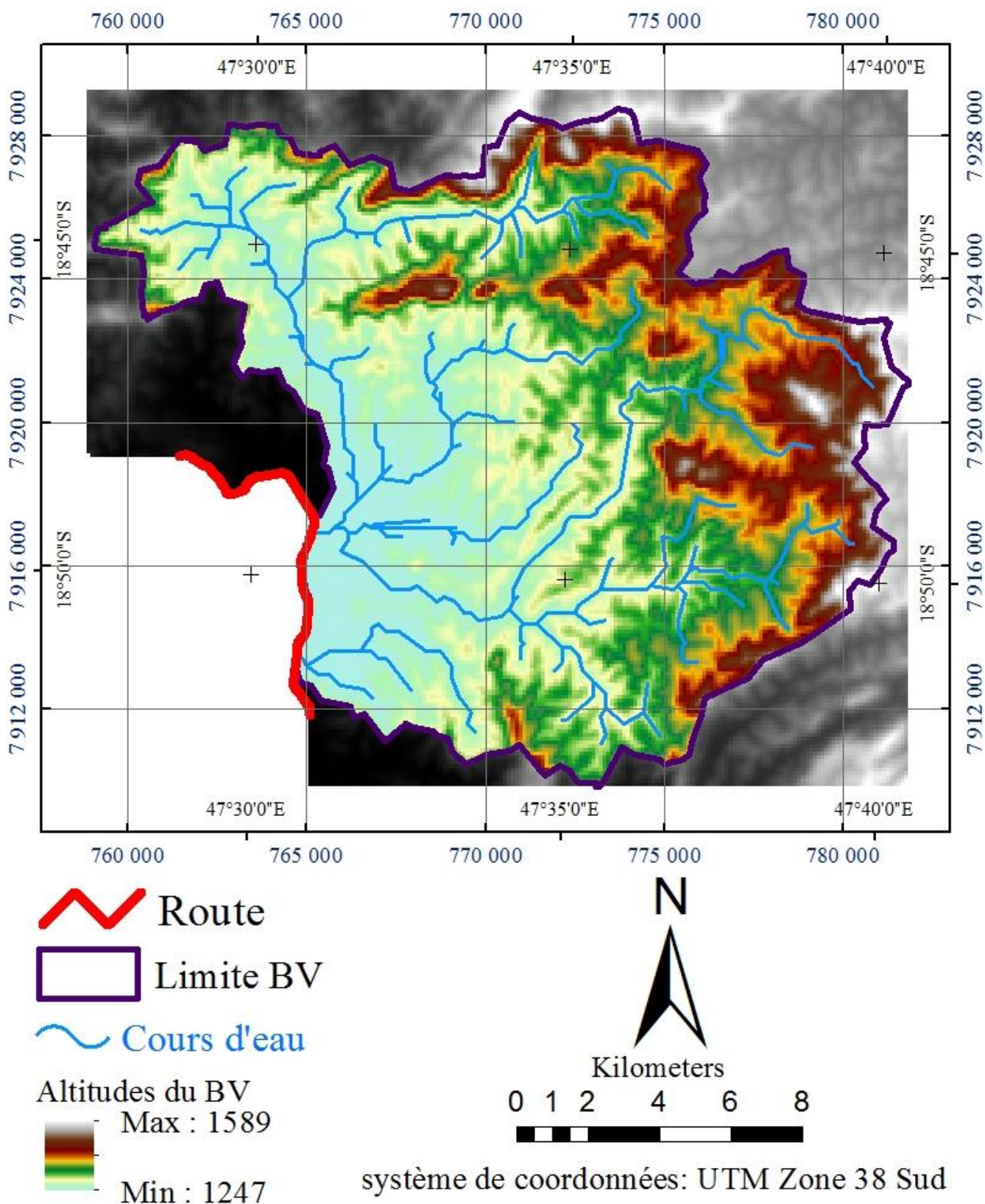


CHAPITRE II- CALCULATION DE NOUVEAU DU DEBIT DE CRUE DECENNALE

2.1. Bassin versant BV

La carte ci-après montre la délimitation du grand bassin versant BV

Carte 8 : Délimitation du bassin versant d'ensemble BV



Le tableau montrant les caractéristiques du BV est le suivant :

Tableau 12 : Caractéristiques du Bassin Versant BV.

	S	P	Lriv	Lreq	lreq	KG	Zmax	Zmin	I
	[km ²]	[km]	[km]	[km]	[km]		[m]	[m]	[m/km]
BV ensemble	258,5	87,4	22,3	36,7	7,05	1,523	1592	1247	8,94

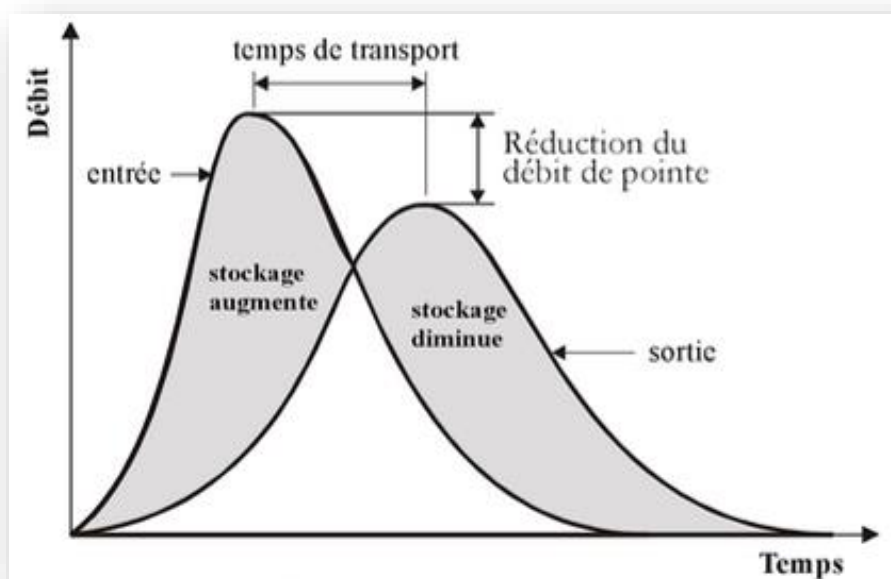
La valeur du débit de crue décennale du bassin versant assemblé est égale à 309 m³/s.

2.2. Laminage de crue :

2.2.1. Définition :

C'est la réduction du débit de pointe de son hydrogramme en fonction de la forme et de l'étendue de la surface de retenue en amont de l'exutoire.

Figure 2 : Phénomène de laminage de crue



Le débit sortant produit un hydrogramme ayant une pointe décalée dans le temps et plus faible que celle de l'hydrogramme d'entrée. L'étude du laminage de crue permet d'éviter aussi le surdimensionnement des ouvrages tels que les évacuateurs de crue.

2.2.2. Mécanisme de résolution en cas de laminage de crue

Les crues ont généralement un effet négatif sur la stabilité d'une route en remblai sur une plaine surtout en cas d'insuffisance d'ouvrage de franchissement, d'où l'importance de l'étude de l'effet de laminage sur notre zone d'étude, car nous effectuerons en même temps le calage du débit de sortie, de la hauteur d'eau laminée et du nombre d'ouvrages de franchissement que nous devons placer.

Le problème posé est celui de l'évacuation d'une crue donnée à travers un obstacle, avec débordement des eaux sur la zone amont de l'obstacle ; ce qui nécessite intervention d'une retenue.

Si dZ est l'accroissement du niveau de l'eau en amont de l'ouvrage de franchissement pendant le temps dt , l'équation qui en régit s'écrit :

$$S(Z)dZ = Q_E(t)dt - Q_S(Z)dt \quad (1)$$

Dans laquelle :

$S(Z)$: surface libre de la retenue pour une côte Z obtenue par planimétrage de la zone délimitée par la courbe de niveau Z et la route.

$Q_S(Z)$: désigne le débit de sortie à la côte Z ,

$Q_E(t)$: désigne le débit d'entrée dépendant du temps t

Dans le cas général, nous résolvons l'équation ci-dessous par la méthode des différences finies, quelle que soit la méthode numérique ou graphique utilisée.

Ecrivons l'équation sous forme de différences finies :

$$S(Z)\Delta Z = Q_E(t)\Delta t - Q_S(Z)\Delta t$$

Et prenons des pas de temps Δt suffisamment petits pour que ΔZ le soit aussi et que les variations de $S(Z)$, $Q_E(t)$ et $Q_S(Z)$ puissent être considérées comme linéaires dans les intervalles Δt et ΔZ .

Si nous considérons les instants i et $i+1$ tels que :

i	t_i	Z_i	$S_i = S(Z_i)$
$i+1$	$t_{i+1} = t_i + \Delta t$	$Z_{i+1} = Z_i + \Delta Z$	$S_{i+1} = S(Z_{i+1})$

Et aussi :

i	$Q_{E_i} = Q_E(t_i)$	$Q_{S_i} = Q_S(z_i)$
$i+1$	$Q_{E_{i+1}} = Q_E(t_{i+1})$	$Q_{S_{i+1}} = Q_S(z_{i+1})$

L'équation (2) s'écrit :

$$S_{im} \Delta Z = \frac{Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}}{2} \Delta t - \frac{Q_{S_i} + Q_{S_{i+1}}}{2} \Delta t$$

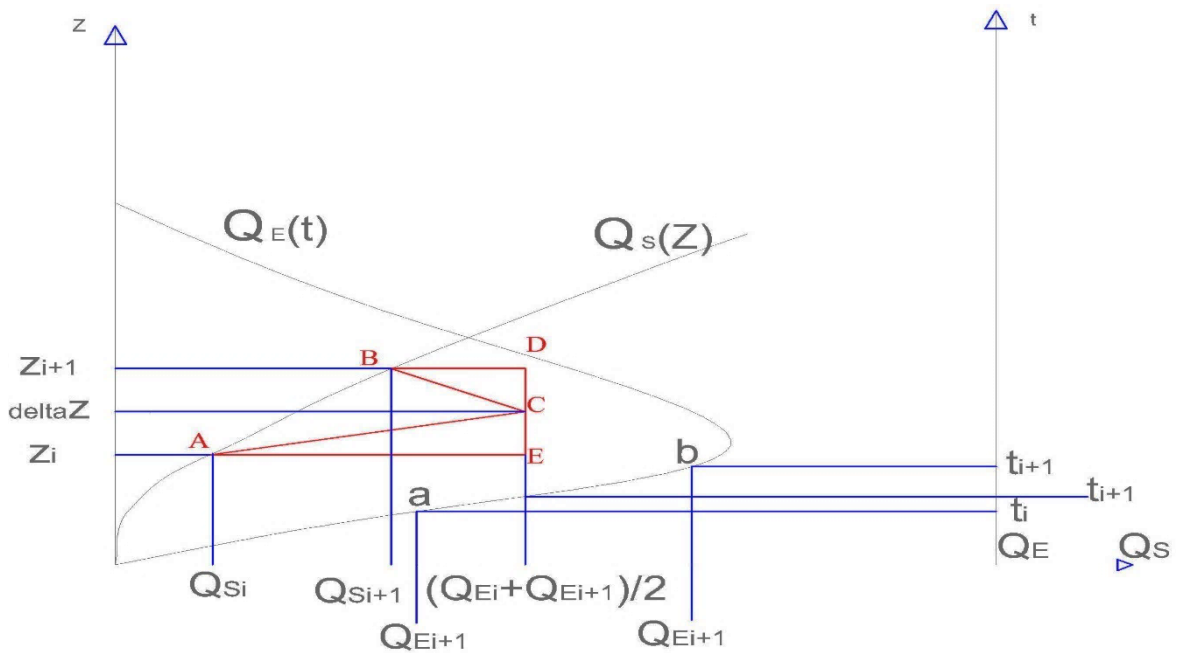
$$\text{Où : } S_{im} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}$$

Nous écrivons encore :

$$\frac{\Delta Z}{\left(Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}} \right) - \left(Q_{S_i} + Q_{S_{i+1}} \right)} = \frac{\Delta t}{2S_{im}}$$

Pour résoudre cette égalité, utilisons la méthode graphique de l'épure de Blackmore en considérant un graphique à double axes des ordonnées t et Z et à axe des abscisses commune Q_E et Q_S , montré en détail sur la figure suivante :

Figure 3 : Méthode de résolution graphique selon l'épure de Blackmore



Supposons que le problème résolu, soit B le point recherché de coordonnées $Q_{S_{i+1}}$ et $Z_{i+1} = Z_i + \Delta Z$

L'horizontale partant de C est la bissectrice de l'angle ACB, les triangles AEC et BDC sont dès lors semblables. Nous pourrions écrire :

$$\frac{CD}{BD} = \frac{EC}{AE} = \frac{EC + CD}{AE + BD}$$

Nous voyons ainsi d'après la figure que :

$$EC + CD = \Delta Z$$

Et que :

$$AE = \frac{Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}}{2} - Q_{S_i} \quad \text{et} \quad BD = \frac{Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}}{2} - Q_{S_{i+1}}$$

$$\text{D'où } AE + BD = (Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}) - (Q_{S_i} + Q_{S_{i+1}})$$

Il en résulte de ceci que :

$$\frac{EC + CD}{AE + BD} = \frac{\Delta Z}{(Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}) - (Q_{S_i} + Q_{S_{i+1}})} = \frac{EC}{AE}$$

En rapprochant cette égalité à l'équation (1), nous voyons que pour que $\Delta Z = EC + CD$ soit bien la valeur cherchée de l'accroissement ΔZ correspondant à Δt , il faut que :

$$\frac{EC}{AE} = \frac{\Delta t}{2S_{im}} \quad , \text{ ou encore : } EC = \frac{\Delta t \cdot AE}{2S_{im}}$$

Pour avoir ΔZ correspondant à Δt , connaissant les points de départ $A(Q_{S_i}, Z_i)$ et $a(Q_{E_i}, t_i)$, nous fixons un intervalle de temps Δt petit. D'où le point $b(Q_{E_{i+1}}, t_{i+1} = t_i + \Delta t)$, la verticale ED passant l'abscisse :

$$\frac{Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}}{2} \quad \text{et le segment } AE = \frac{Q_{E_i} + Q_{E_{i+1}}}{2} - Q_{S_i}.$$

Nous pouvons alors calculer EC par la relation :

$$EC(m) = \frac{\Delta t(s)}{2S_{im}(m^2)} AE(m^3/s) \quad \text{en se fixant une première valeur } S'_{im}.$$

Nous construisons alors la droite CB telle que l'horizontale issue de C soit la bissectrice de l'angle ACB. L'intersection de la droite CB avec la courbe $Q_s(Z)$ donne un premier point B' correspondant au premier essai avec S'_{im} , d'où un $\Delta Z'$.

Nous réajustons alors avec : $S''_{im} = S(Z_i) + S(Z_i + \Delta Z')$ et procédons de la même façon pour obtenir B'' , d'où $\Delta Z''$. Nous cherchons la valeur :

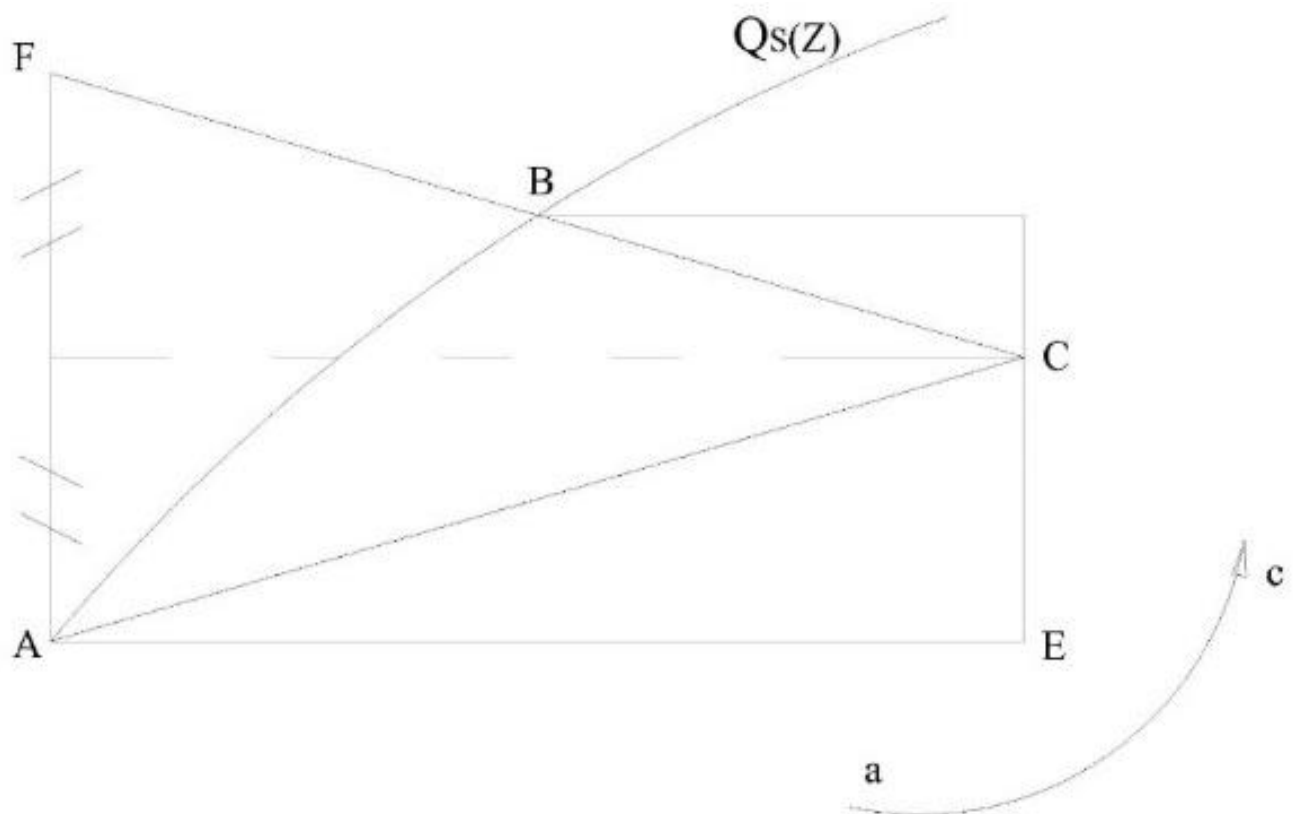
$$S'''_{im} = \frac{S(Z_i) + S(Z_i + \Delta Z'')}{2}$$

Et si $S'''_{im} \neq S''_{im}$, le point B'' est bien le point cherché et $\Delta Z'' = \Delta Z$ vérifie l'équation.

En fait, le problème est très rapidement convergent dû au fait que la courbe $S(Z)$ est connue avec une assez grande approximation. On parvient, par conséquent, à la valeur finale de Z après un nombre très limité d'essais.

Dans la construction pratique, comme il est difficile de construire l'angle avec précision, d'autant plus qu'il est souvent très petit, nous allons procéder de la façon indiquée par la figure ci-après : il suffit de porter la verticale passant par A le segment AF tel que $AF = 2EC$ et joindre CF pour obtenir B, intersection qui permet de gagner en précision et en commodité.

Figure 4 : Construction pratique à l'épure de Blackmore



Les modes de résolution ci-dessus sont détaillés dans l'hydraulique routière (page 183 à 187).

2.2.3. Application

2.2.3.1. Hypothèse de calcul :

Surface libre et côte ou hauteur correspondante

La surface libre de la retenue varie en fonction de sa côte ou en fonction de sa hauteur.

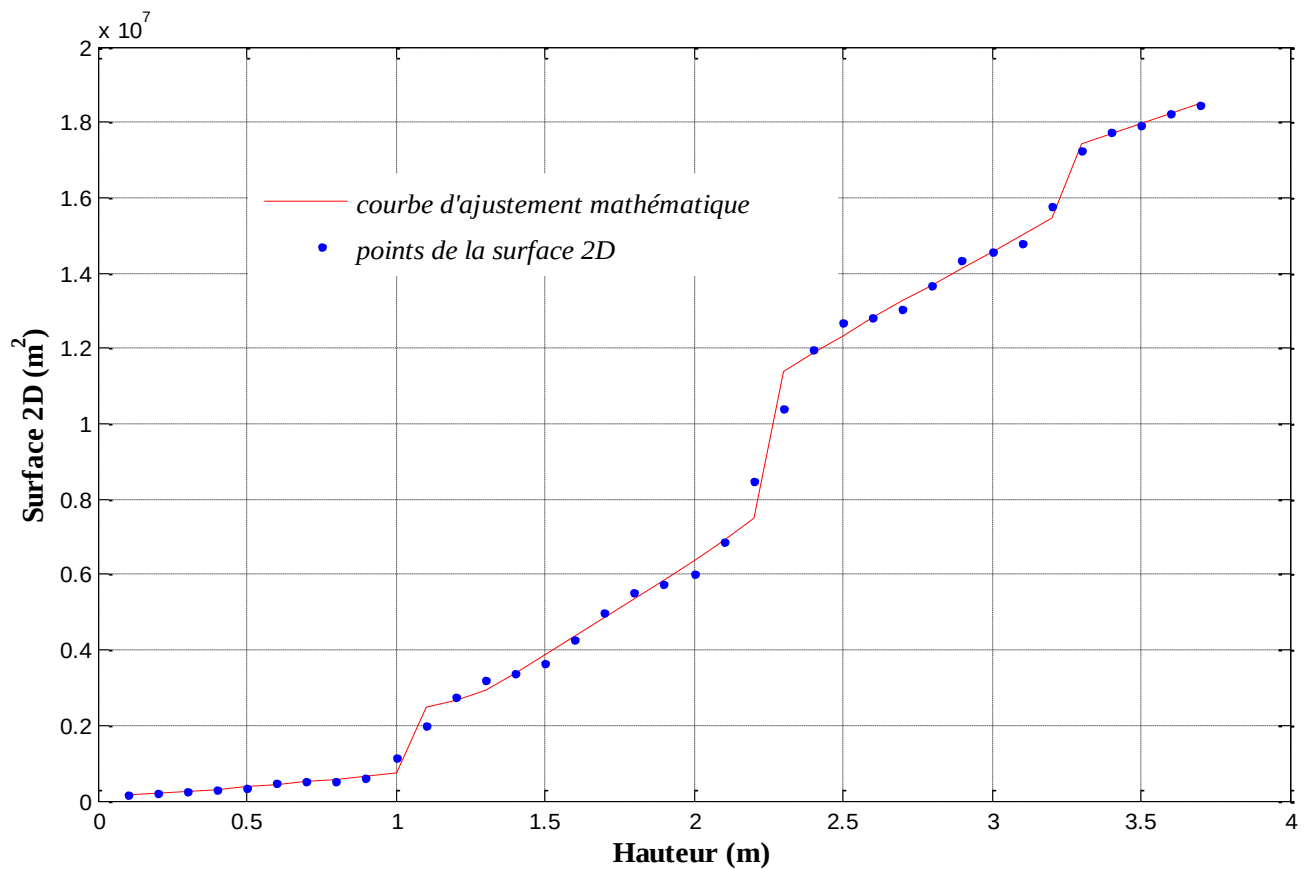
Les valeurs de la surface libre en fonction de la hauteur correspondante seront sous SIG à partir du MNT.

Une fonction polynômiale de degré 20 permet d'ajuster la surface libre en fonction de cette hauteur.

Les données et calculs se trouvent en annexe VI.

La courbe d'ajustement est donnée ci-après.

Figure5 : Courbe d'ajustement de surface en fonction de la hauteur



2.2.3.2. Ouvertures

✓ Dalots :

L'ouvrage de franchissement aux exutoires de BV1 et BV2 sont respectivement des dalots cadre de 3 ouvertures et de 2 ouvertures. Chaque ouverture a une hauteur de 2 m et une largeur de 6,5 m. La longueur des deux dalots est égale à 12m.

Nous avons considéré les dalots comme des canaux à ciel ouvert.

✓ Buse de 1 m de diamètre :

Les buses sont calculées comme étant des orifices circulaires dénoyés car selon la carte ci-dessous, la surface en aval de pente entre 0 et 5% est plus vaste que celle qui se trouve en amont. Elles sont au nombre de 33.

La forme de la buse est présentée dans le schéma ci-après.

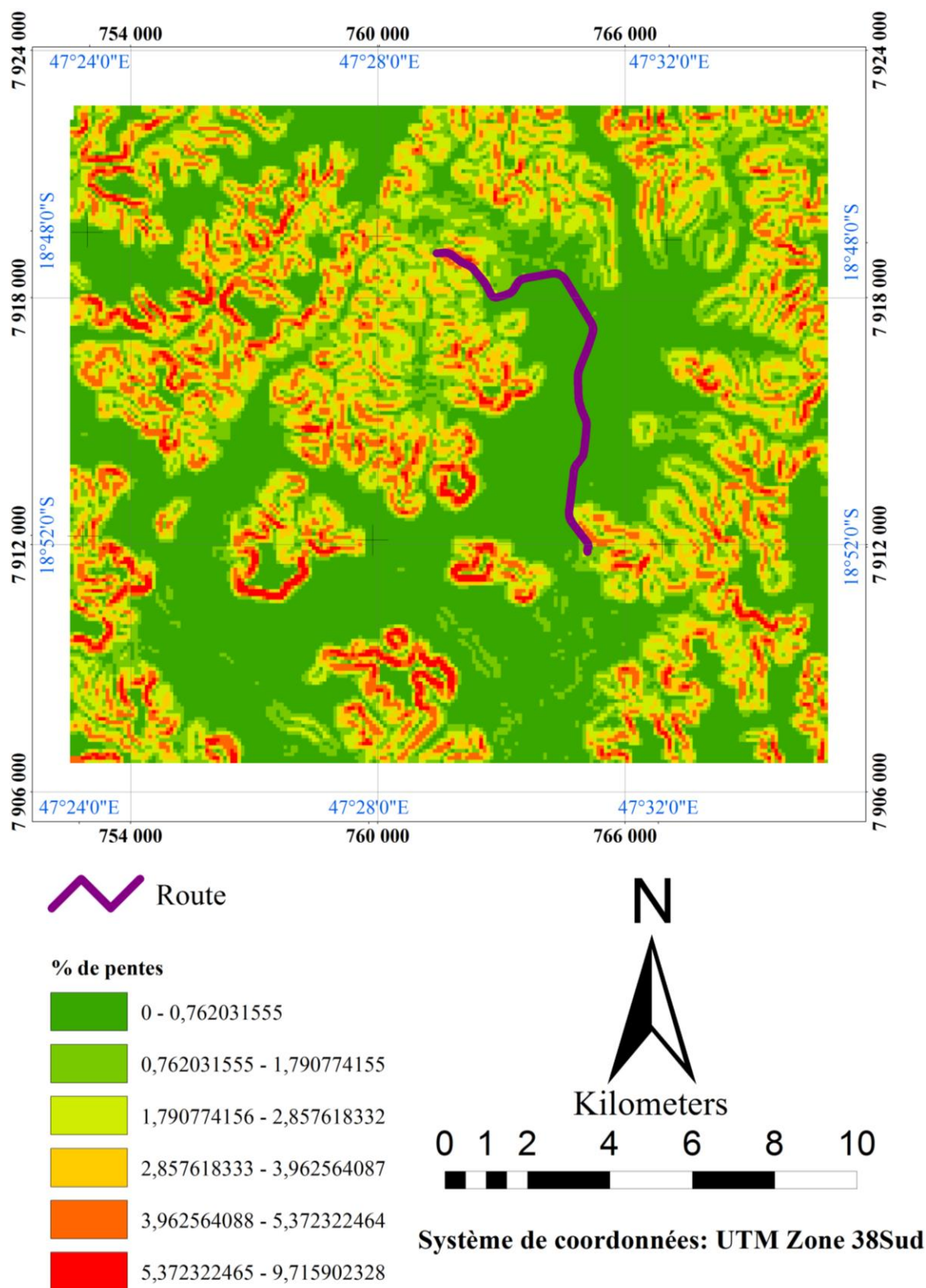
Figure 6 : Forme de la buse



Ce type de buse a la forme de la buse Saillante hors du remblai, coupée droite dont $K_e=0,5$. Source hydraulique routière.

La carte ci-après montre les pentes des terrains de la zone d'étude :

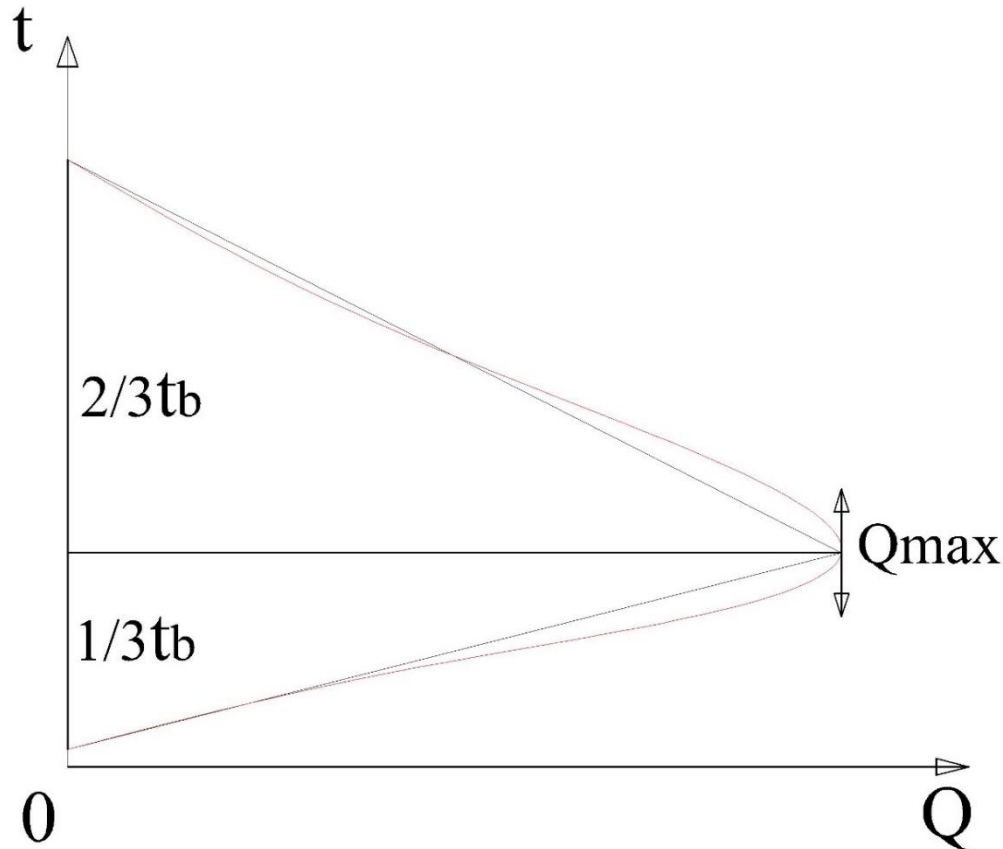
Carte 9 : Pentes



2.2.3.3. Détermination du débit d'entrée $Q_E(t)$

Selon le cours d'hydrologie de M. Jean Donné RASOLOFONIAINA, généralement pour Madagascar, nous avons l'hydrogramme de crue suivante (figure 7) :

figure 7 : Hydrogramme de crue



Débit de pointe : $Q_p = 309 \text{ [m}^3/\text{s]}$,

Débit de base ; $Q_b = \text{m}^3/\text{s}$

Temps de concentration : $t_c = 5,88 \text{ [h]}$,

Temps de base : $t_b = 2t_c = 11,76 \text{ [h]}$

Temps de montée $t_m = t_b/3 = 3,92 \text{ [h]}$,

Temps de descente : $t_d = 2t_b/3 = 7,84 \text{ [h]}$

2.2.3.4. Débit de sortie $Q_s(h)$ en fonction de la hauteur (h)

Les 02 dalots et les 33 orifices de dimensions citées ci-dessus sont placés, sur le profil, le long du terrain naturel. Nous avons constaté qu'une buse doit se placer sur le niveau le plus bas du profil. Une origine fictive est prise sur un axe des ordonnées (h) coïncidant avec l'axe de cette buse. Cette cote de l'origine du repère est égale à 1246,116 m.

Voici le tableau détaillant l'emplacement des orifices et des dalots :

Tableau 13 : Emplacements des ouvrages le long de la route en fonction du terrain naturel

OUVRAGES DE TSARASAOTRA VERS IVATO	X (m)	Y (m)	Z (m)
BUSE 1	513 554	803 400	1 245,41
BUSE 2	513 484	803 700	1 246,65
BUSE 3	513 271	803 900	1 246,73
BUSE 4	513 180	804 200	1 246,81
BUSE 5	513 199	804 300	1 246,72
BUSE 6	513 238	804 500	1 246,65
BUSE 7	513 260	804 900	1 246,08
DALOT à 02 OUVERTURES	513 282	805 100	1 246,51
BUSE 8	513 336	805 400	1 246,07
BUSE 9	513 458	805 500	1 246,73
BUSE 10	513 567	805 900	1 246,40
BUSE 11	513 599	806 200	1 246,57
BUSE 12	513 459	806 500	1 246,39
BUSE 13	513 451	806 700	1 246,27
BUSE 14	513 401	806 900	1 246,19
BUSE 15	513 354	807 300	1 246,30
BUSE 16	513 363	807 600	1 246,27
BUSE 17	513 594	807 800	1 246,05
BUSE 18	513 467	807 900	1 246,25
BUSE 19	513 601	808 200	1 246,34
BUSE 20	513 629	808 300	1 246,63
BUSE 21	513 709	808 500	1 246,60
BUSE 22	513 768	808 700	1 245,81
DALOT à 03 OUVERTURES	513 703	808 898	1 246,62
BUSE 23	513 476	809 100	1 245,88
BUSE 24	513 423	809 300	1 246,14
BUSE 25	513 341	809 500	1 246,47
BUSE 26	513 118	809 800	1 246,22
BUSE 27	513 004	810 000	1 245,78
BUSE 28	512 831	810 000	1 246,38
BUSE 29	512 430	810 000	1 245,98
BUSE 30	511 992	809 900	1 245,95
BUSE 31	511 826	809 700	1 247,02
BUSE 32	511 230	809 500	1 245,24
BUSE 33	510 875	810 100	1 246,18

Les paramètres et données des équations sont :

➤ Pour les dalots :

$$Q = K * S * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Avec

K : Coefficient de Manning Strickler pour le béton 67 ;

I : Pente du dalot considérée, I : 0,5 %

S : Surface mouillée en fonction de h

P : Périmètre mouillé en fonction de h

R : Rayon hydraulique en fonction de h

h : Hauteur d'eau

➤ Pour les buses

$$Q = C * \sqrt{(h - (r + x_{oi}))}$$

Avec

x_{oi} : Distance entre le centre de l'orifice et l'origine des axes des ordonnées

C : Constante de l'orifice

$$C = \frac{\pi * r^2 * \sqrt{2g}}{\frac{2gL}{K\left(\frac{r}{2}\right)^{4/3}} + Ke + 1}$$

r : Rayon de l'orifice, 0,5 m

L : Longueur de la buse, 12 m ;

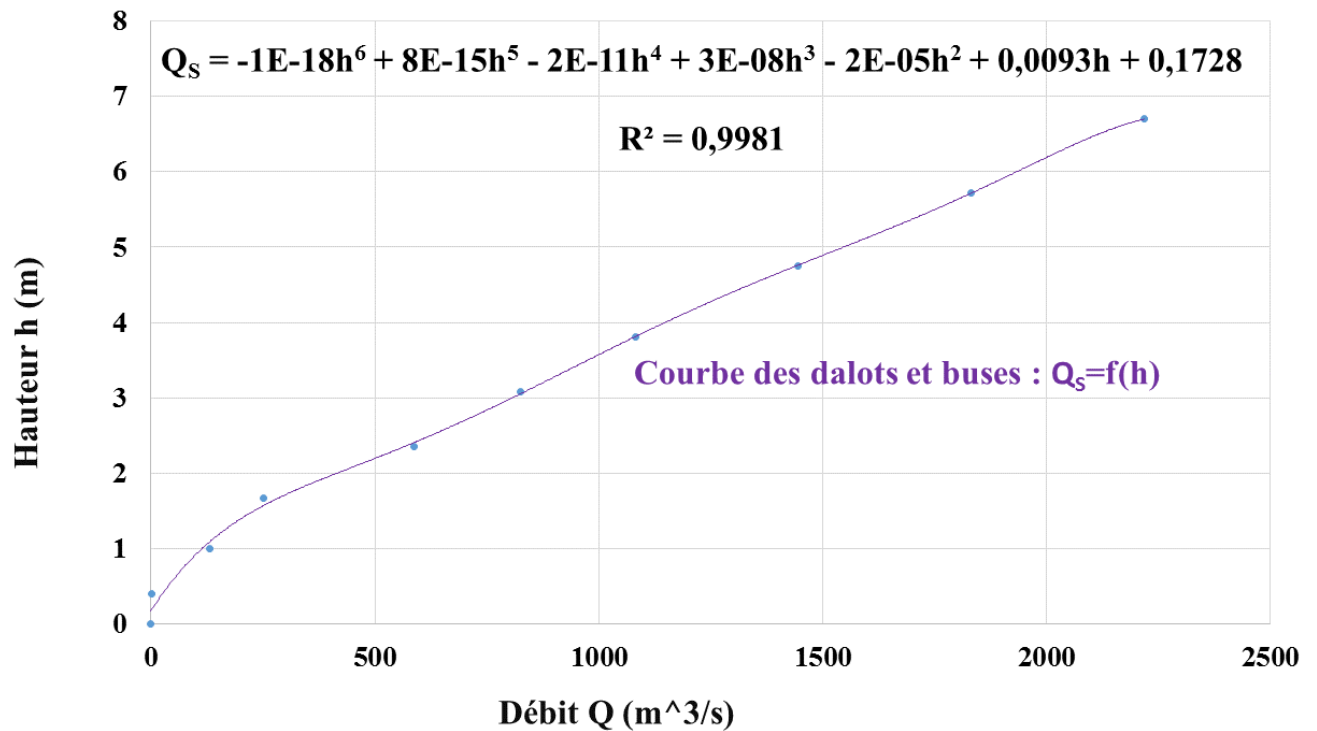
Ke : Coefficient de l'orifice en amont, selon la forme de l'ouverture de la buse, 0,5 ;

K : Coefficient de Manning Strickler pour le béton, 67

Nous déterminons une série de valeurs ponctuelles de Q selon chaque hauteur h prise. Le nombre de buses fonctionnelles augmente au fur et à mesure que la hauteur augmente. Pour le calcul, nous avons fait recours au langage Visual basic de l'Excel, détaillé en annexe VIII.

Puis nous ajustons les séries de points de Q et de h correspondantes à l'aide d'une équation polynômiale.

Le résultat de cette fonction est indiqué dans le graphique ci-après.

Figure 8 : Résultat du débit de sortie en fonction de la hauteur

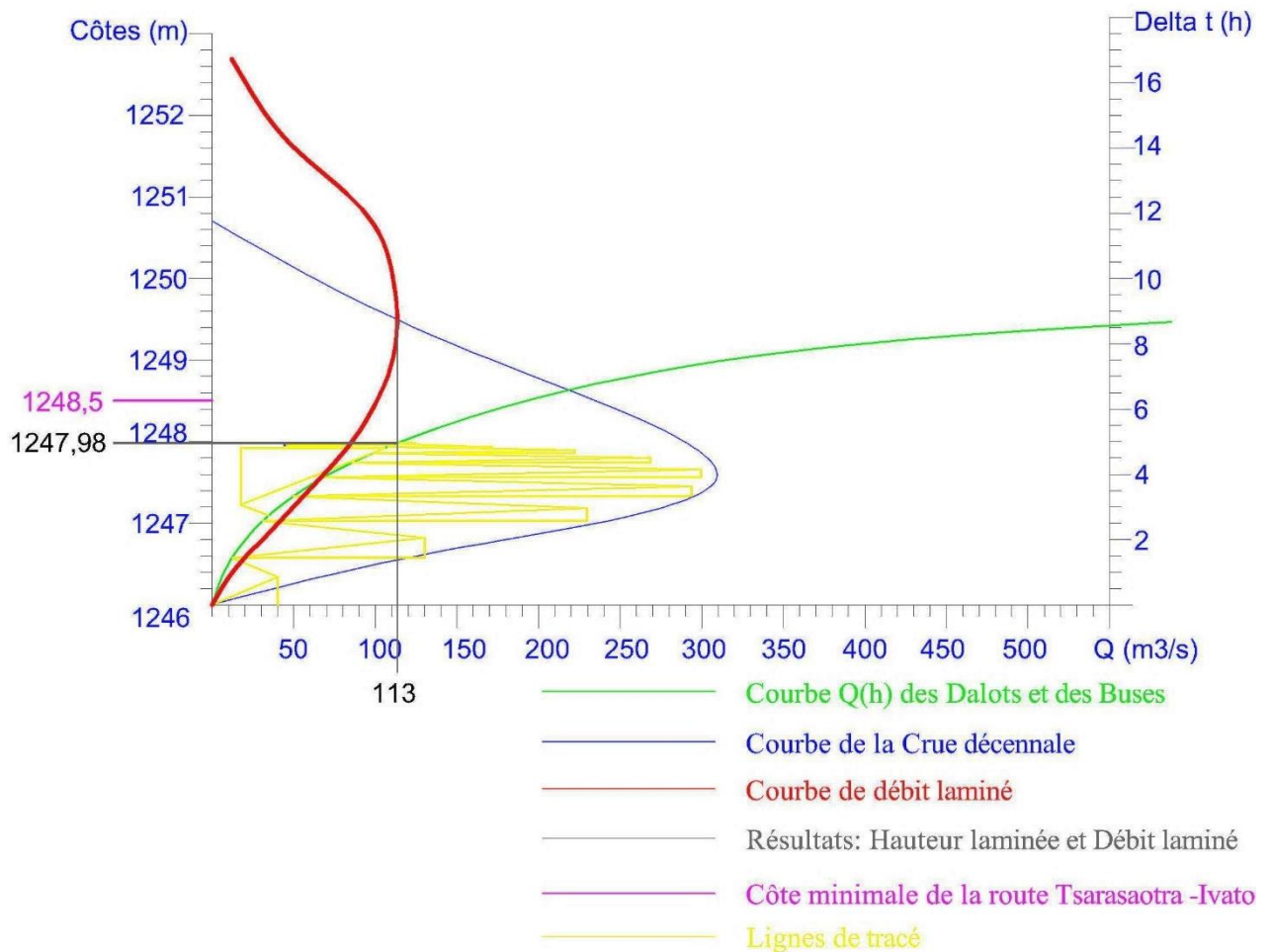
Le traçage est fait sous le logiciel Autocad, selon le mécanisme de résolution. Dans la résolution graphique de l'Epure de Blackmore nous avons besoin de tracer deux courbes distinctes :

L'hydrogramme de crue $Q=f(t)$

La courbe de débit de sortie $Q=f(h)$

La finalité du traçage est d'obtenir la courbe de débit laminé exprimée par: $Q_s(t)=Q_s[h(t)]$.

La figure suivante nous montre le résultat de l'Epure de Blackmore.

Figure 9 : Résultat de l'Épure de Blackmore :

Débit de pointe laminé : $Q_{pl} = 113 \text{ m}^3/s$,

-la cote maximale de l'eau en amont : $H_{max} = 1247,98 \text{ m}$

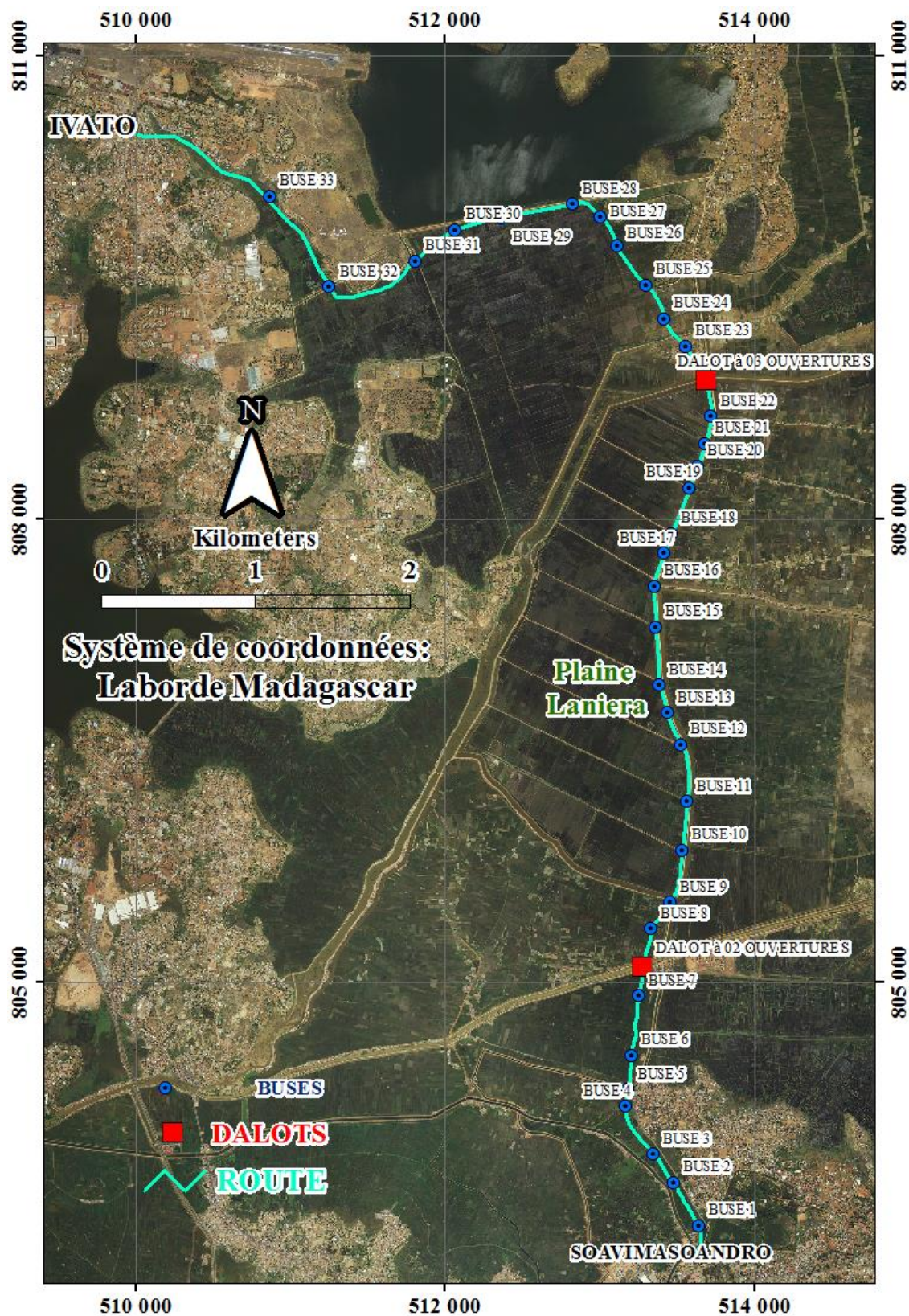
Pour la crue décennale, en tenant compte de la condition géométrique du milieu, les 02 dalots choisis et les 33 buses permettent d'évacuer $113 \text{ m}^3/s$.

Conclusion partielle :

L'étude du Laminage de crue a permis de faire le calage des ouvrages de franchissement à partir de la crue décennale. D'après le résultat ci-dessus avec 02 dalots et 33 buses, la crue décennale de l'ensemble des bassins versants ne submergera pas la route Tarasaotra – Ivato. Nous observons une revanche de 0,5 m.

Le calage des ouvrages de franchissement à partir de la crue décennale est illustré par la carte ci-dessous.

Carte 10 : Calage des ouvrages de franchissement sur la nouvelle voie Tsarasaotra-Ivato



CHAPITRE III- DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENTS EN BETON ARME A L'AIDE DU LOGICIEL ROBOBAT :

3.1. Présentation du logiciel

Robot millenium est un progiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. Il permet de créer les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure. Il est basé sur la méthode des éléments finis et de l'élasticité.

3.2. Principales fonctions du Robot Millenium

Le Robot comprend :

- Un éditeur graphique qui permet de définir complètement une structure ;
- Un affichage graphique de la structure et des résultats de calcul simultanément dans plusieurs fenêtres ;
- Possibilité de calculer (dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre ;
- Possibilité d'effectuer l'analyse statique et dynamique de la structure ;
- Possibilité d'affecter le type de barres lors de la définition du modèle de la structure ;
- Possibilité de composer librement les impressions (notes de calcul, captures d'écran, transferts d'objets vers d'autres logiciels).

Robot possède plusieurs modules qui sont chacun responsables spécifiquement d'une étape dans la conception de la structure : création du modèle, analyse de la structure et dimensionnement.

3.3. Etapes de fonctionnement du logiciel (robot 25)

Lors de l'exploitation du logiciel, il y a plusieurs étapes à suivre :

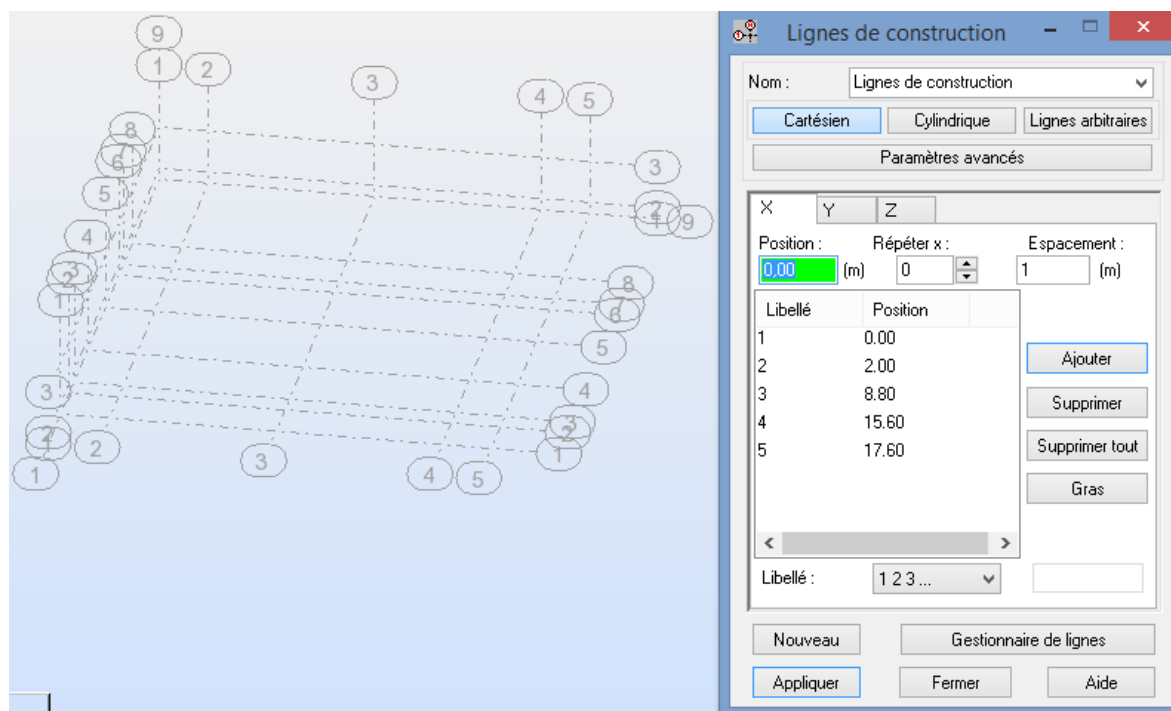
Etape 1 : Choix de la structure

Une fois que le logiciel est lancé, une boîte de dialogue s'ouvre. Le choix se portera sur les éléments suivants : bâtiment, treillis 2D, treillis 3D, portique 2D, portique 3D, grillage, plaque, coque, contrainte plane, déformation plane, structure axisymétrique ou une structure volumique.

Etape 2 : Traçage des lignes de constructions et construction des barres

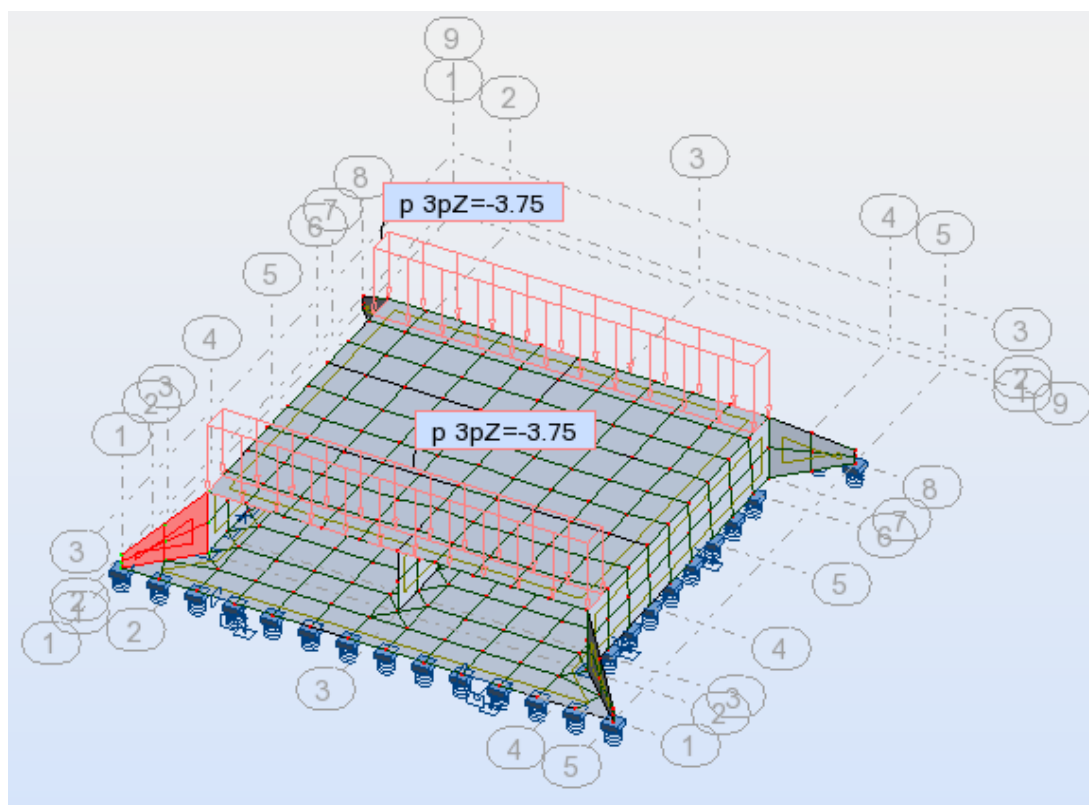
Ces lignes de constructions sont utilisées afin de faciliter les modélisations. (Voir figure 10)

Figure 10: Création de lignes de construction pour la modélisation

**Etape 3 : Introduction des charges sur la structure**

Après avoir fini la modélisation, nous définissons les charges horizontales (vent) et verticales (permanente, exploitation) sur la structure, selon la figure suivante :

Figure 11 : Détermination des charges appliquées à la structure sur Robot



Etape 4 : Calcul de structure

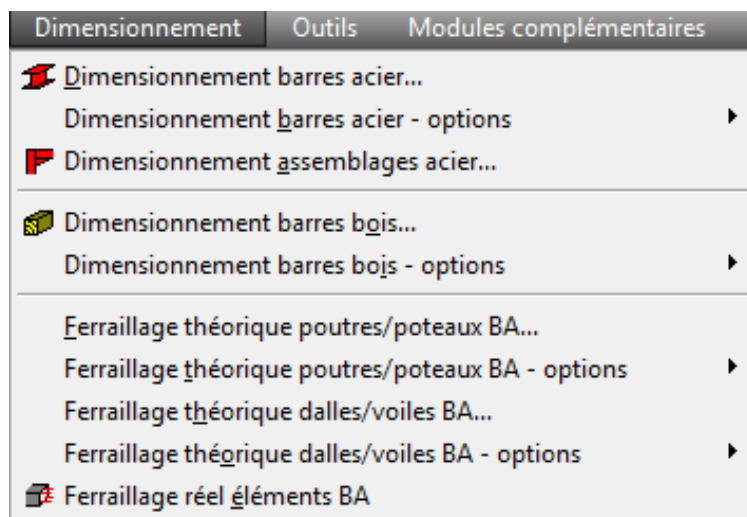
Il s'agit de déterminer si la structure est en équilibre et d'avertir en cas de superposition anormale de barres. Ce calcul se fait par la méthode des éléments finis.

Etape 5 : Ferrailage des éléments B.A

Cette partie consiste à choisir les éléments à ferrailer et effectuer son ferrailage éventuellement.

Voyons la fenêtre de calcul des ferrailages dans la figure suivante.

Figure 12 : fenêtre de calcul des ferrailages



3.4. Dalots et Buses

3.4.1. Généralités sur les Dalots :

Nous dimensionnerons des dalots ordinaires constitués de dalle supérieure, de piédroits verticaux fondés sur une semelle ou un radier, et quatre murs en aile en amont et en aval jouant le rôle de protection des remblais amont et aval de l'ouvrage.

3.4.2. Réalisation d'un dalot :

La modélisation du dalot sur Robot structural Analysis nécessite la définition des caractéristiques suivantes :

- **DIMENSIONS :**

-Les dalots seront en une seule structure rigide en béton armé dont les dimensions autres que celles des dimensions hydrauliques citées au niveau du calage par l'épure de blackmore auparavant sont :

- Epaisseur de la dalle supérieure 40 cm
- Epaisseur des piédroits et protections 30 cm
- Epaisseur de la dalle inférieure 30 cm

- MATERIAUX :

Béton :

Béton 25, Résistance mécanique 25000 kPa, poids volumique 2501,36 Kg/m³

Acier :

HA 400 Haute Adhérence, Résistance Caractéristique 400000 kPa

Diamètre des barres utilisées : 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20 [mm]

Longueur maximale des barres utilisées : 11,6 m

Granulat :

Diamètre du granulat : 5 à 20 mm

Coefficient d'élasticité du sol :

Valeur prise égale à 300 T/m³,

Le tableau 14 nous indique les valeurs des coefficients d'élasticité du sol en fonction de ses caractéristiques.

Tableau 14 : Les valeurs des coefficients d'élasticité du sol en fonction des caractéristiques du sol, tirées du livre Formulaire de l'ingénieur page 151.

Caractéristiques du sol	Composition du sol	Valeur de K1	Valeur de K1
		en kg/cm ³	en T/m ³
Sol de faible densité	Vase, sable fraîchement rapporté, Argile humidifiée	0,1 - 0,5	100 - 500
Sol de densité moyenne	Sable tassé, gravier rapporté, Argile humide	0,5 - 5	500 - 5000
Sol dense	Sable fortement tassé, gravier fortement tassé, Argile peu humide, Marne	5 - 10	5000 - 10000
Sol très dense	Argile sableuse tassée artificiellement, Argile dure	10 - 20	10000 - 20000
Sol dur	Roche fissurée calcaire, grès, Sol gelé	20 - 100	20000 - 100000
Sol rocheux	Roche dure	100 - 1500	100000 - 1500000
Sol artificiel	Fondation sur pieux	5 - 15	5000 - 15000
Matériaux de constructions	Briques	400 - 500	400000 - 500000
	Maçonnerie	500 - 600	500000 - 600000
	Béton	800 - 1500	800000 - 1500000
	Béton armé	800 - 1500	800000 - 1500000

- PARAMETRE A L'ETAT LIMITE DE SERVICE

Flèche admissible $f < l/500$

DALOT A 3 OUVERTURES Flèche admissible $f < 0,042$ cm

DALOT A 2 OUVERTURES Flèche admissible $f < 0,028$ cm

Fissuration Préjudiciable (FP)

- FERRAILLAGE

Nous aurons un enrobage de 3 cm.

Mode de ferrailage : Barres et par panneau

- EMPLACEMENT DES CHARGES
 - ✓ Charges permanentes :

Poids propres de l'ouvrage : donnés automatiquement par le logiciel Robot.

- ✓ Charges des trottoirs :

$C_t = g_t [\text{KN/m}^3] * e_t [\text{m}] * 1 = \dots [\text{KN/m}^2]$; $C_t = 3,75 [\text{KN/m}^2]$ pour $e_t = 15 \text{ cm}$ où $g_t = 25 [\text{KN/m}^3]$: poids propre du trottoir (cf. cours pont 5ème année) et $e_t =$ épaisseur du trottoir

- ✓ Charges dûes au revêtement de la chaussée :

$C_r = g_r [\text{KN/m}^3] * e_r [\text{m}] * 1 = \dots [\text{KN/m}^2]$ $C_r = 0,72 [\text{KN/m}^2]$ pour $e_r = 4 \text{ cm}$ où $g_r = 18 [\text{KN/m}^3]$: poids propre du trottoir (cf. cours pont 5ème année) et $e_r =$ épaisseur du revêtement de la chaussée.

- ✓ Charges dûes aux poussées de terre à droite et à gauche du dalot :

$$C_{Ptg} = \gamma_{TERRE} * K_{\gamma}$$

avec : $\gamma_{TERRE} = 1,8 [\text{T/m}^3]$: poids volumique de la terre, $K_{\gamma} = tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ où $\varphi =$ peut être prise égale 30° (Cours BA) mais il faut tenir compte de la charge du revêtement au logiciel Robot, dans le calcul des poussées de terre.

- ✓ Charges d'exploitation

Charges roulantes :

Les charges de tous ces essieux sont déjà toutes affectées par le coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,21L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 * G}{Q}} ;$$

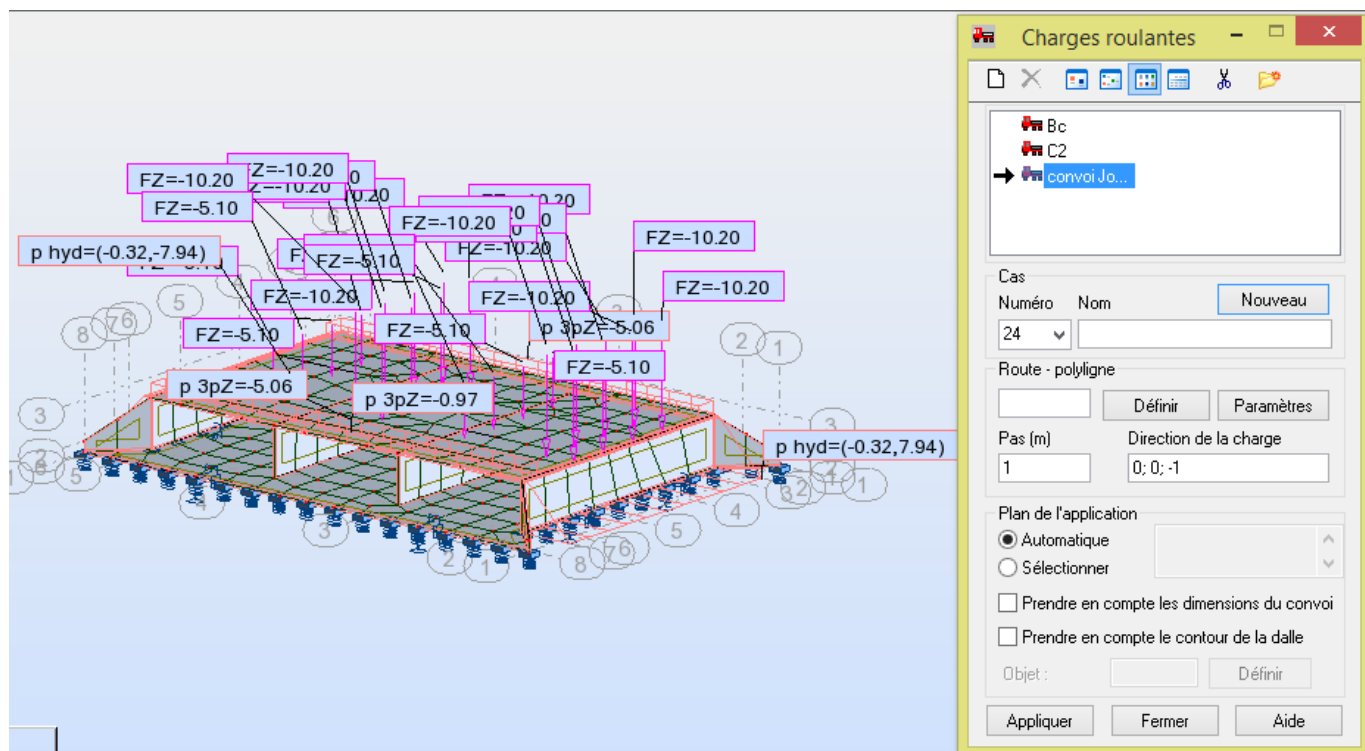
Où,

L : distance entre axes des poutres de rive, c'est-à-dire, la longueur de l'ouvrage,

G : la somme des charges permanentes et Q : la somme des charges d'exploitation.

Le logiciel tient compte des positions défavorables, suivant le choix ou la personnalisation des charges roulantes.

Figure 13 : Emplacement de la charge roulante

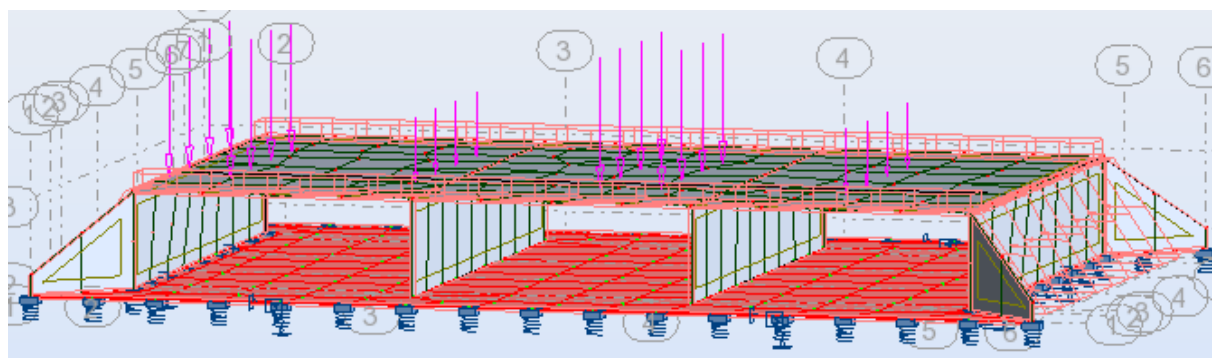


- CALCULS
- Pour le ferrailage, nous calculerons en flexion simple.

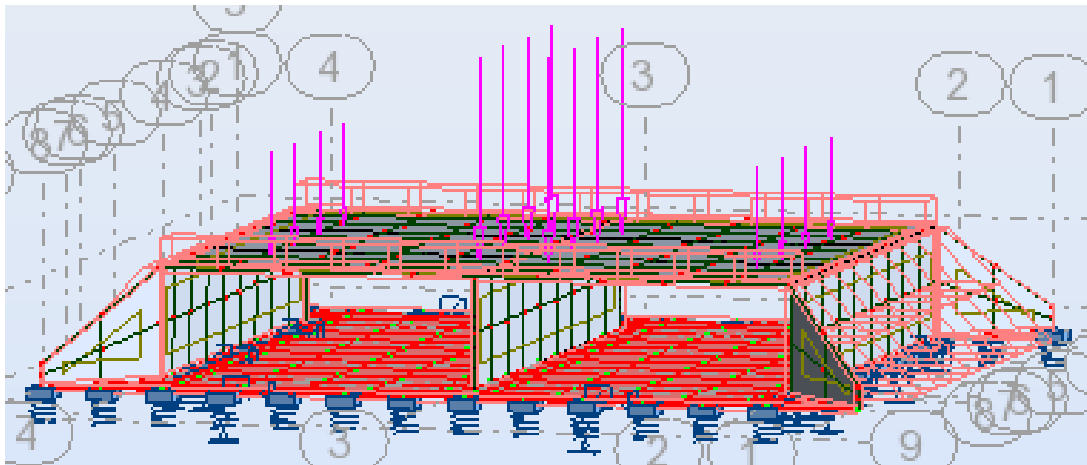
3.4.3. Echantillon des résultats de calcul donnés par le logiciel :

3.4.3.1. Dalot à 03 ouvertures :

Figure 14 : Dalle 1 :



- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| • Volume de Béton | = 106,44 (m ³) |
| • Surface de Coffrage | = 354,80 (m ²) |
| • Périmètre de la dalle | = 86,11 (m) |
| • Superficie des réservations | = 0,00 (m ²) |
| Acier HA 400 | |
| • Poids total | = 32761,20 (kG) |
| • Densité | = 307,79 (kG/m ³) |
| • Diamètre moyen | = 14,9 (mm) |

3.4.3.2. Dalot à 02 ouvertures :**Figure 15 : panneau 1 :**

- Volume de Béton = 67,68 (m³)
- Surface de Coffrage = 225,60 (m²)
- Périmètre de la dalle = 70,51 (m)
- Superficie des réservations = 0,00 (m²)

- Acier HA 400
- Poids total = 12557,82 (kG)
- Densité = 185,55 (kG/m³)
- Diamètre moyen = 11,1 (mm)

Des échantillons de note de calcul détaillé des dalots sont en annexe IX.

3.4.4. Réalisation d'une buse :

La Modélisation de la buse sur Robot structural Analysis nécessite la définition des caractéristiques suivantes :

- DIMENSIONS :

Nous allons considérer une buse unitaire de rayon égale à 0,5m, d'épaisseur égale à 10cm et de longueur égale à 1m.

- MATERIAUX :

Béton :

Béton 25, Résistance mécanique 25000 kPa, poids volumique 2501,36 Kg/m³

Acier :

HA 400 Haute Adhérence, Résistance Caractéristique 400000 kPa

Diamètre des barres utilisées : 6, 8 mm

Granulat :

Diamètre du granulat : 5 à 20 mm

Coefficient d'élasticité du sol :

Valeur prise égale à 300 T/m³, ordre de valeur en annexe VIII.

- PARAMETRE A L'ETAT LIMITE DE SERVICE

Fissuration Préjudiciable (FP)

- FERRAILLAGE

Nous avons pris un enrobage de 2,5 cm.

- EMBLACEMENT DES CHARGES

Charges permanentes :

Poids propres de l'ouvrage : données automatiquement par le logiciel Robot

Charges dues au revêtement de la chaussée :

$Cr = gr[KN/m^3] * e_t[m] * 1 = \dots [KN/m^2]$ $Ct = 0,72 [KN/m^2]$ pour $e_r = 4$ cm où $gr = 18 [KN/m^3]$:

Charges d'exploitation :

La charge d'exploitation est appliquée le long de la buse et sera :

$$\sigma_z = \gamma_{TERRE} * Z + \sigma_z$$

- γ_{TERRE} [T/m³]: poids volumique de la terre ; $\gamma_{TERRE} = 1,8$ T/m³
- Z [m] : hauteur entre la chaussée et la buse.
- σ_z : La contrainte réelle appliquée sur la buse qui s'obtient par la formule de

$$\text{BOUSSINESQ : } \sigma_z = \frac{Q}{Z^2} * N$$

Où :

- $Q = 6800$ kg : La charge des essieux déjà affectée au coefficient de majoration dynamique δ

$$\text{➤ } N = \frac{\frac{3}{2\pi}}{\left[1 + \left(\frac{r}{Z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}} ; N = 0,47746483 \text{ car pour nous } r [m] = 0 \text{ et } Z [m] = 1$$

Suivant la largeur de la buse (1m pour notre calcul), il est à considérer une surface de contact de $1 * 0,1$ m².

La charge d'un pneu est déjà affectée au coefficient de majoration dynamique δ :

$$q = \gamma_{TERRE} * Z + \sigma_z$$

Les figures suivantes nous montrent la charge réelle appliquée sur la buse et son application sur robot.

Figure 16 : Charge réelle appliqué sur la buse

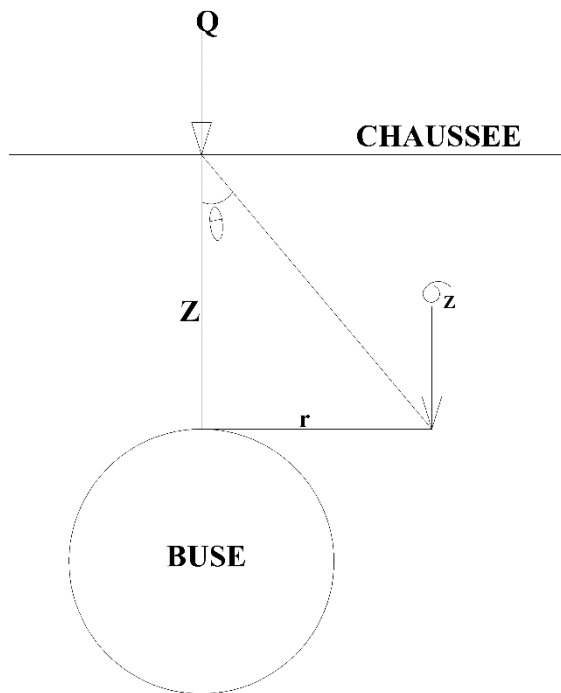
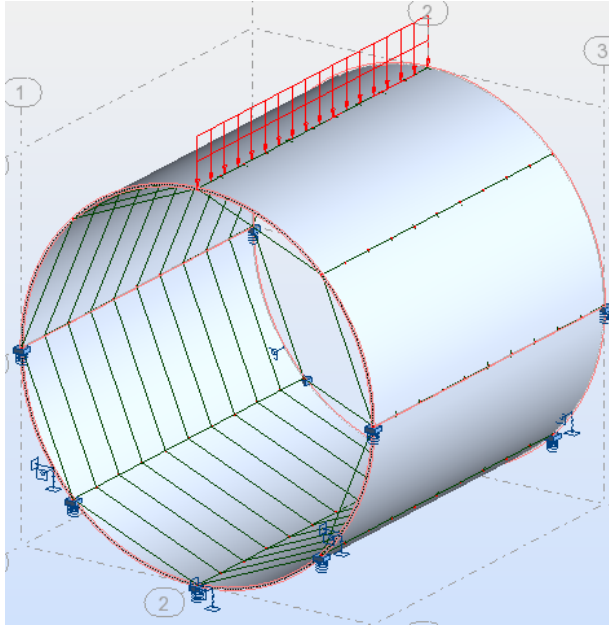


Figure 17 : Application sur Robot

3.4.5. Résultats de calculs d'une buse de 1m de longueur :

Désignations	Unités	Quantités
Coffrage	m ²	8
Béton dosé à 350 kg/m ³	m ³	1
Armature	Kg	5

Conclusion partielle :

Le dimensionnement des ouvrages de franchissement sur Robot nécessite plusieurs connaissances préalables sur les charges permanentes et les surcharges d'exploitation, ainsi que leur surface d'application. Il ne faut pas aussi négliger les caractéristiques des sols puisqu'elles permettent de préciser les paramètres des sols dans le logiciel Robot.

PARTIE IV- IRRIGATION DE LA PLAINE LANIERA

Dans cette partie, notre but est de régler le problème d'irrigation de la plaine Laniera. En effet, la quasi-totalité de cette plaine est composée de rizières, contraignant alors à dimensionner un ouvrage d'irrigation franchissant la nouvelle route Tsarasaotra-Ivato, en fonction du besoin en eau en riziculture de la dite plaine. Mais nous sommes amenés au calcul des apports pour vérifier si les ressources en eau suffisent pour satisfaire ce besoin (d'ouvrage).

CHAPITRE I- ADEQUATION RESSOURCE – BESOIN

1.1.Estimation des apports :

En tenant compte des caractéristiques physiques et géométriques du bassin versant ainsi que du paramètre pluviométrie, l'estimation des apports des eaux de surface peut se faire par les deux méthodes les plus classiques : la méthode des stations de référence (SRF) et la méthode de Centre Technique de Génie Rural et des Eaux et Forêts (CTGREF).

1.1.1. Méthode empirique du CTGREF

La méthode CTGREF consiste à déterminer le débit d'apport moyen annuel d'un bassin versant grâce à la formule empirique établie par le Centre Technique du Génie Rural et des Eaux et Forêt (CTGREF) d'Anthony Paris.

$$Q_F = \frac{S_{BV}}{31.5} * \left(\frac{P_F}{B}\right)^{\frac{5}{3}} * \left(\frac{Z_m}{100}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Avec :

Q_F : Apport moyen annuel de fréquence F (l/s) ;

B : Paramètre régionalisé ;

P_F : Pluviométrie moyenne annuelle de fréquence F (mm) ;

Z_m : Altitude moyenne du bassin versant considéré (m) ;

S_{BV} : Superficie du bassin versant considéré (km²).

Le paramètre régionalisé B dépend des rivières concernées ou tout simplement des rivières périphériques. Ce paramètre est égal à 49 pour le cas de Mamba car c'est un effluent de l'Ikopa à Bevomanga. Pour obtenir les apports mensuels quinquennaux de la rivière, on applique les coefficients de répartition d'ALDEGHERI sur les apports quinquennaux annuels. Les coefficients dépendent de la situation géographique du périmètre. Dans le cas présent, le coefficient considéré correspondant à la bordure orientale des Hautes Terres Centrales du mois considéré (en %) dont les valeurs sont données.

$$Q_{m(s,h)} = \frac{R_m * Q_{5(s,h)} * 12}{100}$$

Où :

Q_{ms} : Apport mensuel quinquennal sec du mois considéré (l/s)

Q_{mh} : Apport mensuel quinquennal humide du mois considéré (l/s)

Q_{5s} : Apport annuel sec du bassin versant considéré (l/s)

Q_{5h} : Apport annuel humide du bassin versant considéré (l/s)

R_m : Coefficient de répartition d'ALDEGHERI

Tableau 15 : Répartition des coefficients d'Aldegheri

Rm	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
R1	16,9	16,7	17,1	9,7	5,7	4,1	3,7	3,4	2,6	2,4	4,8	12,9
R2	17,9	18,2	20,5	8,8	4,8	3,7	3,1	2,8	2,2	2	4,4	11,6
R3	13,4	14,8	15,8	9,9	6,9	5,7	5,8	6	4,4	3,6	4,5	9,2
R4	23,8	19	17,2	6,8	3,8	2,7	2,4	2,1	1,6	1,5	3,3	15,8

R1 : La classe des hautes terres centrales ;

R2 : Les grands bassins sortis Nord-Ouest des hautes terres ;

R3 : Les bordures orientales des hautes terres ;

R4 : Les bassins du centre Sud, centre Ouest et petits bassins de la bordure occidentale des hautes terres.

Les résultats des calculs des apports mensuels par la méthode de Station de Référence sont donnés par les Tableaux 12,13 et 14 suivants :

Résultats des apports annuels de la rivière Maharatsy calculées par la méthode de CTEGREF :

Apport moyen annuel (l/s)	Apport annuel sec (l/s)	
	5 ans	10 ans
	3519,90	2938,347

Les apports mensuels de CTEGREF sont obtenus de la même manière que par la méthode SRF définie précédemment. Les résultats sont donnés dans les Tableaux 16, 17 et 18 suivants.

Apports moyens mensuels (en l/s) par la méthode de CTEGREF

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q10s	5959,0	5888,4	6029,5	3420,2	2009,8	1445,7	1304,6	1198,8	916,8	846,2	1692,5	4548,6

1.2.Besoin en eau de la riziculture

L'étude des besoins en eau permet de faire l'adéquation ressource-besoin. Mais avant d'aborder le calcul, différents paramètres doivent être connus tels que : l'évapotranspiration, la pluie efficace, le calendrier et la pratique culturale, ... dont les calculs seront faits à l'aide du logiciel CROPWAT.

1.2.1. Généralité sur le Logiciel CROPWAT 8.0 :

CROPWAT 8.0 a été développé par JOSS SWENNENHUIS pour le Service des eaux-ressources, mise en valeur et aménagement de la FAO. CROPWAT 8.0 est basé sur les versions DOS de CROPWAT 5.7 (1992) et de CROPWAT 7.0 (1999). C'est un programme informatique qui permet de calculer les besoins en eau des cultures et les besoins en irrigation à partir de données climatiques et culturales, nouvelles ou déjà existantes. De plus, le programme permet

l'établissement des calendriers d'irrigation pour différentes conditions de gestion, et le calcul de l'approvisionnement en eau du périmètre pour divers assolements.

Les données requis par le logiciel, pour son mis en œuvre sont principalement :

- ✓ Les données climatiques : températures minimales et maximales du site, l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la durée de l'insolation ;
- ✓ Les pluviométries quinquennales sèches mensuelles ;
- ✓ Les données culturales : type de culture, date de plantation, type du sol, assolement.

CROPWAT 8.0 donne les résultats suivants :

- Le rayonnement journalier et l'évapotranspiration potentielle ;
- La pluie efficace ;
- La phase de croissance et coefficient cultural ;
- Le besoin en eau de la culture

Figure 18 : Le rayonnement journalier et l'évapotranspiration potentielle :

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ETo mm/jour
Janvier	16.6	26.4	79	268	6.8	21.2	4.44
Février	16.8	26.5	80	268	6.3	20.1	4.22
Mars	16.3	25.9	80	268	6.4	18.8	3.92
Avril	15.0	25.2	79	242	7.3	18.0	3.60
Mai	12.3	23.2	79	216	7.4	15.8	2.95
Juin	10.0	21.1	79	216	6.9	14.0	2.49
Juillet	9.5	20.4	79	268	6.9	14.5	2.57
Août	9.6	21.0	76	294	7.6	17.3	3.13
Septembre	10.6	23.6	71	294	8.3	20.7	4.07
Octobre	12.9	25.8	71	294	8.1	22.2	4.69
Novembre	14.8	26.6	75	268	7.8	22.6	4.72
Décembre	16.2	26.4	79	242	6.5	20.8	4.33
Moyenne	13.4	24.3	77	261	7.2	18.8	3.76

La pluie efficace : La formule prise par CROPWAT pour calculer la pluie efficace est celle du service USDA

conservation des sols, telle que :

$$\text{Pour } P \leq \frac{250}{3} \text{ mm} : P_{eff} = \frac{P(125 - 0,6P)}{125}$$

$$\text{Pour } P \geq \frac{250}{3} \text{ mm} : P_{eff} = \frac{125}{3} + 0,1P$$

P désigne la pluie quinquennale sèche du mois considéré.

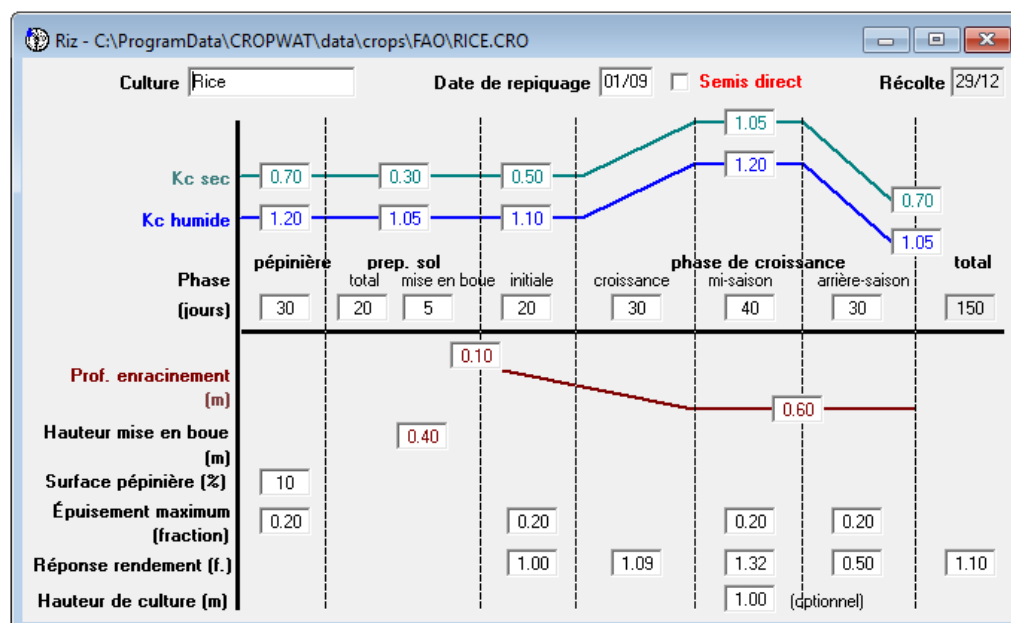
Figure 19 : Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

Précipitations par mois - untitled

Station: ANTANANARIVO-IVATO Méthode Précipitations eff.: **Méthode USDA S.C.**

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	236.6	147.0
Février	219.6	142.4
Mars	148.1	113.0
Avril	38.7	36.3
Mai	16.4	16.0
Juin	6.2	6.1
Juillet	8.4	8.3
Août	11.1	10.9
Septembre	10.4	10.2
Octobre	49.6	45.7
Novembre	127.9	101.7
Décembre	233.6	146.3
Total	1106.6	784.0

Figure 20 : La phase de croissance et coefficient cultural :



1.2.2. Besoin en eau du riz :

Les besoins en eau du riz sont déterminés par le logiciel CROPWAT. Les valeurs des besoins obtenues sont par décades.

Les habitants dans la zone d'étude pratique la culture de riz en une saison : (du septembre au Mars).

Donc pour un étalement de repiquage de 5 semaines, les dates du début de repiquage qu'on a utilisé pour le calcul de besoin en eau dans le logiciel CROPWAT, est :

➤ 05 septembre ; 12 septembre ; 19 septembre ; 29 septembre et 03 octobre.

Le besoin d'irrigation [Birr] (mm) d'un mois par décade est égal à la moyenne des besoins en eau suivant les dates de repiquages donnés par le logiciel CROPWAT.

Le besoin brut (BB) d'irrigation (m³/ha) est l'indispensable volume d'eau qui compense les pertes dans le réseau d'irrigation et les pertes au niveau des parcelles. En d'autres termes, c'est la quantité d'eau à dériver de la ressource disponible afin de satisfaire les besoins en eau de la culture.

L'expression de sa formule est :

$$BB = \frac{BN}{e}$$

Dans laquelle :

BB: besoin brut d'irrigation (m³/ha) ;

BN: besoin net d'irrigation où $BN = 10 * Birr$;

Avec :

Birr: besoin d'irrigation, donné en mm/décade par le logiciel CROPWAT ;

Où :

$Birr = Bpl + Bptc$;

Bpl : Besoin en eau de la plante ;

Bptc : Besoin en eau de la pratique culturale ;

e : efficience globale du réseau. On va supposer qu'on a une efficience $e = 0,6$.

Le débit fictif continu (dfc) est le débit à fournir continuellement 24h/24 pour satisfaire les besoins d'une période donnée pour la surface unitaire. Il est exprimé en l/s/ha.

$$dfc (l/s/ha) = \frac{BB * 10^3}{N * 86\,400}$$

Où :

BB: besoin brute d'irrigation (m³/ha) ;

N: nombre de jour du mois considéré.

Tableau 16 : Les résultats des calculs effectués pour les besoins bruts de la culture et le dfc sont donnés dans le Tableau suivant :

Mois	Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre			Janvier		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
05-sept	0,1	105,6	126,7	98,2	43,1	41,2	40,8	41,4	42,3	29,6	23,4	17	8,7	0	2,1	9,3	0	0
12-sept	0	0	119,2	178,1	43	40,9	39,4	39,9	41	29,3	23	16,7	9,1	0,5	3,9	0	0	0
19-sept	0	0,4	97,9	37,7	186	40,9	38,7	38,6	39,5	28,7	22,8	16,5	8,9	1,5	5,7	0	3,7	0
26-sept	0	0	0,3	110,9	41,7	182	38,7	37,5	38,1	27,5	22,5	16,3	8,7	1,5	7,2	1,2	0	0
03-oct	0,0	0,0	0,0	1,3	124,4	129,4	100,8	37,3	36,8	26,2	21,6	16,1	8,5	1,3	7,6	2,7	0,7	0
B (mm)	0,02	21,2	68,82	85,24	87,64	86,88	51,68	38,94	39,54	28,26	22,66	16,52	8,78	0,96	5,3	2,64	0,88	0
B (m³/ha)	0,2	212	688,2	852,4	876,4	868,8	516,8	389,4	395,4	282,6	226,6	165,2	87,8	9,6	53	26,4	8,8	0
BB (m³/ha)	0,3	353,3	1147,0	1420,7	1460,7	1448,0	861,3	649,0	659,0	471,0	377,7	275,3	146,3	16,0	88,3	44,0	14,7	0,0
dfc (l/s/ha)	0,00	0,41	1,33	1,64	1,69	1,68	1,00	0,75	0,76	0,55	0,44	0,32	0,17	0,02	0,10	0,05	0,02	0,00

1.3.Adequation ressource –besoin :

L'adéquation ressource-besoin consiste à vérifier si les apports disponibles satisfont les besoins en eau pour l'irrigation du périmètre. Pour que les conditions d'irrigation soient assurées il faut que la différence entre les apports disponibles et les besoins en eau du périmètre maintienne un débit de réserve pour les besoins écologiques de valeur de 5 l/s.

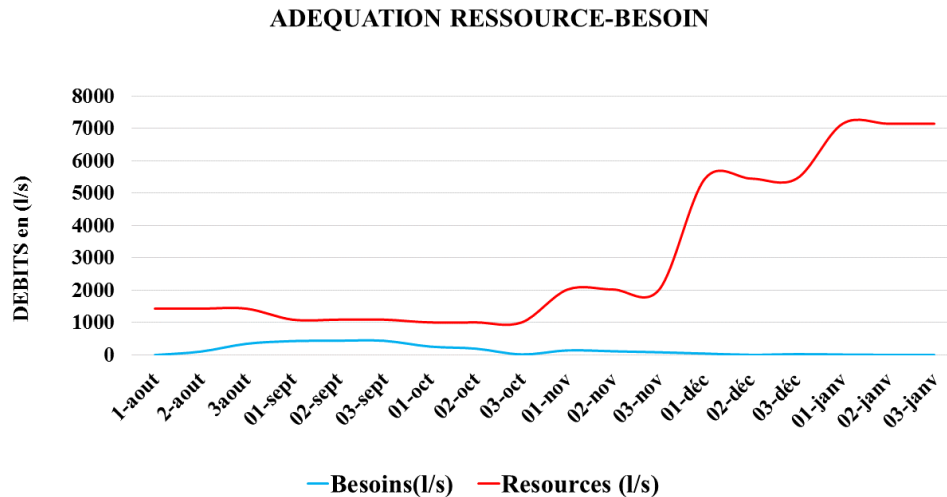
Le principe est de **faire multiplier le débit fictif continu** de chaque mois par la surface à irriguer, et ensuite on fait la comparaison de ces valeurs avec les **apports en année quinquennale sèche**.

Le périmètre à irriguer de la plaine Laniera situer à l'aval de la route est de 260 ha ; a été délimité à partir de tracé sur Google earth et calcule sur Arcgis 10.1.

Tableau 17 : Les résultats de l'adéquation ressource-besoin sont donnés par le tableau ci-dessous :

Mois	Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre			Janvier		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Besoins(l/s)	0	106	345	428	440	436	259	195	20	142	114	83	44	5	27	13	4	0
Ressources (l/s)	1436	1436	1436	1098	1098	1098	1014	1014	1014	2027	2027	2027	5449	5449	5449	7138	7138	7138

Figure 21 : Adéquation ressource besoin



1.4. Débit de pointe

C'est la plus grande valeur observée parmi les débits fictifs continus pendant le cycle végétatif.

1.6. Débit d'équipement (q_e)

C'est le débit avec lequel sont dimensionnés les ouvrages d'irrigation, et sa valeur dépend des ressources disponibles, selon que :

– Si les ressources disponibles sont limitées, nous prenons :

$$q_e = Dfc_{MAX}$$

– Si les ressources disponibles sont largement suffisantes, nous prenons :

$$q_e > Dfc_{MAX}$$

C'est le deuxième cas qui correspond à notre présente étude, ainsi le débit d'équipement pris est $q_e = 1,7$ [l/s/ha].

1.6. Débit nominal

Le débit nominal a comme expression :

$$Q_n = q_e * S$$

Où - Q_n : débit nominal dans un tronçon alimentant la superficie S,

- q_e : le débit d'équipement,

- S : la superficie de la parcelle irriguée

Le débit d'équipement est de 1,7 l/s et la surface à irriguer est de 260 ha,

d'où le débit nominal $Q = 439,6$ l/s

Avec le dimensionnement d'un dalot pouvant transiter le débit, $Q = q_e * S$

Nous aurons un dalot de 1mx1m, spécialement conçu pour l'irrigation de la plaine Laniera, placée sur la route Tsarasaotra –Ivato aux coordonnées :

X= 765106,8925 M

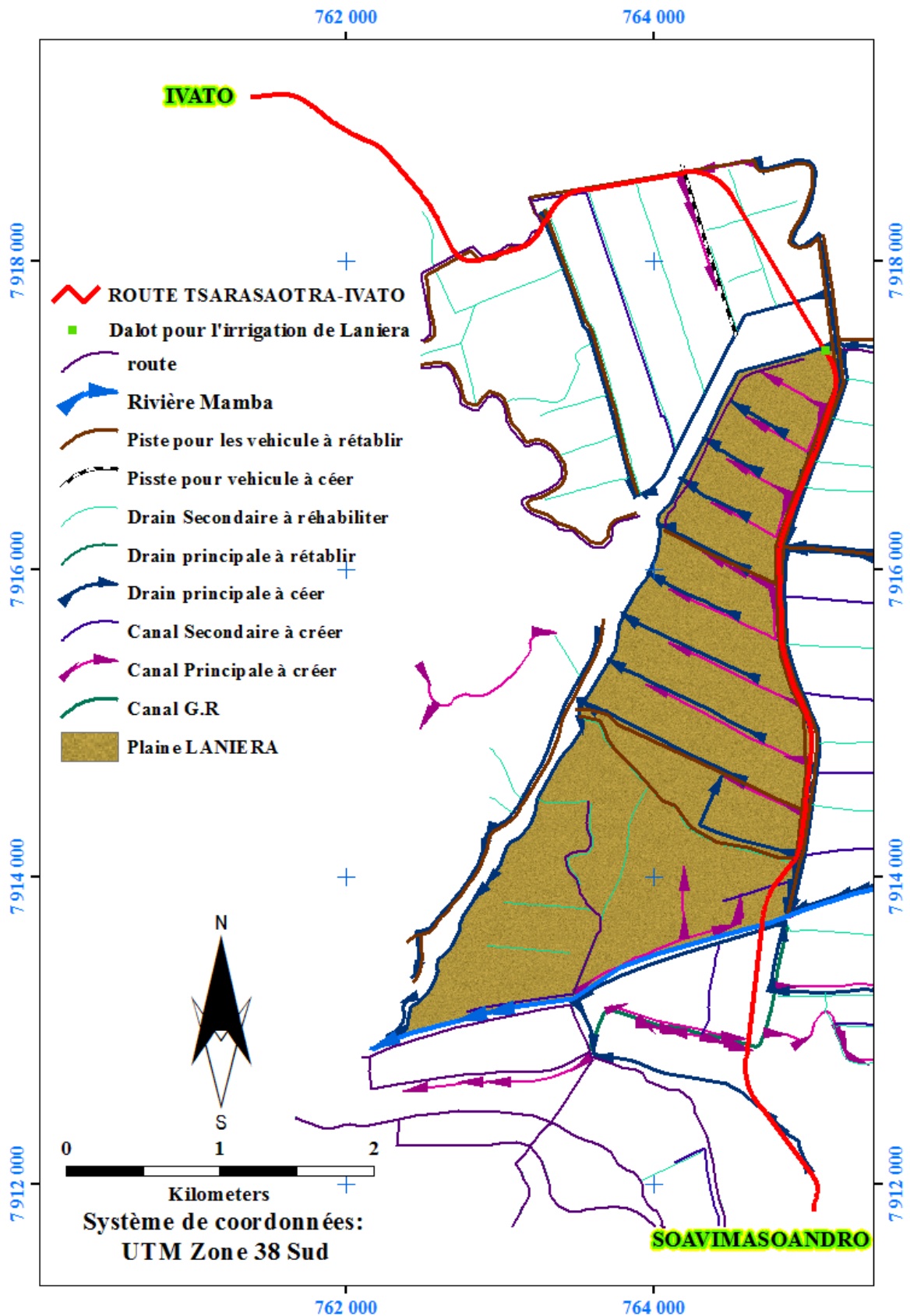
Y= 7917423,091 M

Z= 1248,503 M

Conclusion partielle :

Nous avons pu montrer que les ressources en eau pour satisfaire le besoin d'ouvrage d'irrigation de la plaine Laniera sont suffisantes pour irriguer le périmètre à exploiter, ainsi, nous pouvons envisager le projet d'irrigation. En outre, le rôle principal des calculs d'adéquation ressource-besoin porte sur l'aboutissement du débit de dimensionnement du dalot spécialement pour l'irrigation, franchissant la route Tsarasaotra-Ivato et permettant d'irriguer les rizières de la plaine. De ce fait, cette dernière ne devrait subir aucun problème d'irrigation même à l'existence de cette route. La carte géoréférencée ci-après illustre les propositions de canal d'irrigation et de drainage à créer dans la plaine, et l'emplacement du dalot pour l'irrigation.

Carte 11 : Carte d'irrigation de Laniera



PARTIE V- ETUDES ECONOMIQUES

CHAPITRE I- DEVIS DESCRIPTIF

1.1. Principe du sous détail des prix

Nous avons évalué les prix de chaque composante définis par la nature des tâches comprises dans chaque lot de travaux. Les prix sont composés de l'allocation des matériels, des salaires et charges de la main d'œuvre affectée, des coûts des matériaux amenés au pied d'œuvre et les diverses charges : taxes, frais financiers, frais généraux. Cette évaluation est basée sur le choix du rendement de chaque tâche à réaliser. En effet, le prix unitaire est obtenu par la formule suivante :

Le prix unitaire est donné par la formule : $PU = K \frac{D}{R}$ où

- K : coefficient de déboursé ;
- R : rendement ;
- D : déboursé sec.

1.2. Coefficient de déboursé K

Le coefficient de déboursé K est défini par sa forme conventionnelle suivante :

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

Avec :

A_1 : Frais proportionnels aux déboursés : $A_1 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ en %

A_2 : bénéfice brut et frais financiers proportionnels au prix de revient de l'entreprise
en %: $A_2 = a_5 + a_6 + a_7 + a_8$

A_3 : Frais proportionnels aux TVA en % : $A_3 = a_9$

Remarque : il n'y a pas de frais de siège pour les Entreprises résidentes à Madagascar, donc $A_3 = 0$.

Pour un délai d'exécution n'excédant pas 18 mois, a T en % : TVA selon la loi des finances, TVA = 20%. $a_7 = 0$

Les indices qui caractérisent le coefficient de déboursé sont dans le prochain tableau :

Tableau 18 : Indices qui caractérisent le coefficient de déboursé

Catégorie de frais	Décomposition à l'intérieur de chaque catégorie de frais	Indice de composition	
Frais généraux proportionnels aux déboursés	Frais d'agence et patente	a1	1,5
	Frais de chantier	a2	3
	Frais d'étude et de laboratoire	a3	2,5
	Assurances	a4	1,4
		A1	8,4
Bénéfice brut et frais financiers	Bénéfice net et impôt sur le bénéfice	a5	14
	Aléas technique	a6	1,4
	Aléas de révision de prix	a7	1,5

Catégorie de frais	Décomposition à l'intérieur de chaque catégorie de frais	Indice de composition	
proportionnels aux prix de revient	Frais financiers	a8	12
		A2	29,9
Frais proportionnel au prix règlement avec TVA	Frais de siège	a9	0
		A3	0

Le coefficient K dépend parfois du maître d'ouvrage, mais ici, nous avons pris K= 1,4.

CHAPITRE II- DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF :

Les bordereaux de devis quantitatif et estimatif sont indiqués dans les tableaux ci-après.

Tableau 19 : Devis du dalot à 03 ouvertures

Désignations	Unités	Quantités	PU	Montant
DALOT à 3 OUVERTURES				
Déblayage	m ³	126	38 900	4 901 400
Evacuation des terres excédentaires	m ³	138	39 900	5 506 200
Remblai sur les deux côtes de l'ouvrage	m ³	30	37 800	1 134 000
Coffrage	m ²	758	45 000	34 110 000
Béton dosé à 350 kg/m ³	m ³	254	455 200	115 620 800
Armature	kg	44 150	10 000	441 500 000
				602 772 400

Tableau 20 : Devis du dalot à 02 ouvertures

Désignations	Unités	Quantités	PU	Montant
DALOT à 2 OUVERTURES				
Déblayage	m ³	83	38 900	3 228 700
Evacuation des terres excédentaires	m ³	92	39 900	3 670 800
Remblai sur les deux côtes de l'ouvrage	m ³	30	37 800	1 134 000
Coffrage	m ²	489	45 000	22 005 000
Béton dosé à 350 kg/m ³	m ³	163	455 200	74 197 600
Armature	kg	19 138	10 000	191 380 000
				295 616 100

Tableau 21 : Devis des 33 buses

Désignations	Unités	Quantités	PU	Montant
Pour les 33 Buses de 12m				
Coffrage	m ²	3 168	45 000	142 560 000
Béton dosé à 350 kg/m ³	m ³	2 376	4 55 200	1 081 555 200
Armature	kg	1 980	10 000	19 800 000
				1 243 915 200

Le tableau ci-dessous donne la récapitulation des coûts des ouvrages.

Tableau 22 : Récapitulation des coûts des ouvrages

N °	Désignations	Montant
1	DALOT à 3 OUVERTURES	602 772 400
2	DALOT à 2 OUVERTURES	295 616 100
3	33 BUSES de 12m	1 243 915 200
	MONTANT HTVA	2 142 303 700
	TVA 20%	428 460 000
	MONTANT TOTAL TTC	2 570 764 000

Le coût total des ouvrages est estimé à la somme de TROIS MILLIARD CINQ CENT SOIXANTE DIX MILLION SEPT CENT SOIXANTE-QUATRE MILLE ARIARY (**Ar 3 570 764 000**), y compris la taxe sur les valeurs ajoutées au taux de vingt pour cent (20%) valant QUATRE CENT VINGT HUIT MILLION QUATRE CENT SOIXANTE MILLE ARIARY (**Ar 428 460 000**) et le coût de substitution des ouvrages estimé à UN MILLIARD ARIARY (**Ar 1 000 000 000**).

PARTIE VI- ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIALE (EIES).

CHAPITRE I- PROCEDURES POUR L'ETABLISSEMENT D'UNE ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Pour tout projet pouvant porter atteinte à l'environnement, il s'impose une étude préalable sur ses impacts au niveau social et environnemental.

Il existe deux types d'analyse d'impact :

- a) EIE ou Etude d'Impact Environnemental : ceci est consacré pour un nouveau projet et qui nécessite une étude exhaustive et complète ;
- b) PREE ou PProgramme d'Engagement Environnemental : ceci est pour un projet déjà existant. On peut avoir 2 cas de figures :
 - ❖ Audit Environnemental : commandité par l'Etat et à la charge du promoteur, c'est-à-dire que si les gens à part le promoteur constatent les effets néfastes du projet à l'environnement.
 - ❖ Mise en conformité : commandité par le promoteur et à la charge de l'Etat, c'est-à-dire que si le promoteur expose en avance à l'Etat les effets néfastes sur l'environnement du projet.

Nous allons prendre particulièrement l'établissement d'une Etude d'Impact Environnemental, avec la mise en évidence des points suivants : le contexte du projet, ses objectifs, sa Mise En Compatibilité à l'Investissement et l'Environnement (MECIE), l'évaluation de ses impacts sur l'environnement et la société et les mesures d'atténuation ou de compensation selon la nature des impacts, et l'établissement d'un PGES (Plan de Gestion Environnementale et Sociale).

Il est à noter que cette étude (EIE) suit les lois et les décrets tirés de la Charte de l'environnement Malagasy.

1.1. Charte de l'environnement

La loi n° 90-033 du 21/12/90 article 4 et 10 régit le domaine d'activité d'une Etude d'Impact Environnemental, modifié par la loi n° 97 - 012 du 06/06/97. L'article 4 est consacré sur l'obligation de protection de l'environnement, et du principe au droit à l'information. "La protection et le respect de l'environnement sont d'intérêt général. Il est du devoir de chacun de veiller à la sauvegarde du cadre dans lequel il vit.

A cet effet, toute personne physique ou morale doit être en mesure d'être informée sur les décisions susceptibles d'exercer quelque influence sur l'environnement et ce directement ou par l'intermédiaire de groupements ou d'association.

Elle a également la faculté de participer à des décisions." L'article 10 énonce le principe de réalisation des EIE pour les projets d'investissements publics ou privés. "Les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact, compte tenu de la nature technique, de l'ampleur des projets ainsi que de la sensibilité du milieu d'implantation..."

1.2. Décret MECIE

Pourquoi une « Étude d'impact environnemental » ? L'État malgache procède à un investissement rural qui répond aux ententes sur tous les plans. Le pays est parmi le premier à vulgariser la charte de l'environnement pour tout projet. Le décret MECIE article 4 et toutes les annexes prévoient dans le cadre des aménagements sur les zones sensibles, selon le décret d'application n°4355 / 97 du 13 mai 1997, et du décret n°2004 – 167 du 03 février 2004 modifiant certaine disposition du décret n°99-954 du 15 décembre 1999.

i. Contexte :

Dans le contexte, on étudie les problèmes, les enjeux et les préoccupations majeures du projet en général.

ii. Objectifs

Les objectifs doivent répondre aux problèmes constatés dans le contexte ; ils constituent alors une sorte de résolution.

iii. Mise En Compatibilité à l'Investissement et l'Environnement (MECIE)

Pour la MECIE, on effectue en parallèle l'étude du milieu et l'étude du projet.

- a. Etude du milieu : milieu physique (eau, air, sol), milieu biologique (faune et flore) et le milieu humain (social, économique, culture, santé, ...) ;
- b. Etude du projet : les phases et leurs composantes.

A partir de ces études, nous établissons les impacts environnementaux et sociaux directs et indirects entre le milieu et le projet. Ces impacts peuvent être positifs ou négatifs.

1.3. Impacts environnementaux

La construction de la route Tsarasaotra-Ivato est un grand Projet pour la Région Analamanga du point de vue économique et du point de vue social. Cependant, ce Projet engendre dans sa réalisation, des Impacts sur l'Environnement pouvant causer des dégradations.

La loi portant la Charte de l'Environnement Malagasy et le décret MECIE ou Mise en Compatibilité d'Impact Environnemental obligent le projeteur des investissements publics ou privés susceptible de porter atteinte à l'Environnement, soit de procéder à l'EIE (Etudes d'Impact environnemental) afin de déterminer les impacts du projet et d'y établir des mesures d'accompagnement ou d'atténuation.

1.4. Mode de détermination et évaluation des impacts

1.4.1. Evaluation des impacts

L'évaluation des impacts du projet sur l'environnement est réalisée suivant une méthode d'évaluation environnementale reconnue. Cette évaluation vise à apprécier l'importance des impacts qui seront engendrés par les activités de cette étude.

L'étude d'impact s'appuie sur une méthode d'études d'impact classiquement utilisée. Cette méthode permet une évaluation des impacts environnementaux suivant quatre critères : la durée, l'effet, l'intensité et l'étendue géographique de l'activité sur les éléments susceptibles d'être modifiés par le projet.

1.4.2. Critères d'appréciation des impacts :

L'importance des impacts positifs et négatifs du projet a été appréciée sur la base des trois critères suivants : INTENSITE, DUREE, ETENDUE

INTENSITE : C'est l'ampleur de la perturbation ou de la modification. Souvent, nous distinguons 03 degrés de perturbation :

- ✓ Forte : l'impact met en cause l'intégrité de l'élément considéré et en modifiant complètement sa dynamique.
- ✓ Moyenne : l'impact modifie l'élément sans pour autant en modifier les fonctions.
- ✓ Faible : l'impact se résume en une modification superficielle de l'élément sans en altérer sa dynamique ni sa qualité.

ETENDUE : Elle correspond à la portée spatiale de l'impact considéré. Habituellement, nous distinguons les 3 niveaux d'étendue :

- ✓ Régionale : Il sera ressenti par une part importante de la population ou des récepteurs d'impact en général.
- ✓ Zonale : Il sera ressenti par les récepteurs situés à l'intérieur de la zone d'étude.
- ✓ Locale : l'impact ne sera ressenti que par une proportion limitée des récepteurs dans l'environnement immédiat du site.

DUREE : correspond à la période de l'existence de l'impact :

- ✓ Permanente : s'il a un caractère d'irréversibilité et ses effets sont ressentis de manière définitive ou sur une longue durée.
- ✓ Temporaire : s'il peut s'échelonner sur quelques jours, semaines ou mois, mais doit être associé à la notion de réversibilité.
- ✓ Ponctuelle : s'il touche un élément du milieu pendant une courte période

Il y a le mode d'attribution d'une note pour un impact quelconque, résumé dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Note d'évaluation des impacts

Critères	Intensité	Durée	Ampleur	Note attribuée
Evaluation	Faible	Ponctuelle	Locale	0
	Moyenne	Temporaire	Zonale	5
	Forte	Permanente	Régionale	10

En combinant les notes attribuées pour un impact, nous pouvons en déduire les résultats suivants :

- ❖ Note < 4 : impact mineur ;
- ❖ $5 \leq \text{note} \leq 6$: impact intermédiaire ;
- ❖ Note ≥ 7 : impact majeur.

1.4.3. Evaluation des impacts :

Nous allons résumer dans les tableaux suivants le résultat de l'analyse des impacts.

1.4.3.1. Impacts négatifs :

Impact sur le milieu biophysique : (à voir dans le tableau 19)

Tableau 24 : Impacts négatifs sur le milieu biophysique

Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Pollution de sol	Engin de chantier Produits chimiques Dépôts des matériaux	Chantier Exploitation	1	1	1	3 :Mineure
Pollution des Eaux superficielles	Epanchage des gasoils, huiles, vidanges. Déversement	Chantier Exploitation	1	1	1	3 :Mineure
Augmentation des pressions anthropiques	Présence des ouvriers Plus de migrants Libre circulation Exploitation illicite	Chantier Exploitation	4	3	3	10 :Majeure
Perte de paysage naturel	Changement de tracé Création d'excavation aux zones d'emprunts	Chantier	1	1	4	6 :Moyenne

Impact sur le milieu social et économique : (tableau 20)

Tableau 25 : Impacts négatifs sur le milieu social et économique

Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Accident de travail	Travaux	Chantier	4	2	1	7 : Majeure
Accident sur la route	Vitesse de circulation élevée. Non-respect des codes de la route	Exploitation				
Nuisances sonores	Exploitation des carrières et des gisements meubles Engin, camion et véhicule	Chantier Exploitation	1	1	1	3 : Mineure
Pollution de l'air	Poussières liées aux travaux sur chantier Gaz d'échappement	Chantier Exploitation	2	2	1	5 : Moyenne
Perte des terres agricoles	Changement de tracé Elargissement de l'emprise de la chaussée Déviation provisoire	Chantier	1	2	3	6 : Moyenne
Déplacement d'habitation, des bâtiments commerciaux	Acquisition des terrains : carrière, emprunt et accès Elargissement de l'emprise.	Chantier	1	2	3	6 : Moyenne
Migration de la population	Travailler au chantier Destruction des logements	Chantier Exploitation	1	2	3	6 : Moyenne
Risque d'épidémie des maladies	Manque d'hygiène	Chantier	4	2	3	9 : Majeure
Risque d'augmentation des pressions anthropiques	Présence des ouvriers Plus de migrants Libre circulation Exploitation illicite	Chantier Exploitation	4	3	3	10 : Majeure

1.4.3.2. Impacts positifs

Impact sur le milieu biophysique : : (voir tableau 21)

Tableau 26 : Impacts positifs sur le milieu biophysique :

Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Amélioration de l'écoulement des eaux	Assainissement longitudinal et transversale	Chantier Exploitation	1	1	4	6 :Moyenne
Protection des abords immédiats	Engazonnement	Chantier Exploitation	1	1	4	6 :Moyenne
Augmentation de la praticabilité	Construction et/ou réparation des ouvrages de franchissement	Exploitation	1	1	4	6 :Moyenne

Impact sur le milieu social et économique (voir tableau 22)

Tableau 27 : Impacts positifs sur le milieu social et économique

Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Renforcement de la sécurité routière	Mobilité de la gendarmerie	Exploitation	2	2	3	7 :Majeure
Augmentation des Activités Génératrices des Revenus (AGR)	Diversification des activités commerciales Réduction de prix des denrées de bases	Exploitation	2	2	3	7 :Majeure

Impacts positifs sur le milieu social et économique (suite)

Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Facilité d'entrée aux sites d'intérêts économiques et touristiques	Aménagement d'accès ou de déviation ou de pistes connexes	Exploitation	3	2	3	8 :Majeure
Facilités d'accès à l'administration	Aménagement de la route.	Exploitation	3	2	3	8 :Majeure

1.4.3.3. Mesures d'atténuation et d'accompagnement des impacts

Il s'agit de respecter certaines pratiques environnementales de prévention. Les démarches dans l'installation et les différentes activités de construction opérées par l'entreprise devront être orientées vers un plus grand respect de l'environnement.

Les mesures d'atténuation préconisées dans le cadre du PGE se rapportent essentiellement aux impacts majeurs qui vont faire l'objet de suivi environnemental à travers toutes les phases du projet.

Les mesures d'atténuation ont pour but d'éviter ou d'éradiquer les impacts négatifs des travaux effectués par une entreprise sur l'Environnement naturel et humain.

Le tableau suivant nous montre ces mesures.

Tableau 28 : Mesures d'atténuation des impacts négatifs

Milieu récepteur	Impact	Importance	Mesures d'atténuation
Milieu biophysique	Pollution de sol	Mineure	Bien délimiter des zones sensibles
	Pollution des eaux		Collecter et entreposer les filtres et les huiles usagées dans des récipients fermés
	Augmentation des pressions anthropiques	Majeure	Concertation des autorités locales Eviter tout déplacement de population ou le cas échéant, mettre en œuvre un plan de compensation.

Milieu récepteur	Impact	Importance	Mesure d'atténuation
Milieu humain	Accident de travail	Majeure	Instaurer des règlements interne mentionnant les règles de sécurité pendant le travail
	Pollution de l'air	Moyenne	Humidification des matériaux durant le concassage Arrosage de la chaussée traversant des agglomérations Mise en place des zones de chantier à accès restreint avec une distance suffisante.
	Perte des terres agricoles	Moyenne	Concertation des autorités locales
	Déplacement d'habitation	Moyenne	Eviter de toucher autant que possible les habitations, les aires de culture et les tombeaux.
	Migration de la population	Moyenne	Indemniser les populations à la hauteur de la valeur actuelle du remplacement de leurs biens démolis.

1.4.3.4. Mesures d'accompagnement des impacts positifs

Nous allons récapituler dans le tableau suivant les mesures d'accompagnement à mettre en œuvre grâce aux travaux d'accomplissement du projet.

Tableau 29 : Mesures d'accompagnement des impacts positifs

Milieu récepteur	Impacts	Importance	Mesures d'accompagnement
Milieu biophysique	Amélioration de l'écoulement des eaux	Moyenne	Entretien de la route
	Protection des abords immédiats	Moyenne	
	Diminution des embouteillages	Moyenne	

Milieu récepteur	Impacts	Importance	Mesures d'accompagnement
Milieu humain	Désenclavement	Majeure	Entretien de la route
	Renforcement de la sécurité routière	Majeure	Sensibiliser les usagers de la route à bien respecter les instructions sur les panneaux de signalisation et à suivre le code de la route
	Augmentation des Activités Génératrices des Revenus (AGR)	Majeure	Entretien de la route
	Valorisation des ressources locales	Majeure	Mettre en œuvre des techniques d'exploitation appropriées
	Facilité d'entrée aux sites d'intérêts économiques et touristiques	Majeure	Favoriser les circuits touristiques et favoriser l'entrée des touristes étrangers. Encourager les entrepreneurs à s'investir dans ce domaine

Conclusion de l'étude d'impact :

La construction de la route ne présente pas de contraintes majeures susceptibles d'entraver sa mise en œuvre. Toutefois, l'application des mesures d'atténuation est indispensable pour un bon déroulement de la construction pendant les travaux. Des mesures compensatoires sont aussi à prendre pour réduire les impacts négatifs pendant et après les travaux. Pendant toutes les phases des travaux, afin de minimiser les dégâts que peuvent engendrer ceux-ci, il est vraiment nécessaire de bien garder des mesures de précaution. Une bonne communication et une coopération entre la population locale et celle venant d'autres zones doivent être établies, ainsi qu'une bonne vigilance des responsables de chantier, surtout vis-à-vis des engins.

Quant à la population locale, elle se doit d'être consciente de l'importance des travaux de construction dans leur zone, ce qui devrait l'amener à être très coopérative et à participer aux travaux d'entretien pour le maintien de la route et des ouvrages en bon état.

CONCLUSION

La route est parmi les facteurs indispensables de développement. A plus forte raison, la construction de la nouvelle route Tsarasaotra-Ivato est de mise car elle permet de diminuer les embouteillages dans la partie Nord notre capitale. Notre zone d'étude est dans une plaine formée de rizières, et accompagnée d'une moyenne pente de bassin versant à zone de culture mais non pas de construction. La mise en place d'une route en remblai dans une plaine nécessite plusieurs études approfondies du point de vue hydrologique, hydraulique et au niveau de la structure, afin d'éviter la perturbation voire le blocage de l'écoulement naturel sur cette plaine.

Dans nos travaux, la crue décennale et son volume total dans l'ensemble des bassins versants engendrant des débits traversant la route Tsarasaotra – Ivato sont estimées. Le calage hydraulique des ouvrages de franchissement est effectué, en utilisant l'épure de Blackmore, à cause de la plaine Laniera qui joue un rôle de réservoir tampon en période de crue. Ce calage a permis d'obtenir de bonnes dimensions hydrauliques des ouvrages de franchissement, dont leur placement le long de la route est le véritable objectif de ce mémoire.

Les ouvrages de franchissement ont été conçus de façon à remplir pleinement et longuement leurs rôles, qui sont de protéger la route contre sa submersion et favoriser la longévité de celle-ci en matière de structure des ouvrages.

Des mesures environnementales ne doivent pas être négligées pour atténuer les impacts négatifs apportés par les travaux de construction de route. Ces mesures conduisent également à une augmentation de la durée de vie des ouvrages de franchissement, surtout ceux de la route.

Pour maintenir la route de l'axe Tsarasaotra-Ivato en bon état, il faut prévoir et mettre en place une politique d'entretien rigoureux, ce qui est un paramètre encore négligé dans notre pays.

BIBLIOGRAPHIE

✓ **OUVRAGES :**

1. RASOLOFONIAINA J. Donné « **Cours d'hydrologie** »
2. « **Formulaire de l'Ingénieur** » ouvrage de synthèse, pages 151.
3. MARCEL et REIBLERT. A « **Mécanique des sols** » Edition Eyrolles 61, Boulevard Saint-Germain Paris 1977,
4. Nguyen V. T. « **Hydraulique Routière** » Edition Janvier 1979, pages 153.

✓ **SUPPORT DE COURS**

- MASEZAMANA Haja Nirina, « Système d'Information Géographique, Covadis, Autocad, Global Mapper, Robobat, Excel Avancé » en 4° année en 2014 et 5° année en 2015
- RAMANANTSOA Benjamain, « Hydraulique routière » en 4°année en 2014
- RANDRIAMAHERISOA Alain, « Hydrologie Appliquée » en 4° année en 2014
- RAVAOARISOA Lalatiana, « Pont » en 5° année en 2015

WEBOGRAPHIE

- 1) Wikipedia
- 2) Encyclopédie Encarta
- 3) www.fao.org
- 4) <http://www.conseilsgratuits.fr/affaires-%26-finances/b%E2timent/hydraulique-%26-construction-routiere.html>
- 5) [http://fr.slideshare.net/search/slideshow?searchfrom=header&q=mini+projet+hydraulique+ro
uti%C3%A8re](http://fr.slideshare.net/search/slideshow?searchfrom=header&q=mini+projet+hydraulique+ro
uti%C3%A8re)

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : DIAGNOSTICS DES OUVRAGES	X
ANNEXE II : PRECIPITATION, DEBIT DE CRUE (GUMBEL), DEBIT D'ETIAGE, VERIFICATION LOI DE KHI2 EXTREME ET MOYENNE).....	XIII
ANNEXE III : DEBITS DES DEUX RIVIERES	XXII
ANNEXE IV : PROFIL EN TRAVERS DE LA ROUTE TSARASAOTRA-IVATO.....	XXIV
ANNEXE V : RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DE L'EQUATION DE LA SURFACE	XXVI
ANNEXE VI : ECHANTILLONS DES NOTES DU DALOT SUR ROBOBAT.....	XXIX
ANNEXE VII : PROGRAMME DE CALCUL SOUS VISUAL BASIC DE DEBIT DES EQUATIONS DES DALOTS ET DES BUSES EN FONCTION DE LA HAUTEUR H.	XXXVII
ANNEXE VIII: SOUS DETAILS DES PRIX	XLV

ANNEXE I : DIAGNOSTICS DES OUVRAGES

OUVRAGES SUR LA ROUTE BOULEVARD DE L'EUROPE



OUVRAGES SUR LA ROUTE BRETTELLE



OUVRAGES SUR LA ROUTE BY PASS



ANNEXE II : PRECIPITATION, DEBIT DE CRUE (GUMBEL), DEBIT D'ETIAGE,
VERIFICATION LOI DE KHI2 EXTREME ET MOYENNE)

Pluviométries moyennes mensuelles

La pluviométrie moyenne est obtenue par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N}$$

$\bar{P}$: pluviométrie moyenne

P_i : la pluviométrie annuelle

N : le nombre d'année

L'écart type est obtenu par l'expression :

$$\sigma^2 = \frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{N - 1}$$

PLUVIOMETRIE DE DIFFERENTES FREQUENCES :

Pluviométries quinquennale et décennale sèche annuelle :

Le calcul des pluviométries annuelles quinquennales et décennales sèche est effectué en appliquant la loi normale de GAUSS :

$$P_{5S_{annuelle}} = \bar{P} - 0,84 \cdot \sigma$$

$$P_{10S_{annuelle}} = \bar{P} - 1,24 \cdot \sigma$$

Où

$P_{5S_{annuelle}}$: pluviométrie annuelle quinquennale sèche en [mm]

$P_{10S_{annuelle}}$: pluviométrie annuelle décennale sèche en [mm]

$\bar{P}$: Pluviométrie moyenne interannuelle en [mm]

σ : écart-type de la pluviométrie moyenne interannuelle en [mm]

La formule qui détermine cette répartition mensuelle de la pluie quinquennale a pour expression :

$$P_{5s_{Mois}} = \frac{\%P \cdot P_{5S_{annuelle}}}{100}$$

$$P_{10s_{Mois}} = \frac{\%P \cdot P_{10S_{annuelle}}}{100}$$

$P_{5s_{Mois}}$: pluie quinquennale sèche du mois considéré ;

$P_{10s_{Mois}}$: pluie décennale sèche du mois considéré ;

$\%P$: pourcentage de la pluie moyenne du mois considéré.

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
1961	239,4	53,9	391	109,6	2,6	3,4	21	5,9	5,5	25	199	408	1463,8
1962	77,1	169,9	256	49,9	19,3	0,9	0,9	7,2	3,8	68	362	404	1417,4
1963	272,3	151,5	102	81,7	16,6	39	3,3	8,4	0,6	152	150	468	1445,3
1964	134,4	330,6	168	4,2	1,4	16	37	4,8	3,6	31	129	411	1271,1
1965	422,3	190,7	140	82	2,6	1,1	32	64,1	6,7	37	220	428	1626,4
1966	113,1	174	141	9,7	89,7	11	5,3	61,2	12	24	62	392	1094,6
1967	292,2	186,9	323	44,8	7,2	6,3	4,1	9,3	28	63	273	278	1515,1
1968	155,2	159,2	89	39,3	5,4	8,6	17	0,3	5	0,1	194	240	912,6
1969	195,4	201,3	62	27	1,9	8,4	6,5	28,5	3,9	34	81	457	1107,6
1970	157,6	233,5	150	19,3	3,4	9,6	1,9	8,5	1,1	2	211	125	922,8
1971	381,6	397,8	52	1,6	13,2	1,1	6	5,3	39	3,8	207	426	1533,6
1972	329,9	379,4	250	32,8	43,3	6	14	22,8	2,7	75	174	261	1590,4
1973	319,7	331,5	232	0	0,6	9	5,7	10,4	24	58	106	249	1345,5
1974	178,2	250	91	130,7	57,2	36	5,4	3,9	6,1	91	89	454	1392,2
1975	232,9	402,9	310	33,1	25,9	2,2	5,1	5,4	3,4	54	359	279	1712,8
1976	76,1	188,5	50	15,2	23,6	4,9	7,3	37,7	1,3	150	80	478	1111,8
1977	207,6	403,5	207	15,1	39,6	2,1	3,6	16,1	2,1	127	54	140	1217,5
1978	203,3	112	99	112,8	63,5	7,8	44	12,2	91	18	180	147	1090,7
1979	188,5	219,2	228	77,6	43,1	14	14	21	5,3	53	407	282	1552,4
1980	293,1	149,2	359	41,9	7,7	0,9	19	1,6	4	156	62	195	1289,4
1981	299,4	289,2	287	85,8	67,4	0,6	1,6	30,8	12	128	76	358	1636
1982	808,7	398,1	323	23,2	9,1	4,7	28	4,2	63	75	162	119	2017,2
1983	257,8	288,2	153	22,5	2,9	9,5	4,7	3,6	12	28	251	277	1310,1
1984	442,7	441,2	154	60,3	1,1	5,9	7,1	20,4	2,7	71	305	137	1647,9
1985	165,1	330,1	274	78	3,4	5,2	1,4	10,6	5	29	122	254	1278,3
1986	85,5	303,5	125	103,8	52,7	1,8	2,1	11,3	3,8	197	156	194	1236,9
1987	650	250,5	164	67,3	0,4	0,6	11	13,8	0,9	47	84	124	1414,2
1988	358	169,7	69	21,3	10,4	2	24	1,2	1,1	28	103	302	1090,3
1989	146,1	340,1	33	15,6	42,6	0,3	4,7	11,8	3,2	49	106	338	1089,4
1990	141,8	180,8	70	29,8	9,2	2,7	2,5	0,9	27	54	86	172	776,6
1991	116,1	178,7	154	41,7	10,6	15	0,3	0	0,1	23	160	207	906,7
1992	435,1	202,8	154	40,4	2	0,7	1,5	14	0,7	11	223	81,9	1166,4
1993	167,4	388,9	164	44	17	13	9,9	0,6	7,9	122	175	200	1309,6
1994	738,8	238,1	268	50,2	3,4	22	11	11,5	8,1	44	13	186	1593
1995	362,3	301,5	164	50,7	10,5	1,8	1,8	2,8	0,3	Nt	13	353	1261,5
1996	599,8	200	277	0,6	1,8	0,4	2,5	10	7,5	5,4	9,7	319	1433,7
1997	372,6	338,1	70	50,7	20,3	4,5	10	7,9	34	52	158	154	1272,9
1998	135,7	454,6	129	42,9	11,4	1,7	4,2	13,7	35	9,5	17	320	1173,9
Moyenne	283	262,6	177	46,24	19,6	7,4	10	13,3	12	59	153	279	1321,779
%	0,214	0,199	0,1	0,035	0,01	0	0	0,01	0	0	0,1	0,21	1
σ	179,2	100,9	95	33,47	22,5	8,8	11	14,7	19	50	99	116	257,9167
P5s	236,6	219,6	148	38,66	16,4	6,2	8,4	11,1	10	50	128	234	1105,129
P10s	214,5	199,1	134	35,05	14,8	5,6	7,6	10	9,4	45	116	212	1001,962

PLUVIOMETRIES MAXIMALES JOURNALIERES DE DIFFERENTES FREQUENCES

Les pluies maximales journalières de différentes fréquences seront obtenues par ajustement statistique suivant la loi de GUMBEL

Année	Pmax24 (mm)	Année	Pmax24 (mm)
1933	106,5		
1934	81,2	1979	89
1935	10,6	1980	78
1936	94,7	1981	132
1937	66,7	1982	147
1938	133,3	1983	67
1941	132,5	1984	99
1961	67	1985	77
1962	85	1986	73
1963	73	1987	140
1964	75	1988	82
1965	70	1989	98
1966	105	1990	42
1967	65	1991	62
1968	63	1992	57
1969	73	2000	128
1970	69	2001	77
1971	84	2002	67
1972	89	2003	93
1973	82	2004	78
1974	67	2005	58
1975	128	2006	55
1976	52	2007	81
1977	78	2008	87
1978	115	2009	57
Moyenne	83,46		
σ	27,25		
Po	71,19		
Ag	21,29		
P5h	103,1		
P10h	119,1		

Détails de test de khi-deux :

- Pour la pluviométrie moyenne : les pluviométries moyenne annuelles sont divisées en 6 classes contenant en moyennes 6 éléments. Nombres d'échantillons est le nombre d'années d'observations.

Rang	Annuelle	Classes		Nbres par classes
1	776,6	776,6	1	1
2	906,7			2
3	912,6			3
4	922,8			4
5	1089,4			5
6	1090,3			6
7	1090,7	1090,7		7
8	1094,6		2	1
9	1107,6			2
10	1111,8			3
11	1166,4			4
12	1173,9			5
13	1217,5	1217,5		6
14	1236,9		3	1
15	1261,5			2
16	1271,1			3
17	1272,9			4
18	1278,3			5
19	1289,4			6
20	1309,6	1309,6		7
21	1310,1		4	1
22	1345,5			2
23	1392,2			3
24	1414,2			4
25	1417,4	1417,4		5
26	1433,7		5	1
27	1445,3			2
28	1463,8			3
29	1515,1			4
30	1533,6			5
31	1552,4	1552,4		6
32	1590,4		6	1
33	1593			2
34	1626,4			3
35	1636			4
36	1647,9			5
37	1712,8			6
38	2017,2			7
Pm=	1321,779			
σ=	257,9167			
Nbre d'échantillons	38			
u=(P-Pm)/Sigma				
P	u			
1090,7	-0,89594			
1217,5	-0,40431			
1309,6	-0,04722			
1417,4	0,370744			
1552,4	0,894169			

En utilisant la loi normale :

classes	Limites	u	ni	fonction intégrale de la loi pour chaque valeur de u dans le tableau de Gauss	fonction intégrale de la loi pour chaque classe	Vi	$\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$
1	-infini 1090,7	-0,89594	7		0,18406	6,99428	4,68E-06
2	1217,5	-0,40431	6		0,16052	6,09976	0,001632
3	1309,6	-0,04722	7		0,13548	5,14824	0,666056
4	1417,4	0,370744	5		0,16425	6,2415	0,246947
5	1552,4	0,894169	6		0,16896	6,42048	0,027537
6	+infini		7		0,18673	7,09574	0,001292
somme			38	0		38	0,943469

Test de χ^2 pour une erreur de 5%. Nombre de classe : 6 ; Il y a deux paramètres (P ; Sx).

Au seuille de 5% ; p (6-2-1) = p(3) = 7,81 lu sur la table de χ^2 . Ces données vérifient le test de χ^2 suivant la loi normale de Gauss.

➤ Pour la pluviométrie maximale de 24h :

Rang	Pmax24 (mm)	classes		Nbre par casses	Rang	Pmax24 (mm)	classes		Nbre par casses
1	147	≥105	1	1	30	73	≥67	5	1
2	140			2	31	73			2
3	133,3			3	32	73			3
4	132,5			4	33	70			4
5	132			5	34	69			5
6	128			6	35	67,3			6
7	128			7	36	67			7
8	115			8	37	67			8
9	106,5			9	38	67			1
10	105			10	39	66,7			2
11	99	≥87,2	2	1	40	65	≥57,1	6	3
12	98			2	41	63			4
13	94,7			3	42	62			5
14	93			4	43	57,7			6
15	89			5	44	57,1			7
16	89			6	45	57			1
17	87,2			7	46	54,8		7	2
18	85	≥81	3	1	47	52			3
19	84			2	48	42			4
20	82			3	49	10,6			5
21	82			4	Pm=	83,4551			
22	81,2			5	σ=	27,2487			
23	81			6	Cv=	0,32651			
24	78,2	≥75	4	1	Po=	71,1932			
25	78			2	α=	0,04705			
26	78			3					
27	77			4					
28	76,5			5					
29	75			6					

Pm, σ, Cv, Po et α
dépendent de la loi utilisée
pour la loi de Gumbel ici

$$P_o = \bar{P} - 0,45.\sigma$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0,780.\sigma$$

Remarque : Ajustement à l'aide de la loi de Gumbel qui est définie de 0 à +∞

Classe	P	F(P)	$\alpha = F(P_i) - F(P_{i-1})$	ni	$= N * \alpha$	$\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$
1	+	1				
2	105	0,815625	0,184375	10	9,0343956	0,103205
3	87,2	0,624443	0,191181	7	9,3678844	0,598521
4	81	0,532382	0,092061	6	4,510998	0,491494
5	75	0,433435	0,098947	6	4,8484098	0,273525
6	67	0,295793	0,137642	8	6,7444756	0,233723
7	57,1	0,143593	0,152199	7	7,4577621	0,028098
	0	4,23E-13	0,143593	5	7,0360746	0,589192
N=				49	49	2,317757

$p(7-2-1) = p(\lambda) = p(4) = 9,49$ à 5% ; D'après la table de distribution de χ^2 Annexe 4 Hydraulique Routière par Nguyen VAN TUU

$\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} = 2,32 < 9,49$; passant le teste de χ^2 à 5%, la loi de Gumbel est acceptable.

VALEUR DU COEFFICIENT DE RUISSELEMENT :

Nature de la couverture végétale	Valeur de C							
	Petits BV de 0 à 10 ha avec une pente de				BV moyens de 10 à 400 ha avec une pente de			
	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Plus de 30%	Moins de 5%	De 5 à 10%	De 10 à 30%	Plus de 30%
Plates formes et chaussées de routes ; cours ;	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Terrains dénudés, ou végétation non couvrante, Terrains déjà attaqués par l'érosion, Labour frais	0,80	0,85	0,90	0,95	0,70	0,75	0,80	0,85
Cultures couvrantes, céréales hautes, terrains de parcours, chiendent ras, Petite brousse clairsemée	0,75	0,80	0,85	0,90	0,52	0,60	0,72	0,80
Prairies, brousse dense, savane à sous bois	0,70	0,75	0,80	0,85	0,30	0,36	0,42	0,50
Forêt ordinaire en futaie, sous-bois touffus	0,30	0,50	0,60	0,70	0,13	0,20	0,25	0,30
Grande forêt primaire	0,20	0,25	0,30	0,40	0,15	0,18	0,22	0,25

TEMPS DE CONCENTRATION

Tc = temps de concentration (heures)

PASSINI

$$T_c = 0,108 * (S * L)^{(1/3)} / (I^{0,5})$$

KIPRICH

$$T_c = (1/52) * [(L^{1,15}) / (H^{0,38})]$$

VENTURA

$$T_c = 0,127 * [(S/I)^{0,5}]$$

Californienne

$$T_c = 0,98 * [L / \sqrt{P}]^{0,77}$$

i : Intensité de pluie (mm/h) exprimée par la formule du type MONTANA

P (24,F) = pluie maximale journalière de fréquence F

H=dénivelée entre l'exutoire et le point le plus haut du BV

Tc = temps de concentration (heures)

S = Superficie du bassin versant (km²)

L = Longueur du plus long cheminement hydraulique (km)

P = Pente moyenne du bassin versant (m/km)

I= Indice de pente (m/m)

BV1

b =

0,14

H(m)

345

BV2

b =

0,14

H(m)

163,00

Formule	PASSINI	VENTURA	Californienne	SOMEAH	Moyenne
Tc BV 1 (h)	5,72261	5,95528	3,79889	90,0414	4,2201
Tc BV 2 (h)	2,078533	1,37636	3,213756	80,77386	2,018063

ANNEXE III : DEBITS DES DEUX RIVIERES

Application de la formule Manning Strickler sur la :

Rivière 01 :

Débit de la rivière 01	Valeurs	Unités
K(terre)=	25	
P1=	63,7	m
S1=	16,47	m ²
R1=	0,25855573	
I=	0,002	
Q1=	7,47339695	m ³ /s

Rivière 02 :

Débit de la rivière 02	Valeurs	Unités
K(terre)=	25	
P2=	51,3	m
S2=	8,82	m ²
R2=	0,17192982	
I=	0,002	
Q2=	3,0490022	m ³ /s

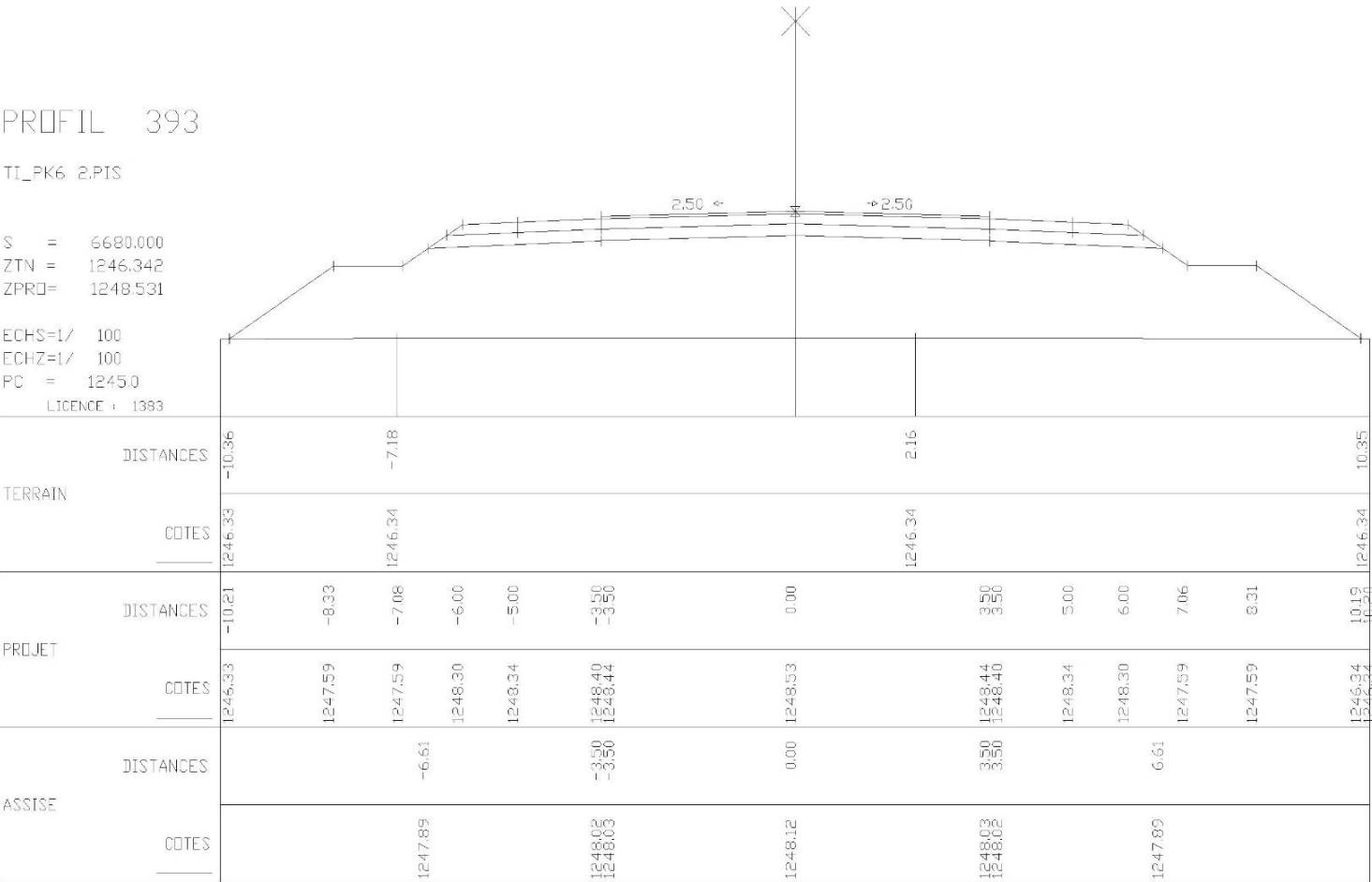
ANNEXE IV : PROFIL EN TRAVERS DE LA ROUTE TSARASAOTRA-IVATO

PROFIL 393

TI_PK6 2.PIS

S = 6680.000
ZTN = 1246.342
ZPRD= 1248.531

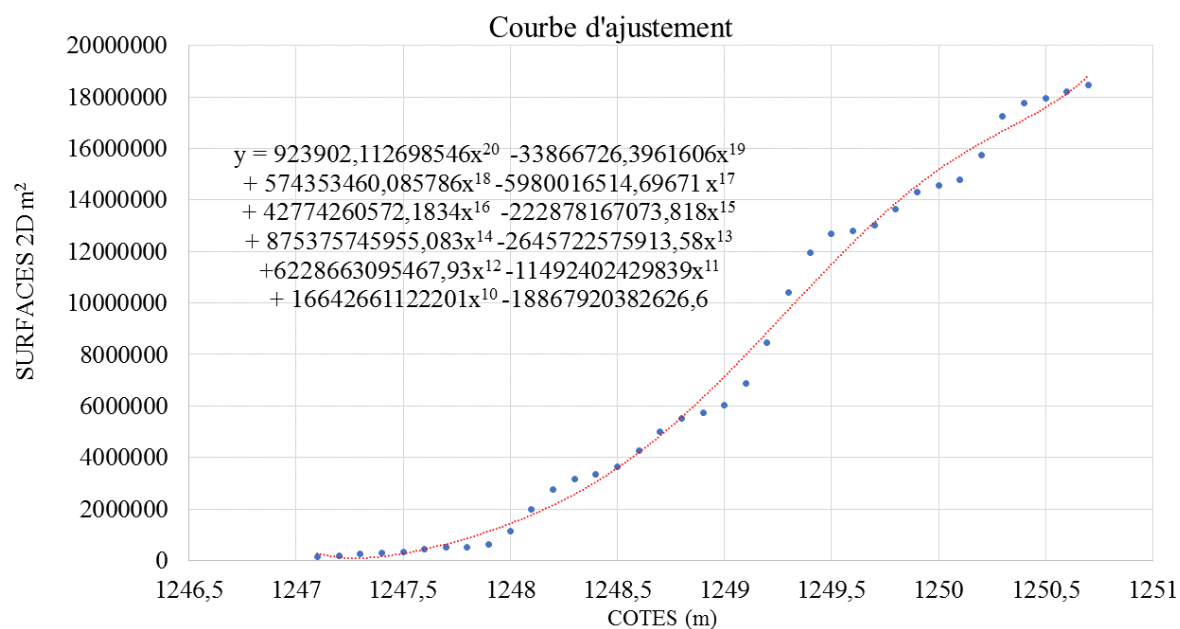
ECHS=1/ 100
ECHZ=1/ 100
PC = 1245.0
LICENCE : 1383



ANNEXE V : RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DE L'EQUATION DE LA SURFACE

Côtes (m)	Superficie Obtenue par l'MNT(m ²)	Superficie Par ajustement(m ²)	Écart
1247,1	144508,7442	153208,0717	6,019931561
1247,2	191917,0561	193039,8519	0,585042238
1247,3	244324,2864	246115,5065	0,733132254
1247,4	301730,4352	302756,9699	0,340215809
1247,5	364135,5026	348871,1492	4,191943182
1247,6	431539,4884	454377,9394	5,292320073
1247,7	503942,3928	527152,0236	4,605611891
1247,8	581344,2157	500020,0482	13,98898712
1247,9	663744,9571	614678,475	7,392369845
1248	751144,617	1144810,481	52,40879789
1248,1	2497234,75	1996330,384	20,05836118
1248,2	2682887,974	2767536,689	3,155134163
1248,3	2914130,928	3179629,611	9,110732799
1248,4	3381330,949	3356044,354	0,747829629
1248,5	3856936,441	3654906,822	5,238085234
1248,6	4341750,746	4264630,698	1,776243101
1248,7	4836194,062	5003007,284	3,44926652
1248,8	5340928,594	5529680,227	3,534060217
1248,9	5855486,103	5756233,175	1,695041646
1249	6379642,762	6030278,317	5,476238365
1249,1	6914851,459	6871458,151	0,627537812
1249,2	7472462,584	8467626,935	13,31775622
1249,3	11396500,34	10406920,63	8,683189439
1249,4	11873088,91	11953048,12	0,673449114
1249,5	12339675,47	12670535,73	2,681271951
1249,6	12796501,46	12812974,26	0,128728889
1249,7	13245214,71	13034024,73	1,594462463
1249,8	13689465,65	13655828,46	0,24571588
1249,9	14131693,46	14318771,95	1,323822197
1250	14573122,92	14574314,42	0,008176015
1250,1	15015246,54	14767760,52	1,648231441
1250,2	15460699,76	15752100,76	1,884785335
1250,3	17422649,47	17231821,2	1,095288432
1250,4	17689986,12	17761184,45	0,40247821
1250,5	17956870,69	17938494,79	0,10233357
1250,6	18223303,39	18213111,98	0,055925164
1250,7	18489284,37	18466211,82	0,124788769

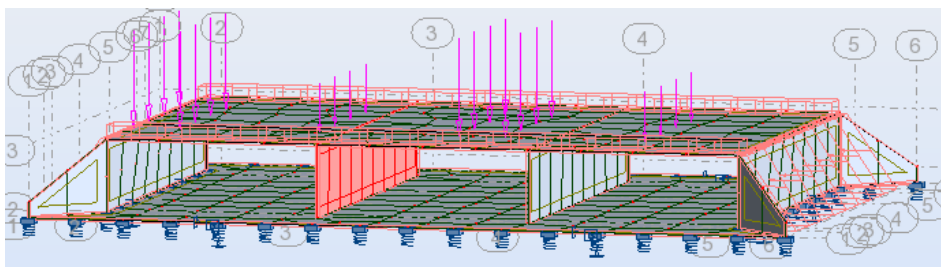
Le logiciel SIG nous a permis d'obtenir la surface 2D du terrain en fonction des côtes pris, puis nous avons transformé cette surface 2D en fonction des côtes, en une équation mathématique de degré 20 sur le logiciel Matlab. Voici le résultat de l'ajustement :



ANNEXE VI : ECHANTILLONS DES NOTES DU DALOT SUR ROBOBAT

Dalots 03 ouvertures

Dalle3 - panneau n° 3



1.1. Ferrailage :

- Type : Dalle verticale
- Direction armatures principales : 0°
- Classe armatures principales : HA 400; résistance caractéristique = 400000,00 kPa
- Diamètres des barres
 - inférieures d1 = 1,2 (cm) d2 = 1,2 (cm)
 - supérieures d1 = 1,2 (cm) d2 = 1,2 (cm)
- Enrobage
 - inférieur c1 = 3,0 (cm)
 - supérieur c2 = 3,0 (cm)

1.2. Béton

- Classe : BETON25; résistance caractéristique = 25000,00 kPa
- Densité : 2501,36 (kG/m3)

1.3. Hypothèses

- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Méthode de calcul de la section d'acier : Analytique
- Fissuration
 - lit supérieur : préjudiciable
 - lit inférieur : préjudiciable
- Vérification du poinçonnement : non
- Tenue au feu : 0 h
- Type de calcul : flexion

1.4. Géométrie de la dalle

Epaisseur 0,30 (m)

Contour :

bord	début		fin		longueur
	x1	y1	x2	y2	(m)
1	0,00	13,00	2,33	13,00	2,33
2	2,33	13,00	2,33	0,00	13,00
3	2,33	0,00	0,00	0,00	2,33
4	0,00	0,00	0,00	13,00	13,00

Appui :

n°	Nom	dimensions (m)	coordonnées x y	bord
----	-----	-------------------	--------------------	------

* - présence du chapiteau

1.5. Résultats des calculs :

1.5.1. Moments maximaux + ferrailage pour la flexion

	Ax(+)	Ax(-)	Ay(+)	Ay(-)
Ferrailage réelle (cm2/m):	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrailage théorique modifié (cm2/m):	4,52	4,52	4,52	4,52
Ferrailage théorique primaire (cm2/m):	0,00	0,00	0,00	0,00
Coordonnées (m):	0,00;15,00 0,00;15,00	0,00;15,00	0,00;15,00	

1.5.2. Moments maximaux + ferrailage pour la flexion

	Ax(+)	Ax(-)	Ay(+)	Ay(-)
Symboles : section théorique/section réelle				
Ax(+) (cm2/m)	4,52/0,00	4,52/0,00	4,52/0,00	
Ax(-) (cm2/m)	4,52/0,00	4,52/0,00	4,52/0,00	
Ay(+) (cm2/m)	4,52/0,00	4,52/0,00	4,52/0,00	
Ay(-) (cm2/m)	4,52/0,00	4,52/0,00	4,52/0,00	
ELS				
Mxx (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Myy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Mxy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxx (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nyy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
ELU				
Mxx (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Myy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Mxy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxx (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nyy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Coordonnées (m)	0,00;15,00 0,00;15,00	0,00;15,00	0,00;15,00	
Coordonnées* (m)	0,00;0,00;0,00 0,00;0,00;0,00	0,00;0,00;0,00	0,00;0,00;0,00	
* - Coordonnées dans le repère global de la structure				

2. Chargements :

Cas	Type	Liste	Valeur
1	poids propre	1A4 6A11	PZ Moins
2	(EF) surfacique 3p (contour)		6 PZ1=-3,75[kN/m2] P1(2,
14, 2.33)	P2(22.4, 14, 2.33) P3(22.4, 15, 2.33) P4(2, 15, 2.33)		
2	(EF) surfacique 3p (contour)		6 PZ1=-3,75[kN/m2] P1(2,
2, 2.33)	P2(22.4, 2, 2.33) P3(22.4, 3, 2.33) P4(2, 3, 2.33)		
3	(EF) surfacique 3p (contour)		6 PZ1=-0,72[kN/m2] P1(2,
14, 2.33)	P2(22.4, 14, 2.33) P3(22.4, 3, 2.33) P4(2, 3, 2.33)		
4	(EF) pression hydrostatique		2 P=-0,24[kN/m2]
Gamma=600,00[kG/m3] H=2,65[m] Direction=-Z			
6	(EF) pression hydrostatique		11 P=-0,24[kN/m2]
Gamma=-600,00[kG/m3] H=2,65[m] Direction=-Z			

Combinaison / Composante
ELU/16

Définition
(1+2+3+4+6)*1.35+(5+7)*1.50

3. Résultats théoriques - disposition des armatures

Liste de solutions :
Ferraillage par barres

Solution n°	Armatures Diamètre / Poids	Poids total (kG)
1	-	432,59
2	-	434,76
3	-	434,99
4	-	437,07
5	-	437,07
6	-	437,16
7	-	437,16
8	-	439,38
9	-	439,56

Résultats pour la solution n° 1
Zones de ferraillage

Ferraillage inférieur

Nom	coordonnées Ar				Armatures adoptées	At
	x1	y1	x2	y2	□□[mm] / [cm]	[cm2/m]
1/1- Ax Principal	0,00	0,00	2,33	13,00	8,0 / 11,0	4,52 <
	4,57					
1/2- Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	2,33	13,00	12,0 / 25,0	4,52 <
	4,52					

Ferraillage supérieur

Nom	coordonnées Ar				Armatures adoptées	At
	x1	y1	x2	y2	□ [mm] / [cm]	[cm2/m]
1/1+ Ax Principal	0,00	0,00	2,33	13,00	8,0 / 11,0	4,52 <
	4,57					
1/2+ Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	2,33	13,00	12,0 / 25,0	4,52 <
	4,52					

4. Quantitatif

- Volume de Béton = 9,09 (m3)
- Surface de Coffrage = 30,29 (m2)
- Périmètre de la dalle = 30,66 (m)
- Superficie des réservations = 0,00 (m2)

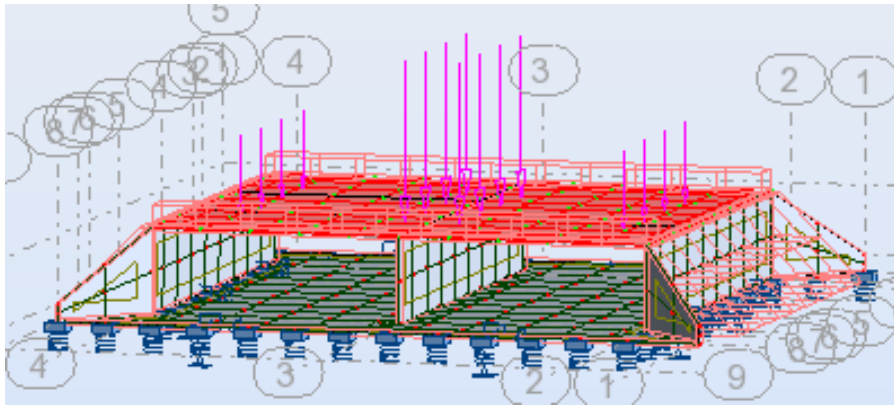
Acier HA 400

- Poids total = 448,76 (kG)
- Densité = 49,39 (kG/m3)
- Diamètre moyen = 9,3 (mm)

Liste par diamètres :

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Nombre :
8	2,27	236
12	6,68	40

Dalot à 02 ouvertures :
Dalle5 - panneau n° 5



1.1. Ferrailage :

- Type : dalle sup
- Direction armatures principales : 0°
- Classe armatures principales : HA 400; résistance caractéristique = 400000,00 kPa
- Diamètres des barres
 - inférieures d1 = 1,2 (cm) d2 = 1,2 (cm)
 - supérieures d1 = 1,2 (cm) d2 = 1,2 (cm)
- Enrobage
 - inférieur c1 = 3,0 (cm)
 - supérieur c2 = 3,0 (cm)

1.2. Béton

- Classe : BETON25; résistance caractéristique = 25000,00 kPa
- Densité : 2501,36 (kG/m3)

1.3. Hypothèses

- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Méthode de calcul de la section d'acier : Analytique
- Fissuration
 - lit supérieur : préjudiciable
 - lit inférieur : préjudiciable
- Vérification du poinçonnement : non
- Tenue au feu : 0 h
- Type de calcul : flexion

1.4. Géométrie de la dalle

Epaisseur 0,40 (m)

Contour :

bord	début		fin		longueur
	x1	y1	x2	y2	(m)
1	0,00	12,00	13,60	12,00	13,60
2	13,60	12,00	13,60	0,00	12,00
3	13,60	0,00	0,00	0,00	13,60
4	0,00	0,00	0,00	12,00	12,00

Appui :

n°	Nom	dimensions (m)	coordonnées		bord
			x	y	
0	linéaire	10,67 / 0,30	13,60	5,33	—

* - présence du chapiteau

1.5. Résultats des calculs :

1.5.1. Moments maximaux + ferrailage pour la flexion

	Ax(+)	Ax(-)	Ay(+)	Ay(-)
Ferrailage réelle (cm2/m):				

Ferrailage théorique modifié (cm2/m):	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferrailage théorique primaire (cm2/m):	0,00	10,68	0,00	4,52
Coordonnées (m):	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	-2,00;-2,00	-2,00;-2,00	-2,00;-2,00	-2,00;-

1.5.2. Moments maximaux + ferrailage pour la flexion

	Ax(+)	Ax(-)	Ay(+)	Ay(-)
Symboles : section théorique/section réelle				
Ax(+) (cm2/m)	0,00/0,00	0,00/0,00	0,00/0,00	
Ax(-) (cm2/m)	0,00/0,00	10,68/0,00	10,68/0,00	
Ay(+) (cm2/m)	10,68/0,00	0,00/0,00	0,00/0,00	
Ay(-) (cm2/m)	0,00/0,00	4,52/0,00	4,52/0,00	
ELS				
Mxx (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Myy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Mxy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxx (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nyy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
ELU				
Mxx (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Myy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Mxy (kN*m/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxx (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nyy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Nxy (kN/m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Coordonnées (m)	-2,00;-2,00	-2,00;-2,00	-2,00;-2,00	-
Coordonnées* (m)	2,00;-2,00	0,00;0,00;0,00	0,00;0,00;0,00	

* - Coordonnées dans le repère global de la structure

2. Chargements :

Cas	Type	Liste	Valeur
1	poids propre	1A3 5A10	PZ Moins
2	(EF) surfacique 3p (contour)		5 PZ1=-0,72[kN/m2] P1(2,
13, 2.33)	P2(15.6, 13, 2.33) P3(15.6, 3, 2.33) P4(2, 3, 2.33)		
3	(EF) surfacique 3p (contour)		5 PZ1=-3,75[kN/m2] P1(2,
13, 2.33)	P2(2, 14, 2.33) P3(15.6, 14, 2.33) P4(15.6, 13, 2.33)		
3	(EF) surfacique 3p (contour)		5 PZ1=-3,75[kN/m2] P1(2,
3, 2.33)	P2(15.6, 3, 2.33) P3(15.6, 2, 2.33) P4(2, 2, 2.33)		
4	(EF) pression hydrostatique		2 P=-0,24[kN/m2]
Gamma=600,00[kG/m3] H=2,65[m] Direction=-Z			
5	(EF) pression hydrostatique		10 P=-0,24[kN/m2]
Gamma=-600,00[kG/m3] H=2,65[m] Direction=-Z			
Combinaison / Composante		Définition	
ELU/11		(1+2+3+4+5)*1.35+(9+10)*1.50	
ELU/12		(1+2+3+4+5+9+10)*1.00	

3. Résultats théoriques - disposition des armatures

Liste de solutions :
Ferraillage par barres

Solution n°	Armatures Diamètre / Poids	Poids total (kG)
1	-	3571,79
2	-	3621,89
3	-	3655,44
4	-	3695,65
5	-	3769,44
6	-	3930,07
7	-	3968,09
8	-	4077,62
9	-	4093,61
10	-	4370,56

Résultats pour la solution n° 1
Zones de ferraillage

Ferraillage inférieur

Nom	coordonnées Ar				Armatures adoptées	At
	x1	y1	x2	y2	□□[mm] / [cm]	[cm2/m]
1/1-(1/2-) Ax Principal	0,00	0,00	10,88	12,00	14,0 / 11,0	13,34 <
	13,99					
1/2- Ax Principal	0,00	0,00	13,60	12,00	14,0 / 22,0	4,68 <
	7,00					
1/3-(1/5-) Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	10,00	1,36	12,00	12,0 / 4,0
	18,76	<28,27				
1/4-(1/5-) Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	1,36	2,67	12,0 / 12,0	12,0 / 12,0
	5,32	< 9,42				
1/5- Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	13,60	12,00	12,0 / 24,0	4,52 <
	4,71					

Ferraillage supérieur

Nom	coordonnées Ar				Armatures adoptées	At
	x1	y1	x2	y2	□ [mm] / [cm]	[cm2/m]
1/1+(1/8+) Ax Principal	0,00	0,00	1,36	1,33	10,0 / 1,0	57,06 <
	78,54					
1/2+(1/8+) Ax Principal	11,56	0,00	13,60	1,33	10,0 / 1,0	34,94 <
	78,54					
1/3+(1/8+) Ax Principal	0,00	10,00	1,36	12,00	10,0 / 4,0	17,46 <
	19,63					
1/4+(1/8+) Ax Principal	11,56	0,00	13,60	12,00	10,0 / 4,0	17,55 <
	19,63					
1/5+(1/8+) Ax Principal	0,00	0,00	1,36	12,00	10,0 / 16,0	4,52 <
	4,91					
1/6+(1/8+) Ax Principal	1,36	0,00	13,60	1,33	10,0 / 16,0	4,52 <
	4,91					
1/7+(1/8+) Ax Principal	1,36	10,00	8,16	12,00	10,0 / 16,0	0,00 <
	4,91					
1/8+ Ax Principal	10,20	1,33	13,60	12,00	10,0 / 16,0	4,52 <
	4,91					
1/9+(1/14+) Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	1,36	1,33	12,0 / 5,0	12,0 / 5,0
	19,80	<22,62				
1/10+(1/14+) Ay Perpendiculaire	11,56	0,00	13,60	1,33	12,0 / 5,0	12,0 / 5,0
	21,81	<22,62				
1/11+(1/14+) Ay Perpendiculaire	0,00	0,00	1,36	12,00	12,0 / 20,0	12,0 / 20,0

	5,37 < 5,65				
1/12+(1/14+) Ay Perpendiculaire	1,36	0,00	13,60	1,33	12,0 / 20,0
	4,52 < 5,65				
1/13+(1/14+) Ay Perpendiculaire	1,36	10,00	8,16	12,00	12,0 / 20,0
	5,37 < 5,65				
1/14+ Ay Perpendiculaire	10,20	1,33	13,60	12,00	12,0 / 20,0
	5,65				4,52 <

4. Quantitatif

- Volume de Béton = 65,28 (m3)
- Surface de Coffrage = 163,20 (m2)
- Périmètre de la dalle = 51,20 (m)
- Superficie des réservations = 0,00 (m2)
- Acier HA 400
- Poids total = 3796,36 (kG)
- Densité = 58,15 (kG/m3)
- Diamètre moyen = 11,9 (mm)
- Liste par diamètres :

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Nombre :
10	1,68	213
10	2,36	322
10	3,70	66
10	6,95	18
10	8,13	12
12	1,73	92
12	2,31	34
12	2,38	28
12	3,06	6
12	11,94	81
14	7,02	110
14	11,34	54

ANNEXE VII : PROGRAMME DE CALCUL SOUS VISUAL BASIC DE DEBIT DES
EQUATIONS DES DALOTS ET DES BUSES EN FONCTION DE LA HAUTEUR H.

Function Qj(h As Double, m As Double, x1 As Double, L1 As Double, x2 As Double, L2 As Double, Ke As Double, L As Double, R As Double, K As Double, xo1 As Double, xo2 As Double, xo3 As Double, xo4 As Double, xo5 As Double, xo6 As Double, xo7 As Double, xo8 As Double, xo9 As Double, xo10 As Double, xo11 As Double, xo12 As Double, xo13 As Double, xo14 As Double, xo15 As Double, xo16 As Double, xo17 As Double, xo18 As Double, xo19 As Double, xo20 As Double, xo21 As Double, xo22 As Double, xo23 As Double, xo24 As Double, xo25 As Double, xo26 As Double, xo27 As Double, xo28 As Double, xo29 As Double, xo30 As Double, xo31 As Double, xo32 As Double, xo33 As Double)

'h Hauteur

'K: Coefficient de manning strickler

'xdi: distance du fond du dalot i par rapport a un repere quelquonque pris arbitrairement

'Ldi :Longueur du dalot

'Ke: coefficient de perte de charge a l'entree de l'orifice

'L: Longueur de l'orifice

'R: Rayon de l'orifice

'xoi Orifice i: distance entre repere et fond de l'orifice

'Oi Orifices

Dim D1 As Double

Dim D2 As Double

Dim C As Double

Dim O1 As Double

Dim O2 As Double

Dim O3 As Double

Dim O4 As Double

Dim O5 As Double

Dim O6 As Double

Dim O7 As Double

Dim O8 As Double

Dim O9 As Double

Dim O10 As Double

Dim O11 As Double

Dim O12 As Double

Dim O13 As Double

Dim O14 As Double

Dim O15 As Double

Dim O16 As Double

Dim O17 As Double

Dim O18 As Double

Dim O19 As Double

Dim O20 As Double

Dim O21 As Double

Dim O22 As Double

Dim O23 As Double

Dim O24 As Double

Dim O25 As Double

Dim O26 As Double

Dim O27 As Double

Dim O28 As Double

Dim O29 As Double

Dim O30 As Double

Dim O31 As Double

Dim O32 As Double

Dim O33 As Double

$$C = 3.14159265358979 * R^2 * (2 * 9.8)^{0.5} / (1 + Ke + (2 * 9.8 * L / (K^2 * (R / 2)^{(4 / 3)})))$$

If (h <= 1.11597008487) Then

Qj = 0

ElseIf (h <= 1.51) Then

Qj = C * (h - xo31) ^ 0.5

ElseIf (h <= 1.712252990272) Then

Qj = C * (h - xo31) ^ 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) ^ 0.5 * (h - x2) ^ (3 / 2)

ElseIf (h <= 1.78563247738) Then

Qj = C * (h - xo31) ^ 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) ^ 0.5 * (h - x2) ^ (3 / 2) + C * (h - xo1) ^ 0.5

ElseIf (h <= 1.80949572522) Then

Qj = C * (h - xo31) ^ 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) ^ 0.5 * (h - x2) ^ (3 / 2) + C * (h - xo1) ^ 0.5 + C * (h - xo23) ^ 0.5

ElseIf (h <= 1.84529059698) Then

$$\begin{aligned} Qj = & C * (h - xo31) \wedge 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) \wedge 0.5 * (h - x2) \wedge (3 / 2) + C * (h - xo1) \wedge 0.5 + C * (h - \\ & xo23) \wedge 0.5 + C * (h - xo30) \wedge 0.5 + C * (h - xo17) \wedge 0.5 + C * (h - xo20) \wedge 0.5 + C * (h - xo32) \wedge 0.5 + \\ & C * (h - xo5) \wedge 0.5 + C * (h - xo19) \wedge 0.5 + C * (h - xo22) \wedge 0.5 + C * (h - xo15) \wedge 0.5 + C * (h - xo18) \wedge \\ & 0.5 + C * (h - xo21) \wedge 0.5 + C * (h - xo29) \wedge 0.5 + C * (h - xo25) \wedge 0.5 + C * (h - xo8) \wedge 0.5 \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.31658974182) Then

$$Q_j = C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} + C * (h - x_{o5})^{0.5} + C * (h - x_{o19})^{0.5} + C * (h - x_{o22})^{0.5} + C * (h - x_{o15})^{0.5} + C * (h - x_{o18})^{0.5} + C * (h - x_{o21})^{0.5} + C * (h - x_{o29})^{0.5} + C * (h - x_{o25})^{0.5} + C * (h - x_{o8})^{0.5} + C * (h - x_{o28})^{0.5}$$

ElseIf (h <= 2.3941452973) Then

$$\begin{aligned} Q_j = & C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} + \\ & C * (h - x_{o5})^{0.5} + C * (h - x_{o19})^{0.5} + C * (h - x_{o22})^{0.5} + C * (h - x_{o15})^{0.5} + C * (h - x_{o18})^{0.5} + C * (h - x_{o21})^{0.5} + C * (h - x_{o29})^{0.5} + C * (h - x_{o25})^{0.5} + C * (h - x_{o8})^{0.5} + C * (h - x_{o28})^{0.5} + C * (h - x_{o24})^{0.5} \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.42844871607) Then

$$Q_j = C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} + C * (h - x_{o5})^{0.5} + C * (h - x_{o19})^{0.5} + C * (h - x_{o22})^{0.5} + C * (h - x_{o15})^{0.5} + C * (h - x_{o18})^{0.5} + C * (h - x_{o21})^{0.5} + C * (h - x_{o29})^{0.5} + C * (h - x_{o25})^{0.5} + C * (h - x_{o8})^{0.5} + C * (h - x_{o28})^{0.5} + C * (h - x_{o24})^{0.5} + C * (h - x_{o9})^{0.5}$$

ElseIf (h <= 2.438292305804) Then

$$\begin{aligned} Qj = & C * (h - xo31) \wedge 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) \wedge 0.5 * (h - x2) \wedge (3 / 2) + C * (h - xo1) \wedge 0.5 + C * (h - \\ & xo23) \wedge 0.5 + C * (h - xo30) \wedge 0.5 + C * (h - xo17) \wedge 0.5 + C * (h - xo20) \wedge 0.5 + C * (h - xo32) \wedge 0.5 + \\ & C * (h - xo5) \wedge 0.5 + C * (h - xo19) \wedge 0.5 + C * (h - xo22) \wedge 0.5 + C * (h - xo15) \wedge 0.5 + C * (h - xo18) \wedge \\ & 0.5 + C * (h - xo21) \wedge 0.5 + C * (h - xo29) \wedge 0.5 + C * (h - xo25) \wedge 0.5 + C * (h - xo8) \wedge 0.5 + C * (h - \\ & xo28) \wedge 0.5 + C * (h - xo24) \wedge 0.5 + C * (h - xo9) \wedge 0.5 + C * (h - xo27) \wedge 0.5 \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.501977348477) Then

$$\begin{aligned} Qj = & C * (h - xo31) \wedge 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) \wedge 0.5 * (h - x2) \wedge (3 / 2) + C * (h - xo1) \wedge 0.5 + C * (h - \\ & xo23) \wedge 0.5 + C * (h - xo30) \wedge 0.5 + C * (h - xo17) \wedge 0.5 + C * (h - xo20) \wedge 0.5 + C * (h - xo32) \wedge 0.5 + \\ & C * (h - xo5) \wedge 0.5 + C * (h - xo19) \wedge 0.5 + C * (h - xo22) \wedge 0.5 + C * (h - xo15) \wedge 0.5 + C * (h - xo18) \wedge \\ & 0.5 + C * (h - xo21) \wedge 0.5 + C * (h - xo29) \wedge 0.5 + C * (h - xo25) \wedge 0.5 + C * (h - xo8) \wedge 0.5 + C * (h - \\ & xo28) \wedge 0.5 + C * (h - xo24) \wedge 0.5 + C * (h - xo9) \wedge 0.5 + C * (h - xo27) \wedge 0.5 + C * (h - xo6) \wedge 0.5 \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.588034186) Then

$$\begin{aligned} Q_j = & C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} + \\ & C * (h - x_{o5})^{0.5} + C * (h - x_{o19})^{0.5} + C * (h - x_{o22})^{0.5} + C * (h - x_{o15})^{0.5} + C * (h - x_{o18})^{0.5} + \\ & C * (h - x_{o21})^{0.5} + C * (h - x_{o29})^{0.5} + C * (h - x_{o25})^{0.5} + C * (h - x_{o8})^{0.5} + C * (h - x_{o28})^{0.5} + C * (h - x_{o24})^{0.5} + C * (h - x_{o9})^{0.5} + C * (h - x_{o27})^{0.5} + C * (h - x_{o6})^{0.5} + C * (h - x_{o3})^{0.5} \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.679311108988) Then

$$Q_j = C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{3/2} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} +$$

$$C * (h - x_{o5})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o19})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o22})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o15})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o18})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o21})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o29})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o25})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o8})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o28})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o24})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o9})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o27})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o6})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o3})^{\wedge} 0.5 + C * (h - x_{o11})^{\wedge} 0.5$$

ElseIf (h <= 2.8415811943) Then

$$\begin{aligned} Q_j = & C * (h - x_{031})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{01})^{0.5} + C * (h - x_{023})^{0.5} \\ & + C * (h - x_{030})^{0.5} + C * (h - x_{017})^{0.5} + C * (h - x_{020})^{0.5} + C * (h - x_{032})^{0.5} + \\ & C * (h - x_{05})^{0.5} + C * (h - x_{019})^{0.5} + C * (h - x_{022})^{0.5} + C * (h - x_{015})^{0.5} + C * (h - x_{018})^{0.5} \\ & + C * (h - x_{021})^{0.5} + C * (h - x_{029})^{0.5} + C * (h - x_{025})^{0.5} + C * (h - x_{08})^{0.5} + C * (h - x_{028})^{0.5} \\ & + C * (h - x_{024})^{0.5} + C * (h - x_{09})^{0.5} + C * (h - x_{027})^{0.5} + C * (h - x_{06})^{0.5} + C * (h - x_{03})^{0.5} \\ & + C * (h - x_{011})^{0.5} + C * (h - x_{04})^{0.5} \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.8564957242) Then

$$\begin{aligned} Q_j = & C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} + \\ & C * (h - x_{o5})^{0.5} + C * (h - x_{o19})^{0.5} + C * (h - x_{o22})^{0.5} + C * (h - x_{o15})^{0.5} + C * (h - x_{o18})^{0.5} + \\ & C * (h - x_{o21})^{0.5} + C * (h - x_{o29})^{0.5} + C * (h - x_{o25})^{0.5} + C * (h - x_{o8})^{0.5} + C * (h - x_{o28})^{0.5} + C * (h - x_{o24})^{0.5} + C * (h - x_{o9})^{0.5} + C * (h - x_{o27})^{0.5} + C * (h - x_{o6})^{0.5} + C * \\ & (h - x_{o3})^{0.5} + C * (h - x_{o11})^{0.5} + C * (h - x_{o4})^{0.5} + C * (h - x_{o10})^{0.5} \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.881402989133) Then

$$\begin{aligned} Qj = & C * (h - xo31) ^ 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) ^ 0.5 * (h - x2) ^ (3 / 2) + C * (h - xo1) ^ 0.5 + C * (h - \\ & xo23) ^ 0.5 + C * (h - xo30) ^ 0.5 + C * (h - xo17) ^ 0.5 + C * (h - xo20) ^ 0.5 + C * (h - xo32) ^ 0.5 + \\ & C * (h - xo5) ^ 0.5 + C * (h - xo19) ^ 0.5 + C * (h - xo22) ^ 0.5 + C * (h - xo15) ^ 0.5 + C * (h - xo18) ^ \\ & 0.5 + C * (h - xo21) ^ 0.5 + C * (h - xo29) ^ 0.5 + C * (h - xo25) ^ 0.5 + C * (h - xo8) ^ 0.5 + C * (h - \\ & xo28) ^ 0.5 + C * (h - xo24) ^ 0.5 + C * (h - xo9) ^ 0.5 + C * (h - xo27) ^ 0.5 + C * (h - xo6) ^ 0.5 + C * \\ & (h - xo3) ^ 0.5 + C * (h - xo11) ^ 0.5 + C * (h - xo4) ^ 0.5 + C * (h - xo10) ^ 0.5 + C * (h - xo12) ^ 0.5 \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.92062820277) Then

$$\begin{aligned} Q_j = & C * (h - xo31) ^ 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) ^ 0.5 * (h - x2) ^ (3 / 2) + C * (h - xo1) ^ 0.5 + C * (h - \\ & xo23) ^ 0.5 + C * (h - xo30) ^ 0.5 + C * (h - xo17) ^ 0.5 + C * (h - xo20) ^ 0.5 + C * (h - xo32) ^ 0.5 + \\ & C * (h - xo5) ^ 0.5 + C * (h - xo19) ^ 0.5 + C * (h - xo22) ^ 0.5 + C * (h - xo15) ^ 0.5 + C * (h - xo18) ^ \\ & 0.5 + C * (h - xo21) ^ 0.5 + C * (h - xo29) ^ 0.5 + C * (h - xo25) ^ 0.5 + C * (h - xo8) ^ 0.5 + C * (h - \\ & xo28) ^ 0.5 + C * (h - xo24) ^ 0.5 + C * (h - xo9) ^ 0.5 + C * (h - xo27) ^ 0.5 + C * (h - xo6) ^ 0.5 + C * \\ & (h - xo3) ^ 0.5 + C * (h - xo11) ^ 0.5 + C * (h - xo4) ^ 0.5 + C * (h - xo10) ^ 0.5 + C * (h - xo12) ^ 0.5 + \\ & C * (h - xo2) ^ 0.5 \end{aligned}$$

ElseIf (h <= 2.9907264933) Then

$$\begin{aligned} Qj = & C * (h - xo31) ^ 0.5 + m * L2 * (2 * 9.8) ^ 0.5 * (h - x2) ^ (3 / 2) + C * (h - xo1) ^ 0.5 + C * (h - \\ & xo23) ^ 0.5 + C * (h - xo30) ^ 0.5 + C * (h - xo17) ^ 0.5 + C * (h - xo20) ^ 0.5 + C * (h - xo32) ^ 0.5 + \\ & C * (h - xo5) ^ 0.5 + C * (h - xo19) ^ 0.5 + C * (h - xo22) ^ 0.5 + C * (h - xo15) ^ 0.5 + C * (h - xo18) ^ \\ & 0.5 + C * (h - xo21) ^ 0.5 + C * (h - xo29) ^ 0.5 + C * (h - xo25) ^ 0.5 + C * (h - xo8) ^ 0.5 + C * (h - \\ & xo28) ^ 0.5 + C * (h - xo24) ^ 0.5 + C * (h - xo9) ^ 0.5 + C * (h - xo27) ^ 0.5 + C * (h - xo6) ^ 0.5 + C * \\ & (h - xo3) ^ 0.5 + C * (h - xo11) ^ 0.5 + C * (h - xo4) ^ 0.5 + C * (h - xo10) ^ 0.5 + C * (h - xo12) ^ 0.5 + \\ & C * (h - xo2) ^ 0.5 + C * (h - xo33) ^ 0.5 \end{aligned}$$

```
ElseIf (h <= 3.031) Then
```

$$Q_j = C * (h - x_{o31})^{0.5} + m * L_2 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x_2)^{(3/2)} + C * (h - x_{o1})^{0.5} + C * (h - x_{o23})^{0.5} + C * (h - x_{o30})^{0.5} + C * (h - x_{o17})^{0.5} + C * (h - x_{o20})^{0.5} + C * (h - x_{o32})^{0.5} + C * (h - x_{o5})^{0.5} + C * (h - x_{o19})^{0.5} + C * (h - x_{o22})^{0.5} + C * (h - x_{o15})^{0.5} + C * (h - x_{o18})^{0.5}$$

ElseIf (h <= 3.0802136727) Then

ElseIf (h <= 3.2144444418) Then

ElseIf (h <= 3.64845726189) Then

ElseIf (h <= 5.3024786278) Then

ElseIf (h > 5.3024786278) Then

XLIII

$C * (h - x_{o2})^{0.5} + C * (h - x_{o33})^{0.5} + C * (h - x_{o16})^{0.5} + m * L1 * (2 * 9.8)^{0.5} * (h - x1)^{(3/2)} + C * (h - x_{o14})^{0.5} + C * (h - x_{o13})^{0.5} + C * (h - x_{o26})^{0.5} + C * (h - x_{o7})^{0.5}$

End If

End Function

ANNEXE VIII: SOUS DETAILS DES PRIX

N° Prix	INTITULE		U	Qté	PU	Montant
	Déblayage		m3		38 900	0
	DESIGNATION	U	Qté	valeur	Montant	Sous total
I	MATERIEL					
	Camion	Heure	1	50 000	50 000	
	Tractopelle	Heure	1	50 000	50 000	100 000
II	MAIN D'OEUVRE					
	Chef de chantier	Heure	1	12 500	12 500	
	Chef d'Equipe	Heure	1	10 000	10 000	
	Ouvriers	Heure	2	6 250	12 500	
	Manœuvres	Heure	3	1 250	3 750	38 750
COEFFICIENT		1,4	Total des déboursées D =			138 750
K=						
RENDEMENT R=		5	Prix de vente P. V= K*D/R			38 850
			Prix appliqué PU			38 900

N° Prix	INTITULE		U	Qté	PU	Montant
	Evacuation des terres excédentaires		m3		39 900	0
	DESIGNATION	U	Qté	valeur	Montant	Sous total
I	MATERIEL					
	Camion	Heure	1	50 000	50 000	
	Machine outils	Jour	2	20 000	40 000	
	Petit outillage	Jour	1	5 000	5 000	95 000
II	MAIN D'OEUVRE					
	Chef de chantier	Heure	1	12 500	12 500	
	Chef d'Equipe	Heure	2	10 000	20 000	
	Ouvriers	Heure	2	6 250	12 500	
	Manœuvres	Heure	2	1 250	2 500	47 500
COEFFICIENT		1,4	Total des déboursées D =			142 500
K=						
RENDEMENT R=		5	Prix de vente P. V= K*D/R			39 900
			Prix appliqué PU			39 900

N° Prix	INTITULE		U	Qté	PU	Montant
	Remblayage		m3		37 800	0
	DESIGNATION	U	Qté	Valeur	Montant	Sous total
I	MATERIEL					
	Camion	Heure	1	50 000	50 000	
	Compacteur	Heure	1	50 000	50 000	102 500
II	MAIN D'OEUVRE					
	Chef de chantier	Heure	1	12 500	6 250	
	Chef d'Equipe	Heure	1	10 000	10 000	
	Ouvriers	Heure	2	6 250	12 500	
	Manœuvres	Heure	3	1 250	3 750	32 500
COEFFICIENT K=		1,4	Total des déboursées D =			135 000
RENDEMENT R=		5	Prix de vente P. V= K*D/R			37 800
Prix appliqué PU						37 800

N° Prix	INTITULE :		Uté	Qté	P.U	Montant
204	Coffrage tout compris		m2		45 000	0
N°	DESIGNATION	U	Qté	Valeur	Montant	Sous total
I	MATERIEL Petit outillage	Jour	1	5 000	5 000	5 000
II	MAIN D’OEUVRE					
	Chef de chantier	Heure	1	1 500	1 500	
	Chef d'équipe	Heure	2	800	1 600	
	Ouvriers	Heure	5	700	3 500	
	Manœuvre	Heure	10	350	3 500	10 100
III	MATERIAUX					
	Planche	U	2	5 000	10 000	
	Pointe	Kg	1	5 000	5 000	
	Bois rond	Pièce	1	2 000	2 000	17 000
COEFICIENT K=		1,4	Total des déboursés D=			32 100
RENDEMENT R=		1	Prix de vente P.V =D*k/R=			44 940
Prix appliqué					P.U =	45 000

N° Prix	INTITULE		U	Qté	PU	Montant
	Béton armé dosé à 350 Kg /m3		m3		455 200	0
	DESIGNATION	U	Qté	Valeur	Montant	Sous total
I	MATERIEL Camion Bétonnière Pervibrateur Machine outils Petit outillage	Heure Heure Heure Jour Jour	0,100 0,333 0,333 0,333 0,333	20 000 20 000 20 000 20 000 5 000	2 000 6 667 6 667 6 667 1 667	23 667
II	MAIN D'OEUVRE Chef de chantier Chef d'Equipe Ouvriers Manœuvres	Heure Heure Heure Heure	0,333 0,333 0,667 1,000	12 500 10 000 5 000 2 000	4 167 3 333 3 333 2 000	12 833
III	MATERIAUX Ciment Sable Gravillon Eau	Kg m3 m3 Litre	350,000 0,400 0,800 160,000	700 25 000 40 000 10	245 000 10 000 32 000 1 600	288 600
COEFFICIENT K=		1,4	Total des déboursées D =		325 100	
RENDEMENT R=		1	Prix de vente P. V= K*D/R		455 140	
			Prix appliqué PU		455 200	

N° Prix	INTITULE :		Uté	Qté	P.U	Montant
	Acier haute adhérence pour armature de tout diamètres		kg		10 000	0
	DESIGNATION	U	Qté	Valeur	Montant	Sous total
I	MATERIEL Camion Machine outils Petit outillage	Jour Jour Jour	1 4 4	20 000 20 000 5 000	20 000 80 000 20 000	120 000
II	MAIN D'OEUVRE Chef de chantier Chef d'équipe Ouvriers Manœuvre	Heure Heure Heure Heure	4 4 8 25	12 500 10 000 5 000 2 000	50 000 40 000 40 000 50 000	180 000
III	MATERIAUX Acier rond tor Fil de ligature	Kg Kg	100 2	4 050 3 500	405 000 7 000	412 000
COEFICIENT K=		1,4	Total des déboursés D=		712 000	
RENDEMENT R=		100	Prix de vente P.V =D*k/R=		9 968	
			Prix appliquée PU=		10 000	

Nom : ANDRIATSIFERANA

Prénoms : Solotahina Josvah

Contact : +261 32 98 564 73 ; +261 34 25 900 93

Courriel : atsifestajo@gmail.com



TITRE DU MEMOIRE :

« SIMULATION DU CALAGE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES SUR DES VOIES
CONSTRUITES SUR DES PLAINES INNONDABLES - APPLICATION SUR LA
NOUVELLE VOIE TSARASAO TRA IVATO »

RESUME

Le présent mémoire a pour objets l'étude des ouvrages de franchissement de la route Tsarasaotra-Ivato, l'étude de faisabilité et la proposition d'un circuit d'irrigation de la plaine Laniera. Ces ouvrages de franchissements sont indispensables afin d'éviter l'inondation de la route qui est située dans le district d'Antananarivo Renivohitra, dans la région Analamanga.

Tout d'abord, à partir des données pluviométriques, cartographiques et satellitaires, nous avons déterminé les caractéristiques géomorphologiques des deux BV et estimé leurs débits de crue décennale, à l'aide des formules théoriques, dont leur somme est égale à 309 m³/s.

Ensuite, à l'aide de l'établissement de l'hydrogramme de crue, selon le cours d'hydrologie de M. Jean Donné RASOLOFONIAINA, nous avons pu évaluer le volume stockable de 6 530 600 m³ d'eau à évacuer en amont de la route. Nous avons également pu procéder à la Modélisation Numérique de Terrain de la zone, afin de déterminer la relation volume-hauteur d'eau réelle sur terrain. Le volume d'eau stockable engendre une hauteur d'eau de 4,93 m en amont de la route par rapport à la côte minimale du terrain naturel, ce qui pourra submerger la nouvelle voie Tsarasaotra-Ivato au cas où elle ne contient pas assez d'ouvrages de franchissement.

Par ces conditions, nous avons considéré les emplacements de 02 dalots de 2m*6,5m, à deux et à trois ouvertures, et de 33 buses de 1m de diamètre chacune.

L'étude du laminage de crue, à l'aide de l'Epure de Blackmore, nous a permis d'effectuer en même temps le calage hydraulique du débit de sortie, de la côte maximale laminée de l'eau en amont et des ouvrages de franchissement (les 02 dalots et 33 buses) à placer le long de la route pour éviter la submersion de celle-ci. Le débit évacué par les ouvrages de franchissement est égal à 113 m³/s, ce qui correspond à une revanche de 0,5 m par rapport à la côte minimale de la route.

Dans d'autre part, l'étude de l'irrigation de la plaine Laniera a permis de déterminer le débit fictif continue qui est de 1,7 l/s/ha correspondant au débit nominal de 440 l/s selon lesquels nous devons y placer un dalot de 1m x 1m, spécialement pour l'irrigation.

Enfin, le coût total des ouvrages d'assainissement s'élève à trois milliard cinq cent soixante-dix million sept cent soixante-quatre mille Ariary (3 570 764 000 Ar), toute taxe comprise.

Ce projet apporte des impacts positifs pour la population, notamment l'allègement des embouteillages monstrueux dans la partie Nord de la ville.

Mots clés : Climat - Bassin Versant - Hydrologie - volume de retenue - Laminage de crue - Ouvrages de franchissement.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the crossing structures, to avoid the flood of the Tsarasaotra-Ivato road and also the feasibility study, to propose an irrigation circuit on the Laniera plain. The study area is located in the district of Antananarivo Renivohitra, region Analamanga.

First, the geomorphological characteristics of the two Watersheds were determined from rainfall, cartographic, satellite data and estimated decennial flood flows using theoretical formulas. The sum of estimated decennial flood flows is 309 m³/s.

Then, with the help of the hydrography of the flood hydrography, the hydrology of Mr Jean Donné RASOLOFONIAINA was able to assess the storable volume of 6 530 600 m³ of water. To be evacuated upstream of the road and Numerical modeling of the terrain, study area and to determine the actual volume-height relationship on terrain. With this storable volume generates a height of 4,93 m of water upstream of the road relative to the minimum level of the natural terrain and which submerges it if the new Tsarasaotra-Ivato road does not contain enough crossing structures.

Under these conditions, we considered the respective locations of two and three hole scuppers of 2m * 6,5m and 33 nozzles of 1m diameter each one.

The study of flood rolling used the Blackmore Epure allowed us to perform at the same time the hydraulic setting of the discharge flow, the maximum laminated water level upstream and the number of run- (02 scuppers and 33 nozzles) that we have chosen. so that road is not submerged. The discharge flow through the crossing structures is equal to 113 m³/s, which corresponds to a remount of 0,5 m in relation to the minimum dimension of the road.

The study of the irrigation of the plain Laniera made it possible to determine the flow of equipment taken is 1,7 l/s/ha, the nominal flow rate 440 l /s each one must place a scupper 1m x 1m especially for irrigation.

The total cost of the works amounts to three billions five hundred seventy million seven hundred sixty four thousand ariary (3 570 764 000 Ar), including the tax.

This project has positive impacts for the population, especially to alleviate the North of the city's monstrous traffic jams.

Keywords : *Climate - Watershed - Hydrology - Holding volume - rolling flood - crossing structures*