UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

# Evaluation de la capacité hydraulique des ouvrages de franchissement traversant la rivière Mpimba en mairie de Bujumbura

**Rushemeza, Yves; Sous la directon de : Dr- Ir. Masekanya Jean-Pierre**

**2023-09**
UB, FSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1992

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

**République du Burundi**

**Ministère de l'éducation nationale et de la recherche scientifique**

**Université du Burundi**

**Faculté des Sciences de l'Ingénieur**

**Master en Génie Civil,**

**Aménagement et Maitrise des**

**Projets**

**Année Académique : 2021-2022**

# EVALUATION DE LA CAPACITE HYDRAULIQUE DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT TRAVERSANT LA RIVIERE MPIMBA EN MAIRIE DE BUJUMBURA

**Mémoire**

**Présenté publiquement par :**

**Yves RUSHEMEZA**

**En vue de l'obtention du grade de Master en Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets.**

**Soutenu le 15/9/2023 devant le jury composé de :**

| | |
|---|---|
| **Dr - Ir. NIBASUMBA Paul** | **: Président** |
| **Dr - Ir. BIZINDAVYI Josias** | **: Lecteur principal** |
| **Dr - Ir. MASEKANYA Jean-Pierre** | **: Directeur** |
| **Dr - Ir. NIYONGABO Henri** | **: Co - Directeur** |
| **Prof. MIKEREGO Emmanuel** | **: Membre** |

**Bujumbura, Septembre2023**

# IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

**Dr - Ir. NIBASUMBA Paul : Président**
**Dr - Ir. BIZINDAVYI Josias : Lecteur principal**
**Dr - Ir. MASEKANYA Jean-Pierre : Directeur**
**Dr - Ir. NIYONGABO Henri : Co - Directeur**
**Prof. MIKEREGO Emmanuel : Membre**

# DEDICACES

**Ce travail est dédié :**

- Aux chercheurs en hydrologie et hydraulique appliquées ;
- Aux chercheurs en géotechniques ;
- Aux environnementalistes

# REMERCIEMENTS

Aucun travail de fin d'études ne peut aboutir dans l'isolement. Les rencontres, les conseils et les encouragements constituent des aides précieuses souvent décisives. C'est pourquoi je tiens à remercier ici tous ceux qui ont contribué à ce travail :

- Mes sincères remerciements s'adressent à tous les enseignants ayant participé dans ma formation avec un accent particulier aux enseignants de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université du Burundi ;

- Des remerciements particuliers s'adressent à la personne de Dr-Ir MASEKANYA Jean Pierre et Dr-Ir NIYONGABO Henri, Directeur et Co-directeur du présent travail de fin d'études, pour avoir accepté de m'encadrer durant la préparation de ce mémoire malgré leurs multiples occupations et engagements ;
- Les remerciements particuliers s'adressent également à tous les autres membres du jury de soutenance de mon travail de fin d'études du deuxième cycle universitaire pour avoir accepté de lire et d'examiner mon travail ;
- Je voudrais aussi exprimer mes vifs remerciements à mes camarades de la troisième promotion du programme de Master en Génie Civil, Aménagement et Maitrise des Projets (GCAMP) de l'Université du Burundi pour l'entente et l'entraide qui ont prévalu durant toute la formation

Que le Seigneur vous comble davantage de sa grâce !

# RESUME

Le présent travail a été fait dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Sciences de l'Ingénieur. Il traite de l'« **Evaluation de la capacité hydraulique des ouvrages de franchissement traversant la rivière MPIMBA en mairie de BUJUMBURA** » ; la zone d'étude étant limitée à la partie urbaine du cours d'eau étudié.

L'objectif principal du présent mémoire est d'évaluer la capacité hydraulique des ouvrages de franchissement le long de la partie urbaine de la rivière MPIMBA dans l'optique de proposer un remplacement des ouvrages qui seraient jugés inadaptés et présentant un danger imminent pour la communauté.

Le présent travail est articulé autour de cinq chapitres dont une introduction au **premier chapitre** et une conclusion à la fin du travail.

Au **deuxième chapitre**, nous avons décrit en premier temps le concept des différents ouvrages de franchissement, leur mode de fonctionnement ; dans un second temps, la notion de transport des déchets solides et en dernier temps les caractéristiques générales d'un bassin versant.

Le **troisième chapitre** présente les résultats de l'étude en rapport avec les paramètres physiographiques du bassin versant, les débits de projet aux nœuds spécifiques, le dimensionnement hydraulique des ouvrages ainsi que la quantification des déchets solides.

Il ressort des résultats obtenus que l'ouvrage à 4 buses érigé sur l'avenue GASIBE, quartier KINANIRA II, présente des lacunes en rapport avec les dimensions des ouvertures, entrainant le bouchage de ces derniers par les déchets solides transportés par la rivière et ainsi que le débordement de l'ouvrage pour chaque événement pluvieux de forte intensité. Le **quatrième** chapitre traite ainsi de l'architecture et du dimensionnement structural du nouvel ouvrage qui remplacera le pont en buses existant.

Dans le **cinquième chapitre**, une étude d'impact environnemental a été faite pour la compensation et l'atténuation des impacts négatifs qui résulteraient de la réalisation du projet de construction du nouvel ouvrage.

**<u>Mots Clés</u> : Bassin versant, rivière MPIMBA, Ouvrage hydraulique, buses, dalot, pont.**

# ABSTRACT

The present work was carried out as part of the requirements for obtaining a Master's degree in Engineering Sciences. It addresses the "**Evaluation of the hydraulic capacity of crossing structures over the MPIMBA river in the municipality of BUJUMBURA**", with the study area limited to the urban section of the watercourse.

The main objective of this thesis is to evaluate the hydraulic capacity of crossing structures along the urban section of the MPIMBA river, with the aim of proposing replacements for structures deemed inadequate and posing an imminent danger to the community.

This work is structured into five chapters, including an introduction in the **first chapter** and a **conclusion** at the end.

In the **second chapter**, we first describe the concept of various crossing structures and their modes of operation. Next, we discuss the transport of solid waste, followed by the general characteristics of a watershed.

The **third chapter** presents the study results related to the physiographic parameters of the watershed, project flow rates at specific nodes, hydraulic sizing of the structures, and quantification of solid waste.

The results indicate that the structure with four culverts on GASIBE Avenue, KINANIRA II neighborhood, has shortcomings regarding the dimensions of the openings, leading to blockages caused by solid waste transported by the river and overflowing during heavy rainfall events. The **fourth chapter** thus addresses the architecture and structural sizing of the new structure that will replace the existing culvert bridge.

In the **fifth chapter**, an environmental impact study was conducted to compensate for and mitigate the negative impacts that may arise from the construction project of the new structure.

**Keywords: Watershed, MPIMBA river, hydraulic structure, nozzles, culvert, bridge.**

# TABLE DES MATIERES

**IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY** ..... **i**

**DEDICACES** ..... **ii**

**REMERCIEMENTS** ..... **iii**

**RESUME** ..... **iv**

**ABSTRACT** ..... **v**

**TABLE DES MATIERES** ..... **vi**

**LISTE DES TABLEAUX** ..... **ix**

**LISTE DES FIGURES** ..... **xi**

**LISTE DES PHOTOS** ..... **xii**

**SIGLES ET ABREVIATIONS** ..... **xiii**

**AVANT PROPOS** ..... **xiv**

**CHAPITRE I.INTRODUCTION GENERALE** ..... **1**

*I.1 Problématique et justification de l'étude* ..... *1*

*I.2 Objectif global* ..... *2*

*I.3 Objectifs spécifiques* ..... *2*

*I.4 Méthodologie et outils de travail* ..... *2*

I.4.1 Revue bibliographique sur la thématique ..... 2

I.4.2 Collecte des données ..... 2

I.4.2.1 Données cartographiques ..... 2

I.4.2.2 Données pluviométriques ..... 3

I.4.2.3 Autres données relatives au projet ..... 3

I.4.3 Analyse des résultats ..... 3

I.4.4 Traitement et Exploitation des données ..... 3

I.4.5 Descente sur le terrain ..... 3

I.4.6 Difficultés rencontrées ..... 3

**CHAPITRE II. REVUE DE LA LITTERATURE** ..... **4**

*II.1 Définition d'un ouvrage d'art* ..... *4*

*II.2 Dimensionnements hydrauliques des buses et des dalots* ..... *4*

II.2.1 Généralités ..... 4

II.2.1.1 Les buses ..... 5

II.2.1.2 Les dalots ..... 6

II.2.2 Mode de fonctionnement ..... 7

II.2.3 Principe de dimensionnement hydrauliques des buses et dalots ..... 9

*II.3 Dimensionnement hydraulique des ponts* ..... *12*

II.3.1 Généralités ..... 12

II.3.2 Principe de dimensionnement hydrauliques des ponts ..... 13

*II.4 Dimensionnement structural* ..... *15*

*II.5 Transport solide* ..... *15*

II.5.1 Introduction ..... 15

II.5.2 Différents modes de transport en rivière ..... 15

II.5.3 Evaluation du transport solide ..... 16

*II.6 Généralités sur les bassins versant* ..... *18*

II.6.1 Définition ..... 18

II.6.2 Différentes caractéristiques d'un bassin versant. ..... 18
II.6.2.1 Caractéristiques de disposition dans le plan. ..... 18
II.6.2.2 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie) ..... 19
II.6.3 Réseau hydrographique ..... 20
II.6.4 Courbe intensité-durée-fréquence ou courbe I-D-F ..... 20
II.6.5 Période de retour pour différents ouvrages hydrauliques ..... 21
II.6.6 Temps de concentration. ..... 21

**CHAPITRE III. PRESENTATION ET CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE ..... 23**
*III.1 Localisation de la zone d'étude ..... 23*
*III.2 Présentation et délimitation du bassin versant de la rivière Mpimba ..... 26*
III.2.1 Situation administrative du bassin versant de la rivière Mpimba ..... 26
III.2.2 Situation géographique du bassin versant de la rivière Mpimba ..... 27
III.2.3 Hydrographie du bassin versant de la rivière Mpimba. ..... 29
*III.3 Etudes hydrologiques et hydrauliques au point de chaque ouvrage de franchissement. ..... 30*
III.3.1 Etudes hydrologiques ..... 30
III.3.1.1 Détermination des paramètres physiques du bassin versant ..... 31
III.3.1.2 Averse de projet ..... 34
III.3.1.2.1 Estimation du temps de concentration au point de chaque ouvrage de franchissement ..... 34
III.3.1.2.2 Calcul de l'intensité horaire maximale des précipitations ..... 34
III.3.1.3 Choix de la valeur du coefficient de ruissellement convenable ..... 34
III.3.1.4 Estimation de la crue de projet ..... 35
III.3.2 Etudes hydrauliques ..... 37
III.3.2.1 Evaluation de la capacité de transport des ouvrages hydrauliques construits sur la rivière Mpimba 37
III.3.2.1.1 Introduction ..... 37
III.3.2.1.2 Evaluation de la capacité de transport sur les différents ouvrages de franchissements ..... 38
*III.4 Evaluation du transport solide ..... 48*
III.4.1 Evaluation du transport solide avec la formule de Fournier ..... 48
III.4.2 Evaluation du transport solide avec la formule de Gravilovic. ..... 48
III.4.3 Analyse des résultats d'évaluation du transport solide ..... 49

**CHAPITRE IV. PROPOSITION ET DIMENSIONNEMENT D'UN NOUVEL OUVRAGE ..... 50**
*IV.1 Choix d'un nouvel ouvrage ..... 50*
*IV.2 Dimensionnement Hydraulique du nouvel ouvrage ..... 50*
IV.2.1 Description d'un Dalot ..... 50
IV.2.2 Choix de la forme du dalot ..... 51
IV.2.3 Vérification hydraulique des ouvrages ..... 51
*IV.3 . Dimensionnement structural ..... 52*
IV.3.1 Prédimensionnement des dalots cadres ..... 52
IV.3.2 Dimensionnement des dalots cadres ..... 55
IV.3.2.1 Méthode de calcul ..... 55
IV.3.2.2 Hypothèses de calcul ..... 55
IV.3.2.3 Matériaux ..... 56
IV.3.2.4 Caractéristiques de la chaussée ..... 56
IV.3.2.5 Récapitulatif des sections d'armatures ..... 56
*IV.4 Devis quantitatifs des matériaux pour nos ouvrages ..... 59*
*IV.5 Devis estimatif des matériaux pour le dalot à deux ouvertures ..... 60*

**CHAPITRE V. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ..... 61**
*V.1 Introduction ..... 61*

V.1.1 Description sommaire des activités de construction de l'ouvrage .....61
V.1.2 Identification des impacts potentiels.....61
V.1.3 Mesures d'atténuations selon les analyses des impacts .....63

**CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....65**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....66**

**ANNEXES .....67**

# LISTE DES TABLEAUX

*Tableau 1: Formule pour le calcul du débit réduit dans les petits ouvrages hydrauliques* ..... *10*
*Tableau 2: Formule pour le calcul du débit réduit de la pente critique pour les petits ouvrages hydrauliques* ..... *10*
*Tableau 3:Formule pour le calcul de pente critique dans les petits ouvrages hydraulique* ..... *11*
*Tableau 4:Formule pour le calcul du débit réduit pour la vitesse dans les petits ouvrages hydrauliques* ..... *11*
*Tableau 5:Formule pour le calcul de la vitesse dans les petits ouvrages hydrauliques* ..... *12*
*Tableau 6: Classification des bassins versants selon ORSTOM (Laborde,2009)* ..... *19*
*Tableau 7: Période de récurrence pour différents ouvrages hydrauliques* ..... *21*
*Tableau 8: Formule utilisée pour le calcul du temps de concentration* ..... *22*
*Tableau 9: Synthèse des résultats d'analyse des précipitations (Loi normal, Gumbel, Log normal, Pearson)* ..... *30*
*Tableau 10:Synthèse des caractéristiques du bassin versant au point de chaque ouvrage de franchissement* ..... *32*
*Tableau 11: Estimation du temps de concentration* ..... *34*
*Tableau 12: Tableau de synthèse pour le calcul du débit de projet au point de chaque ouvrage de franchissement* ..... *36*
*Tableau 13: Tableau illustratif des caractéristiques des ouvrages à étudiés* ..... *37*
*Tableau 14: Caractéristiques dalot RN7* ..... *38*
*Tableau 15: Evaluation de la hauteur d'eau amont pour le dalot RN7* ..... *39*
*Tableau 16: Evaluation de la pente critique pour le dalot RN7* ..... *39*
*Tableau 17:Evaluation de la vitesse pour le dalot RN7* ..... *39*
*Tableau 18:Caractéristiques pour le dalot au 2è avenue Musaga* ..... *41*
*Tableau 19:Evaluation de hauteur en amont pour le dalot au 2è avenu Musaga* ..... *41*
*Tableau 20:Evaluation de la pente critique pour le dalot au 2è avenue Musaga* ..... *42*
*Tableau 21:Evaluation de vitesse pour le dalot au 2è avenue Musaga* ..... *42*
*Tableau 22:Caracteristiques du dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)* ..... *43*
*Tableau 23:Evaluation de la hauteur d'eau en amont pour le dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)* ..... *43*
*Tableau 24:Evaluation de pente critique pour le dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)* ..... *43*
*Tableau 25:Evaluation de la vitesse pour le dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)* ..... *44*
*Tableau 26: Evaluation du diamètre des buses à l'avenue Gasibe à Kinanira 2* ..... *45*
*Tableau 27:Evaluation de la hauteur de l'eau en amont des buses à l'avenue Gasibe à Kinanira 2* ..... *45*
*Tableau 28:Synthese des résultats sur l'évaluation de la capacité de transport des ouvrages de franchissement sur la rivière Mpimba en mairie de Bujumbura* ..... *47*
*Tableau 29: Estimation de la température moyenne annuelle à Buhonga* ..... *49*
*Tableau 30: Résultats d'évaluation du transport solide selon la formule de Gravilovic.* ..... *49*
*Tableau 31: Type de dalot en fonction de la nature du sol et de la portée* ..... *50*
*Tableau 32: Choix de l'ouverture pratique du dalot* ..... *51*
*Tableau 33: Evaluation de la hauteur d'eau en amont du dalot* ..... *51*
*Tableau 34: Evaluation de la pente critique du dalot* ..... *52*
*Tableau 35:Evaluation de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage* ..... *52*
*Tableau 36:Grandeur du module œdométrique en fonction de la nature du sol* ..... *53*
*Tableau 37: Valeurs d'ESOL en MPA en fonction des sols d'assisses* ..... *53*

*Tableau 38:Epaisseur adoptée pour nos ouvrages*.....*55*
*Tableau 39: Tableau d'armatures pour mur en ailes du dalot à une ouverture*.....*56*
*Tableau 40: Tableau d'armatures pour dalot à une ouverture* .....*57*
*Tableau 41 : Tableau d'armatures pour mur en ailes du dalot à deux ouvertures* .....*58*
*Tableau 42: Tableau d'armatures pour dalot à deux ouvertures* .....*58*
*Tableau 43:Quantitatif des matériaux pour dalot ouverture de 11m* .....*59*
*Tableau 44: Quantitatif des matériaux pour dalot a deux ouvertures de 5.5m chacune* .....*59*
*Tableau 45:Dévis estimatif des matériaux pour le dalot à deux ouvertures*.....*60*
*Tableau 46 : Mesures d'atténuations selon les analyses des impacts* .....*63*

# LISTE DES FIGURES

*Figure 1 : Buse arche et buse circulaire* ..... *5*
*Figure 2: Buse circulaire en béton et buse en métal* ..... *5*
*Figure 3: Buse arche en béton et buse arche en métal* ..... *6*
*Figure 4: Dalot cadre* ..... *6*
*Figure 5: Dalot portique* ..... *7*
*Figure 6:Fonctionnement en sortie noyée* ..... *8*
*Figure 7: Fonctionnement en sortie dénoyée avec écoulement à pleine section* ..... *8*
*Figure 8:Fonctionnement en sortie dénoyée avec écoulement libre* ..... *8*
*Figure 9:Courbe IDF pour le centre-ville de Bujumbura* ..... *21*
*Figure 10:Carte hydrographique du bassin versant de la rivière Mpimba* ..... *23*
*Figure 11:Cartes hydrographiques des bassins versants de la rivière Mpimba aux points de chaque ouvrage de franchissement* ..... *24*
*Figure 12:Localisation du bassin versant de la rivière Mpimba* ..... *26*
*Figure 13: Carte du bassin versant de la rivière Mpimba* ..... *27*
*Figure 14: Carte hypsométrique du bassin versant de la rivière Mpimba* ..... *28*
*Figure 15:Carte topographique du bassin versant de la rivière Mpimba* ..... *28*
*Figure 16:Profil en long de la rivière Mpimba* ..... *29*
*Figure 17:Profil en long du tronçon étudié* ..... *29*
*Figure 18: Abaque de détermination des épaisseurs des piédroits et de la traverse en fonction du module d'élasticité* ..... *54*

# LISTE DES PHOTOS

*Photo 1:Image montrant l'ouvrage en buse sur l'avenue Gasibe …… 25*

*Photo 2:Image montrant le dalot sur l'avenue vers Iscam .....25*

*Photo 3: Image montrant le dalot sur la 2è avenue à Musaga …… 25*

*Photo 4: Image montrant le dalot sur la RN7.....25*

*Photo 5: Photos pris le 28 /3/2023 illustrant le bouchage des ouvertures au point du pont de Av. Gasibe.....46*

# SIGLES ET ABREVIATIONS

Av : Avenue

BA : Béton armé

BAEL : Béton armé aux états limites

CCTG : Cahier des clauses techniques générales

HA : Haute adhérence

PHE : Plus hautes eaux

RN : Route nationale

RN7 : Route nationale numéro 7

Q : Débit

Qe : Débit d'étude

# AVANT PROPOS

La capacité hydraulique d'un ouvrage de franchissement est la quantité de matières (liquide et solide) pouvant le transiter par unité de temps sans danger.

❖ Pour les ponts, cette capacité s'exprime par le débit d'écoulement pouvant les traverser sans danger d'érosion (affouillement), de dépôt et de débordement.

❖ Dans les petits ouvrages (dalots et buses), ce danger d'érosion est réduit en limitant la vitesse d'écoulement et les dépôts sont limités en imposant une pente longitudinale de l'ouvrage au moins égale à la pente critique.

Dans son ouvrage intitulé « HYDRAULIQUE ROUTIERE », Nguyen Van Tuu (1979) stipule que la vitesse maximale d'écoulement dans les petits ouvrages hydrauliques est de l'ordre de 3m/s.

Selon le guide technique sur l' « assainissement routier – GTAR (2006) », les vitesses doivent respecter les critères vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :

- Ouvrages en béton : ≤4m/s
- Ouvrages métalliques : ≤2,5m /s

Pour le rapport hydraulique et hydrologique fourni par le consultant ingénierie (LCI) pour les travaux de voie de contournement de la ville de Bujumbura dans le projet Multinational Burundi/Rwanda, cette vitesse maximale admissible est de 4m/s (LCI 2020, Page 28). Selon le même rapport, pour les ouvrages en béton, une vitesse d'écoulement de 6m/s peut être tolérée (LCI 2020, Page 42).

Ainsi pour la vérification de la capacité hydraulique dans les ouvrages, une vitesse limite de 4m/s a été considérée.

# CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE

## I.1 Problématique et justification de l'étude

Le développement des infrastructures de transport et particulièrement routières, constitue un facteur clé pour le développement socio-économique d'un pays et particulièrement d'un pays enclavé comme le Burundi. Ainsi l'aménagement d'une route nécessite la construction de ces ouvrages en ce sens qu'ils permettent d'une part l'assainissement de la route, mais aussi le franchissement des zones de passage d'eau.

Les ouvrages de franchissement (ponts, dalots, buses) sont des éléments indispensables dans le maillage des activités humaines partout dans le monde. Différents endroits stratégiques sont séparés par des cours d'eau ce qui causerait des difficultés de communication s'il n'y avait pas ces ouvrages assez classiques de génie civil pour répondre et faciliter les besoins de la mobilité tant urbaine que rurale.

La ville de Bujumbura est traversée par de nombreux cours d'eau séparant différents endroits stratégiques d'où la nécessité de construire des ouvrages de franchissement. Cependant d'une part le nombre insuffisant de ces ouvrages sur la plupart des cours d'eau perturbe le trafic en mairie de
Bujumbura, d'autre part ces ouvrages sont confrontés aux différents problèmes causés par les cours d'eau au-dessus desquels ils sont érigés (ravinement, affouillement, etc.) mais aussi aux problèmes causés par l'instabilité et les lacunes de dimensionnement des ouvertures de ces ouvrages (capacité hydraulique déficiente des ouvertures pour le transport du débit liquide et solide, etc.).

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail qui consistera à faire une étude sur la capacité hydraulique des ouvrages de franchissement plus précisément celles traversant la rivière Mpimba en mairie de Bujumbura .Ainsi le constat est qu' en aval de la rivière l'ouvrage en buse sur l'avenue Gasibe manifeste surtout en période de fortes pluies des débordement suites soit au débit des crues excessives soit à la bouchure des ouvertures de l'ouvrage causée par des arbres ainsi que d'autres matières transportées par la rivière(dépôts solides). De ce dépôt, il en résulte une diminution de la section d'écoulement surtout au niveau de l'ouvrage en question ; d'où l'augmentation des risques d'inondation pour les riverains de la zone avale de la rivière Mpimba.

## I.2 Objectif global

L'objectif global donné à ce travail est d'évaluer la capacité hydraulique des ouvrages actuels traversant la rivière Mpimba en mairie de Bujumbura afin d'admettre si les ouvertures données à ces ouvrages laissent passer les quantités de matières (liquides et solides) traversant ces ouvrages sans aucun problème et dans le cas contraire proposer et concevoir de nouveaux ouvrages répondant aux études hydrologiques et hydrauliques faites.

## I.3 Objectifs spécifiques

- Faire une étude hydrologique de notre bassin versant.
- Déterminer les débits de projet au point de chaque ouvrage de franchissement.
- Etablir une note de calcul hydraulique des ouvrages actuels.
- Analyser les résultats obtenus ; choisir dans le cas nécessaire un nouvel ouvrage pouvant remplir les conditions hydrologiques, hydrauliques et structurales.
- Faire le dimensionnement hydraulique et structural du nouvel ouvrage.
- Faire un devis quantitatif et estimatif de l'ouvrage proposé.
- Faire une étude d'impact environnemental.

## I.4 Méthodologie et outils de travail

La méthodologie consiste à collecter et à traiter les données nécessaires et utiles pour cette étude. L'outil informatique a été surtout utilisé dans ce travail par l'usage des logiciels tels que Microsoft Word, Microsoft Excel pour le traitement de texte et la programmation, Google Earth et ArcGis pour la délimitation du bassin versant. Un téléphone portable nous a permis également de réaliser les prises de photos.

### I.4.1 Revue bibliographique sur la thématique

Cette étape consiste à recueillir les informations d'ordre général concernant le sujet.
Toutes les informations recueillies dans les différents documents relatifs à ce projet, ont permis de faire une synthèse bibliographique.

### I.4.2 Collecte des données

#### I.4.2.1 Données cartographiques

En ce qui concerne la cartographie, nous avons utilisé Google Earth et ArcGis pour la localisation de la zone d'étude et la délimitation exacte du bassin versant.

#### I.4.2.2 Données pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées pour l'étude hydrologique ont été tirées dans le mémoire de BIGIRIMANA Dialo intitulé « CONTRIBUTION A L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'AMENAGEMENT DES BASSINS VERSANTS SUR LA DYNAMIQUE DES COURS D'EAU ». Il s'agit essentiellement de la pluviométrie annuelle et journalière maximale de la station de Buhonga pour la période de 1970 à 2001.

#### I.4.2.3 Autres données relatives au projet

Les autres données, notamment celles relatives au projet, concernent essentiellement la géotechnique.

### I.4.3 Analyse des résultats

L'analyse des données collectées nous a permis de faire une synthèse suffisante et crédible pour l'élaboration du projet.

### I.4.4 Traitement et Exploitation des données

Le traitement et l'exploitation des données récoltées ont été réalisés avec respectivement le tableur Excel pour la programmation des calculs hydrauliques, et les logiciels ArcGis et Google Earth pour la délimitation du Bassin Versant (BV) et la cartographie.

### I.4.5 Descente sur le terrain

Du point de vue pratique, nous avons fait quelques descentes sur terrain, ce qui nous a permis de comprendre beaucoup de choses et de prendre des vues pour illustrer notre travail.

### I.4.6 Difficultés rencontrées

L'insuffisance de moyen financier imparti pour la réalisation de cette étude, constitue sa principale limite.

En outre au moment où nous bouclions cette étude, certaines études géotechniques n'étaient encore toutes faites ; chose qui aurait permis de pousser plus loin les études des ouvrages surtout dans la partie fondation.

En dépit des difficultés rencontrées, la méthodologie que nous avons établi pour mener à bon port le projet nous conduit au chapitre, qui traitera la revue de la littérature.

# CHAPITRE II. REVUE DE LA LITTERATURE

## II.1 Définition d'un ouvrage d'art [1]

Un Ouvrage d'Art est une construction de génie civil de grande importance liée à l'établissement et à l'exploitation d'une ligne de communication ou de transport terrestre, fluviale ou maritime (pont, viaduc, passerelle, tunnel) . C'est également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs de soutènement, tranchée couverte, digue, descentes spéciales d'écoulement dans les régions montagneuses) ou d'une adduction d'eau (buse, ponceau ou dalot) et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport (quais et autres ouvrages portuaires), par le franchissement d'un obstacle naturel ou artificiel. L'obstacle peut être une chaîne de montagne, un cours d'eau, une région industrielle ou encore une ville comprenant de nombreux bâtiments (circulation par exemple).

De tels ouvrages sont qualifiés d'Ouvrages "d'Art" parce que leur conception et leur réalisation font intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur.

## II.2 Dimensionnements hydrauliques des buses et des dalots

### II.2.1 Généralités

Nous englobons dans la domination des petits ouvrages, les ouvrages constitués par les dalots et les buses, qui servent au franchissement des cours d'eau ou à l'assainissement et les différencions des grands ouvrages qui sont les ponts ; les méthodologies pour l'étude de ces diverses catégories étant en effet totalement différentes.

Les conditions hydrologiques, hydrauliques ; topographiques ; géotechniques particulières à chaque ouvrage font de chaque cas un cas d'espèce et le choix du type d'ouvrage est rarement immédiat. Il convient par conséquent de passer rapidement en revue les conditions générales d'utilisation de chacun des types d'ouvrages.

[1] « Hydraulique routière », NGUYEN VAN TUU (1979)

### II.2.1.1 Les buses

Du point de vue de la forme on distingue deux types de buses :

- Les buses circulaires
- Les buses arches



*Figure 1 : Buse arche et buse circulaire*

Du point de vue des matériaux deux types de buses sont couramment utilisés à l'heure actuel :

- Les buses en béton
- Les buses en métal.



*Figure 2: Buse circulaire en béton et buse en métal*



*Figure 3: Buse arche en béton et buse arche en métal*

Les buses sont utilisées exclusivement dans des sections ou l'on dispose d'une épaisseur suffisante de remblais (un minimum de 0 ,80 m de remblai est nécessaire au-dessus de la buse) et peuvent être utilisés avec des remblais élevés.

### II.2.1.2 Les dalots

Ils sont en béton armé et présentent une section rectangulaire ou carrée.

Trois types de dalots sont couramment utilisés :

- Les dalots ordinaires constituées de piédroits verticaux fondées sur semelles ou radier général et sur lesquels repose une dalle en béton armé.
- Les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé.



*Figure 4: Dalot cadre*

- Les dalots portiques analogues aux dalots cadres mais sans radier (piédroits verticaux fondées sur les semelles)



*Figure 5: Dalot portique*

Les dalots sont en général adoptés pour des débits élevés (dépassant 10m/s).

### II.2.2 Mode de fonctionnement

Afin de déterminer les dimensions des petits ouvrages hydrauliques d'une route ; il convient de bien connaitre les conditions dans lesquelles ils vont fonctionner et les diverses formes que peut pendre l'écoulement à travers ces ouvrages.

On distingue essentiellement 2 types de fonctionnement pour un petit ouvrage hydraulique :

La sortie est noyée : c'est-à-dire que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage. C'est par exemple le cas des ouvrages situé en zone inondable ou bien subissant la marée en zone littorale ou présentant un niveau aval élevé parce qu'il est à la confluence avec un autre cours d'eau à fortes crues.

L'écoulement des eaux se fera par surélévation du niveau amont à l'arrivée : l'écoulement est en charge.

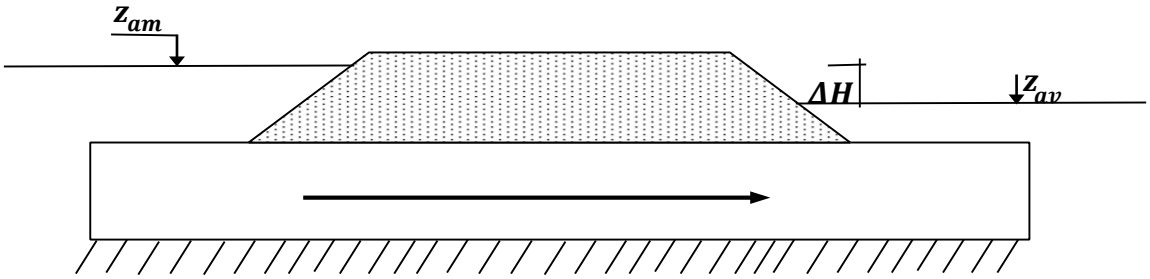



*Figure 6:Fonctionnement en sortie noyée*

La sortie est libre : c'est-à-dire que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage est en dessous du bord supérieur de l'ouvrage.

Le type d'écoulement dans la sortie aval libre dépend alors du niveau amont.

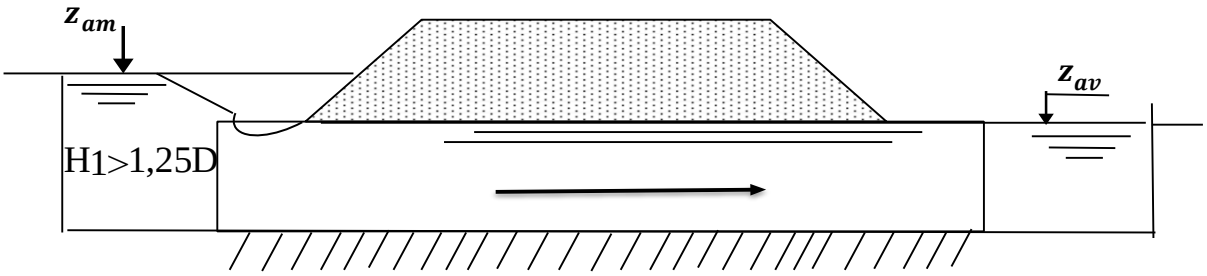



*Figure 7: Fonctionnement en sortie dénoyée avec écoulement à pleine section*

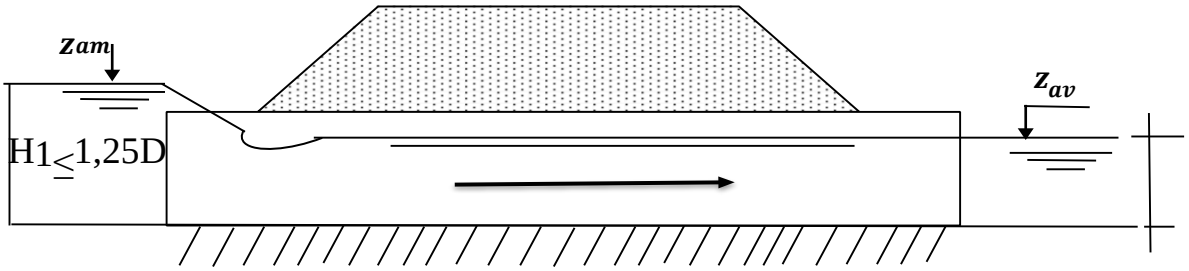



*Figure 8:Fonctionnement en sortie dénoyée avec écoulement libre*

N. B :

- ✓ Contrairement aux écoulements noyés qui peuvent se mettre sous la forme analytique relativement simple, les écoulements à surface libre sont des phénomènes plus complexes. Les coefficients qui les régissent sont empiriques aussi les méthodes de calculs sont graphiques et s'appuient sur des courbes expérimentales.
- ✓ De plus pour le fonctionnement en sortie noyé, le terme tirant d'air est remplacé par le terme de revanche qui est destiné à constituer une sécurité contre les déversements de l'eau par-dessus les remblais par suite des vagues formées par vent ; ainsi dans les ouvrages fonctionnant à sortie libre le tirant d'air correspond en toute rigueur, à

la hauteur libre entre la ligne d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage. [Guide technique sur l'assainissement routier, 2006]

- Pour une ouverture ≤ à 2m le tirant d'air est apprécié en fonction de la nature du bassin versant.
- Pour une ouverture > à 2m le tirant d'air est compris entre 0.5m et 1.5m. Le taux de remplissage de l'ouvrage hydraulique pour le débit ne doit pas excéder 0.75.

### II.2.3 Principe de dimensionnement hydrauliques des buses et dalots

Il existe deux méthodes : une analytique et un autre graphique. Pour le dimensionnement hydraulique des buses, des dalots et des ponts cadres, on considère le plus généralement la sortie dénoyée avec l'écoulement à surface libre qui est le plus fréquent d'où l'utilisation de la méthode graphique. La condition pour un écoulement dénoyé avec écoulement a surface libre est : la hauteur amont (H1) doit être inférieure ou égale à 1,25 fois la hauteur (D) de l'ouvrage (la condition

$H1/D \leq 1,25$).

La sortie noyée est obtenue lorsque que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage. C'est le cas des ouvrages situés en zone inondable ou subissant la marée en zone littorale, ou présentant un niveau aval élevé parce qu'ils sont à la confluence avec un autre cours d'eau à fortes crues. Pour le dimensionnement des bues et des dalots les étapes sont les suivantes

- Etape 1 : Calcul du débit à évacuer

Il s'agit d'effectuer les calculs hydrologiques qui fourniront le débit du projet

- Etape 2 : Calcul de la profondeur en amont H1

A cette étape il s'agira, de calculer la profondeur amont et de vérifier si celle-ci est conforme à la situation topographique de l'ouvrage.

On utilisera ensuite la formule pour calculer le débit réduit Q*.

*Tableau 1: Formule pour le calcul du débit réduit dans les petits ouvrages hydrauliques*

| | | |
|---|---|---|
| Buse circulaire | $Q^* = \frac{\mathrm{Q}}{\sqrt{2\mathrm{g}D^5}}$ | (II.1) |
| Buse arche | $Q^* = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A}\sqrt{2\mathrm{gD}}}$ | (II.2) |
| Dalot | $Q^* = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{BD}\sqrt{2\mathrm{gD}}}$ | (II.3) |

H1* =f(Q*) (lire sur abaque dans document « Hydraulique routière » de Nguyen VAN TUU [1979] avec H1* la charge amont réduite d'où l'on déduira H1

$$\mathrm{H}_1 = D \ \mathrm{X} \ \mathrm{H}_1{}^* \qquad \text{(II.4)}$$

La valeur H1 ainsi trouvée est comparée avec la situation topographique du projet.

- Etape 3 : Calcul de la pente critique Ic

L'ouvrage doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur H1 amont. Pour cela, il faut que la pente longitudinale de l'ouvrage soit au moins égale à la pente critique (I supérieure ou égale à Ic). Il s'agira donc à cette étape de calculer la pente critique de l'ouvrage (notée Ic) qui guidera sur le choix de la pente longitudinale de l'ouvrage (notée I). On calcule le débit réduit pour la pente critique en utilisant la formule suivante.

*Tableau 2: Formule pour le calcul du débit réduit de la pente critique pour les petits ouvrages hydrauliques*

| | | |
|---|---|---|
| Buse circulaire | $\mathrm{Q}_\mathrm{i}^* = \frac{\mathrm{Q}}{\sqrt{\mathrm{gR}^5}}$ | (II.5) |
| Buse arche | $\mathrm{Q}_\mathrm{i}^* = \frac{\mathrm{Q}}{\sqrt{\mathrm{g}\left(\frac{D}{2}\right)^5}}$ | (II.6) |
| Dalot | $\mathrm{Q}_\mathrm{i}^* = \frac{\mathrm{Q}}{\sqrt{\mathrm{gB}^5}}$ | (II.7) |

I*C =f(Q*) (lire sur abaque dans document « Hydraulique routière » de Nguyen VAN TUU [1979] avec I*C la pente critique réduite d'où l'on calculera IC.

*Tableau 3:Formule pour le calcul de pente critique dans les petits ouvrages hydraulique*

| | | |
|---|---|---|
| Buse circulaire | $I_C = \frac{g I_C^*}{K^2 \sqrt[3]{R}}$ | (II.8) |
| Buse arche | $I_C = \frac{g I_C^*}{K^2 \sqrt[3]{\frac{D}{2}}}$ | (II.9) |
| Dalot | $I_C = \frac{g I_C^*}{K^2 \sqrt[3]{B}}$ | (II.10) |

- Etape 4 : Calcul de la vitesse dans l'ouvrage

Au niveau de cette étape il s'agira de calculer la vitesse de l'eau dans l'ouvrage, et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite (prise égale à 4 m/s). L'on calculera le débit réduit Q*v à partir des formules dérivées de Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue.

*Tableau 4:Formule pour le calcul du débit réduit pour la vitesse dans les petits ouvrages hydrauliques*

| | | |
|---|---|---|
| Buse circulaire | $Q_V^* = \frac{q}{K \sqrt{I} \sqrt[3]{R^8}}$ | (II.11) |
| Buse arche | $Q_V^* = \frac{q}{K \sqrt{I} \sqrt[3]{(D/2)^8}}$ | (II.12) |
| Dalot | $Q_V^* = \frac{q}{K \sqrt{I} \sqrt[3]{B^8}}$ | (II.13) |

V* =f(Q*) (lire sur abaque dans document « Hydraulique routière » de Nguyen VAN TUU [1978] avec V* la vitesse maximale réduite d'où l'on calculera V.

*Tableau 5:Formule pour le calcul de la vitesse dans les petits ouvrages hydrauliques*

| | | |
|---|---|---|
| Buse circulaire | $V = KV^{*}\sqrt{I}\ \sqrt[3]{R^2}$ | (II.14) |
| Buse arche | $V = KV^{*}\sqrt{I}\ \sqrt[3]{(D/2)^2}$ | (II.15) |
| Dalot | $V = KV^{*}\sqrt{I}\ \sqrt[3]{B^2}$ | (II.16) |

- Etape 5 : Itération

Si la vitesse est acceptable (c'est-à-dire autour de 4m/s) le calcul est terminé, sinon il faut changer les paramètres d'ouvertures et reprendre totalement tout le cheminement.

## II.3 Dimensionnement hydraulique des ponts

### II.3.1 Généralités

Suivant le type de matériaux il existe ;

- Les ponts en bois ;
- Les ponts en maçonnerie de pierres et de briques ;
- Les ponts métalliques ;
- Les ponts en béton armé ;
- Les ponts en béton précontraint ;
- Les ponts en matériaux mixtes ;
- Les ponts en matériaux innovants ;

Selon le type de structure portante, on distingue :

- Les ponts poutres : Ce sont des ponts dont le tablier est en béton armé.
- Les ponts en arc : Ce sont des ponts dont la ligne de la partie inferieure est en forme d'arc.
- Les ponts suspendus : Ce sont des ponts dont le tablier est maintenu par des câbles.
- Les ponts haubanés : Ce sont des ponts où le tablier est suspendu par des câbles, eux-mêmes étant soutenus par des pylônes.
- Les ponts béquilles : Ce sont des ponts dont le tablier est supporté par des béquilles.

### II.3.2 Principe de dimensionnement hydrauliques des ponts

Afin d'attribuer à la structure une ouverture suffisante capable d'évacuer la crue du projet, une étude hydraulique est nécessaire pour éviter tout risque de destructions de l'ouvrage.

Selon Manning-Sticker :

$$Q = K_S \text{ x } S \text{ x } Rh^{\frac{2}{3}} \text{x } I^{\frac{1}{2}} \quad \text{(II.17)}$$

Avec Q = débit capable d'être évacué par l'ouvrage en $m^3/s$ ;

Ks = coefficient de rugosité ou de Manning ;

S = section mouillée ;

Rh = rayon hydraulique ;

I = pente longitudinale, la pente minimale en respectant la vitesse Limite de 4 m/s.

- La hauteur du niveau des plus hautes eaux est la hauteur d'eau du canal correspondant au débit du projet.

Selon NGUYEN Van Tuu, cette hauteur est donnée par la loi de la continuité ;

$$H_E = \frac{Q_p}{B_m \text{ x } V} \quad \text{(II.18)}$$

Où V est la vitesse maximale de l'eau en m/s (4m/s)

Bm, la base du canal en m

- La pente critique est celle, à un débit donné et pour une section transversale donnée, correspondant à la limite de l'écoulement fluvial et celui de l'écoulement torrentiel. A cette limite, le nombre de Froude est égal à l'unité. La détermination de la pente critique se fait en résolvant successivement les équations suivantes :

$$\begin{cases} 1 - \dfrac{BQ^2}{gA^3} = 0 \quad (1) \\ Q - \dfrac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = 0 \ (2) \end{cases} \quad \text{(II.19)}$$

Avec la deuxième équation, on détermine le tirant d'eau (hw) qui la vérifie. La valeur du tirant d'eau ainsi trouvée est utilisée dans la première équation pour déterminer la pente critique (Ic). Comme nous avons une section rectangulaire, la largeur au miroir est égale à la largeur au fond et on a :

$$\begin{cases} I_C = \dfrac{n^2 Q^2}{A^2 R^{\frac{4}{3}}} \ (1) \\ h_w = \sqrt[3]{\dfrac{Q^2}{gB^2}} (2) \end{cases} \quad \text{(II.20)}$$

- La vitesse d'écoulement dans l'ouvrage est donnée par la relation suivante :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{(II.21)}$$

Si on connaît le degré de remplissage r et les caractéristiques géométriques de l'ouvrage, on détermine les caractéristiques d'écoulement dans l'ouvrage par les équations suivantes :

$$h_w = rH \quad \text{(II.22)}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{(II.23)}$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{(II.24)}$$

$$t_a = H - h_w \quad \text{(II.25)}$$

Avec :
- $Q$ : *débit d'écoulement* ($m^3/s$)
- $V$ : *vitesse d'écoulement* ($m/s$)
- $n$ : *coefficient de rugosité de manning*
- $A$ : *surface mouillée* ($m^2$)
- R : A / P est le rayon hydraulique (m)
- $P$ : *périmètre mouillée* ($m$)
- $i$ : *pente de* l'écoulement
- $hw$ : *tirant d'eau* ($m$) ; $ta$ : *tirant d'air*
- $H$ : *Hauteur totale de l'ouverture* ($m$)

## II.4 Dimensionnement structural

Le dimensionnement structural se fera à bases des résultats hydrauliques obtenus. Il s'agira du prédimensionnement de l'ouvrage choisit ainsi que le choix des armatures.

## II.5 Transport solide

### II.5.1 Introduction

Selon l'office français de la biodiversité (OFB, 2020), le transport solide correspond au phénomène d'entraînement et de transport de matériaux solides par un écoulement liquide d'intensité suffisante. Ce transport inclut généralement celui de toute matière non-organique dans les cours d'eau, quelque que soit leur taille (argile, limons, sables, graviers, galets, etc).
Le transport solide a lieu sur les versants (érosion hydrique du sol) et dans les réseaux hydrographiques (érosion fluviale).

En raison des conséquences (positives et négatives) de ce phénomène sur les infrastructures, il est étudié pour la protection des ouvrages en général et plus particulièrement les ouvrages hydrauliques.

### II.5.2 Différents modes de transport en rivière

Le transport solide en rivière s'effectue en trois modes : la suspension, le charriage et la saltation (BRGM, 1996).

- La suspension (suspended-load) : C'est un mode de transport désignant l'ensemble de sédiments se déplaçant dans la colonne d'eau avec une vitesse proche de la vitesse de l'eau (Malavoi et al., 2011 ; Rodrigues et al., 2013). Ce mode de transport concerne les sédiments plus fins (argiles, limons, sables) et les particules de densité plus faible pouvant être maintenues dans la colonne d'eau par la compensation de leur poids propre avec turbulence de l'écoulement (OFB, 2020)
- Le charriage (bedload) est un mode de déplacement des particules au contact du fond

  (BRGM, 1996). Contrairement à la suspension, il s'agit d'un mode de transport des sédiments grossiers ;
- La saltation : il s'agit du mode de transport intermédiaire entre la suspension et le charriage où les sédiments se déplacent sur de courtes distances par réalisation de sauts (BRGM,1996) ;
- Dans la pratique, seuls les deux premiers modes de transport sont retenus (BRGM,1996). Le troisième mode étant souvent incorporé dans le second. Ceci est

évident dans la définition du charriage telle que proposée par l'office français de la biodiversité (OFB) dans un document dénommé Guide technique pour la mesure et la modélisation du transport solide sorti en 2020.

### II.5.3 Evaluation du transport solide

Le transport solide dans les rivières et les processus morphométriques sont parmi les phénomènes les plus complexes et les moins compris dans la nature (M. Mohamed GHARBI,2016). Plusieurs chercheurs ont tenté de modéliser ce phénomène et nous ont proposés des formules nous permettant d'évaluer le transport solide.

Certaines des formules proposées pour l'évaluation du transport solide tiennent compte des paramètres climatiques et morphométriques du bassin versant. D'autres, plus récentes, font référence à la dispersion granulométrique du lit de la rivière et la morphométrie du lit.

Au cours du présent travail, seul les formules d'évaluation du transport solide par des formules tenant compte des paramètres climatiques et de la morphométrie du bassin versant sont présentées. La non utilisation des formules tenant compte de la granulométrie est due au fait qu'elles requièrent des données sur le débit moyen du cours d'eau en plus de la granulométrie et de la morphométrie du lit. Or, après un entretien au sein des services climatologiques et météorologiques de l'Institut Géographique du Burundi, la rivière Mpimba n'est pas jaugée.

- Formule de fournier

Elle se présente comme suit :

$$E = \frac{1}{36}\left(\frac{P_X^2}{P_a}\right)^{2,65}\left(\frac{h^2}{S}\right)^{0,64} \qquad \text{(II.26)}$$

$\boldsymbol{E}$: Apport solide annuel moyen spécifique ($tonnes/km^2/an$);

$\boldsymbol{Px}$: pluviométrie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (mm);

$\boldsymbol{Pa}$: Pluviométrie annuelle moyenne$(\mathrm{mm})$;

$\boldsymbol{h}$: dénivelée moyenne du bassin versant $(\mathrm{m})$ $ou$ $0{,}45 * (h_{max} - hmin)$

$\boldsymbol{S}$: Superficie du bassin versant $(\mathrm{km^2})$

- Formule de GRAVILOVIC

Elle est élaborée en Yougoslavie et utilise un indice climatique et des caractéristiques physiques du bassin versant. Selon cette formule, la production annuelle des sédiments est évaluée par la relation suivante :

$$D = T * P * \pi * \sqrt{Z^3} \quad \text{(II.27)}$$

$\boldsymbol{D}$: $Production\ moyenne\ annuelle\ de\ sédiments\ en\ suspension\ \ et\ par\ charriage$ $m3/km2/an$;

Selon l'auteur de la formule, la capacité de transport des cours d'eau n'est jamais aussi grande que les eaux pourraient emporter la production entière des matériaux érodés. Un certain pourcentage se dépose dans le talweg à l'amont de l'embouchure ainsi que sur les élargissements et les atténuations de la pente longitudinale du lit. De ce fait, l'afflux du débit solide à l'embouchure est réduit.

Le coefficient de réduction ou coefficient d'abrasion « R » est calculé par la relation suivante :

$$R_m = \frac{\sqrt{Per\ Hmoy}}{0{,}25(L+10)} \quad \text{(II.28)}$$

En intégrant le coefficient d'abrasion « R », l'afflux du débit solide est réduit et la dégradation spécifique « Ds » en m3/Km2/an est donnée par :

$$\mathrm{D_s} = \mathrm{D.\,R_m} \quad \text{(II.29)}$$

## II.6 Généralités sur les bassins versant

### II.6.1 Définition

Plusieurs définitions du bassin versant ont été proposé dans la littérature :

- Selon le glossaire international d'Hydrologie, le bassin versant se définit comme la surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac.
- Loup J. ,1974 définit le bassin versant comme la surface réceptrice des eaux qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe, on le définit par sa morphométrie ; ses caractéristiques climatiques, sa géologie, sa végétation et ses sols.
- Remenieras G.,1965 définit le bassin versant en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau comme la totalité de la surface géographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section.
- Le dictionnaire français d'hydrologie définit le bassin versant comme la région délimitée, drainée par un cours d'eau et ses tributaires, dont elle constitue l'aire d'alimentation (Monique Dacharry & Jean Margat, 1995).

### II.6.2 Différentes caractéristiques d'un bassin versant.

#### II.6.2.1 Caractéristiques de disposition dans le plan.

Les caractéristiques de disposition dans le plan d'un bassin versant sont :

- Surface (A) : Elle est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique. Elle est souvent exprimée en km2.
- Périmètre (P) : C'est une des caractéristiques des longueurs la plus utilisée. Elle correspond au contour du bassin. Le périmètre n'est généralement pas utilisé directement mais le plus souvent à travers des valeurs qui en dérivent comme la longueur « L » et la largeur « l » du rectangle équivalent (Laborde,2009). Ces deux dernières caractéristiques sont déterminées en résolvant le système suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Longueur du rectangle équivalant | $L = \frac{P + \sqrt{(P^2 - 64A)}}{4}$ | (II.30) |
| Largeur du rectangle équivalent | $l = \frac{P - \sqrt{(P^2 - 64A)}}{4}$ | (II.31) |

- Longueur du plus long thalweg (lt) : c'est la longueur totale de la ligne de plus grande pente d'une vallée, suivant laquelle se dirigent les eaux. Elle va de l'exutoire vers l'amont jusqu'à la limite du bassin.

- Coefficient de Gravelius (Kc) : Aussi appelé coefficient de compacité, c'est la caractéristique de forme la plus utilisée. Il correspond au rapport du périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle (Pc) de même surface (Dictionnaire française d'hydrologie de surface).

$$Kc = 0{,}2821\frac{P}{\sqrt{A}} \qquad \text{(II.32)}$$

Un Kc relativement faible (proche de 1) signifie un bassin versant plus ou moins compact. A la limite, un Kc=1 correspondrait à un bassin versant idéalement circulaire. Ainsi, les valeurs de Kc partent de 1 et augmentent au fur et à mesure que les bassins versant deviennent plus allongés.

### II.6.2.2 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

Indices de pente : Les indices de pentes font également partie des caractéristiques morphométriques d'un bassin versant. On distingue trois indices suivants :

*a.* Pente moyenne

*b.* Indice de pente roche Ip

*c.* Indice de pente globale Ig

*Tableau 6: Classification des bassins versants selon ORSTOM (Laborde,2009)*

| | | |
|---|---|---|
| R1 | Relief très faible | Ig< 0,002 |
| R2 | Relief faible | 0,002<Ig<0,005 |
| R3 | Relief assez faible | 0,005<Ig<0,01 |
| R4 | Relief modéré | 0,01<Ig<0,02 |
| R5 | Relief assez fort | 0,02<Ig<0,05 |
| R6 | Relief fort | 0,05<Ig<0,1 |
| R7 | Relief très fort | 0,1<Ig |

### II.6.3 Réseau hydrographique

Selon le glossaire international d'hydrologie, un réseau hydrographique est l'ensemble des rivières et autres cours d'eau permanents ou temporaires, ainsi que des lacs et des réservoirs, dans une région donnée. L'une des caractéristiques du réseau hydrographique est sa hiérarchisation. Quelques autres caractéristiques du réseau hydrographique sont notamment :

- Longueur du cours d'eau : distance parcourue depuis la source jusqu'à l'exutoire
- La densité de drainage (Dd) : C'est le rapport de la longueur total des cours d'eau à la surface du bassin versant :
- Le profil en long du cours d'eau : Il représente la variation de l'altitude du cours d'eau en fonction de sa longueur.

### II.6.4 Courbe intensité-durée-fréquence ou courbe I-D-F

La courbe I-D-F (Réméniéras,1980) est une relation entre l'intensité moyenne maximale « i » de pluie (mesurée en mm/h), la durée de référence ou de résolution (ou d'agrégation) « d » de cette pluie (mesurée en minutes) et la période de retour de l'événement pluvieux « T » (mesurée en années).

Les données des intensités habituellement fournies sous forme de courbes ou d'expressions IDF (Intensité – Durée – Fréquence) sont très rares au BURUNDI.

Pour la ville de Bujumbura et ses alentours, les valeurs de ces coefficients sont reprises dans le tableau ci-dessous

| Constantes | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| Valeurs | 2845 | 0,22 | 24 | 0,98 |

[Source : NIYONGABO H. intégration de l'enjeu social et quantitatif pour la maitrise l'assainissement liquide en Afrique tropicale :application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat ; université de liège juin 2006]

Vue l'étendue et la localisation du bassin versant et faute de données des intensités à la station de BUHONGA, nous utiliserons l'expression IDF de la ville de Bujumbura.

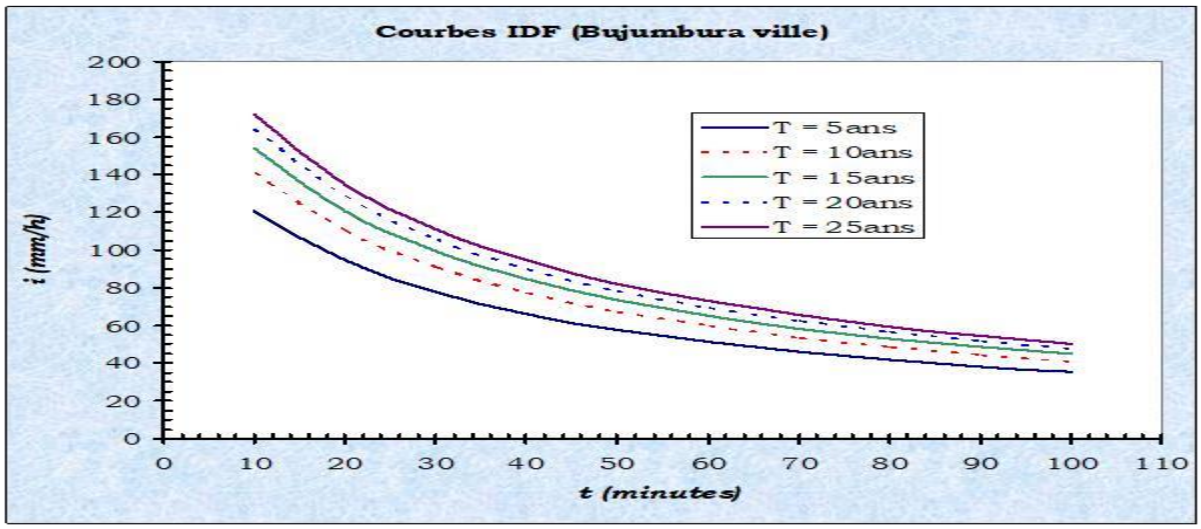



*Figure 9:Courbe IDF pour le centre-ville de Bujumbura*

### II.6.5 Période de retour pour différents ouvrages hydrauliques

Dans les projets du génie civil portant sur diverses structures hydrauliques, on se réfère couramment aux débits ayant une période de récurrence donnée. Cette dernière étant la période moyenne en année durant laquelle on s'attend à ce qu'un certain débit soit égalé ou dépassé. La période de récurrence communément utilisée dans les projets de diverses structures hydrauliques est présentée dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 7: Période de récurrence pour différents ouvrages hydrauliques*

| Type d'ouvrages | Routes Nationales | Routes régionales | Routes locales |
|---|---|---|---|
| Ponts | 100ans | 100ans | - |
| Dalots | 10, 20, 50ans | 10, 20, 50ans | 10, 20, 50ans |
| Fossé | 5 à 10ans | 5 à 10ans | 1 à 2ans |
| Ouvrages de décharges | 5 à 10ans | 5 à 10ans | 1 à 2ans |

### II.6.6 Temps de concentration.

Selon le glossaire international d'hydrologie, le temps de concentration désigne le temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin pour lequel la durée de parcours est la plus longue. C'est donc le temps mis par la particule d'eau la plus éloignée de l'exutoire pour l'atteindre (Laborde,2009). Le temps de concentration « tc » peut être estimé en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette (efficace) et la fin de ruissellement (fin de l'écoulement de surface) à partir d'un hydrogramme de crue, ou bien en utilisant les formules empiriques (Abdeddaim H. ,2018). Quelques approches empiriques de détermination du temps de concentration sont présentées dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 8: Formule utilisée pour le calcul du temps de concentration*

| Auteur | Equation proposée | Signification et unité des paramètres | Conditions d'utilisation |
|---|---|---|---|
| Fédéral Aviation Administration (FAA,1970) | $T_C = 3.26(1.1 - C_r)L^{0.5} S_{100}^{-0.33}$ | - Tc : temps de concentration en minute ;<br>- Cr : coefficient de ruissellement ; - L : longueur maximale de l'écoulement en mètre ;<br>- S100 : pente du parcours de l'eau en pourcentage. | Adaptée aux petits bassins versants (Alain M. et al. (2016) |
| Passini | $T_c = 6.48\left(\frac{\sqrt[3]{(L*A)}}{\sqrt{I}}\right)$ | - Tc : temps de concentration en minutes ;<br>- L : longueur du plus long parcours de l'eau en kilomètres<br>- A : superficie du bassin versant en kilomètre carré<br>- I : pente moyenne du bassin versant en mètres par mètre | Adaptée aux bassins versants avec une pente supérieure à 0.3%. |
| Giandotti | $T_c = 60\left(\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}\right)$ | - Tc : temps de concentration en minute<br>- L : longueur du plus long parcours de l'eau en kilomètre<br>- A : superficie du bassin versant en kilomètre carré<br>- H : dénivelé totale du cours d'eau en mètre | |

# CHAPITRE III. PRESENTATION ET CARACTERISATION DE LA ZONE D'ETUDE

## III.1 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la zone urbaine du bassin versant de la rivière Mpimba à partir du pont se trouvant sur la RN7 en quartier Musaga jusqu' au pont se trouvant sur l'avenue Gasibe dans le quartier Kinanira II. Dans cette zone se trouve quatre ouvrages de franchissement comme le montre la carte hydrographique du bassin versant de rivière Mpimba ci-dessous :

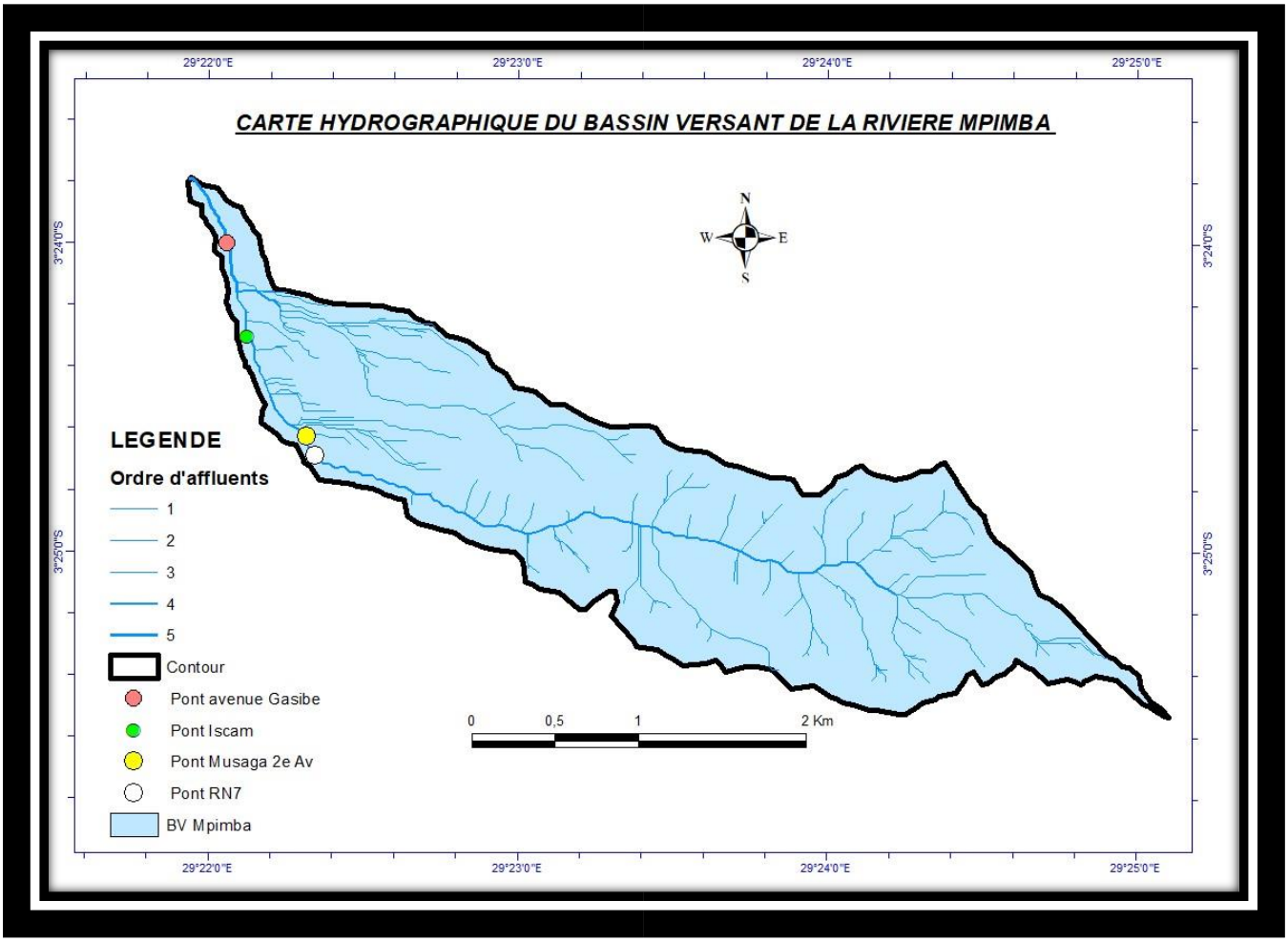



*Figure 10:Carte hydrographique du bassin versant de la rivière Mpimba*

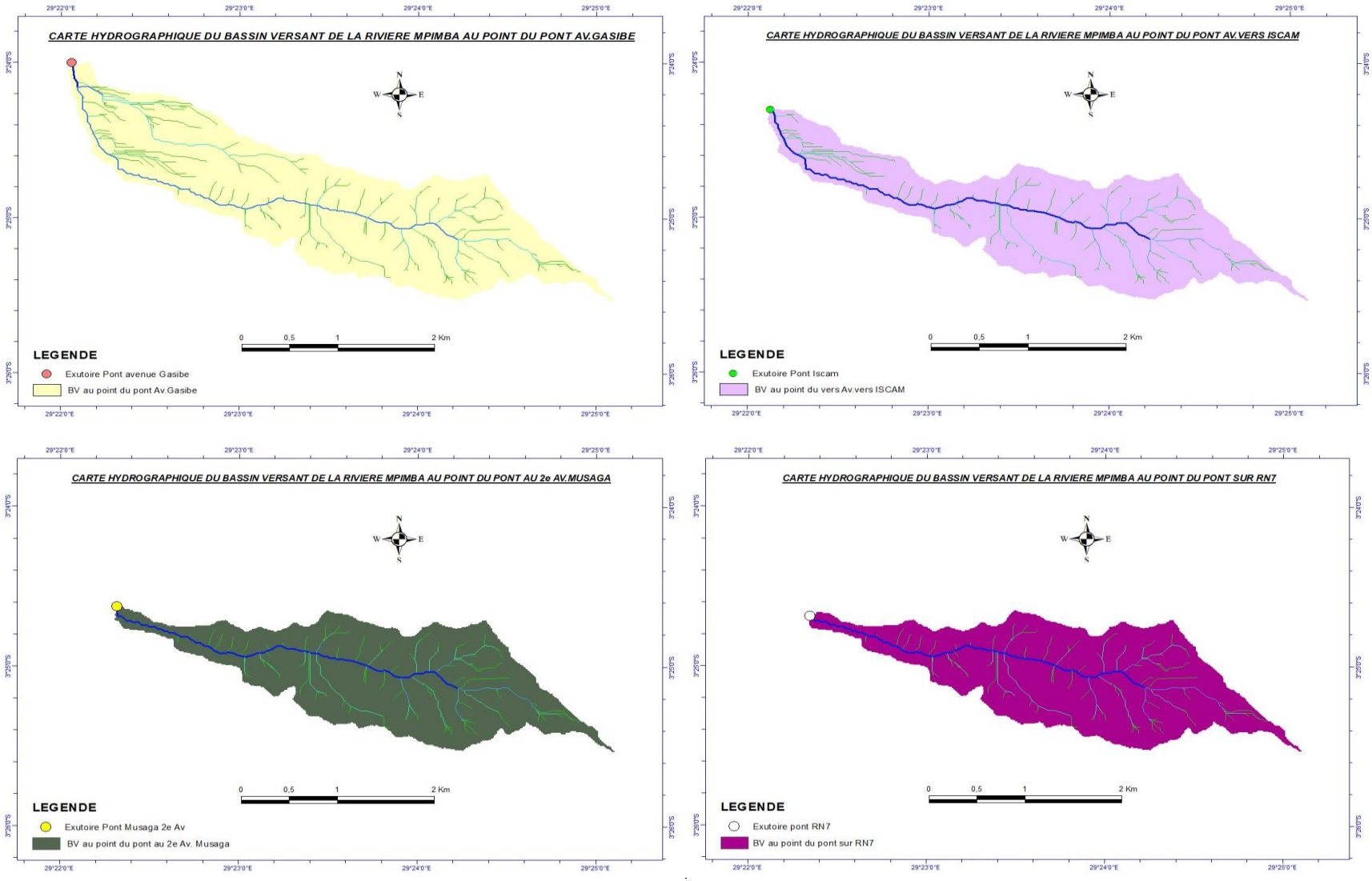



*Figure 11:Cartes hydrographiques des bassins versants de la rivière Mpimba aux points de chaque ouvrage de franchissement*



*Photo 1:Image montrant l'ouvrage en buse sur l'avenue Gasibe*



*Photo 2:Image montrant le dalot sur l'avenue vers Iscam*



*Photo 3: Image montrant le dalot sur la 2è avenue à Musaga*



*Photo 4: Image montrant le dalot sur la RN7*

## III.2 Présentation et délimitation du bassin versant de la rivière Mpimba

Le bassin versant de la rivière Mpimba situé entre les rivières MUHA (au nord) et KANYOSHA (au Sud). Il prend son origine au versant ouest du mont MBOZA et son exutoire se trouve à sa confluence avec la rivière MUHA. Il a une forme allongée, avec une longueur totale du cour d'eau d'environ 7 kilomètres et une superficie avoisinant 600 hectares.

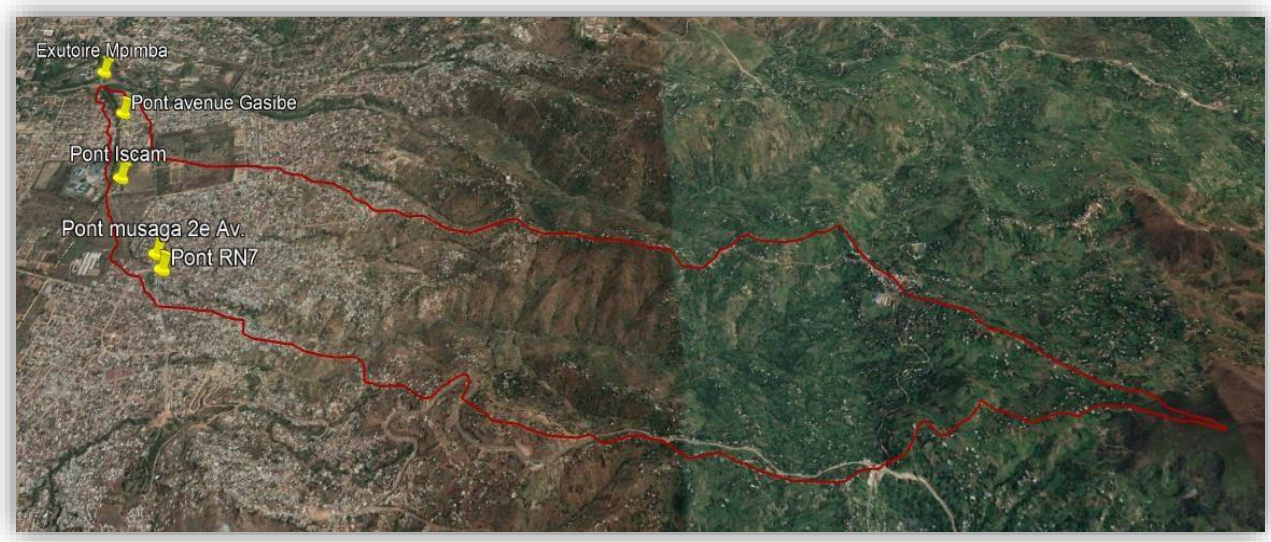



*Figure 12:Localisation du bassin versant de la rivière Mpimba*

### III.2.1 Situation administrative du bassin versant de la rivière Mpimba

La rivière Mpimba est l'un des principaux affluents de la rivière Muha ; son bassin versant est partagé par deux provinces du Burundi à savoir la province de Bujumbura Rural et la province de Bujumbura-Mairie :

- Pour la province de Bujumbura, le bassin versant de la rivière Mpimba occupe une partie de la commune Kanyosha (collines : Mboza, Ruyaga, Kabumba, Buhonga).
- Pour le cas de la province de Bujumbura -Mairie, il occupe une partie de la commune Muha (quartiers : Gitaramuka, Gasekebuye, Kinanira I, Kinanira II,Kinanira III).

La carte de situation administrative du bassin versant de la rivière Mpimba est présentée ci-dessous

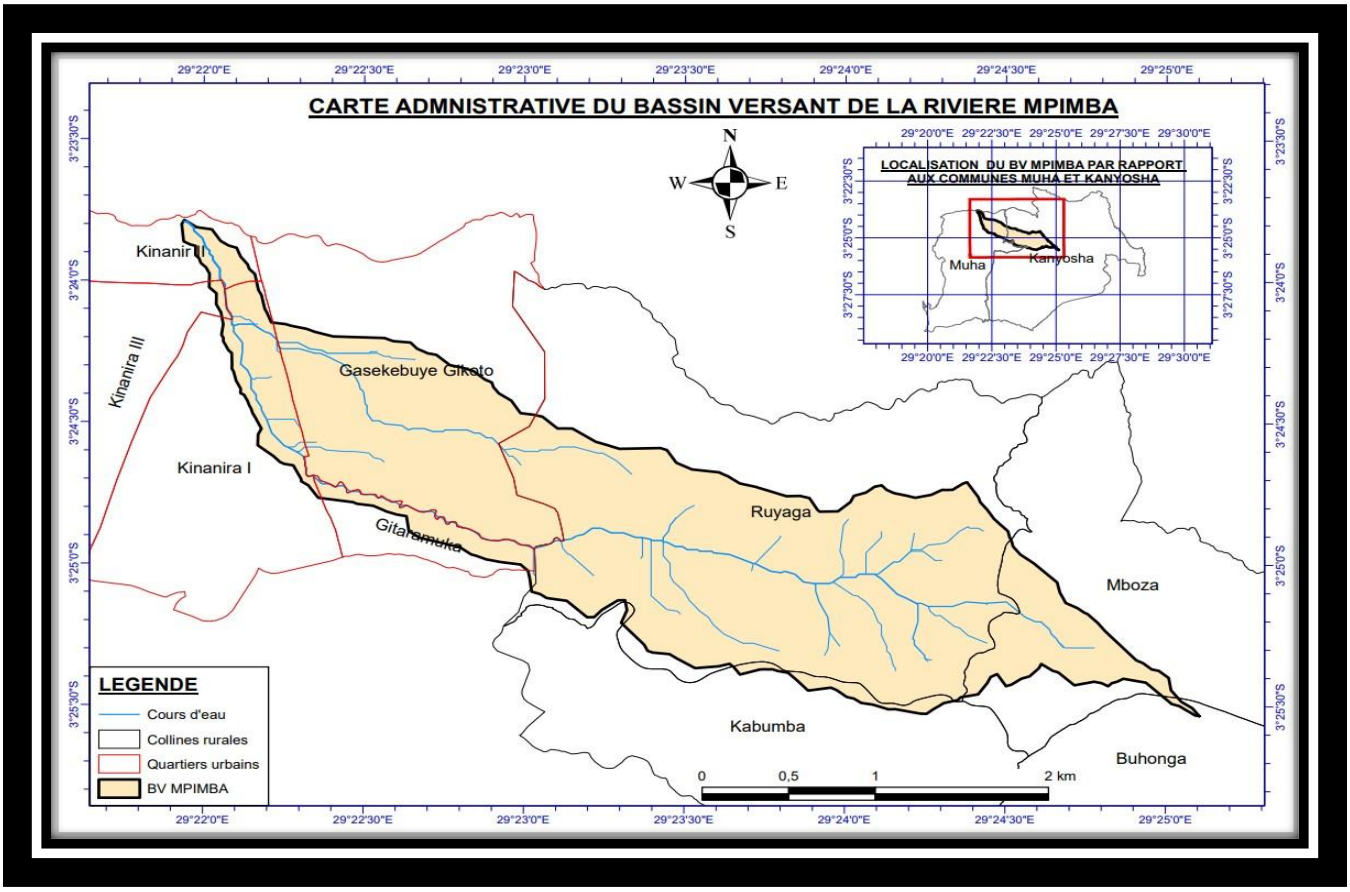



*Figure 13: Carte du bassin versant de la rivière Mpimba*

### III.2.2 Situation géographique du bassin versant de la rivière Mpimba

La rivière Mpimba est une rivière à caractère torrentiel qui coule de l'Est à l'Ouest et un affluant de la rivière MUHA. Elle draine un bassin versant topographique d'environ 6 km².
La grande partie du bassin versant de la rivière Mpimba est montagneuse comme le montre la carte hypsométrique, la carte des pentes et la carte topographique. Ces dernières ont été générées sous Arc GIS 10.3 sur base du modèle numérique de terrain (MNT) fourni par le Bureau de Centralisation Géomatique (BCG) du Burundi.
Les figures suivantes (Figure III.5 et Figure III.6) représentent successivement la carte hypsométrique et la carte topographique.

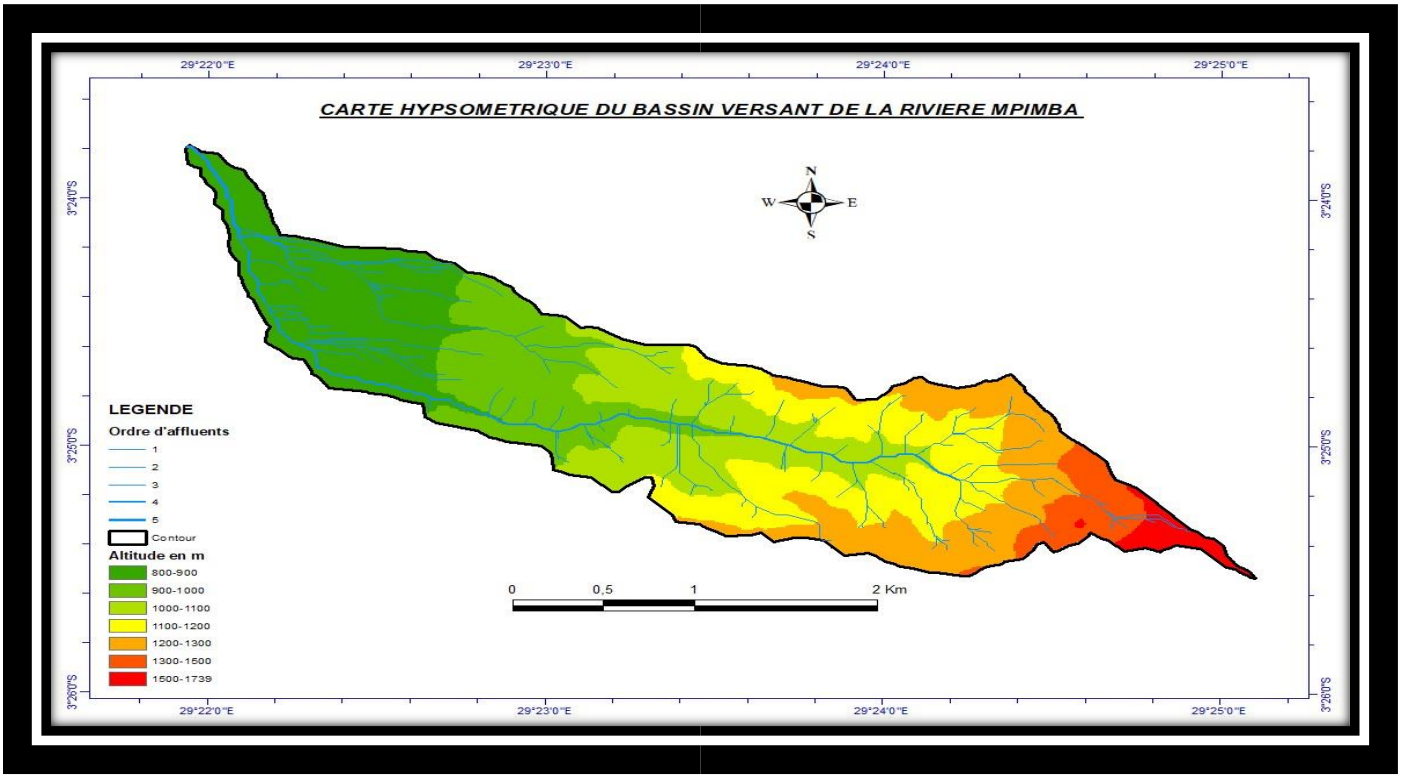



*Figure 14: Carte hypsométrique du bassin versant de la rivière Mpimba*

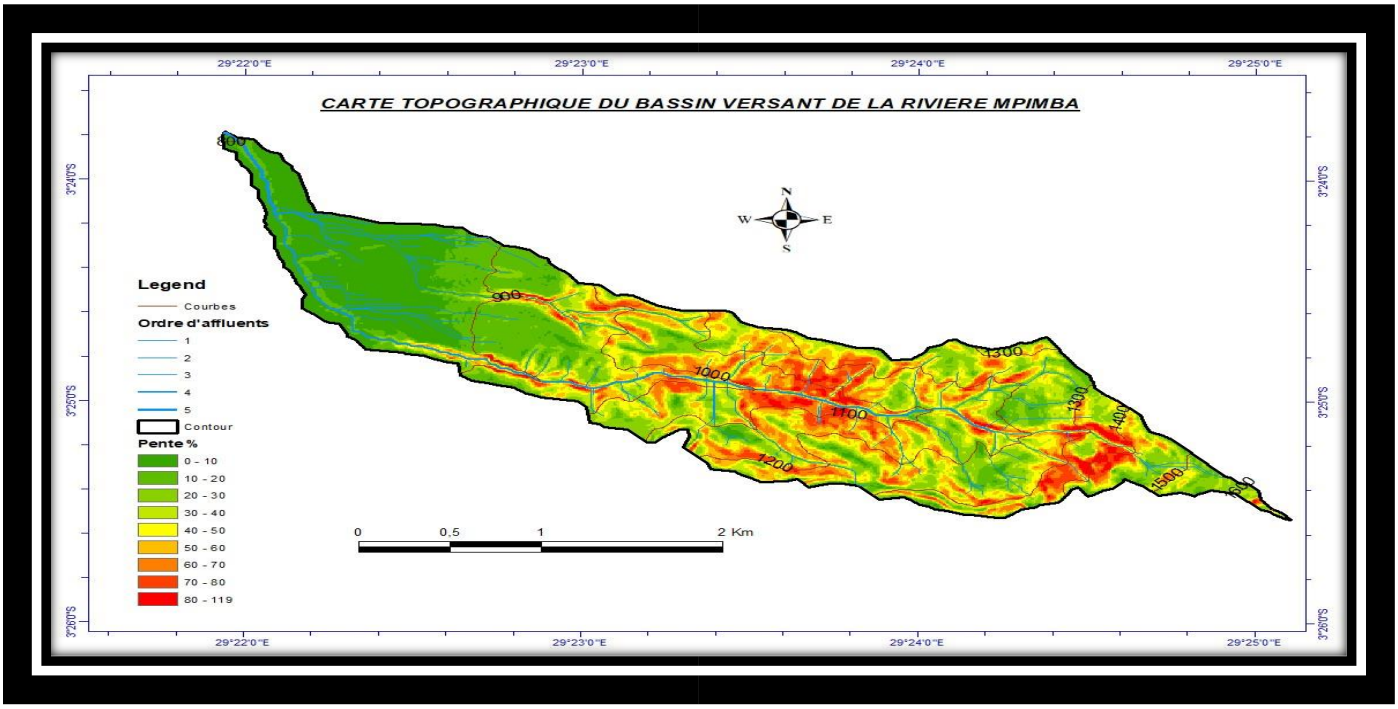



*Figure 15:Carte topographique du bassin versant de la rivière Mpimba*

### III.2.3 Hydrographie du bassin versant de la rivière Mpimba.

Le bassin versant d'étude est celui drainé par la rivière Mpimba. Son affluent principal est la rivière Nyakizu. De nombreux autres ruisseaux s'y jettent de l'amont à l'aval. La rivière Mpimba est une rivière à caractère torrentiel caractérisé par des pentes brutes à l'amont et diminuant progressivement vers l'aval. De ce fait, l'instabilité des berges dans la partie amont de la rivière est due principalement à l'affouillement causé par des fortes vitesses d'eau de ruissellement. Dans la partie aval, la diminution progressive de la pente (vitesse) fait qu'elle soit une zone de dépôt. Il en résulte un risque imminent d'envasement des ouvrages hydrauliques et débordement du lit. Pour mettre plus de lumière aux propos qui viennent d'être évoqués dans le précédent paragraphe, le profil en long de la rivière Mpimba est présentée sur la figure suivante :

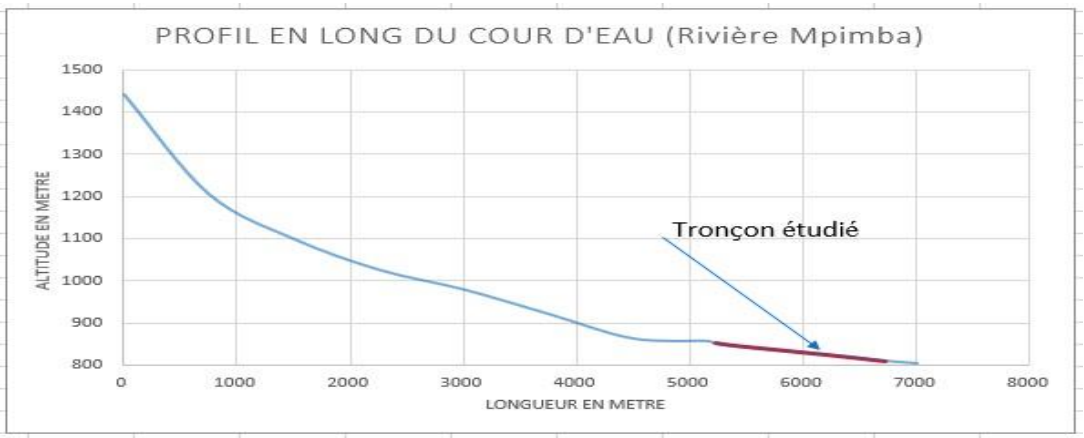



*Figure 16:Profil en long de la rivière Mpimba*

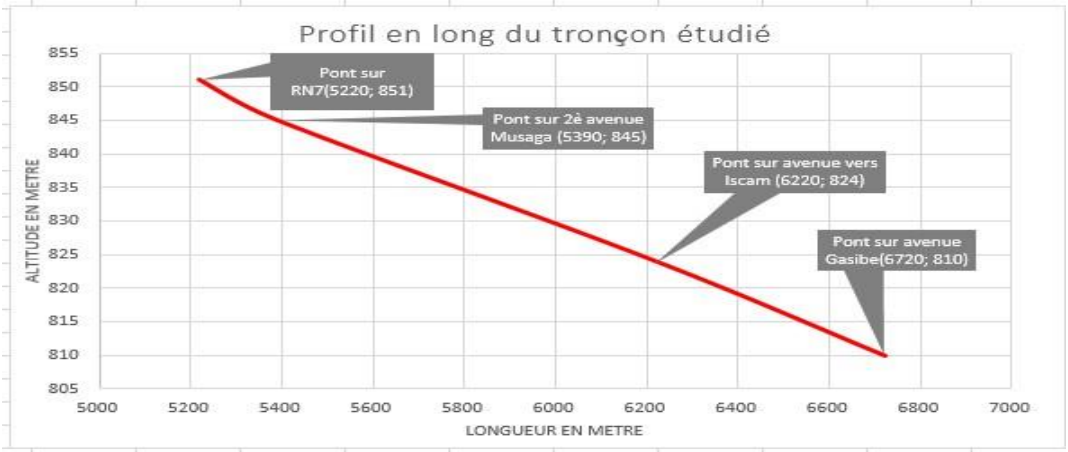



*Figure 17:Profil en long du tronçon étudié*

## III.3 Etudes hydrologiques et hydrauliques au point de chaque ouvrage de franchissement.

### III.3.1 Etudes hydrologiques

L'étude hydrologique permet tout d'abord de déterminer le type de bassin versant à étudier ainsi que ses paramètres physiques, puis d'obtenir une quantification correcte du volume d'eau qui transitera l'ouvrage à dimensionner à partir de la fréquence de pluies. Il permet aussi la détermination des caractéristiques pluviométriques de la zone du projet.

L'analyse des données pluviométriques sur une période couvrant 31ans (1971-2001) à la station de Buhonga montre que la pluviométrie moyenne annuelle calculée est de 1373mm.

Les résultats de l'analyse statistique des précipitations annuelles maximales journalières suivant la loi Normale, Gumbel, Log-normale et Pearson-III sont présentés dans le tableau suivant :

*Tableau 9: Synthèse des résultats d'analyse des précipitations (Loi normal, Gumbel, Log normal, Pearson)*

| | $P(X>=xi)$ | $P(X<=xi)$ | Normale | | Gumbel | | Log-normal | | Pearson III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T(ans) | $P(X_T)$ | $F(X_T)$ | $K_T=Z_T$ | $X_T$ (mm) | $k_T$ | $X_T$ (mm) | $y_T$ | $X_T$ (mm) | $K_T$ | $X_T$ (mm) |
| 1,25 | 0,8 | 0,2 | -0,842 | 39,00 | -0,821 | 39,26 | 3,662 | 38,95 | -0,847 | 38,94 |
| 2 | 0,5 | 0,5 | 0,000 | 49,54 | -0,164 | 47,48 | 3,872 | 48,03 | -0,168 | 47,43 |
| 5 | 0,2 | 0,8 | 0,842 | 60,07 | 0,719 | 58,54 | 4,081 | 59,21 | 0,748 | 58,93 |
| 10 | 0,1 | 0,9 | 1,282 | 65,58 | 1,305 | 65,86 | 4,191 | 66,06 | 1,335 | 66,24 |
| 25 | 0,04 | 0,96 | 1,751 | 71,45 | 2,044 | 75,12 | 4,307 | 74,24 | 2,048 | 75,17 |
| 50 | 0,02 | 0,98 | 2,054 | 75,24 | 2,592 | 81,98 | 4,383 | 80,05 | 2,561 | 81,59 |
| 100 | 0,01 | 0,99 | 2,326 | 78,65 | 3,137 | 88,80 | 4,450 | 85,67 | 3,058 | 87,81 |

Source : (BIGIRIMANA D., contribution à l'évaluation de l'impact de l'aménagement des bassins versants sur la dynamique des cours d'eau, 2022, pp. 57)

### III.3.1.1 Détermination des paramètres physiques du bassin versant

Les paramètres physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques, obtenues à partir de données cartographiques ou de mesures de terrain, et qui donnent un certain nombre d'informations sur ce dernier.

Les différents paramètres physiques de notre bassin versant sont :

La surface ; le périmètre ; la longueur du plus long cours d'eau ; l'indice de compacité ; l'indice globale de pente et la dénivelée spécifique. • La superficie du BV(S) exprimée en km²

- Le périmètre du BV(P) exprimé en km
- Classe du bassin versant
- La longueur du plus long cours d'eau du BV (***Lh***) exprimée en km
- L'indice de compacité (KG) : appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du BV à celui d'un cercle de même superficie.

Le résultat de calcul des différents paramètres physiques du bassin versant projeté est représenté dans le tableau suivant :

*Tableau 10:Synthèse des caractéristiques du bassin versant au point de chaque ouvrage de franchissement*

| Exutoire considérée | | Pont AV. Gasibe | Pont Iscam | Pont Musaga 2èAvenue | Pont RN7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Coordonnées de l'éxutoire | Longitude | 29°22´3.33´´E | 29°22´7.25´´E | 29°22´18.63´´E | 29°22´20.49´´E | |
| | Latitude | 3°24´0.05´´S | 3°24´18.25´´S | 3°24´37.67´´S | 3°24´41.42´´S | |
| A. Caractéristiques morphologiques | | | | | | |
| Désignation | Symbole | Valeur | | | | Unité |
| Superficie | A | 5.690 | 4.490 | 3.920 | 3.900 | [$km^2$] |
| Périmètre | P | 15.034 | 14.291 | 12.936 | 12.712 | [km] |
| Longueur du rectangle équivalent | L | 6.665 | 6.450 | 5.791 | 5.668 | [km] |
| Largeur du rectangle équivalent | l | 0.852 | 0.696 | 0.677 | 0.688 | [km] |
| Coefficient de compacité | Kc | 1.779 | 1.90 | 1.843 | 1.815 | [ - ] |
| Forme bassin versant | | Plus allongée | Plus allongée | Plus allongée | Plus allongée | [ - ] |
| B. Hypsométrie | Z5% | 1692.55 | 1693.25 | 1694.30 | 1694.60 | [m] |
| | Z95% | 856.45 | 869.75 | 889.70 | 895.40 | [m] |
| | D | 836.10 | 823.5 | 804.60 | 799.20 | [m] |
| C. Indice de pente ou de Volume | | | | | | |
| Pente moyenne du bassin | I | 34.63 | 38.21 | 42.48 | 42.65 | % |
| Indice de pente de roche | Ip | 39.60 | 39.30 | 38.85 | 38.72 | % |
| Indice de pente globale | Ig | 12.55 | 12.36 | 12.08 | 11.99 | % |

| Classe de relief | | Relief très fort | Relief très fort | Relief très fort | Relief très fort | [ - ] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| D. Hydrographie | | | | | | |
| Longueur du plus long parcours de l'eau | l'' | 7.31 | 6.69 | 5.96 | 5.8 | [km] |
| Longueur du cours d'eau principale | L' | 6.5 | 5.88 | 5.15 | 4.99 | [km] |
| Altitude de la source | Zamont | 1442 | 1442 | 1442 | 1442 | [m] |
| Altitude de l'éxutoire | Zaval | 810 | 824 | 845 | 851 | [m] |
| Dénivelé totale du cours d'eau | ΔZtot | 632 | 618 | 597 | 591 | [m] |
| Pente moyenne du cours d'eau | I' | 9.72 | 10.49 | 11.55 | 11.44 | % |

### III.3.1.2 Averse de projet

#### III.3.1.2.1 Estimation du temps de concentration au point de chaque ouvrage de franchissement

*Tableau 11: Estimation du temps de concentration*

| *Ouvrage sur* | *Superficie du BV ($km^2$)* | *Pente moyenne (%)* | *Longueur hydraulique (km)* | *$t_c$ (min)* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *Passini* | *Giandotti* | *FAA(19700)* | *Moyenne* | ***Adopté*** |
| *RN7* | *3.90* | *34.63* | *5.80* | *28* | *52* | *76* | *52* | ***55*** |
| *2è Av. Musaga* | *3.92* | *38.21* | *5.96* | *29* | *53* | *78* | *53.3* | ***55*** |
| *Av. ISCAM* | *4.49* | *42.48* | *6.69* | *32* | *56* | *85* | *57.7* | ***60*** |
| *Av. Gasibe* | *5.69* | *42.65* | *7.31* | *38* | *61* | *91* | *63.3* | ***65*** |

**N.B** : Nous allons considérer une averse de projet dont la durée est environ égale au temps de concentration d'une averse de 50 ans de période de retour afin que tout le bassin versant puisse contribuer au ruissellement

#### III.3.1.2.2 Calcul de l'intensité horaire maximale des précipitations

Pour différentes périodes de retour, l'intensité horaire maximale des précipitations est donnée par la formule suivante :

$$I(t) = (aT^b)/(c + t^d) \qquad \text{(III.1)}$$

Avec :

I(t) : intensité horaire maximale de pluie en mm/h

T : période de retour de l'averse en années

t : durée de l'averse

a, b, c, d : coefficients de Montana ou constantes régionales (Bujumbura)

### III.3.1.3 Choix de la valeur du coefficient de ruissellement convenable

Pour la classification du coefficient de ruissellement, on se réfèrera sur les études faites par le bureau d'études GEOSCI en 2010 concernant « la construction des ponts sur la deuxième avenue à Musaga et sur l'avenue des forces armées se trouvant sur la rivière Mpimba ainsi que la protection de l'école primaire sise à Musaga ». D'où un coefficient ruissellement égale à 0,41 a été adopté.

### III.3.1.4 Estimation de la crue de projet

Le débit de projet correspond au débit de pointe ou débit maximal d'un bassin versant pour une précipitation donnée. Pour un ouvrage aussi important, ce débit est choisi sur une période de retour de 50ans.

Pour le calcul de ce débit, on a utilisé la méthode rationnelle :

$$Q_e = \frac{C * Ip * A}{360} \qquad \text{(III.2)}$$

Avec

Qe : débit d'étude en m3/s

C : coefficient de ruissellement ;

Ip : intensité maximale horaire en mm/h

;

A : superficie du bassin versant.

En considérant que la durée de l'averse est égale au temps de concentration du bassin versant, On a :

- Qe (Pont RN7) = 41.5 $m^3/s$
- Qe (Pont Musaga 2è Av) = 42 $m^3/s$
- Qe (Pont Iscam) = 48$m^3/s$
- Qe (Pont Av. Gasibe) = 55$m^3/s$

*Tableau 12: Tableau de synthèse pour le calcul du débit de projet au point de chaque ouvrage de franchissement*

| Désignation | Symbole | Valeur | | | | Unité |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pont Av. Gasibe | Pont Iscam | Pont Musaga 2èAv | Pont RN7 | |
| Temps de concentration | Tc | 65 | 60 | 55 | 53 | min |
| Précipitation cinquantenaire | P50 | 81.98 | 81.98 | 81.98 | 81.98 | mm |
| Paramètres de la Loi I-D-F Montana Buja | a | 2845 | 2845 | 2845 | 2845 | [-] |
| | b | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | [-] |
| | c | 24 | 24 | 24 | 24 | [-] |
| | d | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | [-] |
| Durée de l 'averse adoptée | $t_{adopté}$ | 65 | 60 | 55 | 55 | min |
| Intensité de la pluie | I | 85 | 90 | 93 | 93 | mm/h |
| Coefficient de ruissellement | Cr | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | [-] |
| Débit d'étude | $Q_{étude}$ | 55 | 48 | 42 | 41.5 | $m^3/s$ |

### III.3.2 Etudes hydrauliques

En construction routière, le franchissement des obstacles naturels ou artificiels peut se faire à l'aide de différents types d'ouvrages d'art (pont, dalot, buses, etc.). Le choix du type d'ouvrage à réaliser tient compte de plusieurs facteurs tels que : la topographie du terrain, le débit à évacuer pour ce qui est des cours d'eau, l'aspect sécurité, les contraintes techniques, économiques et esthétiques.

#### III.3.2.1 Evaluation de la capacité de transport des ouvrages hydrauliques construits sur la rivière Mpimba

##### III.3.2.1.1 Introduction

L'objectif poursuivi lors de l'évaluation de la capacité de transport d'un ouvrage hydraulique est de s'assurer de sa sécurité lorsqu'il est sollicité par une crue de période de retour donnée. En effet, la rivière Mpimba traverse un milieu nanti en infrastructure de transport terrestre. De ce fait, pour la franchir, il a fallu qu'on aménage des ponts routiers. Ces derniers sont construits sur les axes routiers comme l'Avenue Gasibe en quartier Kinanira II, la route vers L'ISCAM, la 2è avenue du quartier Musaga et la route nationale numéro 7. Afin d'arriver à déterminer la capacité de transport de ces ponts, les formules empiriques à utiliser obligent d'intégrer les caractéristiques géométriques de ces ouvrages. Les visites effectuées à l'endroit de ces ouvrages nous ont permis de décrire et de mesurer ces ouvrages.

*Tableau 13: Tableau illustratif des caractéristiques des ouvrages à étudiés*

| *Ouvrage* | *Forme* | *Structure* | *Dimension* |
|---|---|---|---|
| *Pont sur la RN7* | *Dalot ordinaire rectangulaire à une ouverture* | *Radier en béton armé, piédroits en moellon, dalle en béton armé* | - *Largeur à la base de l'ouverture :5.5m*<br>- *Hauteur de l'ouverture :4m* |
| *Pont sur la 2è Av. Musaga* | *Dalot cadre rectangulaire à une ouverture* | *Béton armé* | - *Largeur à la base de l'ouverture :3m*<br>- *Hauteur de l'ouverture : 4m* |
| *Pont vers l'ISCAM* | *Dalot cadre rectangulaire à une ouverture* | *Béton armé* | - *Largeur à la base de l'ouverture : 11m*<br>- *Hauteur de l'ouverture : 3m* |
| *Pont sur l'Av. Gasibe* | *Buses circulaire* | *Métal* | - *Diamètre des buses :1.8m*<br>- *Hauteur remblai : 1.2m* |

### III.3.2.1.2Evaluation de la capacité de transport sur les différents ouvrages de franchissements

En cas des ouvrages déjà érigés, la détermination de la capacité de transport revient à la détermination du débit du projet qui satisfait aux critères de dimensionnement pour le fonctionnement normal du pont. En effet, les ouvrages dont il est question dans le présent travail sont de type dalot. Pour la vérification de leur capacité hydraulique de transport, nous allons comparer les dimensions des ouvertures de ces ouvrages aux dimensions trouvées suivant le débit traversant chaque ouvrage.

- **Dalot ordinaire sur la RN7**

Le débit d'étude de l'ouvrage est Qe= 41,5 $m^3/s$, ce qui donne un débit par ouverture q=Q/1=41,5 $m^3/s$, Vmax = 4,00 m/s.

*Tableau 14: Caractéristiques dalot RN7*

| | | |
|---|---|---|
| Choix d'ouverture pratique du dalot | B =5.5m | |
| Débit | Qp | 41.50 $m^3/s$ |
| Vitesse Maximale admissible | Vmax | 4m/s |
| Hauteur d'ouverture | D | 4.00m |
| Nombre d'ouvertures du dalot | n | 1 |
| Débit par ouverture | Qp | 41.5 $m^3/s$ |
| Section pratique du dalot | Ssp | 22 $m^2$ |
| Coefficient de Manning-Sticker (béton) | K | 67 |

*Tableau 15: Evaluation de la hauteur d'eau amont pour le dalot RN7*

| Evaluation de la hauteur d'eau amont | | |
|---|---|---|
| Débit réduit | Q* | 0.21 |
| Lecture H*1 (abaque page 248 du livre Hydraulique routière) | H*1 | 0,66 m |
| Hauteur amont | H1 | 2,64 m |
| Si H1 > 1,25 D ==> Ecoulement à pleine section (1)<br>SSi H1 ≤ 1,25 D ==> Ecoulement en surface libre (2) | | (2) |

*Tableau 16: Evaluation de la pente critique pour le dalot RN7*

| Evaluation de pente critique | | |
|---|---|---|
| Calcul de Qi* | Qi* | 0.185 |
| Lecture I*c pente critique réduite<br><br>(Abaque page 258 du livre Hydraulique routière) | I*c | 2.7 |
| Pente critique Ic | Ic | 0.0037 |
| Pente adoptée I (Pour des raisons pratiques) | I | 0.005 |

*Tableau 17:Evaluation de la vitesse pour le dalot RN7*

| Evaluation de vitesse critique | | |
|---|---|---|
| Calcul de Qv* | Qv* | 0.092 |
| Lecture V* critique réduite (abaque page 263 Hydraulique routière) | V* | 0.325 |
| Vitesse critique | V | 4.2 m/s |

- ✓ Evaluation de la capacité réelle d'évacuation :

Cette capacité est calculée par la formule de Manning – Strickler :

$$Q = K_S S R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad \text{(III.3)}$$

Avec : Ks= 67, I= 0.004, la hauteur d'eau : H = 2.64m et L= 5.5m ;
Surface mouillée :

$$S_m = \mathrm{L} * \mathrm{H} \quad \text{(III.4)}$$

Sm=14,52m$^2$

Périmètre mouillé :

$$\mathrm{P}_m = 2(\mathrm{L}+\mathrm{H}) \quad \text{(III.5)}$$

Pm=16.28m

Le rayon hydraulique :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \quad \text{(III.6)}$$

Rh=0.89m

$Qr$ =55,48m$^3$/s

$Qr$ >q l'écoulement se fera à section libre, la condition de vitesse est non vérifiée mais dans la limite de tolérance.

**Conclusion** : D'après les différentes études faites nous concluons que l'ouverture du pont sur la RN7 est compatible avec notre débit d'étude mais l'ouvrage fonctionnera en régime torrentiel car la vitesse d'écoulement est légèrement supérieure mais dans la limite de tolérance à notre vitesse d'étude (4m/s).

- **Dalot sur la 2è Av. Musaga**

Le débit d'étude de l'ouvrage est Qe = 42 $m^3/s$, ce qui donne un débit par ouverture q = Q/1=42 $m^3/s$, Vmax = 4,00 m/s.

Ainsi, la largeur théorique de l'ouverture est Bth=2,625m. en comparant le débit traversant l'ouvrage précédant et celle de l'ouvrage en question nous constatons qu'ils sont presque égaux, d'où nous prenons B=6m ,8m et 11m (dimension actuel).

*Tableau 18:Caractéristiques pour le dalot au 2è avenue Musaga*

| Choix d'ouverture pratique du dalot | B | 6m | 8m | 11m |
|---|---|---|---|---|
| Débit | Qp | 42.00$m^3/s$ | 42.00$m^3/s$ | 42.00$m^3/s$ |
| Vitesse Maximale admissible | Vmax | 4.00m/s | 4.00m/s | 4.00m/s |
| Hauteur d'ouverture | D | 4.00m | 4.00m | 4.00m |
| Nombre d'ouvertures du dalot | n | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Débit par ouverture | Qp | 42.00$m^3/s$ | 42.00$m^3/s$ | 42.00$m^3/s$ |
| Section pratique du dalot | Ssp | 24.00 $m^2$ | 32 $m^2$ | 44 $m^2$ |
| Coefficient de Manning-Sticker (béton) | K | 67.00 | 67.00 | 67.00 |

*Tableau 19:Evaluation de hauteur en amont pour le dalot au 2è avenu Musaga*

| Evaluation de la hauteur d'eau amont | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ouverture | B | 6m | 8m | 11m(actuel) |
| Débit réduit | Q* | 0.19 | 0.146 | 0.106 |
| Lecture H*1 (abaque page 248 du livre Hydraulique routière) | H*1 | 0,65 | 0.600 | 0.5 |
| Hauteur amont | H1 | 2,60m | 2.40m | 2m |
| Si H1 > 1,25 D ==> Ecoulement à pleine section (1)<br>Si H1 ≤ 1,25 D ==> Ecoulement en surface libre (2) | | (2) | (2) | (2) |

*Tableau 20:Evaluation de la pente critique pour le dalot au 2è avenue Musaga*

| Evaluation de pente critique | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ouverture | B | 6 m | 8 m | 11 m(actuel) |
| Calcul de Qi* | Qi* | 0.150 | 0.073 | 0.033 |
| Lecture I*c pente critique réduite (Abaque page 258 du livre Hydraulique routière) | I*c | 2.7 | 2.650 | 2.5 |
| Pente critique Ic | Ic | 0.0037m/m | 0.0037 | 0.0035 |
| Pente adoptée I (Pour des raisons pratiques) | I | 0.005m/m | 0.005 | 0.005 |

*Tableau 21:Evaluation de vitesse pour le dalot au 2è avenue Musaga*

| Evaluation de vitesse critique | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ouverture | B | 6m | 8m | 11m(actuel) |
| Calcul de Qv* | Qv* | 0.075 | 0.035 | 0.015 |
| Lecture V* critique réduite (abaque page 263 Hydraulique routière) | V* | 0.300 | 0.245 | 0.16 |
| Vitesse critique | V | 4.10m/s | 3.80m/s | 3.6 m/s |

**Conclusion** : D'après les différentes études faites nous concluons que l'ouverture du pont sur la 2è avenue à Musaga(11m) est large car vue notre débit d'étude et une pente de 0.005m/m tout au long, pour une ouverture de 6m l'ouvrage fonctionnerait en régime torrentiel car la vitesse d'écoulement est légèrement supérieure à notre vitesse d'étude (4m/s ; ce qui est efficace pour l'évacuation du transport solide tout au long de l'ouvrage.) ; et pour l'ouverture de 8m il fonctionnera en régime fluvial.

- **Dalot vers l'ISCAM**

Le débit d'étude de l'ouvrage est Qe = 48 $m^3$/s, ce qui donne un débit par ouverture q = Q/1=48 $m^3$/s, Vmax = 4,00 m/s, Adoptons directement la largeur de 11m vue que le débit traversant l'ouvrage est supérieur à celui du pont sur la 2è avenue à Musaga.

*Tableau 22:Caracteristiques du dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Choix d'ouverture pratique du dalot | B | B =9m | B =11m |
| Débit | Qp | 48 $m^3/s$ | 48$m^3/s$ |
| Vitesse Maximale admissible | Vmax | 4m/s | 4m/s |
| Hauteur d'ouverture | D | 3.00m | 3.00m |
| Nombre d'ouvertures du dalot | n | 1 | 1 |
| Débit par ouverture | Qp | 48 $m^3/s$ | 48 $m^3/s$ |
| Section pratique du dalot | Ssp | 27 $m^2$ | 33 $m^2$ |
| Coefficient de Manning-Sticker(béton) | K | 67 | 67 |

*Tableau 23:Evaluation de la hauteur d'eau en amont pour le dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)*

| Evaluation de la hauteur d'eau amont | | | |
|---|---|---|---|
| Ouverture | B | 9m | 11m |
| Débit réduit | Q* | 0.23 | 0.18 |
| Lecture H*1 (abaque pages 248 du livre Hydraulique routière) | H*1 | 0,71 | 0.64 |
| Hauteur amont | H1 | 2,13 m | 1.92m |
| Si H1 > 1,25 D ==> Ecoulement à pleine section (1)<br>Si H1 ≤ 1,25 D ==> Ecoulement en surface libre (2) | | (2) | (2) |

*Tableau 24:Evaluation de pente critique pour le dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)*

| Evaluation de pente critique | | | |
|---|---|---|---|
| Ouverture | B | 9m | 11m |
| Calcul de Qi* | Qi* | 0.062 | 0.037 |
| Lecture I*c pente critique réduite<br>(Abaque pages 257 du livre Hydraulique routière) | I*c | 2.65 | 2.7 |
| Pente critique Ic | Ic | 0.0041 | 0.0042 |
| Pente adoptée I (Pour des raisons pratiques) | I | 0.005 | 0.005 |

*Tableau 25:Evaluation de la vitesse pour le dalot sur l'avenue des forces armées (ISCAM)*

| Evaluation de la vitesse critique | | | |
|---|---|---|---|
| Ouverture | B | 9m | 11m |
| Calcul de Qv* | Qv* | 0.029 | 0.017 |
| Lecture V* critique réduite (abaque page 263 Hydraulique routière) | V* | 0.22 | 0.19 |
| Vitesse critique | V | 4.10m/s | 3.70m/s |

**Conclusion** : D'après les différentes études faites nous concluons que l'ouverture du pont sur la l'avenue des forces armées (11m) est suffisante car vue notre débit d'étude fonctionne en régime fluvial, mais aussi pour une ouverture de 9m l'ouvrage fonctionnerait en régime torrentiel car la vitesse d'écoulement est légèrement supérieure mais dans la limite de tolérance à notre vitesse d'étude (4m/s).

- **Buses sur Avenue Gasibe**

- Longueur de l'ouvrage 10m
- Nombre d'ouverture 4
- Diamètre d'une buse 1 ,8m
- Espace en les buses 0.4m
- Hauteur remblais au-dessus des buses 1,2m
- Largeur de total de route 8m
- Coefficient de rugosité des buses métalliques 37

Le débit d'étude au point de l'ouvrage est Qe = 55 $m^3/s$, ce qui donne un débit par ouverture q = Q/4 =13.75$m^3/s$, Vmax adoptée = 4,00 m/s, la section minimale théorique d'une ouverture vaut :

STH = 3,4375$m^2$

$$D_m = 2\sqrt{(Sth/\pi)} \quad \text{(III.7)}$$

Dm = 2.1m >1.8m

Compte tenu du débit maximal à évacuer, nous constatons que le diamètre donné aux buses est petit par rapport au diamètre minimal.

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{2g\ D^5}} \quad \text{(III.8)}$$

$$H^* = \frac{H_1}{D} \quad \text{(III.9)}$$

Q* = 0.71

Comme les buses ont un diamètre inférieur à 2m, avec un mur de tête et des murs en ailes, nous aurons H* =2.45(à voir figure 71 hydraulique routière, pge235)

$$H_1 = H * D \quad \text{(III.10)}$$

H1 = 4.41m. Les PHE amont attiendront donc la cote d'une hauteur de 4.41m > à 3m (Hauteur de la zone d'étude).

*Tableau 26: Evaluation du diamètre des buses à l'avenue Gasibe à Kinanira 2*

| | | |
|---|---|---|
| Ouverture des buses | D | 1.8m |
| Débit | Qe | 55 $m^3/s$ |
| Vitesse Maximale admissible | Vmax | 4m/s |
| Hauteur d'ouverture | D | 3.00m |
| Nombre d'ouvertures du dalot | n | 4 |
| Débit par ouverture | Qe' | 13.75 $m^3/s$ |
| Coefficient de Manning-Sticker (métal ARMCO) | K | 37 |
| Diamètre minimal | Dm | 2.1 |
| Conclusion | - | 2.1m>1.8m |

*Tableau 27:Evaluation de la hauteur de l'eau en amont des buses à l'avenue Gasibe à Kinanira 2*

| Evaluation de la hauteur en amont | | |
|---|---|---|
| Diamètre d'ouverture | D | 1.8m |
| Débit réduit | Q* | 0.71 |
| Lecture H*1 (abaque pages 235 du livre Hydraulique routière) | H*1 | 2.45 |
| Hauteur amont | H1 | 4.41 m |
| Si H1 > 1,25 D ==> Ecoulement à pleine section (1)<br>Si H1 ≤ 1,25 D ==> Ecoulement en surface libre (2) | | (1) |

**Conclusion** : D'après les différentes études faites nous concluons que le diamètre des buses sur l'avenue Gasibe (1.8m) est déficiente car en tenant compte de notre débit d'étude un diamètre minimal de 2.1m est nécessaire et aussi pour la hauteur d'eau en amont le débordement est inévitable.

Ainsi avec ces précédentes remarques et du fait qu'il est déconseillé d'utiliser les buses sur des débits dépassant $10m^3/s$ car les buses ont un grand risque d'obstruction par branchages ou souches comme le montre l'image pris le 8/3/2023 sur l'ouvrage en buses ; nous concluons que le pont a été hydrauliquement mal dimensionné ; d'où nous allons proposer un autre ouvrage avec des dimensions adéquates.



*Photo 5: Photos pris le 28 /3/2023 illustrant le bouchage des ouvertures au point du pont de Av. Gasibe*

*Tableau 28:Synthese des résultats sur l'évaluation de la capacité de transport des ouvrages de franchissement sur la rivière Mpimba en mairie de Bujumbura*

| Ouvrage hydraulique | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Désignation | Dalot | | | Buse | Unité |
| | RN7 | 2è Av. Musaga | Av. vers ISCAM | Buses Av. Gasibe | |
| Débit (Q) | 41.5 | 42 | 48 | 55 | $m^3/s$ |
| Nombre d'ouverture(n) | 1 | 1 | 1 | 4 | - |
| Débit par ouverture(q) | 41.5 | 42 | 48 | 13.75 | $m^3/s$ |
| Largeur de l'ouverture(B) | 5.5 | 11 | 11 | - | m |
| Hauteur de l'ouverture(H) | 4 | 4 | 3 | - | m |
| Diamètre de l'ouverture | - | - | - | 1.8 | m |
| Tirant d'eau (hw) | 2.64 | 2 | 1.92 | 4.41 | m |
| Taux de remplissage | 0.66 | 0.50 | 0.64 | Remplacement de l'ouvrage | - |
| Pente longitudinale(I) | 0.005 | 0.005 | 0.005 | | - |
| Tirant d'air (ha) | 1.36 | 2 | 1,08 | | m |
| Section mouillée (Sm) | 14.52 | 22 | 21.12 | | $m^2$ |
| Périmètre mouillé (Pm) | 16.28 | 26 | 25.84 | | m |
| Rayon hydraulique (Rh) | 0.89 | 0.85 | 0.82 | | m |
| Vitesse (V) | 4.20 | 3.60 | 3.70 | | m/s |
| Conclusion | Ouverture suffisante | Ouverture grande, ne cause aucun problème | Ouverture suffisante | | - |

## III.4 Evaluation du transport solide

Le transport solide correspond au phénomène d'entraînement et de transport de matériaux solides par un écoulement liquide d'intensité suffisante. L'étude du transport solide dans le sens de l'hydrologie de l'ingénieur porte essentiellement sur le transport des éléments non-organique dans le cours d'eau quel que soit leur taille (argile, limons, sables, graviers, galets, etc). Bien que les éléments transportés pourraient être profitables, le manque d'information sur les quantités transportées peut être la cause de sérieux problèmes d'envasement, d'inondation et d'érosion

### III.4.1 Evaluation du transport solide avec la formule de Fournier

Selon fournier, l'apport solide annuel spécifique est évalué par la formule suivante :

$$E = \frac{1}{36}\left(\frac{P_X^2}{P_a}\right)^{2,65}\left(\frac{h^2}{S}\right)^{0,64} \qquad \text{(III.11)}$$

L'analyse des données pluviométriques sur une période couvrant 31ans (1971-2001) à la station de Buhonga montre que le mois le plus pluvieux est le mois d'avril avec une moyenne de 190,66mm. Sur la même station et la même période d'observation, la pluviométrie moyenne annuelle calculée est de 1373mm (Voir en annexe tableau des précipitations sur la station Buhonga).

L'analyse des caractéristiques du bassin versant obtenues montre que le bassin versant à une surface de 5,77 $km^2$. L'hypsométrie du bassin versant montre que la cote maximale (hmax) et celle minimale (hmin) sont respectivement égales à 1442 m et 800m au point de l'ouvrage en buse. De ces deux côtes, on trouve que la dénivelée moyenne du bassin versant est de 289m.

En intégrant toutes ces valeurs dans la formule de Fournier, on a :

E=23771.11 tonnes /an

### III.4.2 Evaluation du transport solide avec la formule de Gravilovic.

Comme la formule de Fournier, le modèle de Gravilovic utilise un indice climatique et les caractéristiques physiques du bassin versant pour le calcul du transport solide.

*Tableau 29: Estimation de la température moyenne annuelle à Buhonga*

| Station | Longitude | Latitude | Altitude | Température moyenne annuelle |
|---|---|---|---|---|
| Buhonga | 29,40 | -3,43 | 1350 | 21,09 |

Source : (BIGIRIMANA, contribution à l'évaluation de l'impact de l'aménagement des bassins versants sur la dynamique des cours d'eau, 2022, pp. 86).

Nous avons procédé à son évaluation et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

*Tableau 30: Résultats d'évaluation du transport solide selon la formule de Gravilovic.*

| Désignation | Symbole | Valeur | Unité |
|---|---|---|---|
| Température moyenne annuelle | to | 21,09 | OC |
| Précipitation moyenne annuelle | P | 1373 | mm |
| Surface du bassin versant (BV) | A | 5,77 | $km^2$ |
| Périmètre du BV | Perm | 15,034 | km |
| Longueur du plus long thalweg | L | 7,33 | km |
| Altitude moyenne | Hmoy | 0,289 | km |
| Pente moyenne du bassin versant | I | 34,2 | % |
| Indice de température | T | 1,486 | - |
| Coefficient de protection du BV | x | 0,9 | - |
| Coefficient d'érodabilité | y | 0,8 | - |
| Coefficient de type d'érosion | φ | 1 | - |
| Coefficient d'érosion | z | 1,149 | - |
| Production annuelle de sédiments | D | 3849,80 | $m^3/km^2/an$ |
| Dégradation totale au niveau du BV | Dtot | 21898,72 | $m^3/an$ |

Le choix des coefficients x, y et φ a été opéré selon les considérations/hypothèses suivantes :

- Les champs sont labourés suivant la pente (x=0,9)
- La roche du sous-sol sont mis-résistantes à l'érosion (y=0,6 à 1) ;
- Le bassin versant est entièrement érodé par affouillement et éboulement. (φ=1).

### III.4.3 Analyse des résultats d'évaluation du transport solide

D'après ces résultats d'évaluation du transport solide nous constatons que les résultats pour fournier on trouve la valeur trouvée un peu semblable à celle de gravilovic. Pour cette étude, notre objectif est de construire un ouvrage avec une pente au moins égale à la pente critique pour permettre l'auto curage des matières solide.

# CHAPITRE IV. PROPOSITION ET DIMENSIONNEMENT D'UN NOUVEL OUVRAGE

## IV.1 Choix d'un nouvel ouvrage

Le choix du type d'ouvrage à réaliser tient compte de plusieurs facteurs tels que la topographie du terrain, le débit à évacuer pour ce qui est des cours d'eau, l'aspect sécurité, les contraintes techniques, économiques et esthétiques. Les buses étant conçues pour des débits n'excédant pas $10m^3/s$, leur choix est d'office écarté. L'étude hydrologique a donné un débit égal à $55m/s>10$ $m^3/s$ ce qui a permis d'opter pour le dalot Car le pont quant à lui est un ouvrage de très grande envergure.

Le choix du type de dalot s'effectuera selon les critères qui peuvent être résumés à travers le tableau ci-dessous :

*Tableau 31: Type de dalot en fonction de la nature du sol et de la portée*

| Portée biaisée en mètre | 2 | 8 | 12 | 20 |
|---|---|---|---|---|
| Mauvais sol | Cadre | | Portique sur pieux | |
| Bon sol | Cadre | Portique sur semelle | | |

[Source : Service d'études techniques des routes et autoroutes ; guide de conception des ponts cadres et portiques]

Compte tenu de la portée biaisée qui est inférieure à 20m, nous avons opté pour un dalot cadre.

## IV.2 Dimensionnement Hydraulique du nouvel ouvrage

### IV.2.1 Description d'un Dalot

Les dalots sont des ouvrages à section rectangulaire permettant d'assurer le passage de l'eau sous la chaussée. Ils sont constitués par deux murs verticaux appelés les piédroits reposant sur un radier général ou sur une semelle, sur lesquels repose une dalle en béton armé continu ou constituée par la juxtaposition d'éléments préfabriqués. On distingue différents types de dalots :

- Les dalots ordinaires ;
- Les dalots cadres ;
- Les dalots portiques.

### IV.2.2 Choix de la forme du dalot

Compte tenu de la longueur de notre portée, Nous allons opter pour 2 formes de dalots :

- Dalot à une ouverture ;
- Dalot à deux ouvertures.

Les ouvrages seront munis des murs en ailes à l'entrée et à la sortie. Il fonctionnera en sortie libre.

### IV.2.3 Vérification hydraulique des ouvrages

Le débit d'étude de l'ouvrage est Qe = 55 $m^3/s$,

*Tableau 32: Choix de l'ouverture pratique du dalot*

| Caractéristiques de l'ouverture du dalot | | | |
|---|---|---|---|
| Nombre d'ouvertures | n | 1 | 2 |
| Choix d'ouverture pratique du dalot | B | B =11m | B =5.5m |
| Débit | Qp | 55 $m^3/s$ | 55$m^3/s$ |
| Vitesse Maximale admissible | Vmax | 4m/s | 4m/s |
| Hauteur d'ouverture | D | 3.00m | 3.00m |
| Nombre d'ouvertures du dalot | n | 1 | 2 |
| Débit par ouverture | Qp | 55 $m^3/s$ | 27.5 $m^3/s$ |
| Section pratique du dalot | Ssp | 30 $m^2$ | 16.5 $m^2$ |
| Coefficient de Manning-Sticker (béton) | K | 67 | 67 |

*Tableau 33: Evaluation de la hauteur d'eau en amont du dalot*

| Evaluation de la hauteur d'eau amont | | | |
|---|---|---|---|
| Nombre d'ouverture | n | 1 | 2 |
| Ouverture | B | 11m | 5.5m |
| Débit réduit | Q* | 0.215 | 0.12 |
| Lecture H*1 (abaque pages 248 du livre Hydraulique routière) | H*1 | 0.68 | 0.68 |
| Hauteur amont | H1 | 2.00 m | 2.00m |
| Si H1 > 1,25 D ==> Ecoulement à pleine section (1)<br>Si H1 ≤ 1,25 D ==> Ecoulement en surface libre (2) | | (2) | (2) |

*Tableau 34: Evaluation de la pente critique du dalot*

| Evaluation de pente critique | | | |
|---|---|---|---|
| Nombre d'ouvertures | n | 1 | 2 |
| Ouverture | B | 11m | 5.5m |
| Calcul de Qi* | Qi* | 0.043 | 0.12 |
| Lecture I*c pente critique réduite<br><br>(Abaque pages 258 du livre Hydraulique routière) | I*c | 2.7 | 2.7 |
| Pente critique Ic | Ic | 0.0041 | 0.0041 |
| Pente adoptée I (Pour des raisons pratiques) | I | 0.005 | 0.005 |

*Tableau 35:Evaluation de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage*

| Evaluation de vitesse critique | | | |
|---|---|---|---|
| Nombre d'ouvertures | n | 1 | 2 |
| Ouverture | B | 11m | 5.5m |
| Calcul de Qv* | Qv* | 0.025 | 0.08 |
| Lecture V* critique réduite (abaque page 263 Hydraulique routière) | V* | 0.17 | 0.28 |
| Vitesse critique | V | 3.98m/s | 3.80m/s |

**Conclusion** : Nous constatons que pour un dalot à deux ouvertures de 5.5m chacun le fonctionnement serait en régime fluvial avec une vitesse de 3.8m/s de pour une ouverture de 11m il fonctionnerait en régime torrentiel avec une vitesse de 3.98m, d'où tous ces ouvrages remplissent les conditions hydrauliques de notre étude.

## IV.3 . Dimensionnement structural

### IV.3.1 Prédimensionnement des dalots cadres

Le prédimensionnement a pour but la détermination des sections des différents éléments des dalots (traverse supérieure et inférieure, piédroit). La détermination de ces dimensions est faite sur la base relevant du fascicule 61 titre II du C.C.T.G.

Par convention, on appelle :

Ed : l'épaisseur de la traverse supérieure

Er : l'épaisseur de la traverse inferieure et

Ep : l'épaisseur des piédroits. Ainsi

on a :

- Pour l'épaisseur de la traverse supérieure

  Ed = l/32 + 0,125 (avec un minimum de 0,30m),

Dans notre cas, la largeur est de 5.5m pour le premier dalot et de 11m pour le 2è dalot.
D'où :

Ed1 = 0,29 on opte pour Ed1 = 0,30m.

Ed2 = 0,29 on opte pour Ed2 = 0,50m.

- Pour l'épaisseur des piédroits et de la traverse inferieure à tenir compte de la déformation du sol de fondation. De ce fait on se réfèrera sur les résultats de l'essai œdométrique effectué aux environs de l'ouvrage à remplacer (voir annexe 7).

Ainsi selon la notice du TP « essai œdométrique et mesure de perméabilité » on peut considérer que notre sol est peu compressible du fait que l'indice de compression est inférieur à 0.2 et sur consolidé car σ'v < σ'p , de plus en regardant les valeurs du module œdométrique (voir annexe 7) nous constatons que notre sol est beaucoup plus argileux.

*Tableau 36:Grandeur du module œdométrique en fonction de la nature du sol*

| Nature | $E_{oed}$ |
|---|---|
| Argile molle | 0.1 à 1 Mpa |
| Argile moyenne | 0.5 à 4 Mpa |
| Argile raide | 1 à 10 Mpa |
| Limon uniforme | 3 à 35 Mpa |
| Sable | 15 à 50 Mpa |
| Gravier | 30 à 120 Mpa |

On a donc adopté pour les besoins de l'étude un module de pseudo-élasticité de 80 Mpa correspondant à l'argile sur consolidé conformément au tableau ci-dessous :

*Tableau 37: Valeurs d'ESOL en MPA en fonction des sols d'assisses*

| Compressibilité du sol | Argile | Limon | Sable | Grave |
|---|---|---|---|---|
| Sur consolidé ou très serré | 80 | 70 | 180 | 300 |
| Normalement consolidé ou normalement serré | 55 | 50 | 50 | 70 |
| Sous consolidé altéré et remanié » ou lâche | 30 | 15 | 30 | |

[Source : Etude simplifiée d'un pont cadre de DIOUAN Abderrazak]

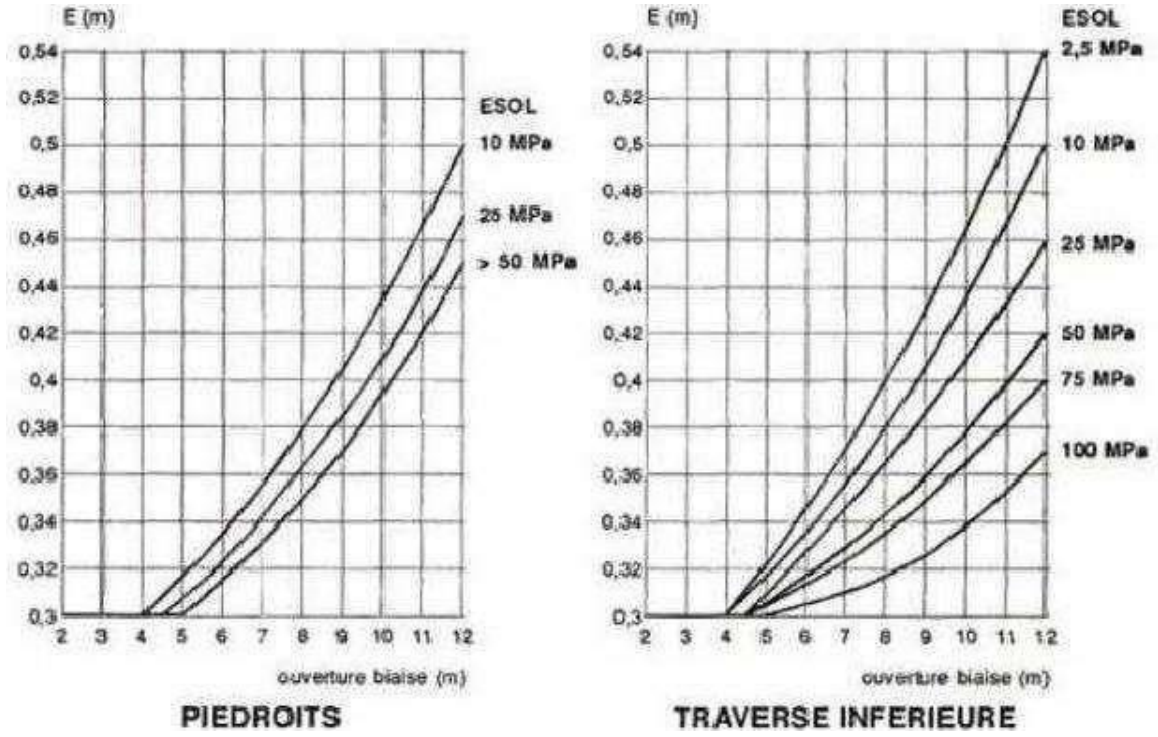



*Figure 18: Abaque de détermination des épaisseurs des piédroits et de la traverse en fonction du module d'élasticité*

A l'aide de cet abaque nous prenons pour les pieds droits et la traverse inferieure les valeurs suivantes :

Ep1=0.31m et Er1=0.31

Ep2=0.42m et Er2=0.38

Cependant nos ouvrages devant recevoir un remblai de 0,30m, un supplément d'efforts est apporté à la structure. On estime d'abord, au moyen des abaques de la figure 18, les valeurs qui seraient suffisantes si le remblai n'existait pas, soit Ei0. On procède ensuite à une majoration de chaque épaisseur selon la formule suivante :

$$E_p = E_r = E_{i0}\sqrt{1 + \frac{Hd^2}{2000E_{i0}^2}} \qquad \text{(IV.1)}$$

Avec :
Ei0 =épaisseur résultant de la lecture des

abaques, H= hauteur du remblai (m),

d =ouverture de l'ouvrage. Ep1=0.315m et

Er1=0.315

Ep2=0.424m et Er2=0.384m

*Tableau 38:Epaisseur adoptée pour nos ouvrages*

| Ouvrage | Traverse supérieure adopté | Piédroit Adopté | Traverse inférieure adopté |
|---|---|---|---|
| Dalot ouverture (5.5m) | 30cm | 35cm | 35cm |
| Dalot ouverture(11m) | 50cm | 50cm | 65cm (imposée par le logiciel de dimensionnement) |

### IV.3.2 Dimensionnement des dalots cadres

#### IV.3.2.1 Méthode de calcul

Pour le dimensionnement on a utilisé le logiciel CYPECAD version2016 (Module pont cadre droit). Le modèle de calcul utilisé consiste en éléments finis triangulaires du type lamelle épaisse tridimensionnelle, qui considère la déformation par l'effort tranchant. Pour notre étude, nous avons configuré le logiciel sur les règles françaises de dimensionnement c'est-à-dire le BAEL91 modifié 99 et le fascicule 61. Au niveau du tablier, afin de voir le convoi qui engendre les sollicitations maximales, nous avons utilisé des convois civils (Bc, Bt), et comme notre ouvrage est un ouvrage hydraulique, on a pris la charge hydraulique en fonction du tirant d'eau (hauteur 2m).

Les plans des ouvrages seront présentés en annexes.

#### IV.3.2.2 Hypothèses de calcul

- Sol d'assise

- Module de réaction du sol d'assise : 80000 KN/$m^3$
- Contrainte admissible du sol d'assise : 200 KN/m² (simulation car donnée géotechnique indisponible)
- Angle de frottement interne : 11.81 degrés
- Coefficient de frottement : 0.62 [tan (0.67*angle de frottement interne)]
- Cohésion : 18.25 KN/m²

- Remblai

- Angle de transmission des charges : 45 degrés
- Angle de frottement interne : 30.03 ⁼ 31 degrés
- Cohésion : 18.25 KN/m²
- Poid volumique : 20KN/$m^3$
- Coefficient de poussée des terres : 0,33

### IV.3.2.3 Matériaux

- Fissuration préjudiciable ;
- Résistance à la compression à 28 jours : 25 Mpa
- Nuance : acier haute adhérence FeE400

### IV.3.2.4 Caractéristiques de la chaussée

- Largeur roulable = Largeur utile-(0.5mx2)
- Largeur utile :8m
- Largeur chargeable = Largeur roulable = 7 m
- Classe du pont : première classe car largeur roulable > 7 m

Après les calculs réalisés par le logiciel, il génère les sections d'armatures qui seront présentées ci-dessous :

### IV.3.2.5 Récapitulatif des sections d'armatures

- Dalot avec une ouverture de 11m

*Tableau 39: Tableau d'armatures pour mur en ailes du dalot à une ouverture*

| Armature horizontale : HA12, e=20<br>Armature longitudinale inférieure : HA12, e=20<br>Armature longitudinale supérieure : HA12 ; e=20 | |
|---|---|
| Armature verticale | Armature semelle |
| Armature verticale arrière : HA12, e=20<br>- Recouvrement =0.55m<br>Armature verticale avant : HA12, e=20<br>- Recouvrement =0.35m | Transversal inférieur : HA12, e=20<br>Transversal supérieur : HA12, e=20 |

*Tableau 40: Tableau d'armatures pour dalot à une ouverture*

| Panneau | Position | Direction | Armature |
|---|---|---|---|
| Tablier | Supérieur | Longitudinal | HA14, e=20 |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA14, e=20, |
| | Inférieur | Longitudinal | HA14, e=20, |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA20, e=20, |
| Radier | Inférieur | Longitudinal | HA14, e=20, |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA14, e=20, |
| | Supérieur | Longitudinal | HA14, e=20, |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA16, e=20 |
| Piédroit gauche | Arrière | Vertical | HA20e=15 |
| | | Horizontal | HA16, e=20 |
| | Avant | Vertical | HA14, e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20, |
| Piédroit droit | Arrière | Vertical | HA20, e=15 |
| | | Horizontal | HA16, e=20 |
| | Avant | Vertical | HA14, e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20 |

- Dalot avec deux ouvertures de 5.5m chacune

*Tableau 41 : Tableau d'armatures pour mur en ailes du dalot à deux ouvertures*

| Armature horizontale : HA12, e=20<br>Armature longitudinale inférieure : HA12, e=20,<br>Armature longitudinale supérieure : HA12, e=20, | |
|---|---|
| Armature verticale | Armature semelle |
| Armature verticale arrière : HA12, e=20<br>- Recouvrement =0.55m<br>Armature verticale avant : HA12, e=20<br>- Recouvrement =0.35m | Transversal inférieur : HA12, e=20<br>Transversal supérieur : HA12,e=20 |

*Tableau 42: Tableau d'armatures pour dalot à deux ouvertures*

| Panneau | Position | Direction | Armature |
|---|---|---|---|
| Tablier | Supérieur | Longitudinal | HA14, e=20 |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA14, e=20 |
| | Inférieur | Longitudinal | HA14, e=20 |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA14, e=20 |
| Radier | Inférieur | Longitudinal | HA14, e=20 |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA14, e=20 |
| | Supérieur | Longitudinal | HA14, e=20 |
| | | Transversal Perpendiculaire au piédroit droit | HA14, e=20 |
| Piédroit gauche | Arrière | Vertical | HA1, e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20 |
| | Avant | Vertical | HA14, e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Piédroit droit | Arrière | Vertical | HA14, e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20 |
| | Avant | Vertical | HA14 ; e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20, |
| Mur Intermédiaire | Gauche | Vertical | HA14 ; e=20 |
| | | Horizontal | HA14e=20, crosse=62cm |
| | Droite | Vertical | HA14, e=20 |
| | | Horizontal | HA14, e=20 |

## IV.4 Devis quantitatifs des matériaux pour nos ouvrages

*Tableau 43:Quantitatif des matériaux pour dalot ouverture de 11m*

| Élément | Fe E500 (kg) | | | | | Béton ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | HA12 | HA14 | HA16 | HA20 | Total | B25 |
| Mur en aile d'entrée gauche | 280.83 | | | | 280.83 | 3.64 |
| Mur en aile d'entrée droite | 280.83 | | | | 280.83 | 3.64 |
| Module | | 5615.36 | 1486.85 | 3782.97 | 10885.18 | 131.08 |
| Mur en aile de sortie gauche | 280.83 | | | | 280.83 | 3.64 |
| Mur en aile de sortie droite | 280.83 | | | | 280.83 | 3.64 |
| Total | 1123.32 | 5615.36 | 1486.85 | 3782.97 | 12008.50 | 145.66 |

*Tableau 44: Quantitatif des matériaux pour dalot a deux ouvertures de 5.5m chacune*

| Élément | Fe E500 (kg) | | | Béton ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| | HA12 | HA14 | Total | B25 |
| Mur en aile d'entrée gauche | 280.21 | | 280.21 | 3.65 |
| Mur en aile d'entrée droite | 280.21 | | 280.21 | 3.65 |
| Module | | 8436.41 | 8436.41 | 86.40 |
| Mur en aile de sortie gauche | 280.21 | | 280.21 | 3.65 |
| Mur en aile de sortie droite | 280.21 | | 280.21 | 3.65 |
| Total | 1120.84 | 8436.41 | 9557.25 | 100.98 |

**NB** : En comparant les devis quantitatifs de nos ouvrages on constate que le dalot à une ouverture de 11m nécessite une grande quantité de matériaux que le dalot à deux ouvertures de 5.5m chacun. D'où nous opterons finalement pour notre étude le dalot à deux ouvertures de 5.5m chacune

## IV.5 Devis estimatif des matériaux pour le dalot à deux ouvertures

*Tableau 45:Dévis estimatif des matériaux pour le dalot à deux ouvertures*

| Désignation | Unité | Quantité | P U | P T |
|---|---|---|---|---|
| Béton dosé à 400kg pour B.A | $m^3$ | 98,02 | 400 000 | 39 208 000 |
| Béton de propreté dosé à 150kg | $m^3$ | 2,96 | 150 000 | 444 000 |
| Fouille pour ouvrage | $m^3$ | 312 | 5 000 | 1 560 000 |
| Acier HA12 | kg | 1120,84 | 5 711,61 | 6 401 800,952 |
| Acier HA14 | kg | 8436,41 | 9 648,52 | 81 398 870,61 |
| Remblai ouvrage | $m^3$ | 25,2 | 5 000 | 126 000 |
| Fourniture et mise en place de garde-corps | ml | 24 | 75 000 | 1 800 000 |
| Montant total hors taxes | | | | 130 938 670,95 |
| TVA (18%) | | | | 23 598 960,77 |
| Montant total toutes taxes comprises | | | | 154 507 631,72 |

Une somme de cent cinquante-quatre millions cinq cent sept mille six cent trente-un virgule septante deux francs burundais (154 507 631 ,72 fbu) sera nécessaire pour disponibiliser les matériaux principaux pour la construction de notre ouvrage.

# CHAPITRE V. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

## V.1 Introduction

Comme tout travaux de construction d'infrastructures, la construction des ouvrages d'art engendre des impacts positifs comme négatifs sur l'environnement. Ainsi l'étude d'impact environnemental détaille les conséquences tant positives que négatives sur l'environnement. Elle permet de prendre des mesures adéquates sur la façon de gérer la population environnante et/ou utilisant cette voie mais aussi la gestion de la faune et de la flore.

Ce projet entrainera des impacts potentiels négatifs et positifs sur son environnement naturel et humain au cours de la phase de la préparation, celle d'exécution du chantier et celle de l'exploitation de l'ouvrage.

L'objectif de cette étude est alors d'identifier ces impacts et d'évoquer les possibles mesures d'atténuation pour assurer l'intégrité de l'environnement dans le développement de la zone du projet.

### V.1.1 Description sommaire des activités de construction de l'ouvrage

La réalisation de l'étude nécessite l'exécution des tâches suivantes :

- Les travaux de fouilles,
- Les travaux d'excavation
- Les travaux de bétonnage,
- Les travaux de terrassement,
- L'aménagement d'une déviation.

### V.1.2 Identification des impacts potentiels

➢ Au cours de la phase de préparation et d'exécution du chantier :

Les impacts qui se manifestent au cours de ces deux phases sont à caractère exclusivement négatif :

❖ Impacts négatifs :

- La perte d'activités suite à la libération de l'emprise de la route.
- La gêne de la circulation et l'aggravation de l'insécurité routière,
- Les autres impacts négatifs à signaler au cours de ces phases et qui sont d'importance variable s'articuleraient autour du risque de dégradation des ressources naturelles et

d'atteinte à la santé humaine à travers la pollution de tout genre (pollution sonore, dégagement de poussière, déchets, eaux usées, huiles usagées), l'aggravation de l'érosion et la détérioration de la couverture végétale dans les zones d'emprunt, l'atteinte aux richesses forestières et à la biodiversité et l'entrave à la circulation naturelle des eaux de surface.

- Les risques de propagation des IST et du VIH/SIDA, autres maladies hygiéniques et grossesses non désirées.

❖ Impacts positifs :

- La création d'emplois ;

➢ Au cours de la phase d'exploitation de la route

❖ Impacts négatifs :

- L'augmentation du trafic routier et l'amplification des risques d'accidents ;
- Les risques d'augmentation de la pression sur les ressources naturelles et particulièrement les forêts tout autour de l'emplacement du projet ;

❖ Impacts positifs :

- La facilitation du transport et l'accès aux services sociaux de base et voies à grande circulation pour les populations urbaines ;
- La facilitation de la communication avec les autres quartiers
- L'amélioration de la qualité de vie de sa population constituant l'impact positif majeur du projet.

### V.1.3 Mesures d'atténuations selon les analyses des impacts

*Tableau 46 : Mesures d'atténuations selon les analyses des impacts*

| Impacts | Nature | Mesures |
|---|---|---|
| **Phase préparation du chantier** | | |
| Perte d'activités et d'emplois démolition de l'infrastructure | Négatif | - Prévoir des accès provisoires pour faciliter la continuation de la circulation |
| Risques d'accident sur la zone | Négatif | - Prévoir des mesures d'accompagnement afin d'éviter tout risque d'accident : Clôture, signalisation, ralentisseur de vitesse…, |
| **Phase de chantier** | | |
| Les risques de propagation des IST et du VIH/SIDA, autres maladies hygiéniques et grossesses non désirées. | Négatif | - Mener des campagnes de sensibilisation pour le personnel de chantier sur les IST et le VIH/SIDA, |
| Création d'emplois pour les besoins directs et indirects du chantier | Positif | - Inciter l'entreprise à recruter en priorité la population locale essentiellement celle affectée et plus particulièrement la main d'œuvre non qualifiée.<br>- Doter la main d'œuvre d'équipements de protection adéquats, |
| Gène intense de la circulation et aggravation de l'insécurité routière | Négatif | - Délimitation des itinéraires des engins ;<br>- Imposer une limitation de vitesse de circulation aux engins de chantier,<br>- Mise en place de la signalisation routière appropriée ;<br>- Information des riverains et des usagers de la route du programme de chantier.<br>- Eviter si possible les travaux nocturnes à proximité des habitations et lieux sensibles ;<br>- Informer et sensibiliser les populations locales du déroulement des travaux et les risques d'accident qu'y sont associés ; |

| | | |
|---|---|---|
| Pollution sonore | Négatif | - Etablissement d'un horaire de travail de manière à minimiser les nuisances sonores. |
| Risques de pollution : Poussière, huiles usagées, eaux usées, déchets | Négatif | - Récupérer les eaux usées domestiques et les évacuer vers des puisards<br>- Collecter et stocker les déchets domestiques dans des sites appropriés<br>- Couvrir les camions transportant les matériaux pendant les périodes de vent violent.<br>- Arroser systématiquement le chantier surtout à proximité ce des habitations et lieux sensibles. |

# CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le travail était consacré à une évaluation de la capacité hydraulique des ouvrages de franchissement sur la rivière MPIMBA en mairie de BUJUMBURA et de proposer des ouvrages de remplacement pour les ouvertures jugées défaillantes.

Afin d'atteindre notre objectif, nous avons visité chaque ouvrage pour connaitre les dimensions actuelles des ouvertures. En complément de cette analyse diagnostique, une revue bibliographique des bases théoriques y relatives nous a permis de calculer les débits de projet et de les comparer à la capacité hydraulique des ouvertures existantes.

Il ressort de notre étude que les ouvertures des dalots sur la RN7 et l'avenue des Forces Armées ne présentent pas de lacunes ; l'ouverture du dalot de la 2è avenue à MUSAGA est quant à elle surdimensionnée. La conception et les dimensions des ouvertures en buses sur l'avenue GASIBE sont par contre lacunaires ; ce qui nous a poussé à proposer un ouvrage de remplacement sous forme de dalot.

Cependant au niveau de l'étude structurale de l'ouvrage proposé, faute de données géotechniques suffisantes, certaines études géotechniques n'ont pas était faites ce qui nous aurait permis à pousser plus loin nos études surtout dans la partie fondation de l'ouvrage.

Nous recommandons :

1. Aux prochains chercheurs :
   - D'étendre les zones d'étude afin de donner d'autres propositions pour lutter contre cette problématique et d'y intégrer l'étude des fondations.
   - D'utiliser des données pluviométriques plus étendues et qui permettraient de générer des résultats plus fiables.

2. Aux acteurs impliqués dans le domaine de l'hydraulique routière, de prendre beaucoup de précautions dans l'exécution des travaux concernant les ouvrages de franchissement.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


## Ouvrages généraux

1. NGUYEN VAN TUU (1979) : Hydraulique routière.
2. GEOSCI (2010) : Etude de construction de deux ponts sur la rivière Mpimba et protection de l'école primaire sise à Musaga (Avant-projet sommaire).
3. Guide technique sur l'assainissement routier.
4. Etude simplifiée d'un pont cadre de DIOUAN Abderrazzaq

## Mémoires

1. BEBAMBA E. (2013) : Choix et études techniques d'un ouvrage de franchissement au PK6+31 dans le cadre du projet d'études techniques détaillées pour l'aménagement et le bitumage sur la route régionale n° 13 : Boussé-Kordié.
2. KOTY S. (2018) : Dimensionnement hydrologique, hydraulique et structural d'un dalot de section 4 x (4,00 x 3,00) au PK 1325.00m de la rue 12.887 à AKOGBATO commune de Cotonou.
3. NGENDAKUMANA F. (2019) : Reconception et redimensionnement du pont Gikoma.
4. BIGIRIMANA D. (2021) : Contribution à l'évaluation de l'impact de l'aménagement des bassins versants sur la dynamique des cours d'eau : cas du bassin versant de la rivière Muha en république du Burundi.

## Thèses

1. NIYONGABO H. intégration de l'enjeu social et quantitatif pour la maitrise l'assainissement liquide en Afrique tropicale :application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat ; université de liège juin 2006]

# ANNEXES

**Annexes 1** : Sortie libre dalot rectangulaire

BCEOM

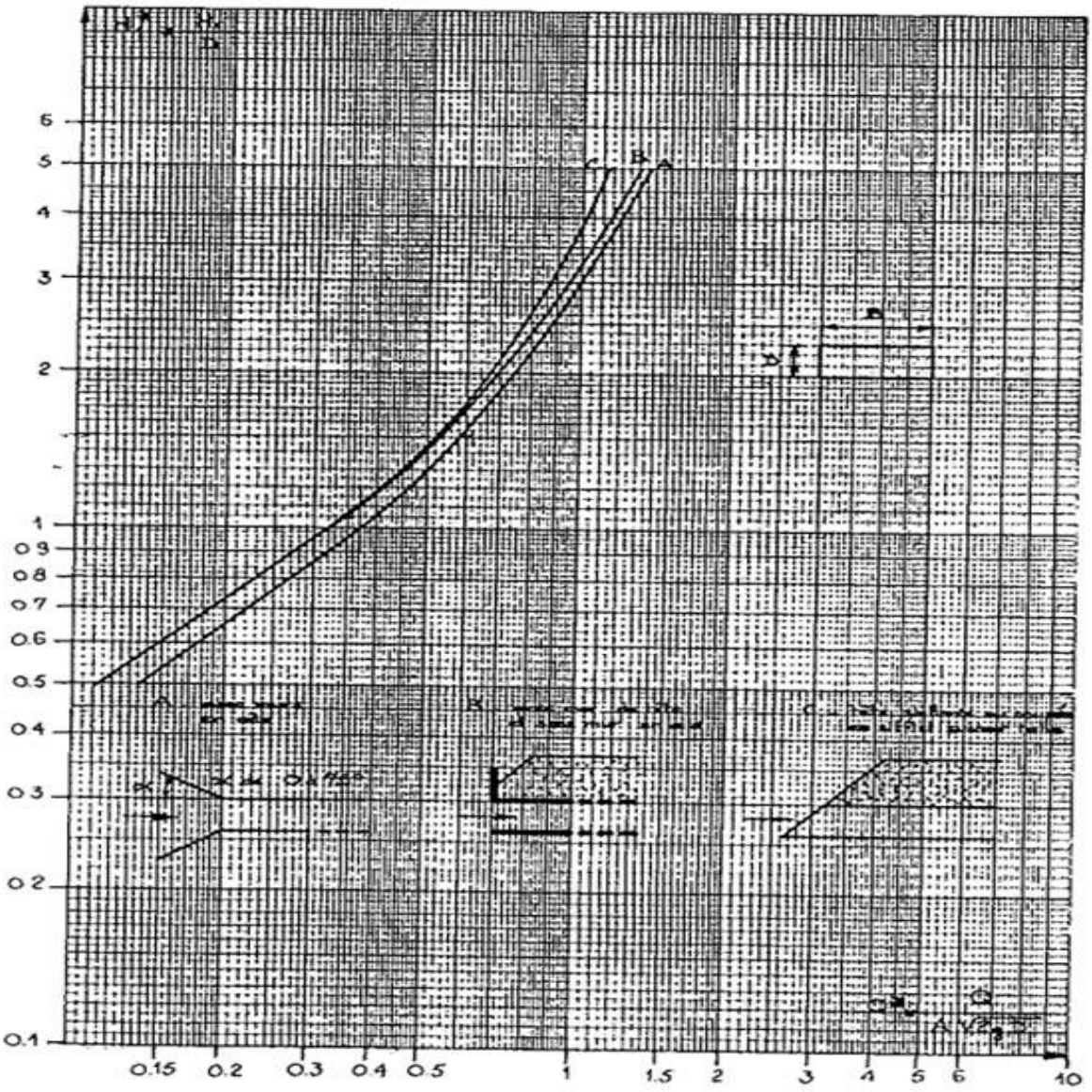



Fig. 77. Sortie libre. Dalots rectangulaires.

**Annexe 2** : Calcul de la pente critique en fonction du débit. Dalot rectangulaire

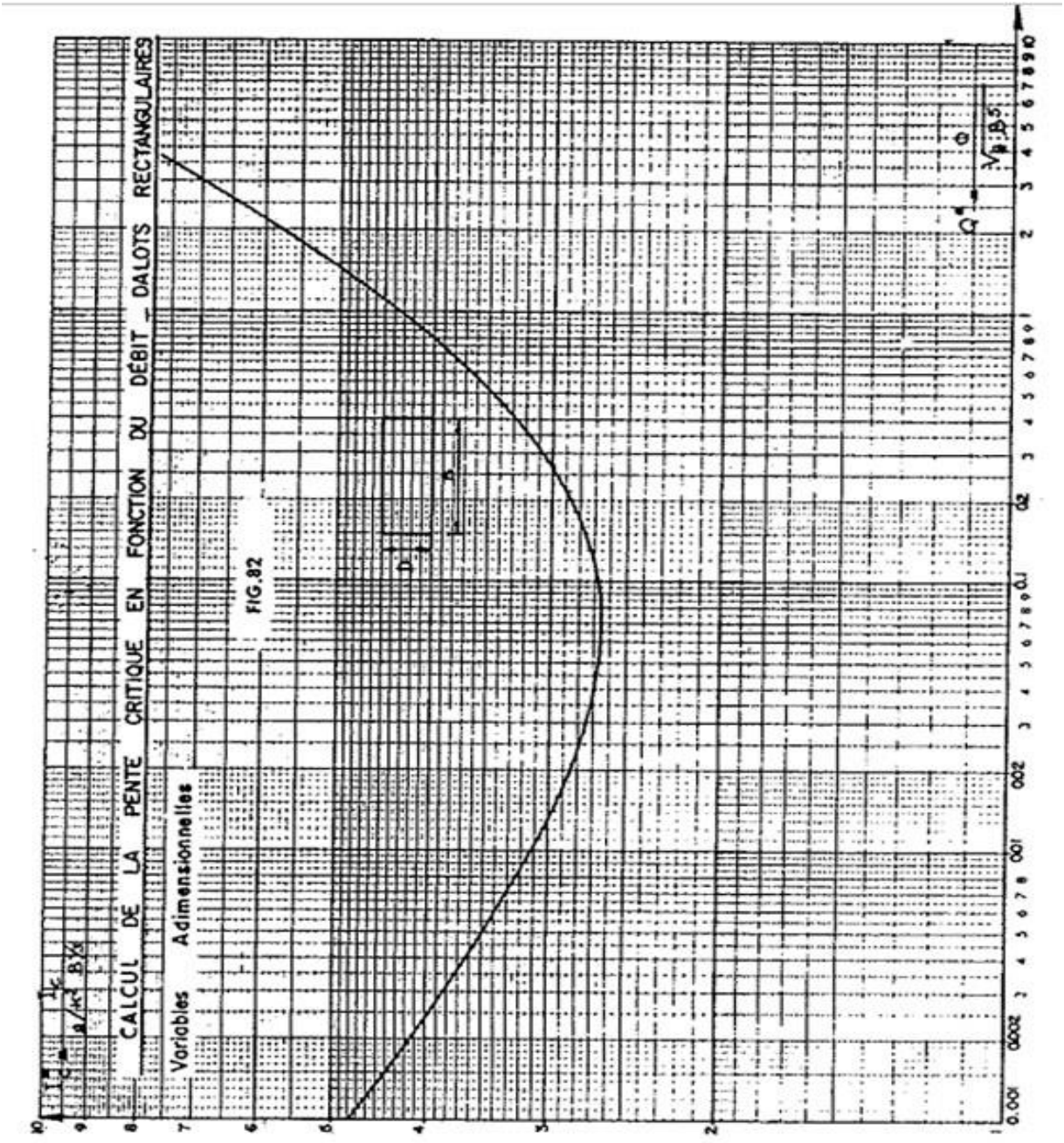



Fig. 82. Calcul de la pente critique en fonction du débit. Dalots rectangulaires.

**Annexe 3** : Calcul de vitesse critique dans un dalot rectangulaire

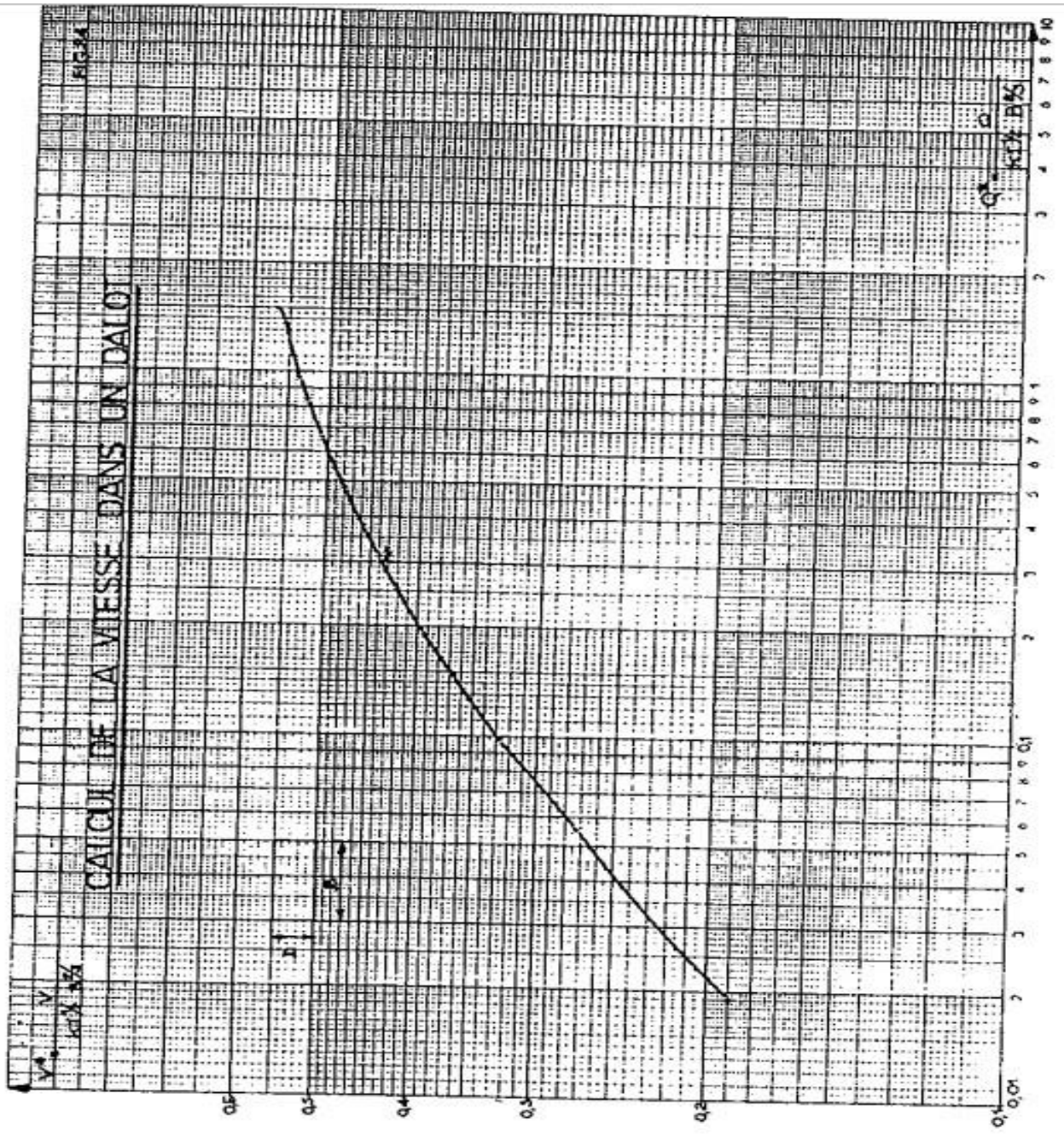



**Fig. 84.** Calcul de la vitesse dans un dalot.

**Annexe 4** : Sortie libre buse métallique circulaire (D≤2m)

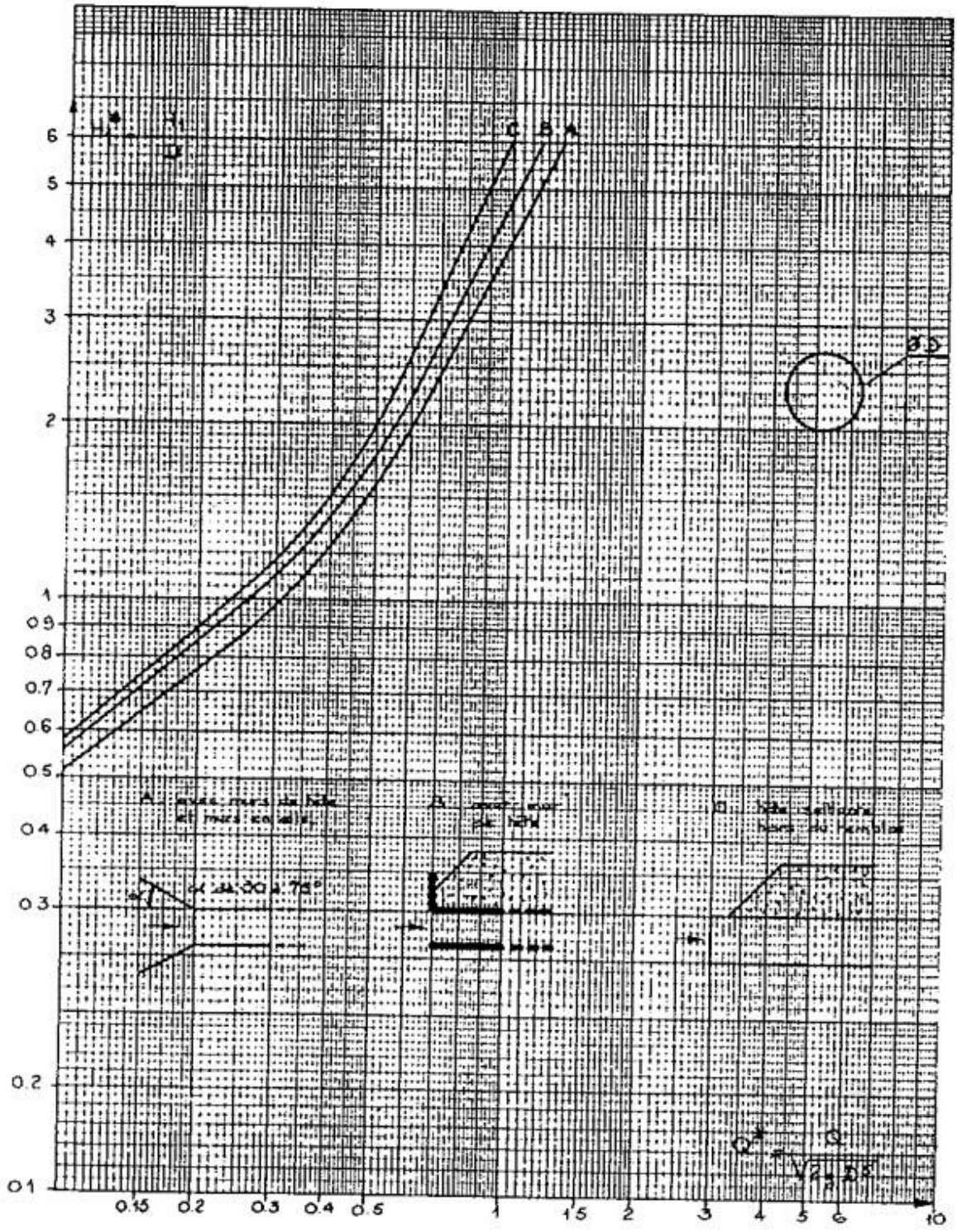



Fig. 71. Sortie libre : buses métalliques circulaires ($D \leq 2$ m).

**Annexe 5** : Essai de cisaillement rectiligne à 1m en dessous du niveau du lit de la rivière

Université du Burundi
Faculté des Sciences de l'Ingénieur (FSI)
B.P. 2720 Fax : (257) 22 4794

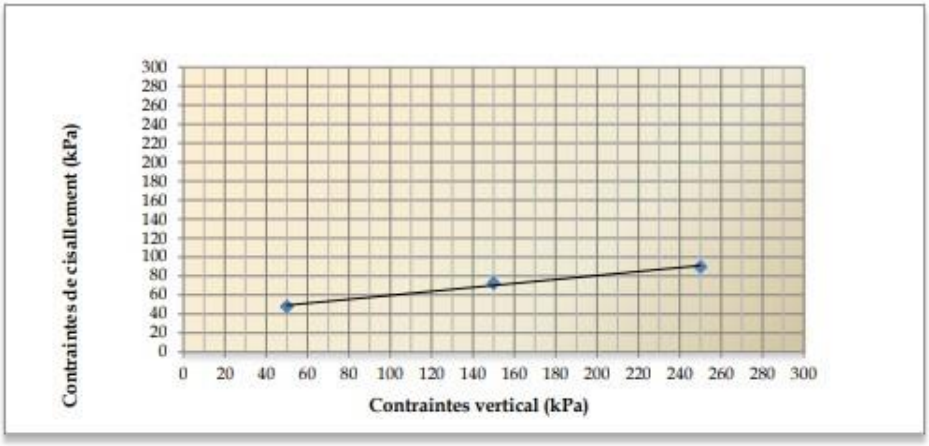
# ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE

***Etude: Dimensionnement Dalot***

**Site : Avenue Gasibe,Quartier Kinanira II,au environ de l'ouvrage en buse**
**Profondeur: 1m en dessous du lit de la rivière Mpimba**
**Echantillon : E1** **Poids volumique: 1,967 g/cm$^3$**

**Par RUSHEMEZA Yves**

| Charges Verticales $\delta_n$ kPa (kN/m$^2$) | Contraintes de cisaillement $\tau_s$ kPa (kN/m$^2$) | Cohésion C kPa (kN/m$^2$) | Angle de Frotement Interne $\phi$ (Degree) |
|---|---|---|---|
| 50,0 | 47,97 | 38,75 | 11,81 |
| 150,0 | 72,57 | | |
| 250,0 | 89,79 | | |



**Annexe 6** : Essai de cisaillement rectiligne à 1m en dessous du niveau de la côte de la route

Université du Burundi
Faculté des Sciences de l'Ingénieur (FSI)
B.P. 2720 Fax : (257) 22 4794

# ESSAI DE CISALLEMENT RECTILIGNE

***Etude:Dimensionnement dalot***

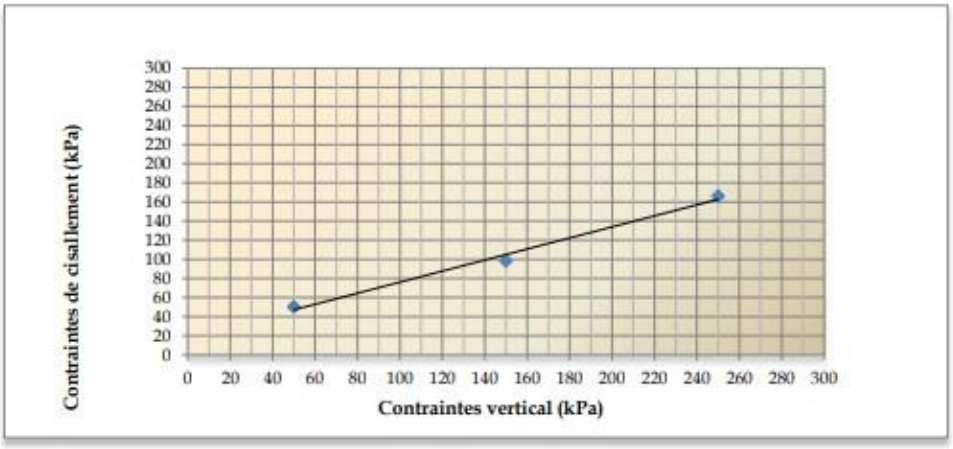
**Site: Avenue Gasibe ,Quartier Kinanira II,au environs de l'ouvrage en Buse**

**Profondeur: 1m en dessous de la cote de la route**

**Echantillon : E2** **Poids volumique: 1,601 g/cm$^3$**

**Par :RUSHEMEZA Yves**

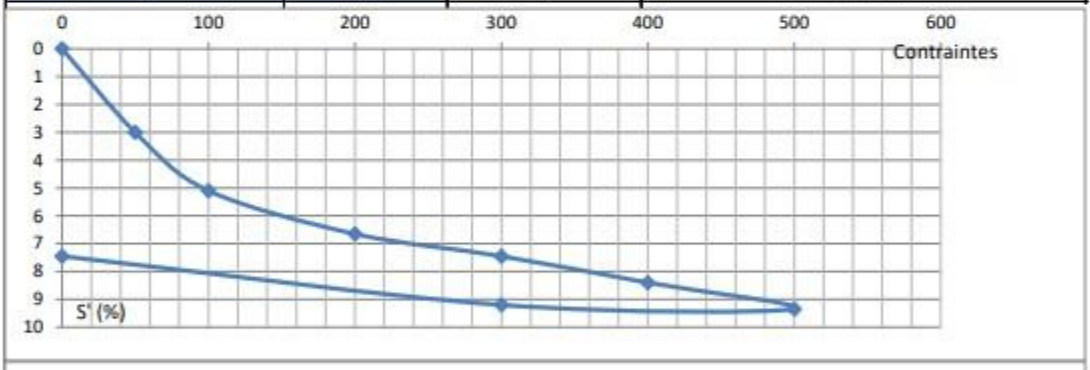
| Charges Verticales $\delta_n$ kPa (kN/m$^2$) | Contraintes de cisaillement $\tau_s$ kPa (kN/m$^2$) | Cohésion C kPa (kN/m$^2$) | Angle de Frotement Interne $\phi$ (Degree) |
|---|---|---|---|
| 50,0 | 50,43 | **18,25** | **30,03** |
| 150,0 | 98,40 | | |
| 250,0 | 166,05 | | |

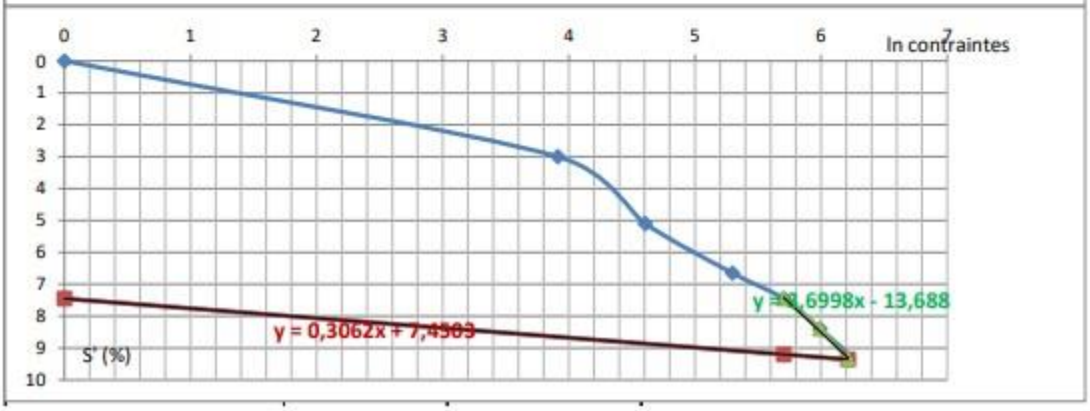


**Annexe 7** : Essai œdométrique à 1m en dessous du niveau du lit de la rivière

Université du Burundi
Faculté des Sciences de l'Ingénieur (FSI)
B.P. 2720 Fax : (257) 22 4794

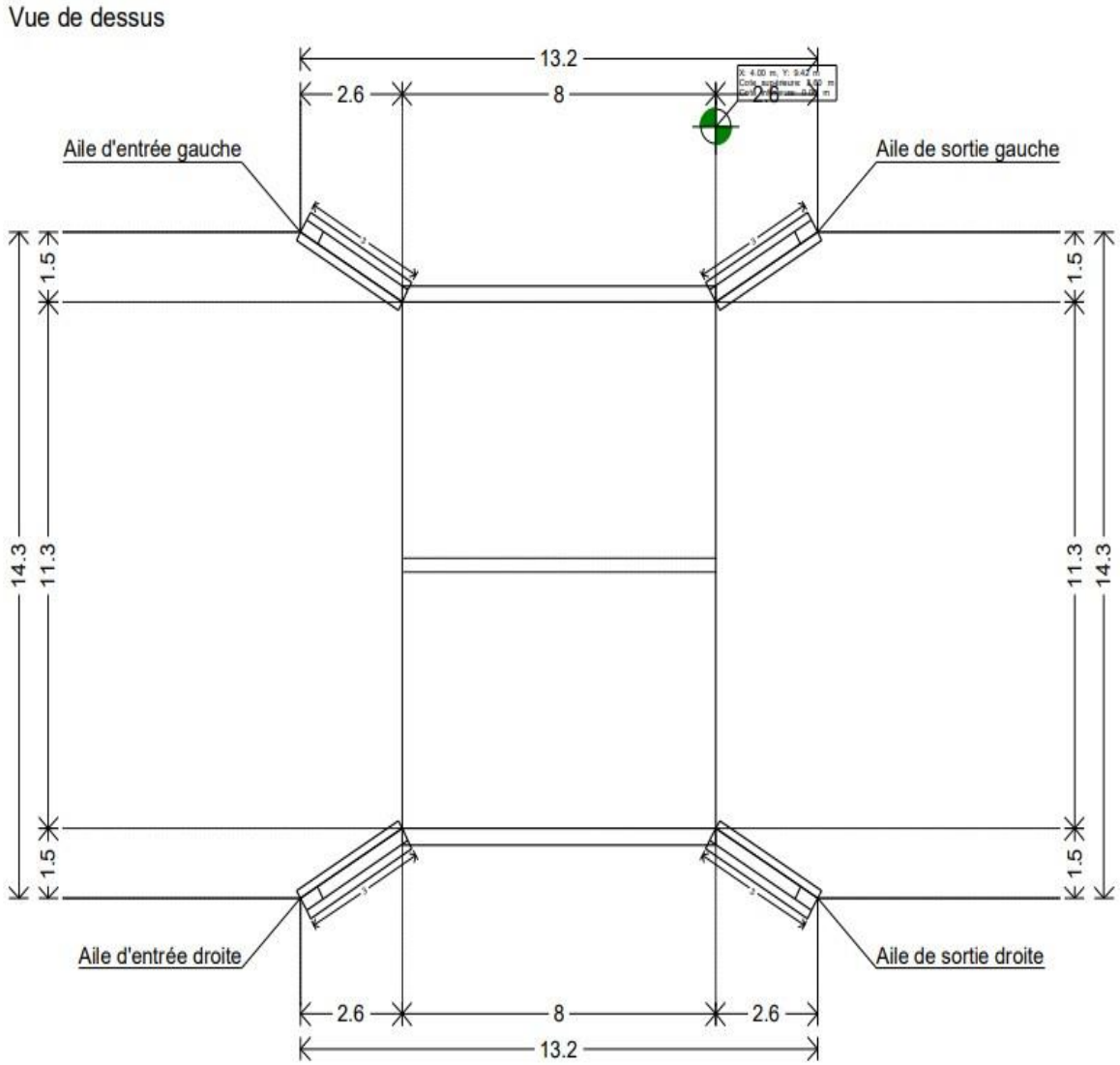
| ESSAI OEDOMETRIQUE | | | |
|---|---|---|---|
| *Etude:Dimensionnement dalot cadre sur l'avenue Gasibe en quartier Kinanira II* | | | |
| *Profondeur :1m en dessous du lit de la rivière Mpimba* | | | |
| Echantillon: E1 ,Densité= 1,967g/cm3 | | | |
| Par RUSHEMEZA Yves | | | |
| contrainte (KPa) | S' (%) | ln contrainte | Module oedométrique $E_{oed}$ (Kpa) |
| 0 | 0 | 0 | |
| 50 | 3 | 3,912023005 | 1666,7 |
| 100 | 5,1 | 4,605170186 | 2381,0 |
| 200 | 6,65 | 5,298317367 | 6451,6 |
| 300 | 7,45 | 5,703782475 | 12500,0 |
| 400 | 8,4 | 5,991464547 | 10526,3 |
| 500 | 9,35 | 6,214608098 | 10526,3 |
| 300 | 9,2 | 5,703782475 | 133333,3 |
| 0 | 7,45 | 0 | 17142,9 |



**Annexe 8** : plans pour dalots

- Dalot à deux ouvertures

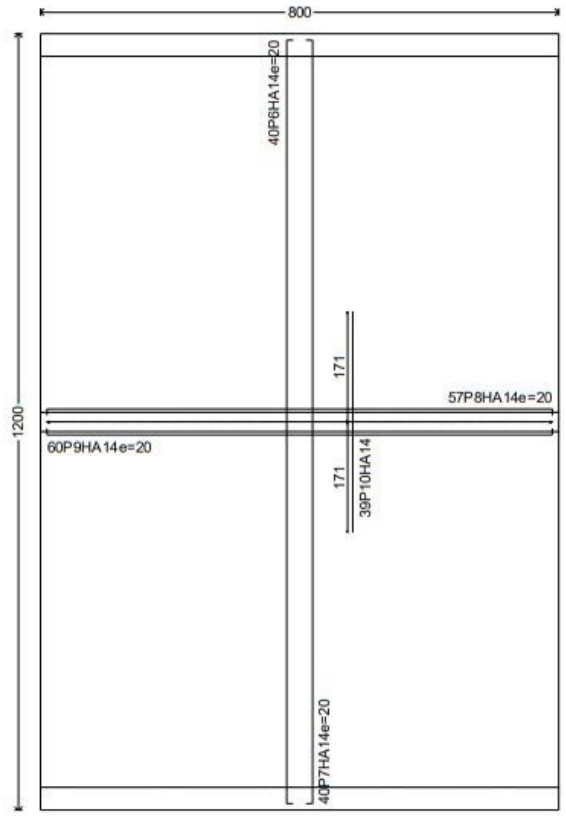



CADRE

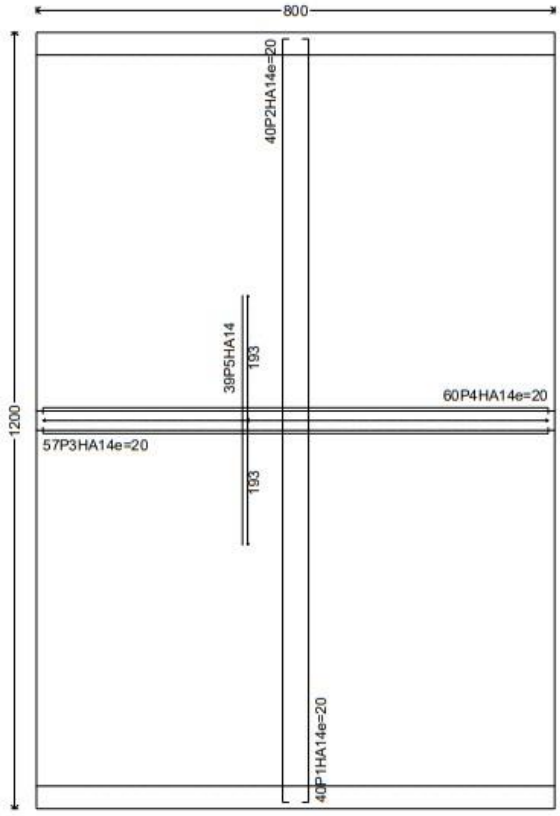
Échelle : 1 :100

CADRE .
Échelle: 1:100

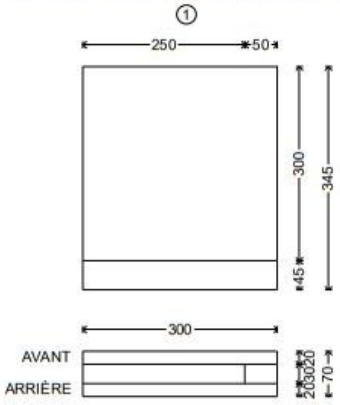
Module
Radier

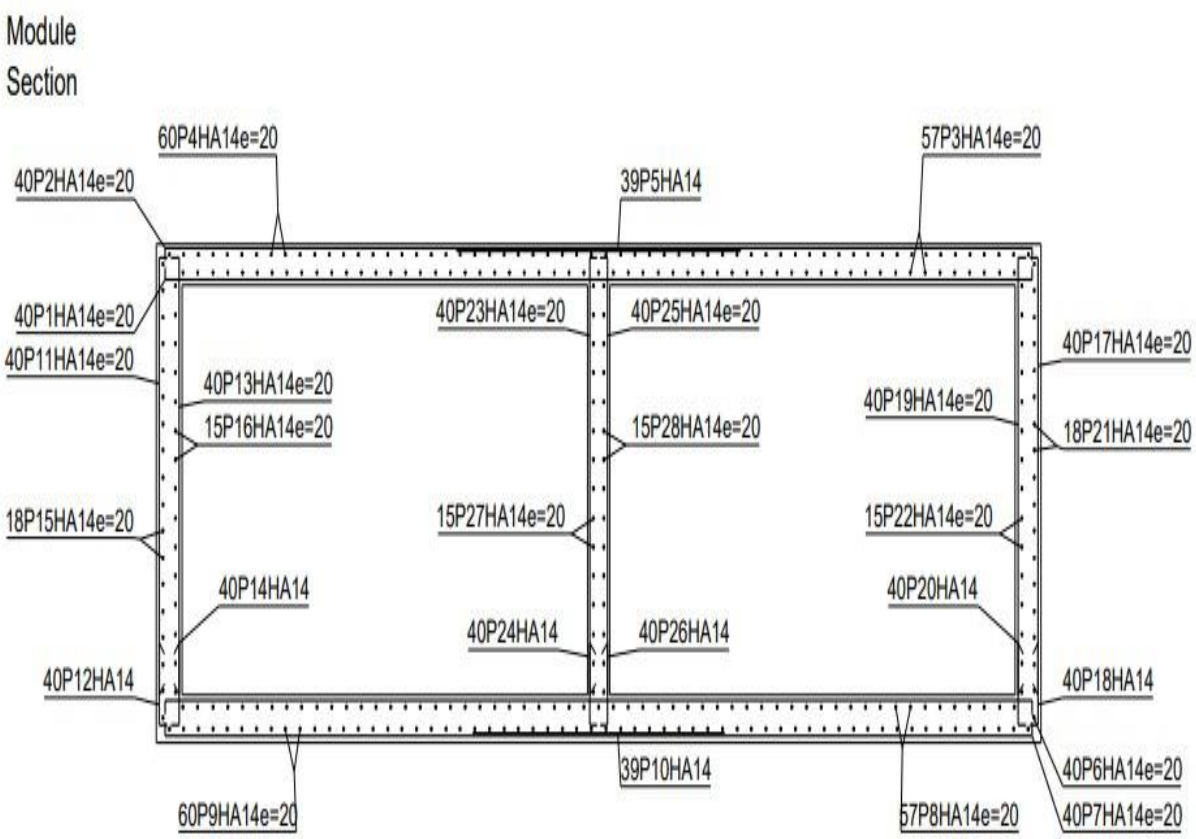



Module
Tablier



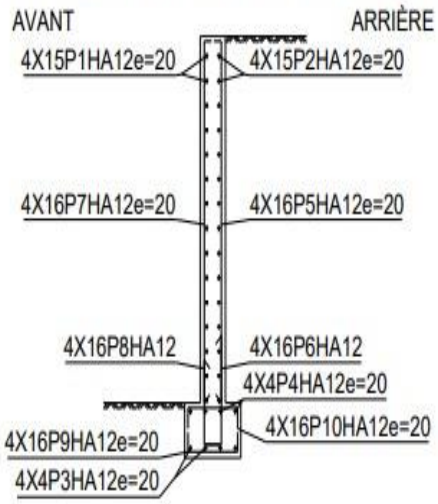

Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite



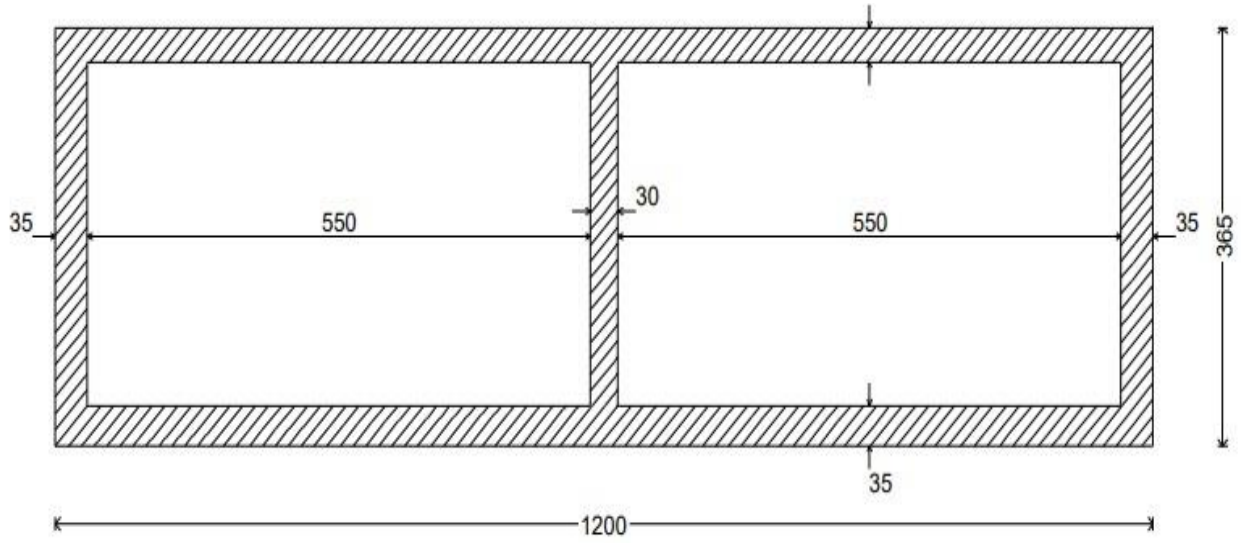



CADRE
Échelle: 1:100

Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite

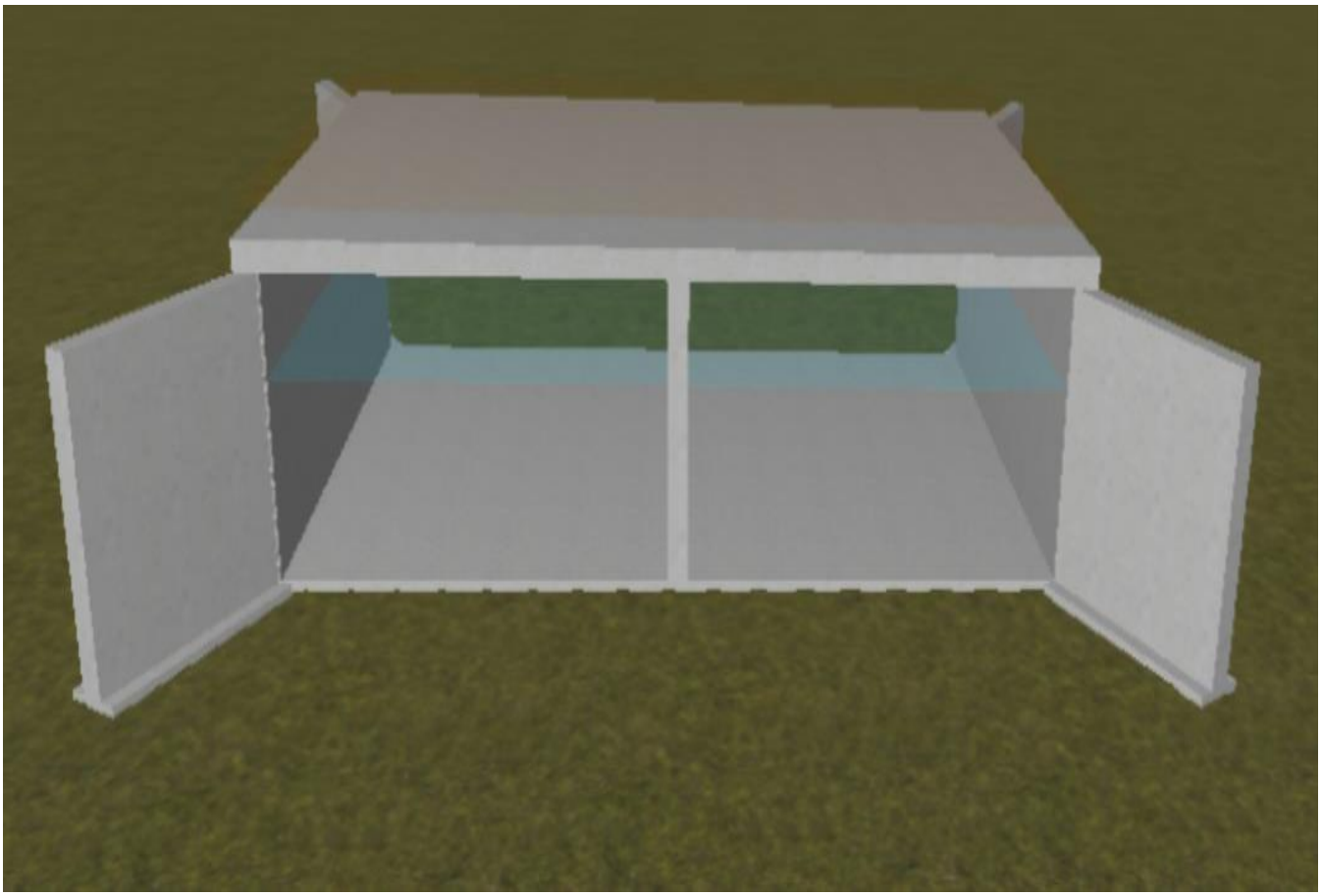



CADRE
Échelle: 1:100




CADRE
Échelle: 1:100

VUE en 3D



**Module**

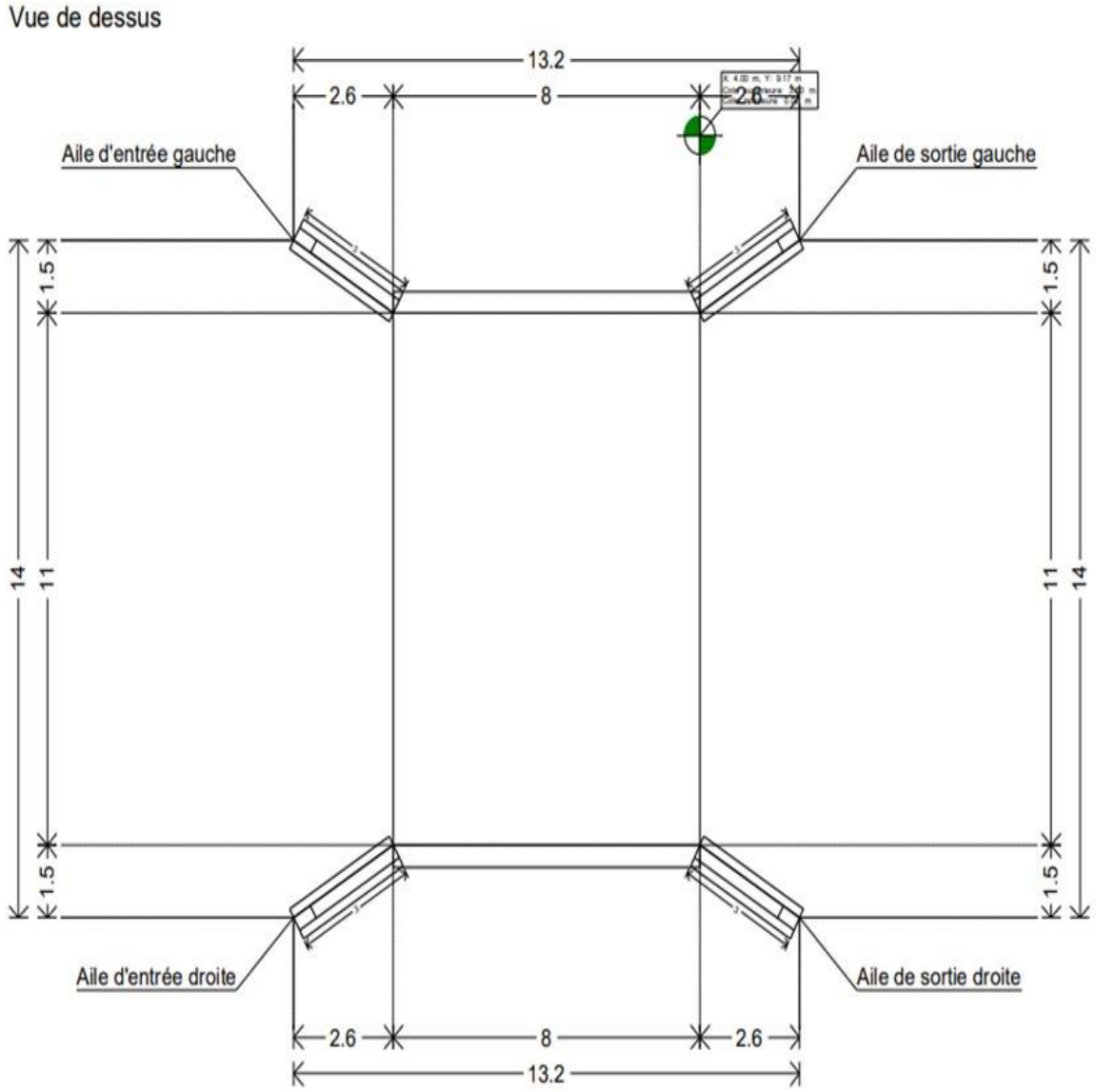
| POSITION | Ø mm | NBRE. PIÈCES | LONGUEUR m | FAÇONNAGE L=cm | LONGUEUR TOTAL m | POIDS kg/m | POIDS kgf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14 | 40 | 12.17 | 15 1186 15 | 486.72 | 1.21 | 588.17 |
| 2 | 14 | 40 | 12.66 | 40 1186 40 | 506.47 | 1.21 | 612.03 |
| 3 | 14 | 57 | 9.15 | 46 46 16 792 16 | 521.58 | 1.21 | 630.30 |
| 4 | 14 | 60 | 9.15 | 44 44 17 792 17 | 549.03 | 1.21 | 663.47 |
| 5 | 14 | 39 | 3.86 | 386 | 150.65 | 1.21 | 182.05 |
| 6 | 14 | 40 | 12.17 | 15 1186 15 | 486.72 | 1.21 | 588.17 |
| 7 | 14 | 40 | 12.66 | 40 1186 40 | 506.47 | 1.21 | 612.03 |
| 8 | 14 | 57 | 9.15 | 41 41 21 792 21 | 521.58 | 1.21 | 630.30 |
| 9 | 14 | 60 | 9.15 | 39 39 22 792 22 | 549.03 | 1.21 | 663.47 |
| 10 | 14 | 39 | 3.42 | 342 | 133.43 | 1.21 | 161.24 |
| 11 | 14 | 40 | 3.68 | 44 324 | 147.06 | 1.21 | 177.71 |
| 12 | 14 | 40 | 1.05 | 40 65 | 42.05 | 1.21 | 50.81 |
| 13 | 14 | 40 | 3.44 | 21 324 | 137.78 | 1.21 | 166.50 |
| 14 | 14 | 40 | 0.80 | 15 65 | 32.17 | 1.21 | 38.88 |
| 15 | 14 | 18 | 9.15 | 39 39 22 792 22 | 164.71 | 1.21 | 199.04 |
| 16 | 14 | 15 | 9.15 | 41 41 21 792 21 | 137.26 | 1.21 | 165.87 |
| 17 | 14 | 40 | 3.68 | 44 324 | 147.06 | 1.21 | 177.71 |
| 18 | 14 | 40 | 1.05 | 40 65 | 42.05 | 1.21 | 50.81 |
| 19 | 14 | 40 | 3.44 | 21 324 | 137.78 | 1.21 | 166.50 |
| 20 | 14 | 40 | 0.80 | 15 65 | 32.17 | 1.21 | 38.88 |
| 21 | 14 | 18 | 9.15 | 39 39 22 792 22 | 164.71 | 1.21 | 199.04 |
| 22 | 14 | 15 | 9.15 | 41 41 21 792 21 | 137.26 | 1.21 | 165.87 |
| 23 | 14 | 40 | 3.44 | 21 324 | 137.78 | 1.21 | 166.50 |
| 24 | 14 | 40 | 0.80 | 15 65 | 32.17 | 1.21 | 38.88 |
| 25 | 14 | 40 | 3.44 | 21 324 | 137.78 | 1.21 | 166.50 |
| 26 | 14 | 40 | 0.80 | 15 65 | 32.17 | 1.21 | 38.88 |
| 27 | 14 | 15 | 9.15 | 44 44 17 792 17 | 137.26 | 1.21 | 165.87 |
| 28 | 14 | 15 | 9.15 | 44 44 17 792 17 | 137.26 | 1.21 | 165.87 |
| | | | | HA14 | 6348.16 | 1.21 | 7671.35 |
| Fe E500 | | | | | Poids total | | 7671.35 |
| | | | | | Poids total avec chutes (10.00%) | | 8438.49 |

CADRE
Échelle: 1:100

**Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite**

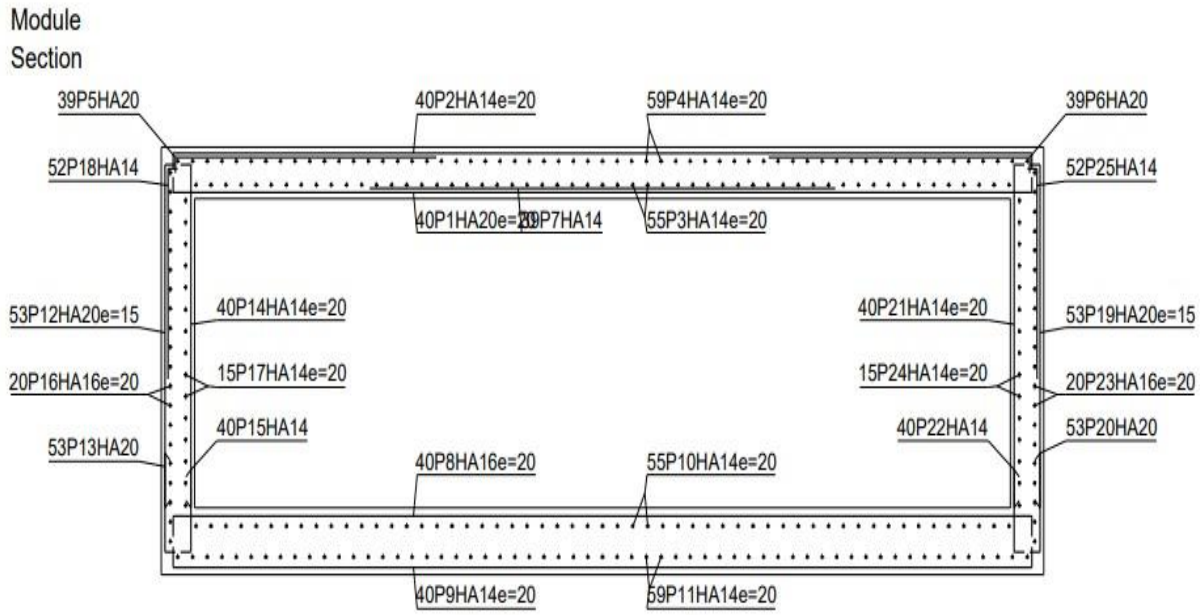
| POSITION | Ø mm | NBRE. PIÈCES | LONGUEUR m | FAÇONNAGE L=cm | LONGUEUR TOTAL m | POIDS kg/m | POIDS kgf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 60 (4x15) | 3.32 | 20 292 20 | 199.08 | 0.89 | 176.75 |
| 2 | 12 | 60 (4x15) | 3.32 | 20 292 20 | 199.08 | 0.89 | 176.75 |
| 3 | 12 | 16 (4x4) | 3.18 | 13 292 13 | 50.91 | 0.89 | 45.20 |
| 4 | 12 | 16 (4x4) | 3.18 | 13 292 13 | 50.91 | 0.89 | 45.20 |
| 5 | 12 | 64 (4x16) | 3.14 | 17 297 | 200.90 | 0.89 | 178.36 |
| 6 | 12 | 64 (4x16) | 1.14 | 20 94 | 72.64 | 0.89 | 64.49 |
| 7 | 12 | 64 (4x16) | 3.14 | 17 297 | 200.90 | 0.89 | 178.36 |
| 8 | 12 | 64 (4x16) | 0.94 | 20 74 | 59.84 | 0.89 | 53.13 |
| 9 | 12 | 64 (4x16) | 0.88 | 13 62 13 | 56.19 | 0.89 | 49.89 |
| 10 | 12 | 64 (4x16) | 0.88 | 13 62 13 | 56.19 | 0.89 | 49.89 |
| | | | | HA12 | 1146.64 | 0.89 | 1018.02 |
| Fe E500 | | | | | Poids total | | 1018.02 |
| | | | | | Poids total avec chutes (10.00%) | | 1119.82 |

- Dalot cadre à une ouverture



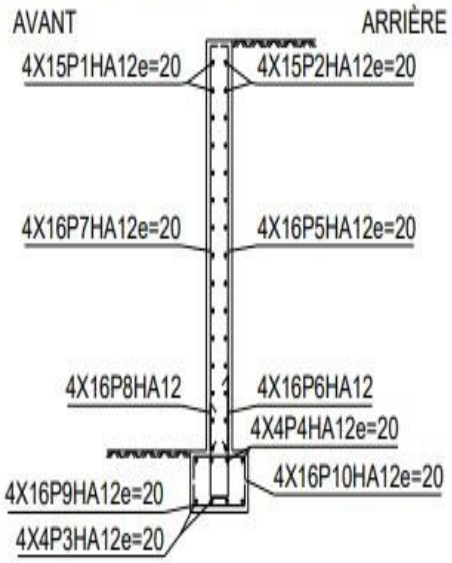

CADRE

Échelle : **1:100**

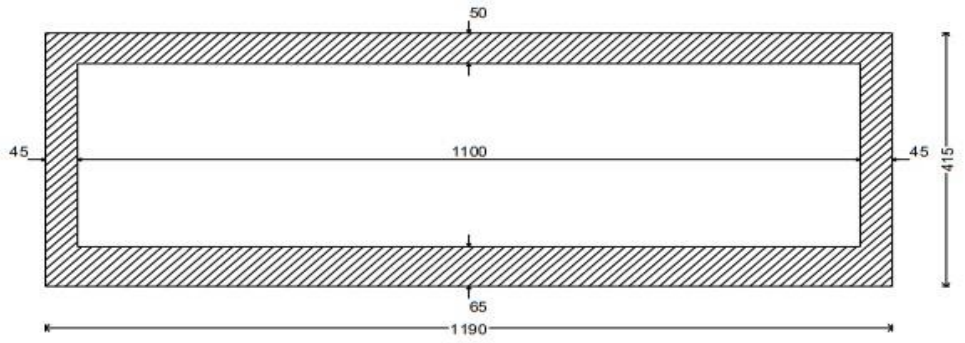



CADRE
Échelle: 1:100

Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite

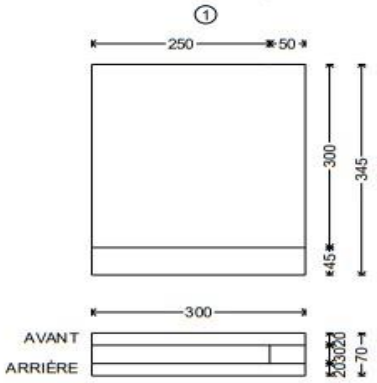



CADRE
Échelle: 1:100

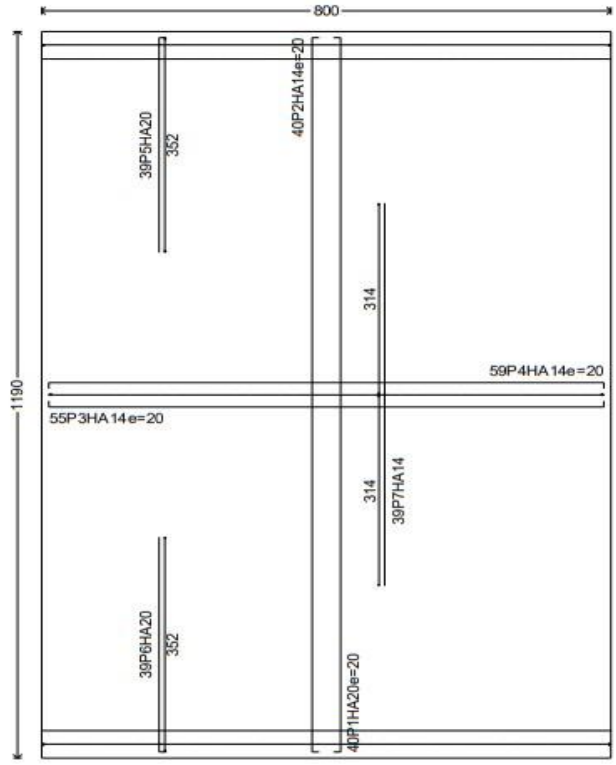



CADRE
Échelle: 1:100

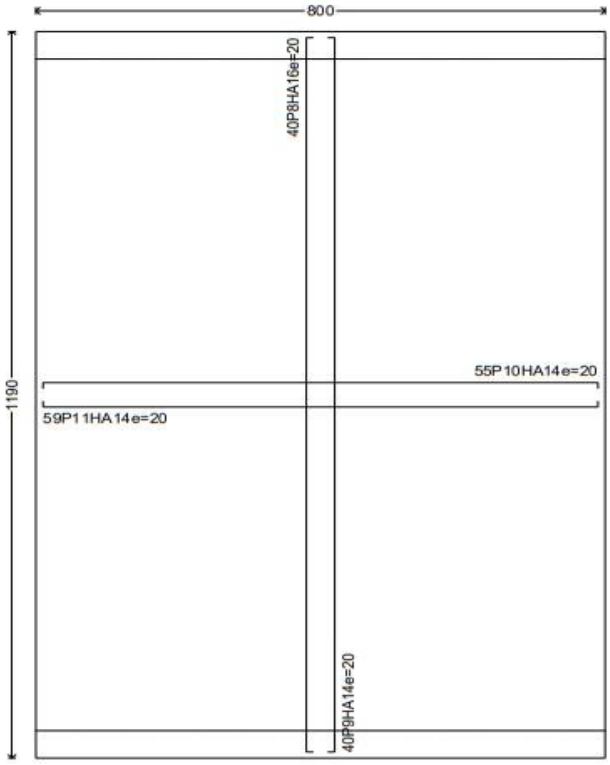
Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite




Module
Tablier

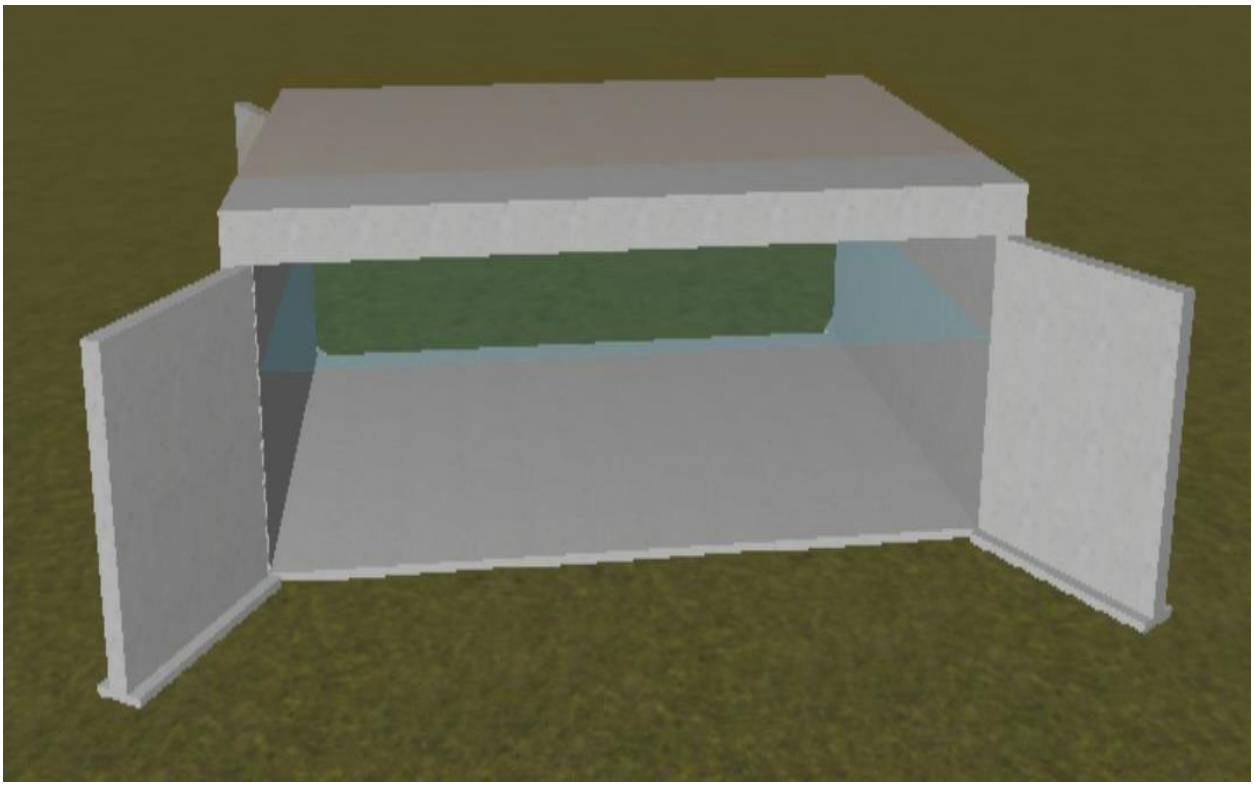



Module
Radier




Vue en 3D

**« Evaluation de la capacité hydraulique des ouvrages de franchissement traversant la rivière Mpimba en mairie de Bujumbura. »**



## Module

| POSITION | Ø mm | NBRE. PIÈCES | LONGUEUR m | FAÇONNAGE L=cm | LONGUEUR TOTAL m | POIDS kg/m | POIDS kgf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20 | 40 | 12.22 | 24 1174 24 | 488.73 | 2.47 | 1205.29 |
| 2 | 14 | 40 | 12.39 | 32 1174 32 | 495.64 | 1.21 | 598.95 |
| 3 | 14 | 55 | 9.15 | 28 28 34 792 34 | 503.28 | 1.21 | 608.18 |
| 4 | 14 | 59 | 9.15 | 26 26 36 792 36 | 539.88 | 1.21 | 652.41 |
| 5 | 20 | 39 | 4.11 | 59 352 | 160.35 | 2.47 | 395.44 |
| 6 | 20 | 39 | 4.11 | 59 352 | 160.35 | 2.47 | 395.44 |
| 7 | 14 | 39 | 6.27 | 627 | 244.64 | 1.21 | 295.63 |
| 8 | 16 | 40 | 12.09 | 18 1174 18 | 483.76 | 1.58 | 763.53 |
| 9 | 14 | 40 | 12.39 | 32 1174 32 | 495.64 | 1.21 | 598.95 |
| 10 | 14 | 55 | 9.23 | 50 15 15 792 50 | 507.54 | 1.21 | 613.33 |
| 11 | 14 | 59 | 9.27 | 52 15 15 792 52 | 546.81 | 1.21 | 660.78 |
| 12 | 20 | 53 | 3.98 | 55 343 | 210.96 | 2.47 | 520.26 |
| 13 | 20 | 53 | 1.54 | 43 111 | 81.60 | 2.47 | 201.23 |
| 14 | 14 | 40 | 3.59 | 15 343 | 143.40 | 1.21 | 173.29 |
| 15 | 14 | 40 | 1.10 | 15 95 | 44.17 | 1.21 | 53.38 |
| 16 | 16 | 20 | 9.32 | 32 39 39 791 32 | 186.50 | 1.58 | 294.35 |
| 17 | 14 | 15 | 9.15 | 30 32 32 792 30 | 137.26 | 1.21 | 165.87 |
| 18 | 14 | 52 | 2.32 | 28 204 | 120.67 | 1.21 | 145.83 |
| 19 | 20 | 53 | 3.98 | 55 343 | 210.96 | 2.47 | 520.26 |
| 20 | 20 | 53 | 1.54 | 43 111 | 81.60 | 2.47 | 201.23 |
| 21 | 14 | 40 | 3.59 | 15 343 | 143.40 | 1.21 | 173.29 |
| 22 | 14 | 40 | 1.10 | 15 95 | 44.17 | 1.21 | 53.38 |
| 23 | 16 | 20 | 9.32 | 32 39 39 791 32 | 186.50 | 1.58 | 294.35 |
| 24 | 14 | 15 | 9.15 | 30 32 32 792 30 | 137.26 | 1.21 | 165.87 |
| 25 | 14 | 52 | 2.32 | 28 204 | 120.67 | 1.21 | 145.83 |
| | | | | HA14 | 4224.43 | 1.21 | 5104.97 |
| | | | | HA16 | 856.76 | 1.58 | 1352.23 |
| | | | | HA20 | 1394.55 | 2.47 | 3439.15 |
| Fe E500 | | | | | Poids total | | 9896.35 |
| | | | | | Poids total avec chutes (10.00%) | | 10885.99 |

CADRE 11M
Échelle: 1:100

## Mur en aile d'entrée gauche, Mur en aile d'entrée droite, Mur en aile de sortie gauche et Mur en aile de sortie droite

| POSITION | Ø mm | NBRE. PIÈCES | LONGUEUR m | FAÇONNAGE L=cm | LONGUEUR TOTAL m | POIDS kg/m | POIDS kgf |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 60 (4x15) | 3.32 | 20 292 20 | 199.08 | 0.89 | 176.75 |
| 2 | 12 | 60 (4x15) | 3.32 | 20 292 20 | 199.08 | 0.89 | 176.75 |
| 3 | 12 | 16 (4x4) | 3.18 | 13 292 13 | 50.91 | 0.89 | 45.20 |
| 4 | 12 | 16 (4x4) | 3.18 | 13 292 13 | 50.91 | 0.89 | 45.20 |
| 5 | 12 | 64 (4x16) | 3.14 | 17 297 | 200.90 | 0.89 | 178.36 |
| 6 | 12 | 64 (4x16) | 1.14 | 20 94 | 72.64 | 0.89 | 64.49 |
| 7 | 12 | 64 (4x16) | 3.14 | 17 297 | 200.90 | 0.89 | 178.36 |
| 8 | 12 | 64 (4x16) | 0.94 | 20 74 | 59.84 | 0.89 | 53.13 |
| 9 | 12 | 64 (4x16) | 0.90 | 14 62 14 | 57.47 | 0.89 | 51.03 |
| 10 | 12 | 64 (4x16) | 0.90 | 14 62 14 | 57.47 | 0.89 | 51.03 |
| | | | | HA12 | 1149.20 | 0.89 | 1020.30 |
| Fe E500 | | | | | Poids total | | 1020.30 |
| | | | | | Poids total avec chutes (10.00%) | | 1122.33 |

**Annexe 9 :** Données pluviométriques à la station Buhonga (1971-2001)

| Année | Nbre de JP | P365 | P30 min | P30max | P30 | P24 max | Date de P24 max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mm | mm | mm | mm | mm | |
| 1971 | 168 | 1411,3 | 11,6 | 253,9 | 117,61 | 66,8 | 05/05/1971 |
| 1972 | 152 | 1543,1 | 0 | 277,4 | 128,59 | 53,3 | 27/08/1972 |
| 1973 | 136 | 1246,9 | 0 | 181,7 | 103,91 | 50 | 28/02/1973 |
| 1974 | 140 | 1355 | 18,8 | 223,4 | 112,92 | 45,1 | 07/04/1974 |
| 1975 | 129 | 1417,4 | 0 | 182,7 | 118,12 | 54,9 | 29/01/1975 |
| 1976 | 144 | 1365,5 | 10 | 215,1 | 113,79 | 46,2 | 02/04/1976 |
| 1977 | 154 | 1569,7 | 2,3 | 236,3 | 130,81 | 51,4 | 30/01/1977 |
| 1978 | 141 | 1378,1 | 1,4 | 319,8 | 114,84 | 65,7 | 08/03/1978 |
| 1979 | 127 | 1225,6 | 0 | 223,3 | 102,13 | 50,3 | 31/01/1979 |
| 1980 | 139 | 1254,7 | 2,2 | 194,1 | 104,56 | 83,6 | 04/12/1980 |
| 1981 | 152 | 1356,8 | 6,8 | 202 | 113,07 | 35,6 | 16/01/1981 |
| 1982 | 140 | 1343,6 | 0 | 184,2 | 111,97 | 54,5 | 31/03/1982 |
| 1983 | 147 | 1478,6 | 0 | 232,3 | 123,22 | 50,2 | 30/03/1983 |
| 1984 | 121 | 1257,2 | 0 | 192,2 | 104,77 | 45,7 | 12/12/1984 |
| 1985 | 142 | 1410,8 | 0 | 272,7 | 117,57 | 35,5 | 20/03/1985 |
| 1986 | 153 | | 0 | 262,5 | 124,09 | 42 | 12/10/1986 |
| 1987 | 147 | 1411,2 | 0 | 230,4 | 117,60 | 52,4 | 24/03/1987 |
| 1988 | 167 | 1543,1 | 0 | 277,4 | 128,59 | 52,8 | 03/10/1988 |
| 1989 | 141 | 1359 | 8,9 | 204,9 | 113,25 | 36,4 | 17/12/1989 |
| 1990 | 126 | 1269,5 | 0 | 239,8 | 105,79 | 44,5 | 14/03/1990 |
| 1991 | 149 | 1384,1 | 8,9 | 211,7 | 115,34 | 80,7 | 29/05/1991 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1992 | 124 | 1077,5 | 0 | 162,9 | 89,79 | 39,2 | 17/03/1992 |
| 1993 | 117 | | 0 | 215 | 118,60 | 47,8 | 11/01/1994 |
| 1994 | 130 | | 3 | 262 | 130,47 | 39,7 | 13/03/1995 |
| 1995 | 128 | 1289,9 | 0 | 229,5 | 107,49 | 34,4 | 11/02/1996 |
| 1996 | 121 | 1266,9 | 0 | 266,4 | 105,58 | 34 | 23/02/1997 |
| 1997 | 163 | 1674,5 | 0 | 337,4 | 139,54 | 31,6 | 22/11/1997 |
| 1998 | 152 | 1529,2 | 3,2 | 318,1 | 127,43 | 55,6 | 09/05/1998 |
| 1999 | 76 | | 0 | 188 | 73,94 | 42,2 | 04/03/1999 |
| 2000 | 95 | 1183,1 | 0 | 331,7 | 98,59 | 60,8 | 28/03/2000 |
| 2001 | 120 | 1468,7 | 0 | 310,7 | 122,39 | 52,7 | 17/1/2001 |