UNIVERSITÉ DU BURUNDI

GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI

Dépôt institutionnel officiel

https://repository.ub.edu.bi

Contribution à la gestion intégrée du réseau d’ irrigation du périmètreagricole dominépar la rivière Mpandaen République du Burundi

Ndayisenga, Dismas

2020-10

UB, FSI

https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/180

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET ENVIRONNEMENTAL

Contribution à la gestion intégrée du réseau d'irrigation du périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda en République du Burundi

par

NDAYISENGA Dismas

Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master en sciences de l'Ingénieur, option « Génie Civil, Aménagement et Maitrise des Projets »

Soutenu le 07 /10 /2020, devant le jury composé de :

Dr.Ir Henri NIYONGABO : Président

Dr.Ir NZEYIMANA Joseph : Lecteur principal

Dr.Ir Nestor NIYONZIMA : Directeur

Dr.Ir Jean Claude MVUYEKURE : Co-Directeur

Année académique : 2018-2019

Identification des membres du jury

Dr.Ir Henri NIYONGABO : Président

Dr.Ir NZEYIMANA Joseph : Lecteur principal

Dr.Ir Nestor NIYONZIMA : Directeur

Dr.Ir Jean Claude MVUYEKURE : Co-Directeur

Dédicaces

A Dieu tout puissant,

A mes Chers Parents,

A mes Chers frères et sœurs,

A mes collègues étudiants

Remerciements

Ma reconnaissance la plus profonde et ma gratitude la plus sincère à mon Dieu, Eternel et Tout Puissant qui a illuminé mes chemins et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Je tiens aussi à présenter mes plus vifs remerciements à mon directeur de mémoire Dr.Ir Nestor NIYONZIMA et codirecteur Dr.Ir Jean Claude MVUYEKURE, tous enseignants à l'université du Burundi pour m'avoir encadré tout au long de la réalisation de ce mémoire et pour leurs directives, leurs recommandations, leurs conseils et leurs disponibilités. Leurs qualités scientifiques et humains ont été une source d'enrichissement et ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi à ceux qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury de mon mémoire : Dr.Ir Henri NIYONGABO et Dr.Ir NZEYIMANA Joseph , tous enseignants à l'université du Burundi. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

J'adresse ma gratitude aux enseignants qui ont contribués à ma formation, ainsi qu'à mes collègues et aux personnels de la SRDI.

Un remerciement particulier à toute ma famille : Mon père BANZIRA Marc, ma mère NANKWAHAFI Capitoline, mes frères et sœurs. Je tiens à remercier la famille BARINZIGO Emmanuel pour son soutien et pour l'amour qu'elle a manifesté envers moi au cours de mes études. Je remercie également toute personne qui m'a soutenu ou encouragé tout au long de mon parcours.

Résumé

La gestion de l'eau d'irrigation est un sujet d'actualité partout dans le monde suite à l'accroissement de la demande en eau ainsi qu'au changement climatique.

L'insécurité alimentaire dans beaucoup de pays en général et au Burundi en particulier pousse les états à chercher des méthodes pouvant augmenter la productivité agricole. L'une des solutions essentielles est le recours à l'irrigation.

Le périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda dans la commune de Mpanda province Bubanza en République du Burundi souffre d'un problème de manque d'eau pour irrigation qui fait qu'il ait des conflits sociaux qui causent même des morts. La cause principale est l'augmentation des usagers d'eau, augmentation de la surface cultivable et la pratique croissante de la riziculture.

L'optimisation du calcul des besoins en eau d'irrigation par comparaison des différentes méthodes a montré que la méthode classique surestime les besoins et les pertes en eau sont énormes.

Le périmètre agricole est principalement à vocation rizicole ce qui fait que la méthode d'irrigation par submersion est inévitable. Après calcul, il a été recommandé de prévoir un barrage réservoir de 10 000 000m³ pour accumuler les eaux abondantes pendant la saison pluvieuse afin de l'utiliser dans les périodes de déficit hydrique et surtout pendant la saison sèche et en cultivant toute l'année. En diminuant la riziculture dans la zone, la pratique de la polyculture diminuera les besoins en eau d'irrigation par l'application de la méthode d'irrigation par aspersion ou localisé.

Abstract

The management of irrigation water is a hot topic all over the world due to increasing water demand as well as climate change.

Food insecurity in many countries in general and in Burundi in particular is pushing states to seek methods that can increase agricultural productivity. One of the essential solutions is the use of irrigation.

The agricultural perimeter dominated by the Mpanda river in the commune of Mpanda province Bubanza in the Republic of Burundi suffers from a problem of lack of water for irrigation which causes it to have social conflicts which even cause deaths. The main cause is the increase in water users, increase in surface area cultivable and the growing practice of rice cultivation.

Optimizing the calculation of irrigation water requirements by comparing the different methods has shown that the classical method overestimates the requirements and the water losses are enormous.

The agricultural perimeter is mainly rice-growing, which makes the flood irrigation method inevitable. After calculation, it was recommended to provide a reservoir dam of 10,000,000m³ to accumulate abundant water during the rainy season in order to use it in periods of water deficit and especially during the dry season and while cultivating all year round. By reducing rice cultivation in the area, the practice of polyculture will reduce irrigation water requirements by applying the sprinkler or spot irrigation method.

Table des matières

Identification des membres du jury i
Dédicaces ii
Remerciements iii
Résumé iv
Abstract v
Table des matières vi
Listes des abréviations ix
Listes des tableaux x
Listes des figures xii
Avant-propos xiv
INTRODUCTION GENERALE 1
Introduction : contexte et justification 1
Objectifs 2
Objectif global 2
Objectifs spécifiques 2
Problématique 2
Méthodologie 2
CHAPITRE.I REVUE DE LA LITTERATURE 5
I.1. Evolution de l'irrigation 5
I.1.1. L'irrigation : activité importante pour l'homme 5
I.1.2. Evolution de l'irrigation 6
I.1.3. Evolution des technique d'irrigation 7
I.2. Les causes des pertes en eau et les différentes méthodes d'irrigation 7
I.2.1. Les causes possibles des pertes des eaux d'irrigation 7
I.2.2. Les différentes méthodes d'irrigation 8
I.3. Bilan hydrique 12
I.3.1. Evaluation des besoins en eau 12

I.3.2. Les besoins en eau d'irrigation 18
I.4. Irrigation au Burundi 21
I.5. Gestion des eaux et défis de l'irrigation au Burundi 23
I.5.1. Gestion des eaux 23
I.5.2. Défis de l'irrigation au Burundi 24
CHAPITRE.II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : ETAT DES LIEUX ET PERSPECTIFS…. 25
II.1. Géographie physique du milieu 25
II.1.1. Localisation 25
II.1.2. Climat 28
II.1.3. Hydrographie 28
II.1.4. Pédologie 29
II.2. Les usagers de la rivière Mpanda 30
II.2.1. Centrale hydroélectrique de Mpanda 30
II.2.2. Agriculture 31
II.2.3. Autres usagers 34
II.3. Les problèmes de la zone 34
CHAPITRE.III : ANALYSE DES DONNEES CLIMATIQUES ET BILAN HYDRIQUE DU PERIMETRE DOMINE PAR LA RIVIERE MPANDA 36
III.1. Etude climatique 36
III.1.1. Introduction 36
III.1.2. La pluviométrie 37
III.1.3. Les températures 40
III.1.4. Humidité relative de l'air 42
III.2. Etude hydrologique 44
III.2.1. Introduction 44
III.2.2. Description du bassin versant 44
III.3. Bilan hydrique de la rivière Mpanda 49
III.3.1. Evaluation comparative des méthodes de calcul des besoins en eau d'irrigation 49
CHAPITRE.IV CONSTRUCTION DU MODELE DE GESTION DE L'EAU DE LA RIVIERE MPANDA……. 76
IV.1. Introduction 76

IV.2. Détermination des dimensions du barrage 77
IV.2.1. Calcul de l'apport solide en suspension 79
IV.2.2. Détermination du volume utile 80
IV.2.3. Estimation du débit des crues de la rivière Mpanda à Gatura 80
CHAPITRE.V ANALYSE DES RESULTATS, CONCLUSION ET RECOMMANDATION 95
V.1. ANALYSE DES RESULTATS 95
V.2. Conclusion et recommandation 95
V.3. BIBIOGRAPHIE 97
V.4. ANNEXES 99

Listes des abréviations

FAO: Food and agriculture organization

IGEBU : institut géographique du Burundi

MINAGRIE : Ministère d'agriculture et de l'élevage

MNT : modèle numérique de terrain

NAPAD : Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique

PAIOSA : programme d'appuis institutionnel et opérationnel au secteur agricole

PIB : produit intérieur brut

PNSADR-IM : programme national pour la sécurité alimentaire et le développement rural de l'Imbo et du Moso

PNUD : programme des nations unies pour le développement

RN5 : route nationale numéro cinq

SRDI : société régionale du développement de l'Imbo

USAID: united states agency for international development

Listes des tableaux

tableau II-1:débit des rivières traversant la plaine de l'Imbo(NEPAD&PDDAA,2006,p1)..... 28
Tableau II-2 :la superficie du périmètre de Mugerero qui était concerné par l'irrigation au début de l'aménagement 32
Tableau II-3 :superficie de Mugerero en exploitation en 2018 33
Tableau II-4 : superficie total du périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda 33
Tableau III-1 :station avec période des données collectées et leurs caractéristiques 36
Tableau III-2 :pluviométrie mensuelle de la station de L'Imbo sems 38
Tableau III-3 :pluviométrie mensuelle de la station de Buja-aéroport 38
Tableau III-4 :la pluviométrie du bassin versant de Mpanda à Gatura 40
Tableau III-5 :variation de la température aux station de l'Imbo sems et de Buja-aéroport 41
Tableau III-6 : la variation de l'humidité de l'air des stations de l'Imbo sems et Buja aéroport 43
Tableau III-7 :les caractéristique du bassin versant de Mpanda à Gatura 49
Tableau III-8 : les précipitations, températures et l'humidité relative de l'air dans la station de l'Imbo sems 50
Tableau III-9 : les précipitations, températures et l'humidité relative de l'air dans la station de Buja Aéroport 51
Tableau III-10 :besoin en eau d'irrigation avec la méthode numérique pour une année avec deux et trois saisons en fonction de l'année humide, moyenne et sèche 53
Tableau III-11 :les besoins en eau d'irrigation par la méthode Aquacrop pour une année avec deux et trois saisons en fonction de l'année humide, moyenne et sèche 56
Tableau III-12 :comparaison des résultats trouvés avec la méthode classique(utilisant la formule d'Ivanov) et Aquacrop..... 56
Tableau III-13: débit de la rivière Mpanda à Gatura 58
tableau III-14 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures riz-riz..... 59
Tableau III-15 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures(riz-riz-polycultures) 62
Tableau III-16 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz)..... 64
Tableau III-17 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture) 66

Tableau III-18 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz) 68
Tableau III-19 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture) 70
Tableau III-20 :les besoins en eau d'irrigation en année humide pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture. 72
Tableau III-21 : les besoins en eau d'irrigation en année moyenne pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture 73
Tableau III-22 : les besoins en eau d'irrigation en année moyenne pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture 74
Tableau IV-1 :les apports de la rivière Mpanda 79
Tableau IV-2 :Temps de concentration du bassin versant de Mpanda à Gatura 81
Tableau IV-3 :pluie de projet la méthode de Log-Pearson III 83
Tableau IV-4 :calcul de la variable réduite 84
Tableau IV-5 :pluie de projet avec la méthode de Gumbel 85
Tableau IV-6 :pluie de projet par la méthode des moments 86
Tableau IV-7 : pluie de projet en fonction du période retour 86
Tableau IV-8 : intensité des pluies en fonction des périodes 87
Tableau IV-9 :calcul de la variable u(x) 88
Tableau IV-10 : débit de projet par la méthode de Gumbel 88
Tableau IV-11 :calcul de la variable Z de Log –Pearson III 89
Tableau IV-12 :débit de projet la méthode de Log-Pearson III 89
Tableau IV-13 : Différents coefficients de ruissellement 91
Tableau IV-14 :tableau récapitulatif des caractéristiques du barrage 93
Tableau V-1 :la variation de la température de 1989 à 2018 à la stion de Buja aéroport 99
Tableau V-2 :la pluviométrie à la station de Buja aéroport (1989-2019) 101
Tableau V-3 :l'humidité à la station de Buja aéroport (1989-2019) 104
Tableau V-4 :variation de la température à la station de l'Imbo sems (1989-2019) 106
Tableau V-5 :pluviométrie à la station de l'Imbo sems (1990-2019) 108
Tableau V-6 :variation de l'humidité à la station de l'Imbo sems (1997-2019) 110
Tableau V-7 : coefficients culturaux des différentes cultures 111

Tableau V-8 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture dans une année humide 113
Tableau V-9 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture avec polyculture dans une année humide 117
Tableau V-10 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture dans une année moyenne 122
Tableau V-11 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture avec polyculture dans une année moyenne 126
Tableau V-12 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture dans une année sèche 131
Tableau V-13 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture avec polyculture dans une année sèche 135

Listes des figures

Figure 0-1 :schéma de la méthodologie du travail 4
Figure II-1 : carte de la zone des périmètres agricoles dominés par la rivière Mpanda 27
Figure III-1:pluviosité dans les stations de l'Imbo sems et Buja aéroport 39
Figure III-2 : diagramme de variation mensuelle des températures à la station Imbo- Sems (1989-2019) et Buja aéroport (1989-2018) 42
Figure III-3Variation mensuelle de l'humidité relative de l'air à la station d'Imbo Sems et Buja Aéroport 43
Figure III-4:carte topographique du bassin versant de Mpanda à Gatura 45
Figure III-5:carte des pentes du bassin versant de Mpanda à Gatura 46
Figure III-6:carte hypsométrique du bassin versant de Mpanda à Gatura 47
Figure III-7 : courbe hypsométrique du bassin versant de Mpanda à Gatura 48
Figure III-8:menu principale du logiciel Aquacrop 54
Figure III-9: menu des résultats de simulation 55
Figure III-10 : menu du bilan hydrique du sol 55
Figure III-11 : comparaison des résultats trouvés par la méthode classique et Aquacrop par année et par la saison des cultures 57
Figure III-12 :Bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures (riz-riz) 61

Figure III-13 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures(riz-riz-polycultures) 63
Figure III-14 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz) 65
Figure III-15 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture) 67
Figure III-16 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz) 69
Figure III-17 : : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture) 71
Figure III-18 : les besoins en eau d'irrigation en année humide pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture 73
Figure IV-1 : courbe de Gumbel 85
Figure IV-2 coupe du barrage en béton en armé 94
Figure V-1:l'espace qui peut être inondé par la retenu 140
Figure V-2:profil en travers à l'endroit du barrage 141

Avant-propos

Ce mémoire rentre dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Sciences de l'ingénieur option de Génie Civil, aménagement et maîtrise des projets. Il traitera les problèmes liés à l'utilisation de l'eau d'irrigation dans le périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda.

En effet, le problème de manque d'eau est devenu une question très sérieuse dans le périmètre de Mugerero et Rukaramu. Dans ces derniers jours, on a enregistré des morts de façon qu'on a même mis une position des militaires.

Cette étude va traiter les origines de ce manque d'eau d'irrigation de ce périmètre agricole. Elle commencera par le calcul des besoins et en fait trouver une solution adéquate pour remédier à ce problème. Le but principal est de contribuer à la gestion intégrée du réseau d'irrigation du périmètre agricole domine par la rivière Mpanda.

Des difficultés n'ont pas manqué. Elles concernent particulièrement la disponibilité de données de jaugeages suffisantes sur une période voulue et des données manquantes suites à la guerre civil qu'a connu le Burundi. Elles concernent également la pandémie de covid-19 qui a fait qu'on utilise beaucoup de temps dans la recherche des données.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction : contexte et justification

La plaine de l'Imbo dans la république du Burundi en général est une zone à vocation rizicole. Plus de 90% de la population burundaise vit de l'agriculture de l'élevage d'où l'importance de l'agriculture est très prépondérante. Le périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda est une localité située dans la plaine de l'Imbo, commune Mpanda, province Bubanza ; et qui souffre de manque d'eau pour agriculture.

En effet, l'augmentation de la population et ainsi que le changement climatique font que les deux périmètres principaux c à d celui de Mugerero et de Rukaramu qui sont déjà aménagés se retrouvent dans la situation de manque de l'eau alors qu'au moment des aménagements antérieurs, la rivière répondait facilement aux demandes.

C'est ainsi que ce travail de recherche qui est « contribution de la gestion intégrée du réseau d'irrigation du périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda » et proposé pour étudier les principaux problèmes afin de proposer des solutions pour s'en sortir.

Le présent travail est divisé en quatre chapitres.

- Le premier chapitre passe en revue ce que les autres recherches ont déjà faits sur l'irrigation en générale ainsi que les méthodes pratiquées en irrigation ;
- Le deuxième chapitre traite l'état des lieux de la zone du périmètre dominé par cette rivière ;
- Le troisième chapitre fait l'analyse et le traitement des données climatiques ainsi que le bilan hydrique de cette rivière ;
- Le quatrième chapitre donne le modèle de gestion qu'il faut appliquer pour résoudre les problèmes liés au manque d'eau dans ce périmètre qui est dominé par la rivière Mpanda ;
- Et enfin le dernier chapitre (cinquième chapitre) traite des discussions et les conclusions prises ainsi que quelques recommandations.

Objectifs

Objectif global

L'objectif principal du présent travail est de contribuer à la gestion intégrée du réseau d'irrigation du périmètre agricole dominée par la rivière Mpanda en vue de diminuer les conflits liés à l'utilisation d'eau d'irrigation et d'augmenter la production agricole en cultivant toute l'année.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce travail de recherche sont de :

- ✓ Optimiser les calculs des besoins en eau ;
- ✓ Proposer la méthode d'irrigation optimale dans la région ;
- ✓ Proposer un modèle de gestion pour éradiquer le problème de manque d'eau d'irrigation dans la région.

Problématique

Depuis longtemps, l'homme cherchait comment bien vivre sur terre mais ses actions, l'augmentation de la population ainsi que le changement climatique rendent les choses compliquées.

Suite à ces derniers, l'homme se retrouve dans la baisse de ses ressources ce qui crée des problèmes dans l'exploitation de ces ressources.

Dans le présent travail, la problématique majeure est le manque d'eau d'irrigation dans le périmètre dominé par la rivière Mpanda, diminuant ainsi la production agricole et augmentant les conflits sociaux.

Méthodologie

La méthodologie de la recherche est la suivante :

- ❖ Le bassin versant et ses sous-bassins ont été délimités en utilisant :
  - Les ortho photos les plus récentes,
  - Le modèle numérique du terrain (MNT) et
  - Le logiciel ARCGIS, version 10.5
- ❖ Le calcul des besoins en eau avec la méthode classique (utilisant la formule d'Ivanov) et logiciel Aquacrop

- Les calculs hydrologiques intégrant tous les principaux paramètres en rapport avec les bassins versants (superficie, forme, pentes, occupation et nature du sol, …) et le régime pluviométrique (Hauteurs maxima, intensité d'averses, …).
- Les calculs hydrauliques tenant compte de la morphologie du lit, des données géotechniques et du phénomène de transport solide.
- Choix de la méthode optimale de la région par comparaison des différentes méthodes d'irrigation.

En résumé, la méthode à suivre peut-être synthétisée à l'aide de l'organigramme de la figure suivant

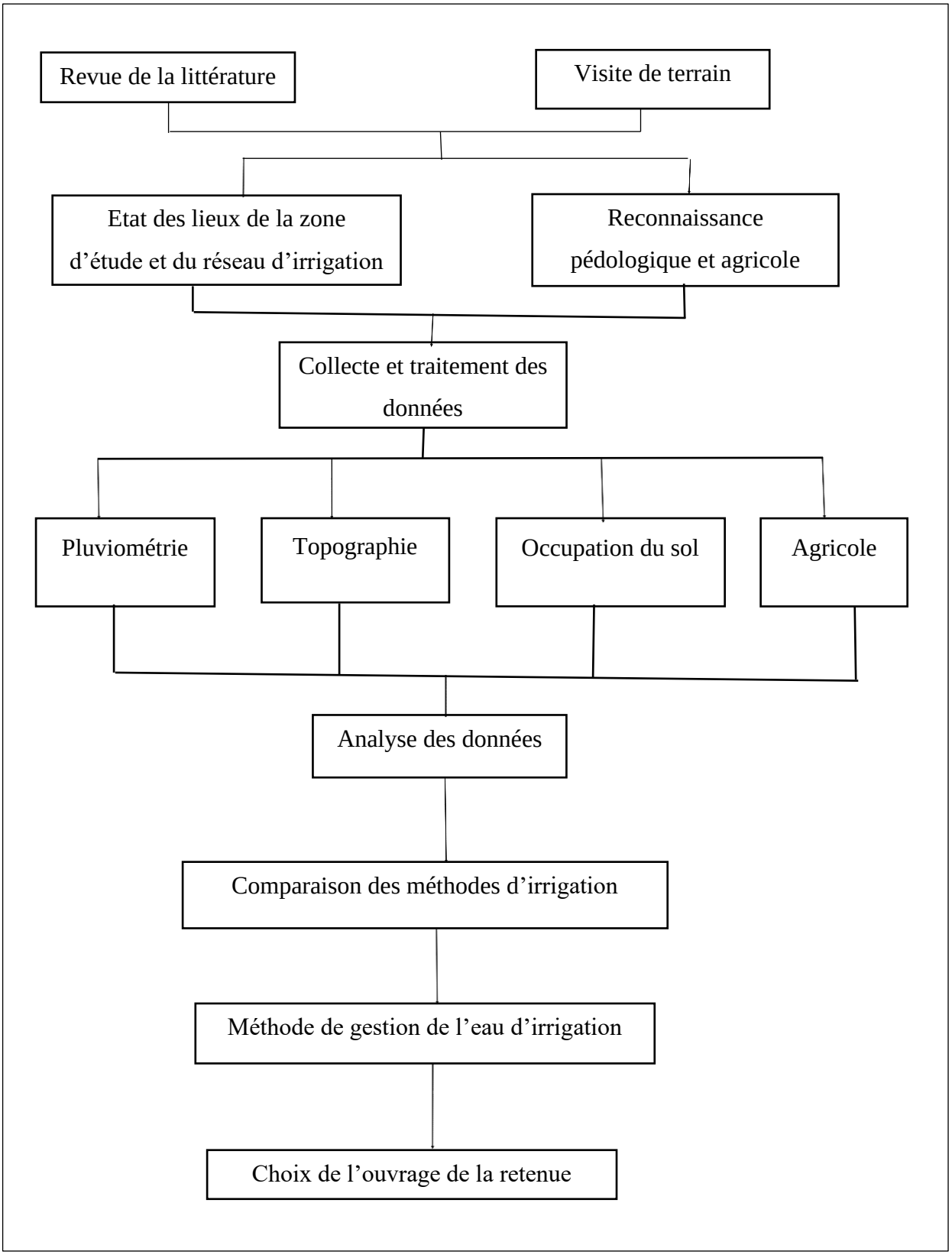


Figure 0-1 :schéma de la méthodologie du travail

CHAPITRE.I REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. Evolution de l'irrigation

I.1.1. L'irrigation : activité importante pour l'homme

L'irrigation est l'opération consistant à donner d'une façon artificielle de l'eau à des végétaux cultivés dans le but d'augmenter la production et permettre leur développement normal, en cas de déficit hydrique. Cette opération est réalisée par des réseaux d'irrigation

Ces derniers, ce sont des ensembles formés par les organes, ouvrages et les appareils qui assurent le transport, la répartition et la distribution des eaux à chaque exploitation agricole ainsi que l'exploitation des eaux excédentaire. Le dimensionnement des réseaux d'irrigation se calcule en se basant sur les caractéristiques du bassin versant.

Le bassin versant en une section transversale d'un cours d'eau peut être défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de la section. Tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée(exutoire) pour poursuivre leur trajet vers l'aval. Un bassin versant est séparé de ceux qui l'environnent par une ligne de partage des eaux.

Le but exact de l'irrigation varie avec les conditions climatiques, culturales, démographiques des régions dans lesquelles elle est pratiquée.

Pour les pays où les précipitations annuelles sont en dessous de 200 à 250mm, c'est l'irrigation qui conditionne l'agricultures mais dans les autres pays où l'agriculture est possible sans irrigation, son rôle est de :

- Accroitre le rendement moyen des récoltes et même empêcher leur destruction les années des grandes sécheresses ;
- Permettre la culture d'espèce qui, sans irrigation ne pourraient y être cultiver (riz par exemple) ;
- Permettre de cultiver toute l'année.

Cette irrigation s'appelle **irrigation de complément**. (Ch. Ollier & M. Poirée, 1983, p65)

L'irrigation d'appoint (irrigation de complément) se distingue de l'irrigation pérenne par le fait qu'elle consiste à apporter une petite quantité d'eau aux cultures pour palier à l'insuffisance des

précipitations, dans le but de stabiliser les rendements. Elle ne pourrait à elle seule permettre aux cultures d'arriver à maturité, mais elle complète les précipitations et l'irrigation classique. L'effet de l'irrigation d'appoint est maximal lorsqu'elle est pratiquée à un stade critique du développement de la culture (floraison, maturation, etc.). (Pierre-E, 2003, p6)

I.1.2. Evolution de l'irrigation

Il y a déjà 8000ans que l'irrigation a pris sa naissance dans l'ancien Mésopotamie par les habitants qui se développait autour des fleuves Tigres et Euphrate. Il y avait des canaux régionaux qui servaient tous les champs autour de la ville. L'importance de l'irrigation était toujours énorme, on le remarque dans des déclarations du roi de ces habitants.

Même si l'irrigation a des avantages, il y a aussi des inconvénients par exemple la salinisation des sols. Cela s'explique par la chute de la récolte. En 2400(Av JC), la production était de 2347l/ha et a passé de 1460l/ha en 2100(Av JC). Cette chute a encore continué jusqu'à arriver à 900l/ha en 1700(Av JC). Un autre indicateur de cette salinisation est la production des grains d'orge qui était de 80% en 2400(Av JC) et a passé de 99% en 2050(Av JC). (Peter. W&Muluneh.Y,2016, p1)

Les Egyptiens ont appris l'agriculture intensive sur les Sumériens. En Egypte, l'inondation en Septembre avait une hauteur de 1.5m et restait pendant environ un mois. En Novembre après la sèchement des champs, on cultivait du blé d'hiver pour les récolter en Avril et Mai. Les agriculteurs ont construit des bassins pour bien saturer le sol et permettre l'évacuation des eaux d'inondation. (Peter. W&Muluneh.Y,2016, p3)

La civilisation de la vallée de l'Indus qui comptait environ 5millions de personnes avait des petits villages avec des champs irrigués et cela était en 1800(Av JC). Cette population avait construit de vaste canaux d'irrigation qui les ont permis de cultiver d'orge, du blé et d'autre culture. L'établissement de cette population trouve la cause dans le sèchement de la région suite à une diminution de la mousson. Cette irrigation compte actuellement 16.2million d'hectare irrigué, elle est la plus grande au monde.

Un autre berceau de civilisation et de gestion de l'eau se trouve en chine sur le fleuve jaune . L'ingénieur hydraulique Zheng-Guo avait développé avec succès un réseau de canaux d'irrigation alimenté par un affluent du fleuve Jaune. ce système comptait 80937 ha irrigués à Qin province en l'an 246(AV JC). (Peter. W&Muluneh.Y,2016, p3)

I.1.3. Evolution des technique d'irrigation

Depuis longtemps jusqu'au début du 20è siècle, la seule irrigation qui était utilisée n'était entre autre que les techniques servant l'eau d'une façon gravitaire jusqu'à la parcelle.

L'étude du continuum eau-sol-plante-atmosphère ont permis une bonne étude sur le calcul des besoins de l'eau d'irrigation. Cette étude a aussi facilité la progression dans le dimensionnement des éléments du système d'irrigation ainsi qu'une bonne économie des matériaux.

Avec l'évolution de la technologie qui a favorisé l'apparition des gammes variées de matériel, on a inventé l'irrigation par aspersion dans les années 50. Cette technique d'irrigation a permis d'irriguer dans n'importe quelle altitude.

La question qui avait toujours resté était : quand irriguer ? Quel volume d'eau utiliser ? cette première question a été résolu dès la naissance de la micro irrigation. La micro irrigation fournit une réponse simple en assurant un arrosage aussi fréquent qu'il est possible de le faire et à la limite de façon continue. La micro irrigation est le niveau actuel de l'évolution de l'irrigation qui conviendrait à contrer la menace de pénurie d'eau et de pollution tout en augmentant les rendements agricoles.

Dès 1969, Goldberg et Shmueli (FAO, 1973) ont constaté que les expériences réalisées en Israël ont pu montrer que le goutte à goutte, comparé à l'aspersion et à la raie, permet d'augmenter les rendements de 30% avec les mêmes volumes d'eau d'irrigation. Par ailleurs, en appliquant trois méthodes avec une eau titrant 0,54 g/l de sels, la micro-irrigation a provoqué un supplément de récolte de plus 50% alors qu'avec une concentration de 2,5 g/l, la réduction a été de 14% pour le goutte à goutte, 54% pour la raie et 94% pour l'aspersion. (L. Zella & D. Smadhi,2007, p73-75).

I.2. Les causes des pertes en eau et les différentes méthodes d'irrigation

I.2.1. Les causes possibles des pertes des eaux d'irrigation

Amener l'eau jusqu'à la plante n'est pas facile, Il peut y avoir des grandes demandes d'eau. Les causes de ces derniers se situent principalement à deux niveaux :

• les pertes en eau dans les systèmes de transport depuis le point de prélèvement (rivière, retenue d'eau ou nappe d'eau souterraine) jusqu'à l'entrée des parcelles irriguées, les pertes sont particulièrement importantes dans les systèmes de canaux à ciel ouvert, lorsqu'ils sont réalisés en

terre non revêtue, ou mal entretenus ; cela montre combien c'est très important de faire le transport avec une rigueur.

• une valeur de l'efficience à la parcelle, qui est le rapport entre la quantité d'eau effectivement consommée par les cultures, et la quantité d'eau amenée en tête de parcelles (Fao & snea ,2003, p17). L'efficience joue un rôle important dans le bon fonctionnement hydraulique d'un réseau d'irrigation, mais d'autres éléments entrent en ligne de compte, tels que l'adéquation de la desserte en eau par rapport aux demandes des agriculteurs.

I.2.2. Les différentes méthodes d'irrigation

Pour apporter de l'eau aux plantes, il existe des méthodes adaptées à cette fonction comme l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée ou la micro-irrigation.

I.2.2.1. Irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à apporter de l'eau aux plante d'une façon gravitaire à l'air libre.

I.2.2.1.1. Irrigation par ruissellement (irrigation par déversement)

Cette méthode consiste à faire couler l'eau sur le sol en pente une mince couche d'eau ; on la laisse couler durant tout le temps nécessaire pour que le sol s'humecte jusqu'à la profondeur voulu(https://irrigazette.com/fr/articles/les-techniques-dirrigation-agricole)

Pour y arriver, on fait la subdivision en rectangle du terrain dans le sens du sens de la plus grande pente. Cette méthode convient aux pentes inférieures à 5%(Terchi S.2014).

Cette méthode s'applique à l'arrosage des prairies.

Pour cette méthode d'irrigation par ruissellement, il existe des méthodes naturelles et artificielles. (Ch. Ollier & M. Poirée, 1983, p339)

- Méthodes naturelles :
  - Planches et calants ;
  - Rigoles de niveau ;
  - Rases.
- Méthodes artificielles :
  - Ados ;
  - Plans inclinés.

I.2.2.1.2. Irrigation par submersion

Le système d'arrosage par submersion ou inondation consiste à recouvrir le sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse, on l'y laisse séjourner pendant le temps nécessaire pour qu'elle s'infiltre à la profondeur utile permettant au sol de réserver l'eau indispensable au développement des cultures qui y seront ensuite pratiquées.

La différence entre cette méthode est la précédente est que pour le ruissellement, l'eau court sur la surface du sol pendant toute la durée de l'arrosage avec un débit calculé en rapport avec la perméabilité du sol pour que l'eau amenée puisse être absorbée en totalité au fur du temps sans accumulation. (Ch. Ollier & M. Poirée, 1983, p357)

L'irrigation par submersion est quelque fois pratiquée non seulement pour apporter aux plantes l'eau nécessaire à leur croissance, mais aussi, par exemple dans la culture du riz pour que la jeune plantule, très fragile, soit soutenue et protégée par l'eau. (Ch. Ollier & M. Poirée, 1983, p358)

Il existe 3 systèmes d'irrigation par submersion :

- La submersion naturelle ;
- La submersion artificielle simple ;
- La submersion artificielle avec écoulement continu.

I.2.2.1.3. Irrigation par infiltration

Il est différent des autres méthodes déjà brièvement parlées du fait que l'eau est répartie dans un ensemble dense de rigoles, elle y reste sans jamais déborder et s'infiltre dans le sol d'une façon latérale ou de haut en bas et humidifie ainsi toute la totalité de la masse de terre comprise entre les rigoles. La topographie du terrain reste inchangée.

Les avantages de cette méthode sont les suivantes :

- ✓ Frais réduit d'aménagement du sol ;
- ✓ Terrain accessible en tous temps pour les travaux, les sillons seuls étant en eau ;
- ✓ Sol sans tassement notable ; pas de formation croûte superficielle, pas de danger d'érosion du sol ;
- ✓ Feuillage des plantes qui n'est pas mouillé, ce qui évite certaines maladies ;

- ✓ Système convenant particulièrement aux plantes que l'on butte ou que l'on cultive à faible écartement.

Parmi les inconvénients de cette méthode, on peut citer :

- ✓ Lenteur de l'arrosage,
- ✓ La gêne causée par les sillons pour les déplacements latéraux ;
- ✓ Les besoins importants en main-d'œuvre et surtout les pertes d'eau très importantes lorsque les sillons ont une longueur importante. (Ch. Ollier & M. Poirée, 1983, p373).

Ce système d'irrigation par infiltration se dive en deux groupes principaux :

- Irrigation superficielle par rigoles ouverte dans la couche arable du sol ;
- Infiltration profonde dans le sous-sol.

I.2.2.2. Irrigation par aspersion

L'eau est transportée dans des réseaux de conduites sous pression puis délivrée au niveau de la parcelle par des bornes qui régulent la pression et le débit. L'eau est ensuite dirigée dans d'autres conduites qui alimentent sous pression des asperseurs qui répandent l'eau sous forme de pluie (Nadia S,2012, p9)

La méthode d'irrigation par aspersion se divise en branches suivants :

- Irrigation par des rampes fixes :
  - Par rampes fixes permanentes ;
  - Par des rampes fixes semi-permanentes ;
  - Par des rampes fixes portatives.
- Irrigation par des rampes mobiles :
  - Par des rampes pivotantes (pivots) ;
  - Par des rampes frontales ;
  - Par des rampes avec roues ;
  - Par des enrouleurs.

Cette méthode présente beaucoup d'Avantages :

- Elle ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface à irriguer ;
- Elle peut être employée quelle que soit la nature du sol arrosé, même s'ils sont très perméables ;
- Elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie ;

- Elle réalise une importante économie d'eau par comparaison avec les autres méthodes déjà parlées ;
- Elle met à la disposition des exploitants des conditions d'arrosage très souples.

Parmi les inconvénients de cette méthode, nous pouvons citer :

- Une dépense importante de premiers établissement (les frais de matériel) et une nombreuse main d'œuvre d'exploitation ;
- Une évaporation qui est autant plus intense que les gouttelettes sont plus fines et l'air plus sec ;
- Un développement des mauvaises herbes ;
- Le tassement du sol. (Ch. Ollier & M. Poirée, 1983, p390).

I.2.2.3. Irrigation localisée ou micro-irrigation

Cette méthode d'irrigation regroupe toutes les systèmes d'irrigation nouvelles caractérisées par :

- Une alimentation en eau à proximité immédiate du système radiculaire des plantes cultivées ;
- L'utilisation souvent répétée et, à la limite, continue de faible débits instantanés ;
- La limite de la surface humectée du sol à ce qui semble strictement nécessaire, à l'exclusion de la portion du sol qui ne porte pas de plantes.

Pour cette méthode, l'irrigation goutte à goutte est principalement prononcée (Ollier C.& Poirée M., 1983, p438).

Les canalisations qui arrosent effectivement (rampes) peuvent le faire par différents systèmes qui dérivent l'eau, soit en localisation linéaire, soit en localisation ponctuelle. (Ollier C.& Poirée M., 1983, p450).

Les avantages de cette méthode sont les suivantes

- Efficience de l'eau ;
- Avantages agronomiques :
  - Humidité du sol au voisinage des racines reste constamment élevée sans empêcher une bonne aération du sol ;
  - La fertilisation des engrais incorporés à l'eau d'arrosage est aisée ;
  - Le peu développement des mauvaises herbes.
- Avantages culturaux :

- Les activités culturales ne sont pas gênées par les arrosages ;
- Elle est compatible avec les cultures faites sous paille ou sous paillage plastique, les rampes se trouvant sous la couverture.

- Avantages économiques :
  - S'il s'agit de cultures à grands espacement, tels les verges, le prix de revient est nettement moins élevé que celui d'autres réseaux fixes, comme l'aspersion, à niveau d'automaticité égal ;
  - Elle se prête en effet à une grande automatisation éliminant une grande partie du main d'œuvre.

Les inconvénients de cette méthode ne sont pas importants et sont essentiellement liés à :

- L'obstruction des goutteurs ;
- Accumulation des sels ;
- Difficulté à déterminer le volume minimal des sols à humidifier.

I.3. Bilan hydrique

I.3.1. Evaluation des besoins en eau

Chez les plantes, comme chez tous les organismes vivants, la vie se traduit par un certain nombre de phénomènes qui contribuent à l'évolution et à leur développement

Parmi les phénomènes fondamentaux de la vie chez les plantes, on se servira de leur respiration, leur transpiration et leur nutrition

Ces phénomènes se résument tous en des échanges entre la plantes et le milieux extérieur (sol et atmosphère).

Pour les échanges aériens, on y trouve :

- La respiration qui est l'absorbation de l'oxygène de l'air et le rejet du gaz carbonique ;
- L'assimilation chlorophyllienne c'est le phénomène inverse de la respiration : sous l'action fondamentale d'une substance verte contenue dans ses organes aériens, la chlorophylle, et de la lumière la plante absorbe le gaz carbonique de l'air et rejette l'oxygène ;

- La transpiration qui est un phénomène où la plante évapore de l'eau par toutes ses parties en contact avec l'atmosphère. Ce phénomène dépend de la chaleur (Ollier C.& Poirée M., 1983, p157).

Pour les échanges avec le sol : la plante ne trouve pas dans l'atmosphère tous les éléments dont elle a besoin pour vivre, c'est dans le sol où elle trouve les minéraux et l'eau qui l'aident à construire ses tissus avec le carbone et l'oxygène.

Ces échanges se font à l'aide des poils des racines qui absorbent ces éléments par osmose (Ollier C.& Poirée M., 1983, p158).

Ainsi, le besoin en eau d'une culture est la quantité d'eau nécessaire à couvrir les pertes en eau par évapotranspiration d'une culture saine, cultivée en grande parcelle, sans contrainte du sol (fertilité et humidité), réalisant son potentiel de production sous les conditions considérées.

I.3.1.1. Evaluation des besoins en eau des plantes cultivées

Pour bien étudier les besoins en eau d'une culture, il nous faut non seulement les données climatiques et pédologiques de la région mais aussi les divers paramètres concernant la plante elle-même. Ainsi, les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture.

Les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol tandis que - les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

A l'aide des différents résultats obtenus, il sera relativement aisé de déterminer par la suite les quantités d'eau d'irrigation nécessaires au bon développement de la plante. (Pierre.E.,2003, p4-8).

I.3.1.2. Calcul de l'évapotranspiration

Le déficit hydrique, qui peut également s'exprimer sous le terme de besoins en eau (B), se définit comme la différence entre l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture considérée et les précipitations efficaces (P_{eff}).

L'évapotranspiration réelle s'obtient en multipliant l'évapotranspiration de référence par le coefficient cultural.

$$ETR = ETo * Kc$$

ETo représente l'évapotranspiration standard définie par Penman (1956) comme étant la quantité d'eau transpirée par unité de temps par une végétation courte et verdoyante, recouvrant

complètement le sol, de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau. Elle se calcule à partir de la formule de Penman-Monteith et des données climatiques de la région.

Kc correspond au coefficient cultural, fonction du type de culture et de son état végétatif.

Les données climatiques (moyennes mensuelles) à fournir pour déterminer l'Evapotranspiration sont reprises ci-dessous :

- Tm : températures moyenne, exprimées en °C

- HR_m : humidités de l'air moyenne, exprimées en %.

- V_m : vitesse du vent moyenne, exprimées en m/s.

- P_a : pression de l'air, exprimée en kPa.

- P : précipitations exprimées en mm

- N : nombre de jours de précipitation par mois

- Insol. : durée d'insolation, exprimée en heure.

- ETo : évapotranspiration de référence calculée par la méthode de Penman-Monteith, exprimée en mm/jour.

Il faut noter que plusieurs formules sont disponibles pour le calcul de l'ETO selon les caractéristiques climatologiques disponibles sur terrain.

- La formule d'Ivanov utilisé dans la méthode classique

$$ETo = 0{,}0018 * (25 + T^2) * (100 - \frac{e}{100e_0})$$

T : température moyenne mensuelle de l'air ;

e_0 et e : tension de vapeur saturante et tension de vapeur de l'air à la température ambiante (mb).

- La formule de Penman :

$$ETo = \frac{0{,}408.\Delta.(R_n - G).d + \gamma \frac{37}{t+273} v(e_w - e)}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_s}{208} v)}$$

ETo : évaporation de référence(mm/h) ;

R_n : rayonnement net ($W.m^2$) ;

G : flux de chaleur du sol ($W.m^2$) ;

d : longueur du pas de temps en k secondes ($d=3.6\ 10^{-3}ks$) ;

t : température moyenne horaire de l'air (°c) ;

Δ : pente de la courbe de la tension de vapeur saturante ($kPa.°C^{-1}$) ;

γ : constante psychrométrique ($kPa.°C^{-1}$) ;

e : tension de vapeur à la température t ((kPa) ;

e_w : tension de vapeur saturante ((kPa) ;

v : vitesse moyenne du vent à 2m ($m.s^{-1}$).

La pluie efficace, P_{eff}, représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. Le choix de la méthode appropriée pour le calcul des précipitations efficaces demande une réflexion sérieuse. Différentes méthodes ont ainsi été développées, chacune prenant en compte le climat de la région où doivent s'effectuer les mesures.

-La première formule propose un pourcentage fixe :

$P_{eff} = A*P_{moy}$ dans laquelle A est une fraction donnée par l'utilisateur. En général, A est compris entre 0,7 et 0,9.

- La deuxième formule a été développée à partir de données provenant de zones arides et semi-arides :

$P_{eff} = 0,6 * P_{moy} - 10$ pour $P_{moy} < 70$ mm/mois

$P_{eff} = 0,8 * P_{moy} - 25$ pour $P_{moy} > 70$ mm/mois

- La troisième formule a été mise au point par le département américain de l'agriculture (USDA):

$P_{eff} = P_{moy} * (1 – 0,2 * P_{moy} / 125)$ pour $P_{moy} < 250$ mm/mois

$P_{eff} = 125 + 0,1 * P_{moy}$ pour $P_{moy} > 250$ mm/mois

La pluie utile est la portion d'eau tombée contribuant à la satisfaction des besoins en eau de la culture. Elle peut être définie par la relation :

$$Pu = Pt - R - D$$

Où

- Pu : précipitation utile ;
- Pt : pluie totale ;
- R : quantité d'eau ruisselée ;
- D : quantité d'eau drainée au-dessous de la zone de sol exploitée par les racines.

Généralement, la pluie utile est calculée comme étant 80% de la pluie totale (0,80) ou bien moyennant la formule suivante :

$$Pu = (1025 \times Pt^{0,824} - 2,93) \times 10^{0,000955 \times ETc}$$

I.3.1.3. Données culturales

Les caractéristiques d'une culture varient d'une espèce à un autre.

Ces données sont essentiellement les suivantes :

- le coefficient cultural, Kc, est utilisé pour calculer l'évapotranspiration réelle de la culture. Il est fonction de la plante et de son état végétatif ;

- le tarissement admissible représente le niveau critique de l'humidité du sol à partir duquel le stress dû au manque d'eau se fait sentir, affectant l'évapotranspiration et la production de la culture. Les valeurs sont exprimées en fraction de l'humidité totale disponible du sol ;

- le coefficient de réponse du rendement, K_y, permet d'estimer les réductions de rendement dues au stress hydrique.

I.3.1.4. Estimation de la réserve en eau utile

La réserve en eau dans le sol s'exprime sous les formules suivantes :

$EU = (\theta_{FC} - \theta_{WP})$

$RU = EU * Z_r = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) * Z_r$

$RFU = RU * f$

- EU est la teneur en eau utile du sol (mm/m). EU est la différence entre le contenu en eau à la capacité au champ (θ_{FC}) et la teneur en eau au point de flétrissement (θ_{WP}).

- Z_r (m), la profondeur d'enracinement maximale, déterminée pour des cultures arrivées à maturité et cultivées sur sol profond.

- RU (mm) est l'eau accessible aux végétaux dans le volume de sol exploité par leurs racines.

- La réserve facilement utilisable (RFU) est la quantité d'eau qu'une plante peut extraire d'un sol sans que sa production ne soit affectée de façon notable. Elle est définie par l'introduction d'un coefficient empirique, f. Ce coefficient représente le risque potentiel de soumettre la plante à un stress hydrique et est fonction de la culture. Il est généralement admis de lui donner une valeur de 2/3.

I.3.1.5. Estimation des doses et fréquences d'irrigation au niveau des parcelles

Lorsque les besoins en eau des cultures tout au long de leur phase de croissance sont connus, il reste à estimer les quantités d'eau d'irrigation à fournir au niveau de la parcelle. Pour ce faire, il est nécessaire d'en connaître les données pédologiques.

Celles-ci permettront de déterminer la capacité de stockage de l'eau dans le sol et par-là même de déterminer la dose d'irrigation à appliquer selon une fréquence définie par l'agriculteur de façon à couvrir les besoins en eau des cultures. Les paramètres nécessaires sont les suivants :

- le type de sol ;

- la teneur en eau utile (EU) ;

- la profondeur d'enracinement (Zr) ;

- la vitesse maximale d'infiltration de l'eau dans le sol (K_{sat}) ;

- le pourcentage de tarissement initial du sol (q initiale).

Les quantités d’eau totales nécessaires pour l’irrigation sont alors déterminés par la relation :

Qtés totale (m^3) = B (m^3/ha) * Surface de la parcelle irriguée (ha)

Dans les périmètres dominés par la rivière Mpanda, l'irrigation d'appoint est primordiale. Elle se distingue de l'irrigation pérenne par le fait qu'elle consiste à apporter une petite quantité d'eau aux cultures pour palier à l'insuffisance des précipitations, dans le but de stabiliser les rendements. Elle ne pourrait à elle seule permettre aux cultures d'arriver à maturité, mais elle complète les

précipitations et l'irrigation classique. L'effet de l'irrigation d'appoint est maximal lorsqu'elle est pratiquée à un stade critique du développement de la culture (floraison, maturation, etc.).

I.3.2. Les besoins en eau d'irrigation

I.3.2.1. Besoins nets (B_{nets}) et besoins bruts (B_{bruts})en eau d'irrigation

La formule de base déterminant les besoins en eau d'irrigation I, est déduite de la méthode du bilan hydrique dont l'expression est comme suit :

$$\sum apports = \sum sorties$$

$$I + Pu = ETc + D \pm \Delta S$$

D'où $I = ETc - Pu + D \pm \Delta S$

Avec :

Pu : précipitation utile

I : Irrigation

D : drainage

ETc : évapotranspiration potentielle d'une culture

ΔS : stock d'eau dans la partie racinaire

Si l'eau d'irrigation est de bonne qualité D = 0 et si les irrigations sont régulières $\Delta S = 0$ Dans ce cas:

$$I = ETc - Pu$$

D'où $I = Kc \times ETo - Pu$

$$B_{nets} = Kc \times ETo - Pu$$

Pour calculer les besoins bruts en eau d'irrigation, il faut tenir compte de l'efficience globale (EG) d'irrigation (réseau et parcelle)

$B_{bruts} = \dfrac{Kc \times ETo - Pu}{EG}$; avec

$$EG = Ep \times Er$$

Où

- EG : efficience globale
- Ep : efficience parcelle
- Er : efficience réseau

L'efficience réseau Er est de l'ordre de 0,95, tandis que l'efficience à la parcelle dépend du système d'irrigation utilisé :

- Irrigation de surface ou par gravité : Ep $\approx$ 40 à 65% ;
- Irrigation par aspersion : Ep $\approx$ 70 à 85% ;
- Irrigation localisée ou micro-irrigation : Ep $\approx$ 80 à 90% (Ahmed.S,2019, p57)

I.3.2.2. Fraction de lessivage (FL), besoins de lessivage (BL) et besoins totaux (B_{totaux}) en eau d'irrigation

Le lessivage consiste à évacuer les sels qui ont tendance à s'accumuler dans la zone racinaire. La dose de lessivage nécessaire pour maintenir le niveau de la salinité à une valeur tolérable par les cultures, sera appliquée en dehors des mois de l'irrigation. Les besoins de lessivage (BL) seront calculés à partir de la fraction de lessivage (FL). Cette dernière est estimée par la formule suivante :

$$FL = \frac{CE_w}{(5 \times CE_e) - CE_w}$$

Où

- FL : fraction de lessivage en % des besoins des cultures
- CE_w : conductivité électrique de l'eau d'irrigation (mmhos cm^{-1})
- CE_e : conductivité électrique de la pâte du sol en fonction de la chute admissible des rendements (mmhos cm^{-1})

$$BL = B_{bruts} \times FL$$

Où

- BL : besoins de lessivage (en mm ou en m³) ;
- FL : flaction de lessivage en % ;
- B_{bruts} : besoins bruts de la culture (mm ou m³)

Il existe une relation entre le résidu sec exprimé en g L-1 et la conductivité électrique exprimée en mmhos cm^{-1}. Cette relation est comme suit :

$RS(gL^{-1}) = 0.64 \times CE$ (mmhos cm^{-1})

En tenant compte de la qualité des besoins de lessivage, on calcule les besoins totaux en eau d'irrigation :

$$B_{totaux} = \frac{(Kc \times ETo) - Pu + BL}{EG}$$

Où

- BL : besoins de lessivage
- B_{totaux} : besoins totaux

Dans le cas de l'irrigation par aspersion il faut tenir en compte des possibles pertes d'eau dues á l'évaporation et la dérive du vent (PEDV). Dans la plupart des cas ces pertes sont calculées par l´équation suivante :

$PEDV = 20{,}3 + 0.214 \times V^2 - 2{,}29 \times 10^{-3} \times HR$

Où

$PEDV$: perte par évaporation et dérive du vent (%) ;

- V : vitesse moyenne du vent (ms^{-1}) ;

HR : humidité relative moyenne (%).

D'où

$$B_{totaux} = \frac{(Kc \times ETo) - Pu + BL + PEDV}{EG}$$

I.4. Irrigation au Burundi

Le Burundi est un pays de hauts plateaux d'Afrique Centrale, situé sur la ligne de séparation des eaux du Cogo et du Nil, au cœur de la région des Grands Lacs. Avec une superficie de 27834 km², il s'agit d'un des plus petits pays du continent africain. Sans accès à la mer, il possède un grand rivage sur le lac Tanganyika. Les frontières burundaises ont pour caractéristiques de correspondre à des limites naturelles, constituées surtout par des lacs et des cours d'eau. A l'ouest, le lac Tanganyika sépare le Burundi et la République démocratique du Congo, au nord, la rivière Kanyaru et les lacs Cohoha et Rweru jouent le même rôle de séparation avec le Rwanda. Au sud et à l'est, la rivière Malagarazi le sépare de la Tanzanie.

Malgré sa faible taille et son enclavement, le pays dispose d'une situation géographique intéressante : intermédiaire entre Afrique centrale et Afrique orientale, entre Afrique anglophone et francophone, réseaux hydrographiques à haut potentiel avec le Nil et lac Tanganyika, etc. Cette position est favorable tant pour les échanges économiques, humains ou culturels que dans les équilibres géopolitiques.

La population était de 11.5millios d'habitats en 2016 pour 8millios en 2008. Le pays est donc densément peuplé et plus de 90% de la main d'œuvre est occupée par le secteur agricole. (PAIOSA,2017, p5).

L'activité agricole est conditionnée par deux saisons dont la saison des pluies qui s'étend de septembre à mai, avec une intensité des pluies variable, et la saison sèche de juin à septembre et trois campagnes agricoles sont permises : les saisons A (petite saison des pluies : septembre-janvier) et B (grande saison des pluies : février - juin) en période humide et une saison C durant la saison sèche. Ces caractéristiques, climat tempéré et précipitations constantes, font de l'agriculture burundaise un secteur à fort potentiel. (PAIOSA,2017, p5)

Le secteur agricole constitue le moteur de l'économie nationale et devrait être le garant de la sécurité alimentaire des populations. Il représente l'activité dominante de l'économie nationale. Malgré quelques bonnes performances enregistrées, le taux de croissance global du secteur (estimé à 2,6%) reste inférieur à celui de la croissance démographique (2,9%). (MINAGRIE, 2011).

L'économie burundaise dépend fortement de l'agriculture qui contribue à plus de 46 pourcent dans le PIB, emploie plus de 90 pourcent de la population active, fournit plus 95 pourcent de l'offre alimentaire et plus de 80 pourcent des recettes d'exportation.

Le secteur agricole burundais dépend fortement du climat. En effet, on enregistre une baisse de la production agricole très importante due au changement climatique (sécheresse et pluies diluviennes). Cette baisse affecte le bien-être et la sécurité alimentaire de la population Burundaise dont 58% souffrent de la malnutrition.

Le Burundi dépend en général du secteur agricole. Ce secteur est la base de tous les autres secteurs car presque toute la population du Burundi vit de l'agriculture et de l'élevage, il est donc l'économie national du pays. La population est donc énormément tributaire de la disponibilité et de l'exploitation des terres pour couvrir ses besoins alimentaires, phénomène qui s'accentue en considérant la densité et le taux de croissance de population (approximativement 2.8%/an) très élevés. (PAIOSA,2017).

Une bonne agriculture n'est possible sans irrigation. L'agriculture sous pluie est la source de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire. Au lieu de cultiver toute l'année, on cultive pendant quelque mois de l'année de la saison pluvieuse. C'est pourquoi le Burundi souffre toujours de l'insécurité alimentaire. En se basant sur les données de PAIOSA 2017, il est visible que l'irrigation est encore embryonnaire en considérant entre autre les surfaces aménagées et non encore aménagées et le système d'irrigation en place. L'agriculture burundaise est encore relativement traditionnelle (FAO,2005, p).

L'agriculture burundaise dépend presque totalement des pluies. Malheureusement, depuis plusieurs années, la pluviométrie au Burundi ne suit plus aucun régime régulier et prévisible. A certains moments, la sécheresse peut survenir en période normalement pluvieuse, tandis qu'à d'autres moments des pluies diluviennes tombent en saison normalement sèche. L'irrigation est encore peu pratiquée (MINAGRI,2011, p11).

Selon une enquête réalisée en 1978-1979 par le Département du génie rural, le potentiel des terres irrigables au Burundi est très important. La superficie est estimée à 215 000 ha, dont 75000 ha de plaines dans l'Imbo (ouest) et la dépression du Moso (est), 20 000 ha de bas-fonds au pied des collines et 120 000 ha de marais selon l'inventaire des surfaces marécageuses dressé par le même département en 1984.

La méthode d'irrigation actuellement pratiquée est l'irrigation de surface (irrigation par bassins, rigoles, sillons ou ados) avec prélèvement des eaux des rivières résultant du ruissellement et de l'infiltration des eaux de pluies. Cette méthode facile correspond bien aux besoins des agriculteurs n'ayant que peu ou pas de connaissances en irrigation. Sa conception, ainsi que les plans de bassin, les digues et les rigoles, est relativement simple et aucun ouvrage spécifique n'est nécessaire.

L'entretien ne présente guère de difficulté et peut être réalisé localement par les producteurs eux-mêmes. Les besoins en eau et les débits des cours d'eau utilisés ne nécessitent pas de retenues d'eau collinaires avec stockage d'eau, car les périodes d'irrigation du riz correspondent à la saison des pluies (janvier à mai), et les superficies irriguées sont encore limitées. Les projets d'irrigation avec des barrages en dérivation, d'une superficie totale de 21 430 ha, sont réalisés dans les plaines de l'Imbo et de Moso-Sud, ainsi que dans les marais d'altitude où se pratique la riziculture. Ces projets consistent en :

• cultures maraichères et de café a l'Imbo-Nord : 1 300 ha ;

• riziculture dans la plaine de l'Imbo-Centre : 4 050 ha ;

• riziculture au Moso : 160 ha ;

• canne à sucre au Moso (Sosumo) : 1 450 ha ;

• riziculture d'altitude : 14 470 ha (FAO,2005, p142).

I.5. Gestion des eaux et défis de l'irrigation au Burundi

I.5.1. Gestion des eaux

L'eau est la source de la vie. On ne peut pas vivre sans eau, vue son importance dans le développement durable et la réduction de la pauvreté. Les actions et stratégies visant la gestion et la valorisation des ressources en eau sont vitalement nécessaire pour tout le monde et surtout les pays en développement (USAID Burundi,2009)

La concurrence autour de la ressource en eau augmente suite à la raréfaction des ressources en eau, les effets des changements climatiques et l'augmentation très significative des besoins en eau douce (Annabelle,2007, p1)

La gestion de l'eau est une préoccupation d'actualité dans le mode. Les changements climatiques désorganisent la répartition des eaux sur la terre. Cela s'explique par des conférences qui se font ici et là pour chercher des solutions qui peuvent atténuer ou aider dans l'adaptation aux impacts liés à ce changement climatique. On peut parler d'une conférence qui s'est tenue au Caire en Egypte, le 14 Mai 2017, dont le thème était « l'importance de la gestion des eaux pour le développement durable et la stabilité au Moyen-Orient et en Afrique du Nord ». Des experts ont faits des études dans cette région sur les impacts du changement climatique sur la pénurie d'eau et ont montré qu'une baisse de 14% du PIB est possible dans cette région d'ici 2050 si rien n'est fait pour son atténuation

et son adaptation. Ils ont investi 75 milliards de dollars pour améliorer la gestion et la sécurité hydrique de la région (http://www.fao.org/neareast/news/view/fr/c/885885/)

I.5.2. Défis de l'irrigation au Burundi

Le Burundi est parmi les pays pauvres au monde. Plus de 98% (PAIOSA,2017, p5) de la population vivent de l'agriculture et de l'élevage. Cependant à l'intérieur du pays où se trouve la grande partie des terres cultivables pratique l'agricultures presque une fois l'année. L'irrigation au Burundi est en général embryonnaire et l'irrigation qui est pratiquée est l'irrigation par gravité. Ce système d'irrigation est possible dans les plaines et enregistre beaucoup de perte en eau que ce soit dans le transport ou même dans les parcelles.

Les barrages d'irrigation que possède le pays sont en totalité des barrages déviateur ce qui est mauvais puisque pendant la saison de pluie, on enregistre une pluviométrie extraordinaire qui fait qu'il est beaucoup des inondations ici et là au territoire national. Mais la saison sèche se caractérise par des manques de l'eau et surtout dans le secteur agricole. La saison sèche se caractérise alors par le déficit hydrique dans les périmètres où on pratique l'irrigation.

L'agriculture est alors une activité sous pluie, et ne cultive que lorsque les conditions climatiques ont été bonnes.

Avec une précipitation annuelle de plus de 800mm, mais inégalement répartie au cours de l'année et sur tout le territoire national, l'agriculture irrigué devrait jouer le rôle du moteur de développement agricole du pays. Il faut aussi profiter des barrages hydroagricoles du Burundi que tous sont du type déversoir, qui aucun pour le moment qui est d'accumulation.

CHAPITRE.II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : ETAT DES LIEUX ET PERSPECTIFS

II.1. Géographie physique du milieu

II.1.1. Localisation

Un inventaire des marais, par bassins versants, a été fait en 2000. Le territoire burundais a été divisé en 25 bassins versants : 13 bassins tertiaires dans le bassin principal du Lac Tanganyika (bassin du fleuve Congo) et 12 bassins tertiaires dans le bassin principal de la Ruvubu – Kagera (bassins du fleuve Nil) (FAO & PNUD,2000, p12). Le bassin versant de Mpanda se trouve parmi les 13 bassins tertiaires du bassin versant principal du lac Tanganyika.

Le bassin versant de la rivière Mpanda à une superficie de 197.35 km² par rapport au barrage de Gatura. La plaine de l'Imbo Nord est divisée en 6 zones dont Rusizi, Gihanga, Mugerero, Est Mpanda, Rukaramu et Gatumba.

La zone d'étude faisant objet de la présente recherche est constituée de deux périmètres principaux :

- Le périmètre de Mugerero & Gihanga I&II

Cette zone se trouve à l'ouest de Mpanda dans la plaine de l'Imbo, elle est limitée par la RN5 à l'ouest, au nord Est par la RN9 mais il y a une petite partie de Mugerero (Randa) qui est juste à l'Est de la RN9

- Le périmètre de Rukaramu :

C'est une zone qui se trouve entièrement dans la région naturelle de l'Imbo ce qui signifie qu'elle a les caractéristiques de la région que ce soit en climat, végétation et sa pédologie. Cette zone est délimitée par :

- la clôture de l'aéroport à l'Est ;

- la rivière Mpanda au Nord et au Nord-Ouest ;

- la Rusizi à l'Ouest et le quartier Kajaga au Sud.

D’une façon administrative, elle se trouve dans la commune Mutimbuzi de la province de Bujumbura. Elle est composée par les collines suivantes :

Muyange I et II, Mushasha I et II ainsi que la colline Gaharawe. (Groupement SHER Ingénieurs-Conseils sa,2017, pii).La figure suivante montre la carte des périmètres agricoles dominés par la rivière Mpanda

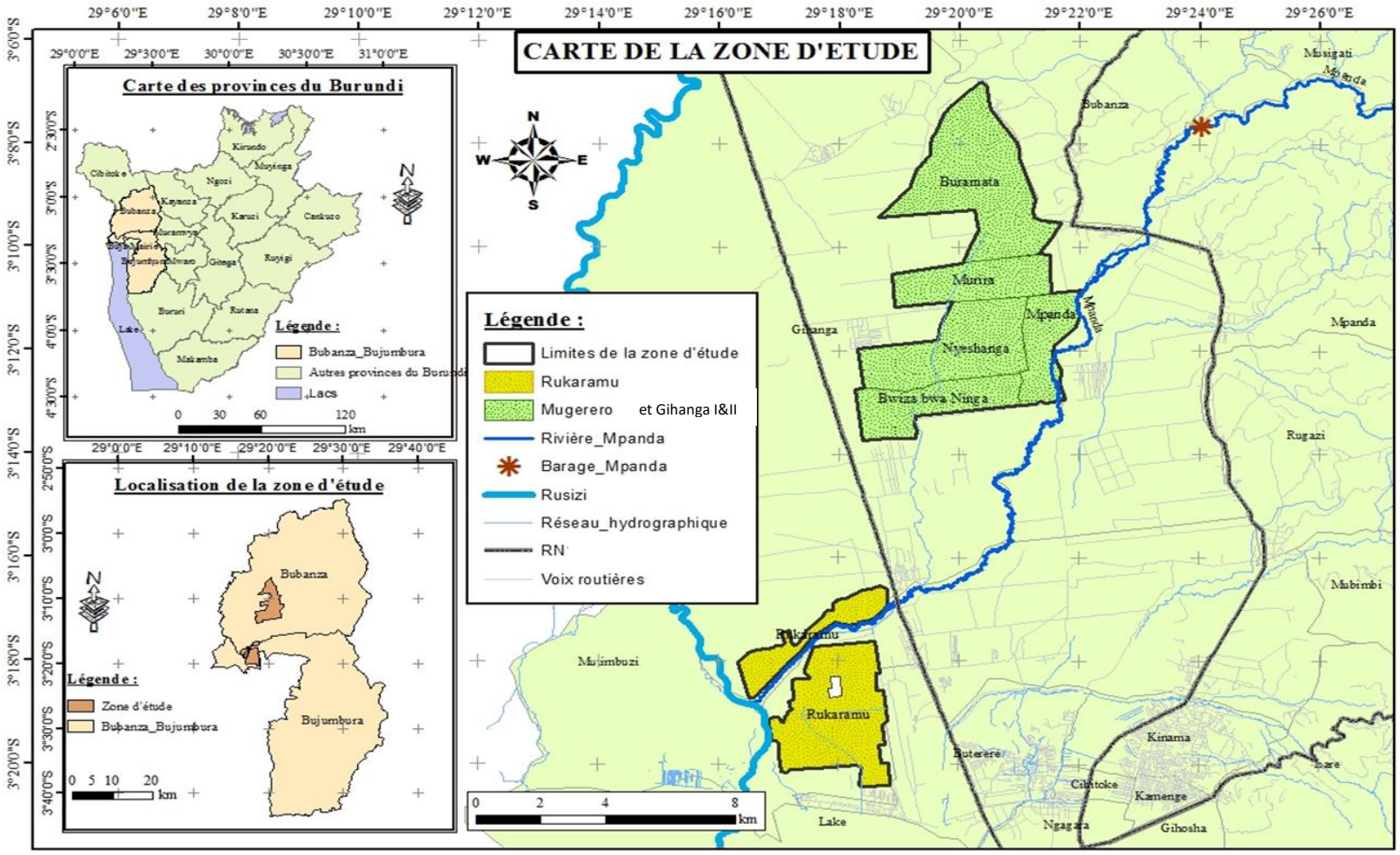


Figure II-1 : carte de la zone des périmètres agricoles dominés par la rivière Mpanda

II.1.2. Climat

La grande partie du bassin versant de Mpanda se trouve dans la zone de l'ouest du pays le long du lac Tanganyika : Elle est formée de plaines de basse altitude (774-1 000 m) avec un climat tropical chaud (25°C de température moyenne avec des maximas allant jusqu'à plus de 30°C et des minimas allant jusqu'à dessous de 15°C), une faible pluviosité (800-1 100 mm/an) réparties sur 7 à 8 mois mais certaines parties surtout au nord accusent une aridité chronique et une saison sèche de cinq à six mois. L'humidité relative est estimée à 70%. (Ministère de l'eau, de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, 2013, p6)

II.1.3. Hydrographie

La zone d'étude se trouve dans la plaine de l'Imbo qui est traversée par des cours d'eau importants dont Kajeke, Mpanda, Musenyi, Muzazi, Murago, Gikoma et Mutimbuzi.

Cette zone se trouve dans le bassin versant de la rivière Mpanda. Cette dernière est très importante vue sa sollicitation ainsi que sa superficie du bassin versant de 470Km² comme on l'a déjà décrit ci-haut. (NAPAD & FAO, 2006, p3).

Les débits caractéristiques de ces rivières sont donnés dans le tableau suivant :

*tableau II-1:débit des rivières traversant la plaine de l'Imbo(*NEPAD&PDDAA,2006,p1)

Nom de la rivière	Débit d'étiage Minimum annuel (m^3/s)	Débit moyen annuel (m^3/s)	Crue décennale (m^3/s)	Crue centenaire (m^3/s)
Kajeke	0,19	0,51	66,00	101,00
Mpanda (Gatura)	2,56	6,37	82,00	130,00
Musenyi	0,36	0,92	56,00	86,00
Muzazi	1,47	2,10	90,00	141,00
Murago	0,75	1,47	70,00	109,00
Gikoma	0,29	0,76	32,00	49,00
Mutimbuzi	2,85	4,72	192,00	299,00

II.1.4. Pédologie

II.1.4.1. Le périmètre de Rukaramu

Dans une investigation de 254 sondages dans cette zone, une étude des Sols a donné les résultats suivants :

Les sols les mieux représentés dans le périmètre sont les sols argileux lourds à très lourds, suivis des sols argileux à limono-argileux dans la partie déjà aménagée. Ce sont ces derniers qui prédominent dans la partie Sud et surtout dans la zone d'extension. Les sols sableux à limono-sableux ne représentent que quelques poches vers l'Ouest du périmètre tant dans la partie aménagée que dans la zone d'extension.

Les sols situés vers le Sud du périmètre (1/3 de la partie aménagée et toute la zone d'extension, exception faite de la polyculture) sont sous l'influence de la Ruzizi et sont, soit salinisés ou à haut risque de salinisation. D'après l'analyse des eaux, les résultats ont montré que ce phénomène trouve l'origine dans la remontée capillaire des eaux à la surface.

Les sols de Rukaramu présentent ont, en général, une perméabilité très médiocre, des teneurs en argiles trop élevées et des structures massives. Ils sont profonds, sans charge et présente de bonnes teneurs en bases bien qu'ils restent déficitaires en phosphore et en potassium. Dans le même temps, on constate des teneurs excessives en bicarbonates (Groupement SHER Ingénieurs-Conseils sa,2017, p14-15).

II.1.4.2. Le périmètre de Mugerero et Gihanga I&II

Les différents sondages réalisés dans cette zone ont donné des résultats avec des sols subdivisés en 4classes à savoir :

- Sol1 : La meilleure
- Sol2 : alluvions fluviales dépôts sableux, sols lessives dans ce type de sol, on y rencontre bananes, les cultures vivrières, maïs, sorgho et arachides
- Sol3 : vertisols (texture lourde riche en argile, on y rencontre des rizières, arachides, haricots et maïs.
- Sol4 : vertisols et solonetz. On y rencontre des rizières (MINAGRIE, 1981, p24)

II.2. Les usagers de la rivière Mpanda

L'eau de cette rivière serve dans l'irrigation des périmètres de RANDA, MUGERERO, GIHANGA I ET II ainsi qu'une partie de la RUSIZI avant la construction du barrage hydroélectrique de Mpanda.

Pour le moment, un barrage hydroélectrique de 10MW est en train d'être construit dont l'eau utilisée sera celle de cette même rivière.

II.2.1. Centrale hydroélectrique de Mpanda

Le barrage est en train d'être construit à 2185m d'altitude sur la rivière Mpanda. Elle sera en terre avec une hauteur de 35m et la longueur de la conduite forcée sera de 4524m.

Les caractéristiques hydrologiques du projet de construction de cette centrale sont les suivantes :

- ✓ Précipitation moyenne annuelle :1600mm
- ✓ Surface du bassin versant :31,5km²
- ✓ Débit annuel moyen :0,63m³/s
- ✓ Débit d'équipement :1,4m³/s
- ✓ Crue centenaire :20m³/s
- ✓ Solides en suspension :1mg/l
- ✓ Cette centrale sera équipée de 2 groupes de machines dont chacune d'elle aura un alternateur de 5,3MW. Les caractéristiques de cet alternateur sont :
  - ➢ Puissance nominal :5,3MW
  - ➢ Fréquence :50HZ
  - ➢ Tension nominale :6,6KV
  - ➢ Facteur de puissance :0,8
  - ➢ Variation du voltage :10% de la valeur nominal
  - ➢ Type de service : continu

Le débit d'alimention de la turbine est de 1.4m³/s et c'est le même qui sera remis dans la rivière en aval par le canal de restitution. Le volume du lac de retenue sera de 17 500 000m³ (Groupement Hydroplan & FICHTNER, 1997, p1-4).

Le remplissage du barrage affectera les usagers de la rivière en aval de la centrale. L'agriculture qui est l'activité principale de la population en aval. Le périmètre de Mugerero et Rukaramu

qui sont déjà en déficit de l'eau hydrique et surtout en saison sèche aura un problème pendant ce temps de remplissage du barrage.

Au moment du remplissage de ce barrage, il faudra tenir compte de l'irrigation des périmètres Mugerero, Gihanga I&II et Rukaramu. Ce qui est important c'est que le barrage hydroélectrique est un utilisateur et non un consommateur de l'eau.

II.2.2. Agriculture

L'agriculture est l'activité principal de la zone comme elle est aussi pour le Burundi en général.

Toute la zone est dédiée à l'agriculture en général.

Dans ce périmètre, les cultures suivantes sont pratiquées :

- Le riz (5,5 tonnes/ha), qui est la spéculation la plus rentable
- Le maïs (4 tonnes/ha), le haricot (1 tonne/ha),
- Le manioc (40 tonnes/ha),
- La patate douce (20 tonnes/ha),
- Le sorgho (4 tonnes/ha),
- L'arachide (1,5 tonne/ha),
- Le soja (1 tonne/ha),
- Le niébé (1,5 tonne/ha) ainsi que les cultures maraîchères dont principalement la tomate (20 tonnes/ha) et les arbres fruitiers. (NAPAD & FAO, 2006, p4).

Ces cultures, dans ce périmètre, se cultivent en deux saisons.

- La première saison débute entre le 15 Novembre et le 15 Décembre pour récolter au mois de Mai. La seule culture pour cette saison est le riz.
- La deuxième saison débute entre le 15 Juin et le 15 Juillet pour se terminer au mois de Novembre. Pour cette saison, on fait la culture des polycultures qui sont des plantes qui ne demande pas beaucoup d'eau qui sont entre autre le Maïs, ognon, pastèque, patate douce, niébé, tomate, choux, aubergine.

Pour cette deuxième saison, en fonction de l'eau disponible, il y a des fois où on cultive encore du riz. (SRDI,2019, p32)

II.2.2.1. Barrage de Gatura et son périmètre de Mugerero, Gihanga I&II

Le barrage de Gatura est un barrage déversoir qui se trouve sur la rivière Mpanda. Le canal tête morte a une longueur de 7km avec une capacité de 5,3m³/s

L'aménagement de ce périmètre a été fait dans les années 1968-1973 (NEPAD & FAO, 2006, p1)

Pendant cette période de l'aménagement la population était encore moins nombreuse. Cet aménagement était compatible au périmètre qui était mis en exploitation. L'intensification des cultures n'était pas encore dans le besoin car la population à nourrir était satisfaite.

Le tableau suivant montre la superficie des terres qui était concernée par l'aménagement

Tableau II-2 :la superficie du périmètre de Mugerero qui était concerné par l'irrigation au début de l'aménagement

Non de l'association	Superficie rizicole (ha)	Superficie de polyculture (ha)	Superficie total (ha)
Buramata	238,5	83,5	322
Murira	225	121	346
Nyeshenga	387,5	200	587,5
Ninga	316,5	96,75	431,25
Mpanda	225	93	318
Bwiza Bwa Ninga	292,5	77,25	369,75
Total	**1685**	**671,5**	**2356,5**

Pour le moment les besoins pour l'irrigation ne sont plus les mêmes suites à l'augmentation de la population et des terres mis en culture

Pour le moment la ferme de Randa est en exploitation. Les études qui étaient faites en 1993 montrent que la superficie de Randa en exploitation était 400ha (Groupement HYDROPLAN et FICHTNER, 1997, p1) mais la SRDI parle pour le moment environ 500ha en exploitation pour Randa.

Le tableau suivant montre la superficie qui était en exploitation en 2018.

Tableau II-3 :superficie de Mugerero en exploitation en 2018

Périmètre	Superficie rizicole en ha	Superficie de polyculture (ha)	Superficie total ha
Mugerero	1.940,5	844,5	**2.785**

Au final en incluant cette superficie de Randa, Gihanga I&II et une partie de Rusizi, on se retrouve avec **6 120ha,** comme le montre le tableau suivant.

Tableau II-4 : superficie total du périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda

périmètre	Superficie(ha)
Mugerero & Randa	2.785
Gihanga I&II	1.408
Rukaramu	1.010
Rusizi(une partie)	417
total	6.120

L'irrigation pour ce périmètre n'est plus suffisance et cela s'explique par deux raison majeurs

- Le réseau d'irrigation est vieux ce qui fait qu'il y a beaucoup de perte d'eau pendant le transport et la distribution d'eau. Les canaux ne sont plus en bonne état
- L'exploitation de nouvelles terres qui n'étaient pas tenu en considération pendant l'ancien aménagement

Pour pallier à ce manque d'eau, un système de tour d'eau a été adopté avec un décalage de deux semaine pour le semis mais cela n'est pas satisfaisant. (SRDI, 2019, p30)

II.2.2.2. Barrage de Rukaramu et son périmètre

Le barrage de Rukaramu est aussi un barrage déversoir conçu pour satisfaire en irrigation le périmètre agricole de Rukaramu.

Pour le moment le barrage n'est plus capable de satisfaire tout le périmètre agricole de Rukaramu.

Le réseau d'irrigation est en réhabilitation et l'extension du périmètre de 400ha par la PNSADR-IM. Avant l'extension, le périmètre de Rukaramu comptait 600ha d'où le total de 1000ha.(PNSADR-IM, 2017, p7)

Cette extension de ce périmètre de ces 400ha, le périmètre de Rukaramu connaissait déjà de la carence d'eau que ce soit pendant la saison des pluies et surtout pendant la saison sèche.

Cela est dû au dépôt des matières solides dans le lit de la rivière et la diminution du débit pendant la saison sèche

Avec le curage des matières solides et le principe du tour d'eau, on essaie d'arranger et diminuer les conflits entre agriculteurs.

II.2.3. Autres usagers

II.2.3.1. Fabricants des briques

Activité très développée et qui est destructrice de l'environnement, Cette activité cause déjà des dégâts sur la digue de protection des canaux primaires et secondaires, L'activité ne respecte pas les règles de l'environnement et des trous béants sont laissés après exploitation, Cette activité se trouve dans la zone de Rukaramu.

II.2.3.2. La pisciculture

Elle est menée dans le périmètre de Rukaramu tout le long du canal secondaire 02 (entre C02 et la digue)

L'alimentation en eau de ces étangs est assurée par une brèche pratiquée dans le canal C02, Cette activité devrait être maintenue, mais encadrée, (PNSADR-IM, 2017, p33)

Cette activité n'existe pas dans le périmètre de Mugerero.

II.3. Les problèmes de la zone

La zone qui est surtout agricole connait des problèmes liés à l'utilisation de l'eau de la rivière Mpanda et d'autres fonciers,

Depuis la nuit des temps l'homme cherche toujours à mieux vivre même si cette action des fois lui cause des problèmes, Quand on avait conçu le réseau qui existe, la population était satisfaite mais aujourd'hui à cause de l'augmentation de la population et les changements climatiques, elle n'est plus satisfaite.

Suite à cela il y a un déficit hydrique dans la zone qui a engendré des conflits conduisant à son tour à des morts.

C’est une zone a vocation rizicole mais pour le moment la double riziculture n’est plus possible. Des gens se battent, se tuent à cause du manque de l’eau. Maintenant, il y a des fois où la distribution se fait par force

La mise en place des comités de gestion de l’eau en impliquant tous les usagers et l’aménagement du calendrier cultural pour chaque secteur ont été envisagés pour éviter les conflits.

La SRDI applique maintenant un tour d’eau pour essayer de palier à ces problèmes même si cela n’est pas efface mais quand même ça réduit les conflits

.

CHAPITRE.III : ANALYSE DES DONNEES CLIMATIQUES ET BILAN HYDRIQUE DU PERIMETRE DOMINE PAR LA RIVIERE MPANDA

III.1. Etude climatique

III.1.1. Introduction

Dans la zone du projet, nous avons 3 stations qui sont proches. Les stations météo qui sont Imbo sms et Bujumbura aéroport la station hydrologique de Gatura. Mais il y a d'autres stations qui sont proche de la zone d'étude qui ne sont plus fonctionnelle. On peut citer station climatologique de Randa et Musigati. Ces stations qui sont fonctionnels aujourd'hui ne l'ont pas été à tout le temps car il a eu des temps d'interruption.

La station de l'Imbo sms est utilisée dans la zone de Mugerero et celui de Bujumbura aéroport pour la zone de Rukaramu.

Dans le bassin versant du barrage de Gatura, le manque d'une station nous a été signalé au seins de l'IGEBU. Une transposition des données sera faite pour avoir des données dans ce bassin versant afin de compléter les données hydrologiques de Mpanda à Gatura qui ne s'étend que sur 11 années. Le tableau suivant montre les stations et la période des données collectées et leurs caractéristiques.

Tableau III-1 :station avec période des données collectées et leurs caractéristiques

Station	Latitude Sud	Altitude (m)	Type de données	Période couverte		Interruption (Observations)
				Début	Fin	
			Pluviométrie journalière, mensuelle et annuelle	12-05-89	21-02-19	2000 à 2008

SEMS IMBO	3° 14',19	820	Précipitations maximales annuelles en 24 heures	01-90	12-19	Juin 1995 à septembre 1996
			Températures maximales et minimales journalières	01-1989	12-2019	Juin 1995 à Septembre 1996, 08-1999 à 12-2009
			Humidité relative de l'air	01-1989	12-2019	Juin 1995 à Septembre 1996, 08-1999 à 12-2010
BUJA AEROPORT	3°21'57''	783	Pluviométrie journalière, mensuelle et annuelle	01-1989	12-2019	
			Températures maximales et minimales journalières	01-1989	12-2019	
			Humidité relative de l'air	01-1989	12-2019	01-1989 à 09-1996
GATURA	3°7'37''	838	Débit mensuelle de la rivière	01-2009	12-2019	

III.1.2. La pluviométrie

La pluviométrie est analysée aux deux stations proches de la zone du projet. La station SEMS IMBO a des données sur 19 années d'observations. Par contre la station de BUJA AEROPORT a des données complètes sur une période de 30 années d'observations

Ainsi, la pluviométrie de la zone d'étude est expliquée par les précipitations moyennes mensuelles recueillies à la station de référence. Après le traitement des données, les précipitations moyennes mensuelles sont reprises dans les tableaux 2&3 et les figures

correspondantes montrent respectivement le comportement de ces précipitations moyennes mensuelles dans le périmètre irrigué de MUGERERO, GIHANGA I&II ET RUKARAMU par la période d'observation.

III.1.2.1. La pluviométrie dans les périmètres irrigués de Mugerero ,Gihanga I&II et de Rukaramu

La pluviométrie qui tombe sur les périmètres irrigués de MUGERERO ET RUKARAMU est utilisée en partie par les cultures pratiquées. Cette utilisation est traduite par la pluie efficace. Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau des deux stations sont récapitulées dans les tableaux suivants.

Tableau III-2 :pluviométrie mensuelle de la station de L'Imbo sems

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNUELLE
Pluie en mm	99,2	91,8	132,0	121,9	52,1	11,2	4,6	19,4	38,3	65,6	93,9	132,7	862.9

Le tableau précédent montre que les fortes pluviométries sont dans le mois de Décembre vers Mars, les faibles pluviométries sont dans le mois de Juillet et la moyenne annuelle est de 862,9mm

Tableau III-3 :pluviométrie mensuelle de la station de Buja-aéroport

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNUELLE
Pluie en mm	95,7	98,4	108,3	94,5	46,9	11,3	4,9	7,9	31,0	67,8	88,5	107,8	763,0

Le tableau précédent montre que les fortes pluviométries sont enregistrés dans le mois de Mars, les faibles pluviométries dans le mois de Juillet, la moyenne annuelle étant de 763mm

Les données précédentes des précipitations sont montrées sur les schémas suivants

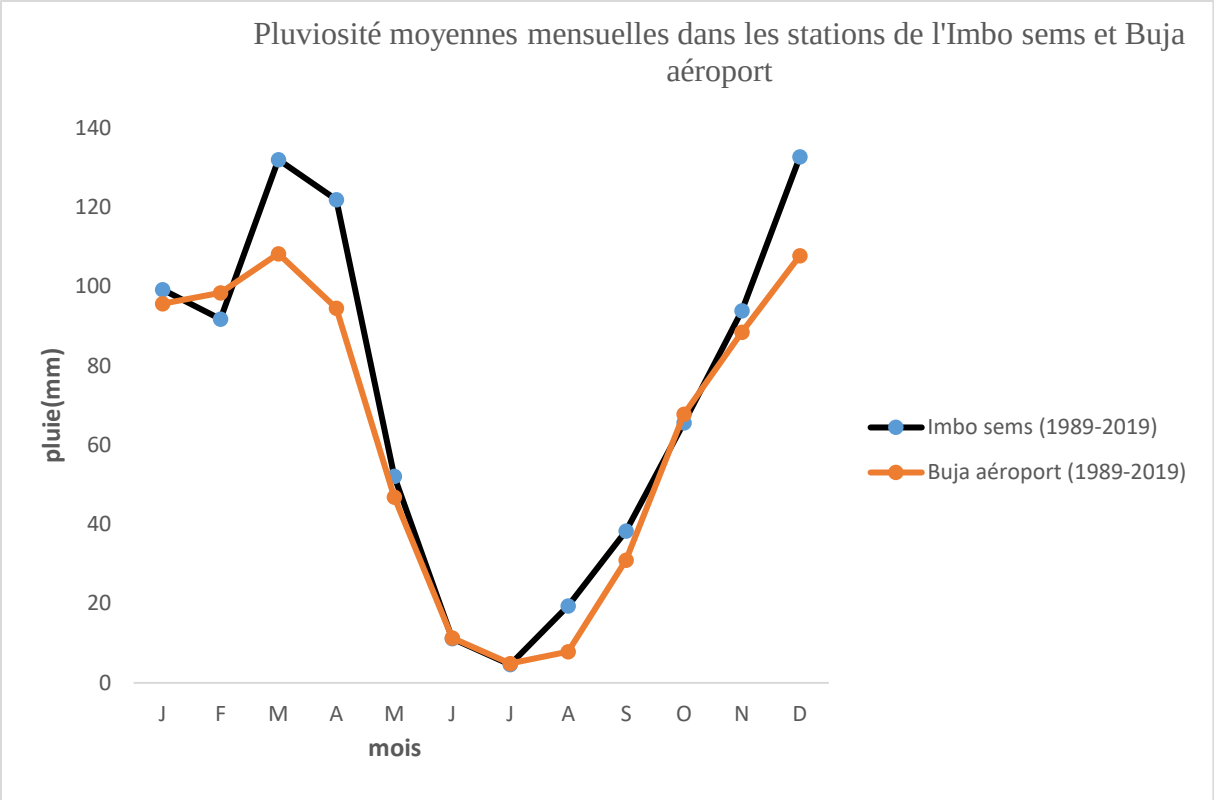


Figure III-1:pluviosité dans les stations de l'Imbo sems et Buja aéroport

III.1.2.2. Pluviométrie pour le barrage de Gatura

Pour le barrage de Gatura, la station la plus représentative entre les 2 ci haut citées, est la station d'Imbo sems car c'est celle qui est la plus proche de son bassin versant. Cette station se trouve à l'extérieur du bassin versant et elle se situe à une altitude de 809 m qui est très inférieur à l'altitude moyenne du bassin versant.

Selon des publications scientifiques et administratives du Burundi, il est montré que les précipitations augmentent avec l'altitude (Gaston H ;2002). Plus on monte en altitude de l'Imbo vers la crête Congo-Nil, plus les précipitations augmentent. Pour cela, la présente étude ne peut pas utiliser les données d'Imbo sems qui donnent une moyenne annuelle de 862,9 mm

Le Rapport Annuel Hydrologique du Burundi de 2010 a indiqué que dans le bassin du lac Tanganyika, les précipitations augmentent de 120 mm tous les 100 m. L'altitude moyenne du bassin versant du barrage de Gatura étant de 1608.52 m soit une différence de 788.52 m par rapport à la station météorologique de l'Imbo sems situé sur 820 m d'altitude. Cette différence donne une valeur de la pluviométrie extrapolée à 1809.124 mm par an par rapport à la moyenne enregistrée dans la station de l'Imbo sems (862.9mm par an).

L’analyse des résultats avancés ci-dessus montre que la pluviométrie annuelle dans le bassin versant de Mpanda est supérieure à celle enregistrée à la station Imbo sems. Ces résultats convergent vers une valeur de l’ordre de 1809.124 mm par an. Cette moyenne traduit la réalité de la pluviométrie qui pourrait être enregistrée dans le bassin versant du barrage de Gatura. Elle a été donc retenu par la présente étude pour les estimations des apports annuels et mensuels au niveau du barrage de Gatura.

La variation mensuelle de cette pluviométrie a été basée sur les données enregistrées par la station de l’Imbo sems en appliquant un coefficient de pondération pour chaque mois qui représente le rapport entre la pluviométrie mensuelle moyenne et la pluviométrie annuelle moyenne. Cette approche a permis de définir la pluviométrie mensuelle pondérée. Le tableau ci-dessous récapitule les données de la variation mensuelle de la pluviométrie au cours de l’année dans le bassin versant du barrage Mpanda à Gatura.

Tableau III-4 :la pluviométrie du bassin versant de Mpanda à Gatura

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANN
Pluie en mm	207,98	192,46	276,75	255,57	109,23	23,48	9,64	40,67	80,30	137,53	196,87	278,21	1809,12

Cette pluviométrie suit l’allure de celle de l’Imbo sms. Les fortes pluviométries sont dans le mois de Décembre, la faible dans le mois de Juillet et la précipitation moyenne annuelle est de 1809,12mm

III.1.3. Les températures

Les moyennes mensuelles des températures et les moyennes des maxima et des minima sont analysées sur une période de 31 ans allant de 1989 à 2019 à la station d’Imbo Sems.

Le tableau suivant présente les températures maximales, minimales et moyennes pour la période ci haut mentionnée.

Tableau III-5 :variation de la température aux station de l'Imbo sems et de Buja-aéroport

	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Imbo sems	Température max	30,34	30,68	30,38	30,13	35,36	30,44	30,28	31,18	31,90	31,24	30,46	29,95
	Température min	19,63	19,66	19,52	19,78	19,33	17,96	16,48	17,32	18,55	19,02	19,15	19,34
	Température Moyenne.	24,98	25,17	24,95	24,95	27,34	24,20	23,38	24,25	25,22	25,13	24,81	24,64
Buja Aéroport	Température max	29,65	29,96	29,97	29,78	30,23	29,95	29,81	30,45	31,16	30,32	29,36	29,35
	Température min	19,86	19,89	19,79	20,02	19,32	17,62	17,57	18,56	19,36	19,62	19,66	19,94
	Température Moyenne	24,76	24,92	24,88	24,90	24,78	23,79	23,69	24,51	25,26	24,97	24,51	24,64

Le tableau ci-dessus montre que le mois le plus chaud dans la région est de septembre avec un maximum de 31,9 °C dans la station de l'Imbo sems et 31,16 pour la station Buja Aéroport tandis que le mois relativement frais est celui de juillet avec un minimum de 16,48 °C pour station Imbo sems et 17,57 pour Buja Aéroport. Le graphique 2 suivant montre la variation des températures sur toute la période considérée.

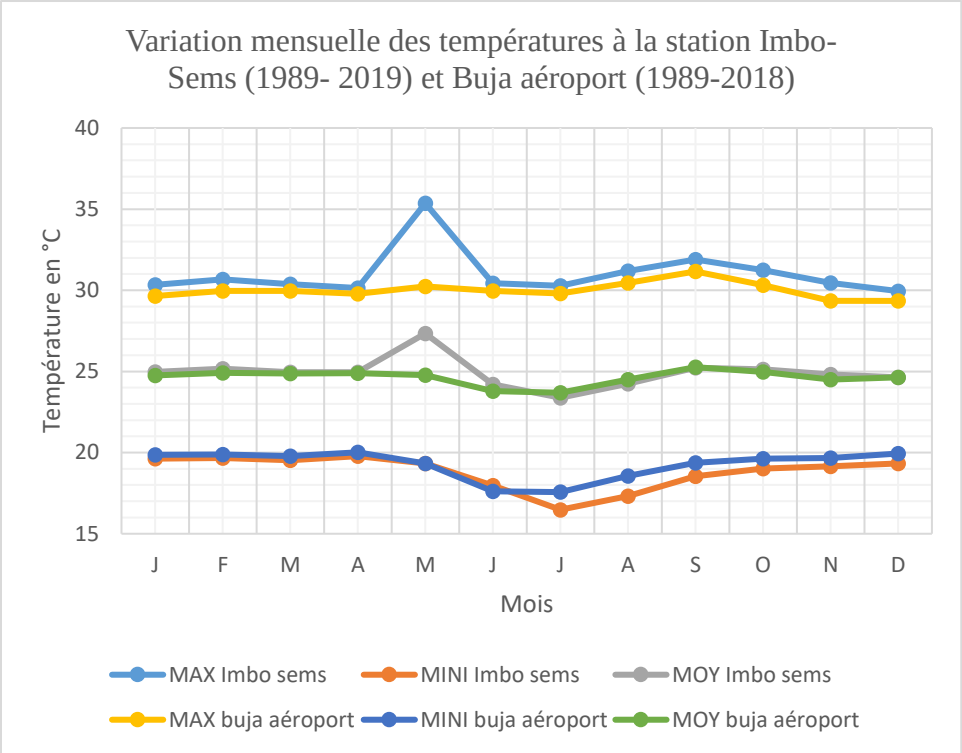


Figure III-2 : diagramme de variation mensuelle des températures à la station Imbo- Sems (1989- 2019) et Buja aéroport (1989-2018)

A partir de ces trois courbes représentant les températures mensuelles à la station météorologique d'Imbo Sems, il est à constater que les variations mensuelles restent faibles. De ce qui précède si on compare les moyennes mensuelles, on peut se donner la raison de conclure que la température moyenne de la zone d'étude est relativement constante sauf dans les mois de Juin et Juillet où la température diminue un peu.

III.1.4. Humidité relative de l'air

Les données sur le paramètre d'humidité relative de l'air sont disponibles à la station météorologique d'IMBO SEMS et BUJA AEROPORT une période de 31 ans, de 1989 à 2019. La valeur moyenne est de 72,17 %. Les valeurs maximale et minimale sont égales à 77,23 % pour Imbo sems et 75,22% pour BUJA AEROPORT (mois d'avril) et 63,25 % pour IMBO SEMS et 63,12 % pour BUJA AERO¨PORT du (mois d'août)

Le tableau suivant récapitule les valeurs de l'humidité relative de l'air respectivement dans les zones du périmètre de Mugerero et Rukaramu

Tableau III-6 : la variation de l'humidité de l'air des stations de l'Imbo sems et Buja aéroport

	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Imbo sems	HR %	76,23	76,23	76,24	77,23	74,94	69,40	66,33	63,25	64,43	70,07	75,08	76,61	76,23
Buja aéroport	HR %	75,08	74,22	75,16	75,22	72,21	67,84	65,20	63,35	63,12	68,21	74,24	75,03	75,22

Les faibles humidités sont dans les mois sèches, cela montre que l'humidité relative est fonction de la pluviométrie.

En vue de bien illustrer le comportement de ce paramètre climatique, l'analyse graphique ci-dessous en illustre la répartition de l'humidité relative de l'air.

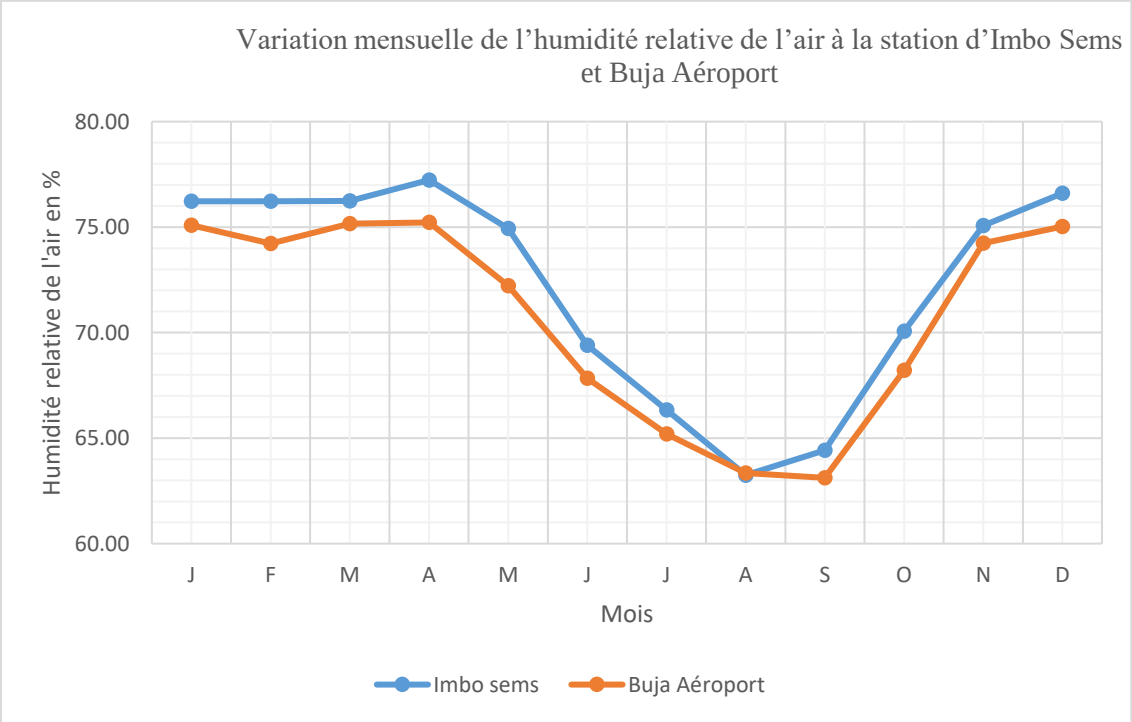


Figure III-3Variation mensuelle de l'humidité relative de l'air à la station d'Imbo Sems et Buja Aéroport

III.2. Etude hydrologique

III.2.1. Introduction

La présente étude hydrologique est faite pour la bonne gestion de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigué de Rukaramu, Gihanga I&II . Elle concerne le bassin versant de la rivière Mpanda située dans la région naturelle du Mirwa, en province de Bubanza. Cette étude porte sur l'analyse des phénomènes et des différents paramètres hydrologiques caractérisant le régime hydrologique de la rivière et de son bassin versant.

Les résultats de cette étude faciliteront le dimensionnement de la retenu du barrage de Mpanda à Gatura ainsi que de l'adduction d'eau d'irrigation entre le barrage et les périmètres irrigués.

Il a été constaté qu'un équipement hydrologique disponible est récent et la solution adaptée est d'exploiter les données pluviométriques du bassin versant pour bien faire l'analyse de ces phonèmes. La transformation des données pluviométriques de la station d'Imbo sems vers les précipitions pondérées dans le bassin versant de Mpanda est d'une importance capitale, afin de pouvoir générer des apports émanant du Bassin versant. En utilisant les données émanantes du jaugeage, on trouve un débit de projet d'à peu près 20m³ ce qui n'est pas normale car avec la rivière Gasenyi très petite et même avec un petit bassin versant, on a trouvé 32.971m³ (Henri N.,2018, p 43) cela montre que ces données ne peuvent pas être utilisées pour le calcul du débit de projet.

III.2.2. Description du bassin versant

Le bassin versant de la zone d'étude a une superficie de 197.35km² et est caractérisé par des pentes très fortes avec une dissection élevée dans sa partie amont. La zone du projet présente une altitude variant en 864m et 2402.10m, avec des précipitations annuelles d'environ 1809.12mm. Ce bassin est majoritairement couvert par des végétations, des activités agricoles ainsi que des habitations mais avec une faible densité.

Les cartes suivantes montrent respectivement la topographie, les pentes et l'hypsométrie du bassin versant de Mpanda à Gatura

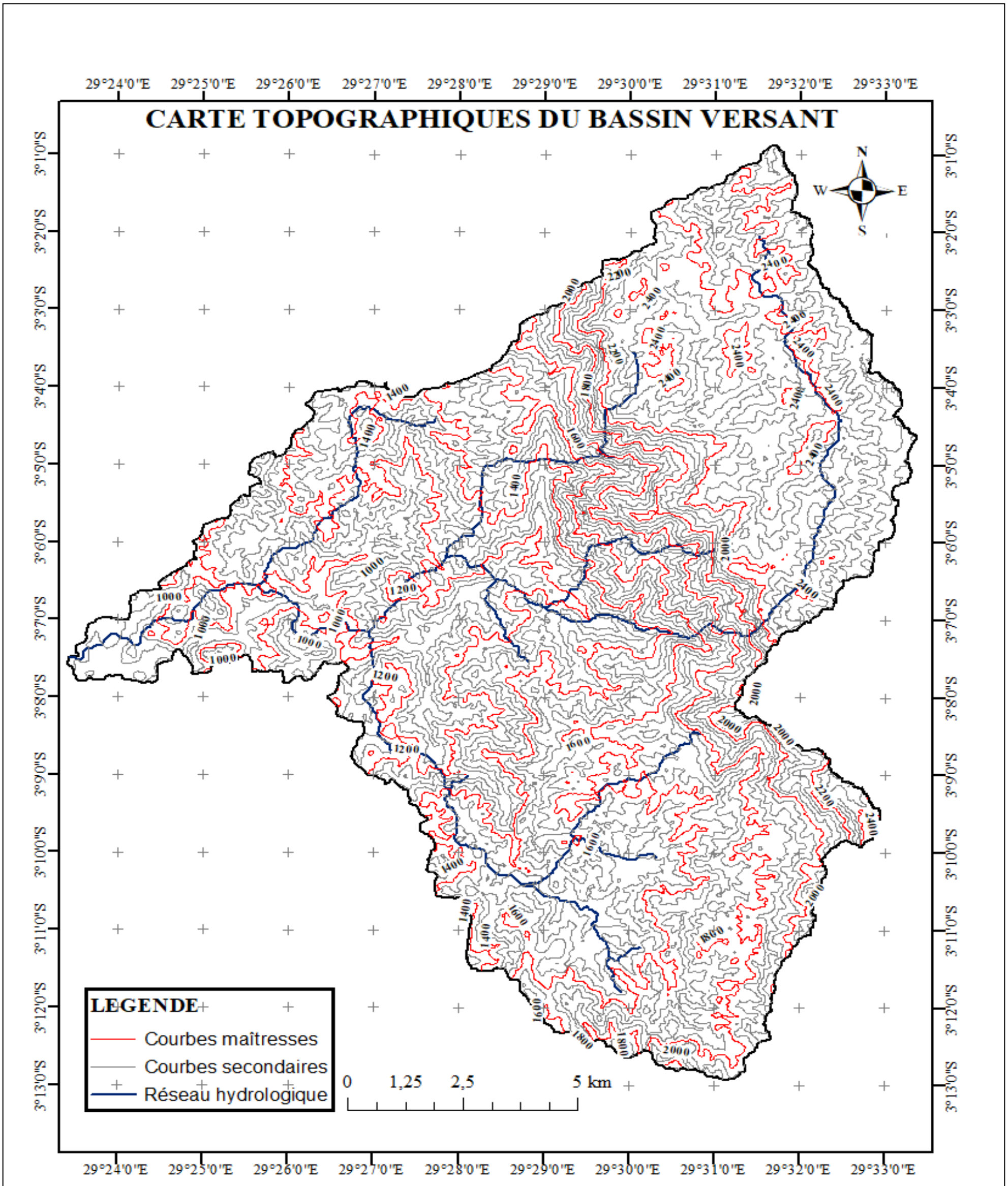


Figure III-4:carte topographique du bassin versant de Mpanda à Gatura

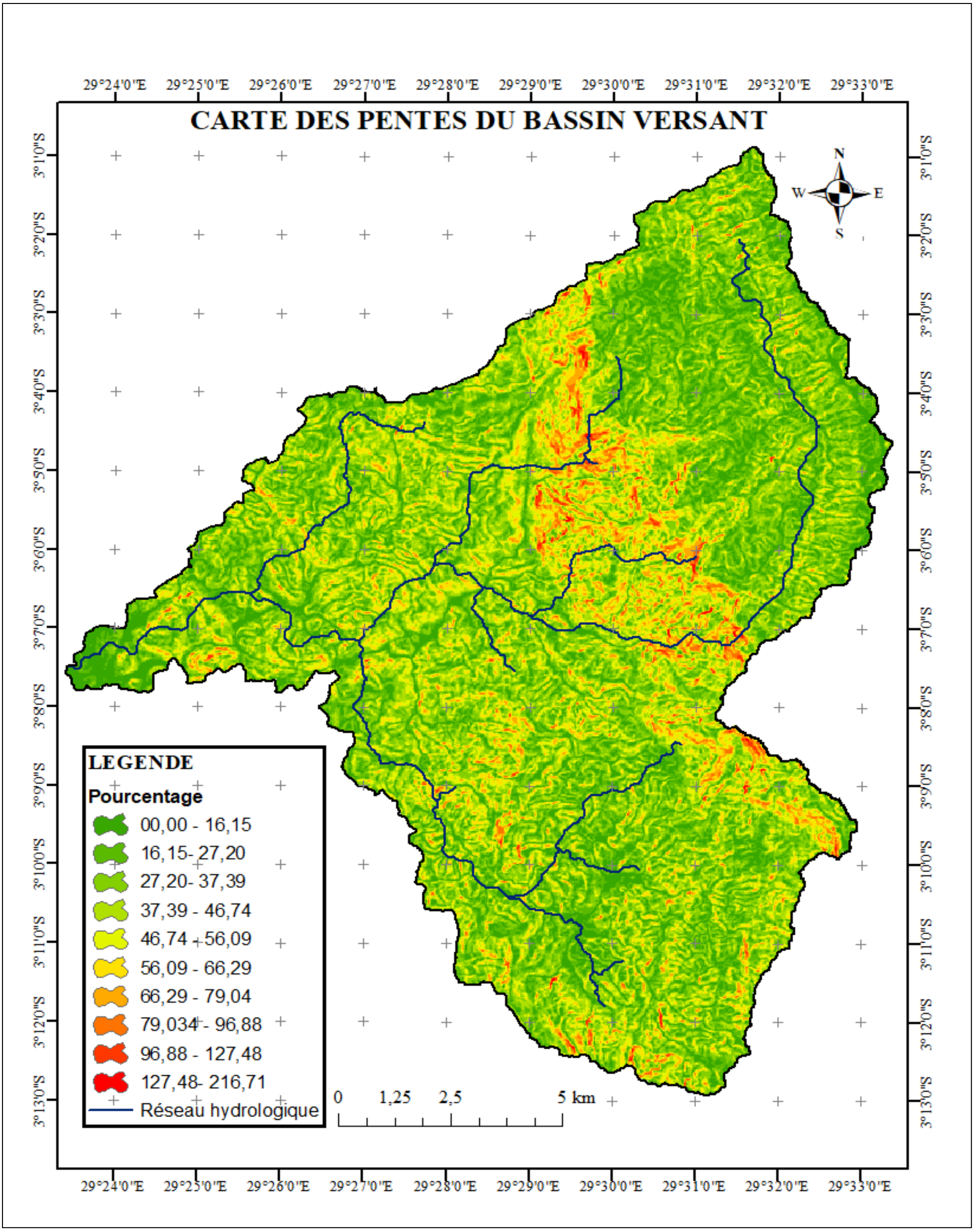


Figure III-5:carte des pentes du bassin versant de Mpanda à Gatura

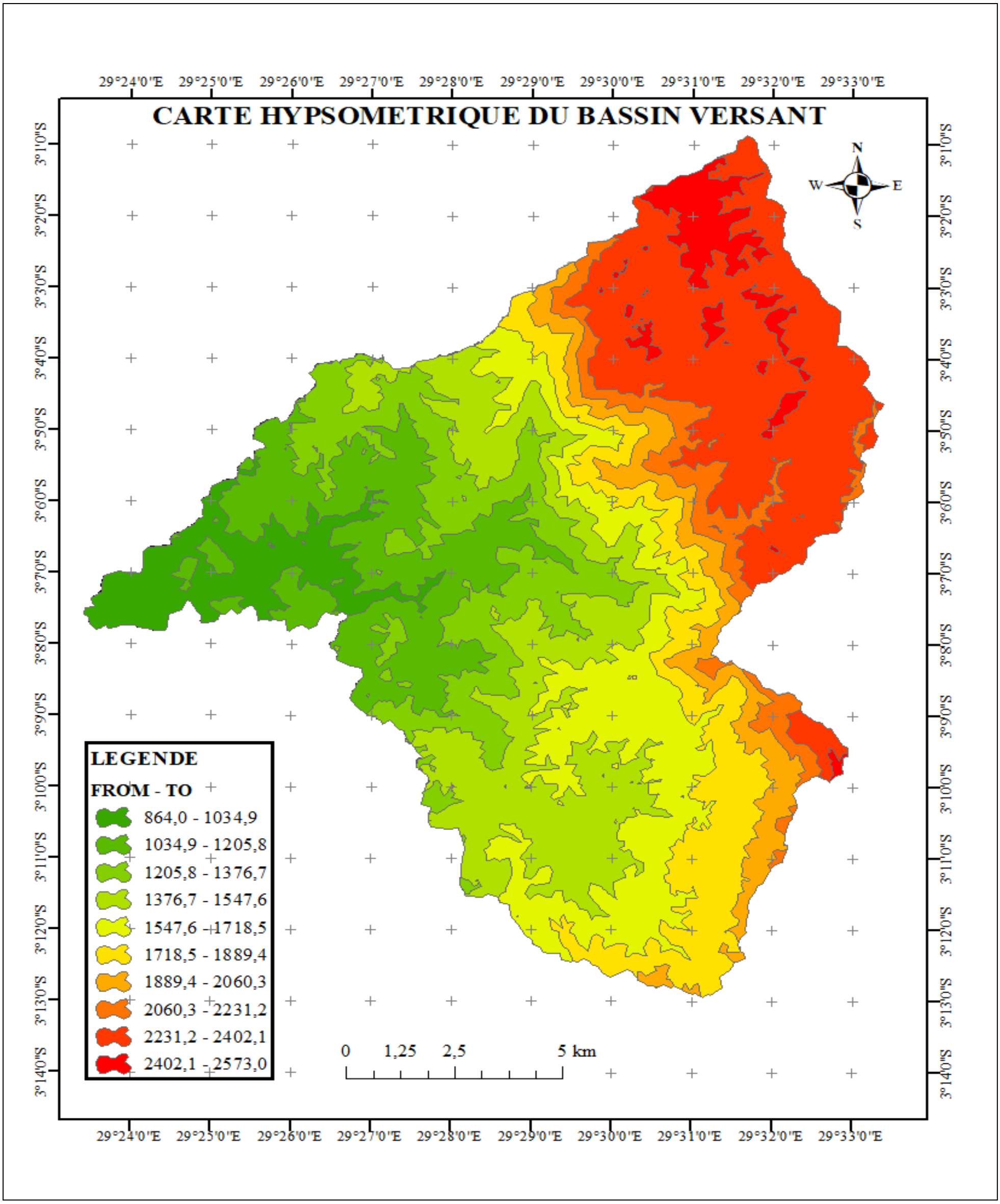


Figure III-6:carte hypsométrique du bassin versant de Mpanda à Gatura

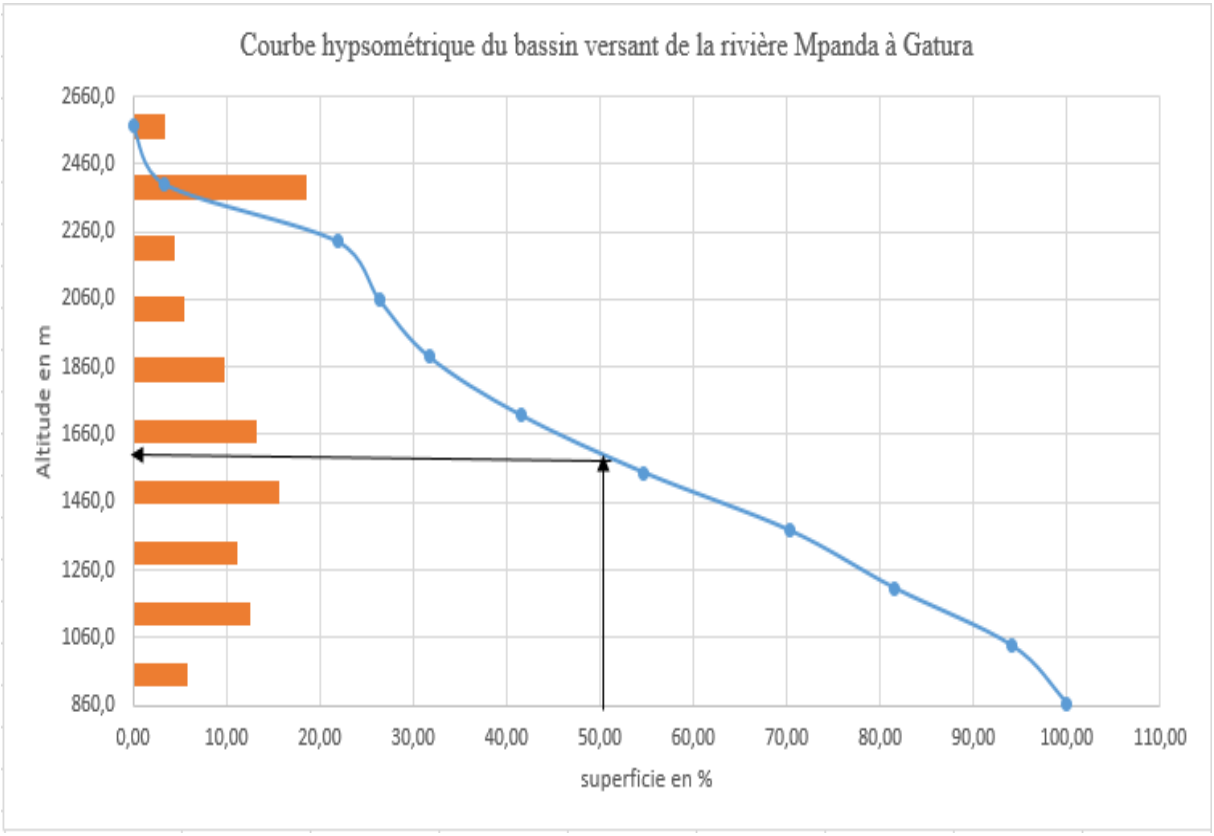


Figure III-7 : courbe hypsométrique du bassin versant de Mpanda à Gatura

L'altitude moyenne du bassin versant est de 1608.5m

Les principales caractéristiques du bassin versant qui ont été déterminées et qui sont indispensables dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques sont essentiellement les suivants :

- la superficie du bassin versant (A en km2) ;
- la longueur du cours d'eau (L en km) ;
- la longueur cumulée du thalweg (L_t en km) ;
- le périmètre du bassin versant (P en km) ;
- l'indice de compacité de Gravelius (K_p) ;
- L'altitude moyenne du bassin versant (Alt_{moy} en m) ;
- la pente du bassin versant (I en %) ;
- le temps de concentration ;
- la largeur du rectangle équivalent ainsi que sa longueur (L_a et L_o en km).

Les résultats donnent lieu des caractéristiques du bassin versant sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III-7 :les caractéristique du bassin versant de Mpanda à Gatura

-Paramètre -Nom du bassin versant	A (km^2)	L (km)	Lt (km)	P (km)	K_p	Alt $_{max}$ (m)	Alt moy (m)	Alt $_{min}$ (m)	I (%)	Lo Rect (km)	La Rect (km)	T_c (min)
Mpanda à Gatura	197,00	110,00	40,24	105.06	2,11	2402,00	1809,00	864,00	35,00	48,90	4,03	187,00

III.3. Bilan hydrique de la rivière Mpanda

III.3.1. Evaluation comparative des méthodes de calcul des besoins en eau d'irrigation

Dans le calcul des besoins, plusieurs logiciels sont proposés. Il s'agit entre autre le Cropwater et Aquacrop.

L'Aquacrop est la version moderne de calcul des besoins en eau des cultures et d'irrigation. Sa dernière version a été développée 2018 et c'est celle qui a été utilisée dans ce travail. Néanmoins, des calculs numériques qui ne tiennent pas compte des caractéristiques pédologiques s'utilise surtout au Burundi, en absence des données des caractéristiques du sol. Dans le présent travail, cette méthode utilisant la formule de Penman Monteith a aussi été utilisée pour pouvoir dégager les différences au niveau des résultats obtenus.

Le calcul des besoins en eau a été fait pour différentes années après avoir traités leurs caractéristiques et la modélisation a été effectuée pour une année humide (2/10),année moyenne (5/10) et année sèche (8/10).

Le calcul des besoins en eau d'irrigation est effectué pour établir le bilan hydrique pendant toute période végétative afin d'optimiser l'efficience du système d'irrigation. Il permet de mieux gérer la ressource hydrique, planifier et programmer l'irrigation au niveau des parcelles.

Les besoins ont été calculés pour une double riziculture d'une part, ce qui se pratique pour le moment, rarement à cause du manque d'eau et deux saisons de riz et polyculture. Cette dernière

scénario est en test, car au niveau d'IRRI et ISABU, ils sont en phase du riz qui aura un cycle végétatif de 4mois à l'Imbo.

Un troisième scénario de calcul des besoins en eau a été effectué seulement pour les polycultures afin de pouvoir évaluer et comparer les résultats des besoins en eau dans les différents cas possibles.

Le riz cultivé a une période de 4mois et les polycultures 3mois

Pour 2 saisons, la première saison commence en mi-Novembre pour se terminer en mi-Mars et la deuxième saison commence en mi-Juin pour se terminé en fin Septembre.

Pour 3 saisons, la première saison commencera en deuxième décade du mois de Septembre pour se terminer dans la première décade du mois de Janvier, la 2ème saison débitera au mois dans la 2ème décade du mois de Janvier pour prendre fin au Mois de Mai et la 3ème saison débutera dans la 2ème décade du mois de Juin et prend fin en première décade de Septembre.

La probabilité de non dépassement a été calculé suivant la formule de $P = \frac{m-0.5}{n} * 100\%$ avec :

- n : taille de l'échantillon
- m : le numéro d'ordre

Ainsi, après traitement des données des deux stations météorologique c à d, celle de Buja Aéroport et Imbo Sems, les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau III-8 : les précipitations, températures et l'humidité relative de l'air dans la station de l'Imbo sems

		Station d'Imbo Sems								
		Précipitation			Températures			Humidité relative de l'air		
Mois	décade	Année humide	Année moyenne	Année sèche	Année humide	Année moyenne	Année sèche	Année humide	Année moyenne	Année sèche
Janvier	D1	46,17	28,48	16,17	25,40	25,14	23,73	79,32	78,00	73,28
	D2	36,10	22,55	11,37	25,66	24,51	24,13	79,55	78,15	73,93
	D3	53,37	30,50	13,37	25,58	25,04	24,10	77,81	76,32	73,92
Février	D1	41,59	31,05	8,93	26,08	25,10	23,81	77,80	76,10	73,86
	D2	32,61	18,60	10,45	25,53	24,96	24,24	79,04	78,00	74,62
	D3	49,71	34,35	14,61	25,57	24,81	24,28	78,01	76,28	74,10
Mars	D1	82,94	50,80	29,41	25,70	24,72	23,99	78,15	75,85	73,22
	D2	59,69	26,35	15,00	25,68	24,71	23,97	77,64	76,10	74,19
	D3	54,25	37,45	19,00	25,30	24,70	23,88	77,91	76,94	76,10
Avril	D1	33,95	19,15	8,73	25,42	24,86	24,03	79,60	77,45	75,54

	D2	63,95	38,70	22,42	25,40	24,88	24,29	79,89	78,45	76,04
	D3	56,67	39,90	18,94	25,47	24,81	24,47	78,10	76,85	74,87
Mai	D1	37,12	7,80	0,90	25,00	24,55	24,23	79,26	77,30	74,88
	D2	44,60	15,95	4,15	25,62	24,95	24,24	78,07	76,00	72,22
	D3	13,60	6,20	2,19	24,75	24,58	24,21	75,99	74,41	70,42
Juin	D1	8,61	0,00	0,00	25,16	24,74	23,82	72,70	70,60	68,21
	D2	9,23	0,30	0,00	24,66	24,20	23,57	72,24	69,40	66,69
	D3	0,72	0,00	0,00	23,97	23,78	23,00	72,10	68,80	65,66
Juillet	D1	0,00	0,00	0,00	23,67	23,15	22,62	70,14	67,80	64,00
	D2	0,00	0,00	0,00	23,89	23,40	22,41	68,57	66,10	64,11
	D3	0,00	0,00	0,00	24,14	23,33	22,47	69,40	65,25	62,77
Août	D1	19,14	0,00	0,00	24,48	23,80	22,92	67,73	65,10	60,38
	D2	0,00	0,00	0,00	24,79	24,32	22,97	65,33	63,30	59,90
	D3	12,50	3,20	0,00	24,97	24,45	23,38	65,61	62,91	56,83
Septembre	D1	18,80	4,30	0,01	25,80	24,59	23,92	70,24	63,40	59,65
	D2	25,61	12,60	3,60	25,84	25,07	24,12	71,32	62,60	59,33
	D3	21,95	11,80	0,18	25,91	25,19	24,40	68,45	63,90	60,94
Octobre	D1	25,85	16,70	7,27	25,92	24,88	23,63	71,16	67,85	63,86
	D2	43,10	18,20	4,06	25,69	24,92	23,74	77,56	71,00	64,59
	D3	34,72	23,45	13,76	25,38	24,92	24,38	74,92	73,05	65,87
Novembre	D1	44,96	19,25	14,68	25,25	24,44	18,08	77,78	72,70	70,18
	D2	54,00	31,45	17,03	24,81	24,50	17,72	79,28	76,25	73,51
	D3	46,55	30,50	17,29	25,44	24,50	18,09	78,37	76,00	73,66
Décembre	D1	70,28	38,10	22,20	25,07	24,09	23,49	78,15	76,85	75,10
	D2	65,94	32,65	21,66	24,84	24,58	23,44	78,68	76,40	74,73
	D3	72,08	35,35	10,44	25,30	24,71	23,98	79,07	77,82	75,46

Tableau III-9 : les précipitations, températures et l'humidité relative de l'air dans la station de Buja Aéroport

		Station de Buja Aéroport								
		Précipitation			Température			Humidité relative de l'air		
Mois	décade	Année humide	Année moyenne	Année sèche	Année humide	Année moyenne	Année sèche	Année humide	Année moyenne	Année sèche
Janvier	D1	47,85	28,60	13,25	24,93	24,59	24,27	77,55	75,95	73,38
	D2	51,95	26,85	6,30	25,44	24,69	24,17	78,29	75,85	73,77
	D3	55,95	22,35	12,05	25,60	24,82	24,31	77,14	74,52	71,91
Février	D1	47,01	28,80	5,40	25,60	24,91	24,53	76,75	75,45	71,07
	D2	56,90	42,00	13,10	25,37	24,98	24,58	76,67	74,65	72,79
	D3	40,75	16,75	4,05	25,49	24,68	24,14	75,62	74,36	72,60
Mars	D1	56,45	34,50	13,25	25,59	24,89	24,28	76,98	74,50	71,92
	D2	45,95	33,45	14,90	25,28	24,85	24,46	77,07	75,00	73,02
	D3	58,05	34,25	12,90	25,45	24,81	24,51	76,88	75,17	72,76
Avril	D1	48,50	26,25	16,15	25,38	24,92	24,36	76,40	75,10	73,66

	D2	28,35	9,60	56,65	25,18	24,78	24,38	78,03	75,30	74,26
	D3	43,25	19,30	6,45	25,31	24,99	24,70	76,21	74,95	72,85
	D1	39,70	20,50	4,20	25,56	24,90	24,55	75,83	74,00	70,09
	D2	28,65	8,40	1,75	25,56	25,00	24,35	74,74	72,80	74,26
Mai	D3	15,10	1,85	0,00	25,13	24,50	23,80	73,89	70,87	68,45
	D1	6,30	0,00	0,00	24,80	24,19	23,73	71,53	69,65	66,12
	D2	1,75	0,00	0,00	24,41	23,70	23,39	70,20	68,85	65,37
Juin	D3	1,20	0,00	0,00	23,83	23,30	22,98	70,24	67,25	65,70
	D1	0,25	0,00	0,00	24,01	23,41	22,90	68,79	65,60	62,92
	D2	0,00	0,00	0,00	24,11	23,74	22,93	67,89	64,10	62,96
Juillet	D3	1,20	0,00	0,00	24,28	23,99	24,29	68,69	65,27	61,63
	D1	3,30	0,00	0,00	24,64	24,15	23,40	68,99	64,95	60,98
	D2	1,10	0,00	0,00	25,02	24,53	23,96	66,13	63,25	59,16
Août	D3	5,55	0,00	0,00	25,50	24,95	24,48	66,35	62,44	57,66
	D1	16,80	2,00	0,00	25,71	25,09	24,66	67,68	62,29	58,23
	D2	23,50	5,70	0,25	25,89	25,41	24,86	67,83	64,15	58,74
Septembre	D3	16,65	3,40	0,55	26,02	25,36	24,53	69,71	63,70	58,85
	D1	40,40	17,90	7,20	25,79	25,14	24,36	71,46	65,95	63,27
	D2	33,70	17,50	5,00	25,57	24,93	24,16	72,68	69,60	62,98
Octobre	D3	39,15	20,65	6,20	25,62	24,85	24,40	74,11	71,20	63,67
	D1	32,75	22,50	11,30	25,21	24,35	24,00	77,64	73,43	69,16
	D2	50,90	32,20	11,82	24,99	24,46	24,11	77,43	75,10	71,66
Novembre	D3	48,35	19,45	10,60	24,96	24,54	23,97	77,45	75,55	72,18
	D1	43,90	24,75	12,85	24,93	24,56	24,17	78,16	75,75	72,95
	D2	50,35	26,65	4,95	25,13	24,83	24,19	76,69	75,35	72,17
Décembre	D3	71,75	28,15	9,05	25,11	24,73	24,14	77,93	76,28	72,75

III.3.1.1. La méthode classique (méthode numérique)

Cette méthode se base seulement sur les caractéristiques météorologiques et cultural de la culture. Ainsi la formule suivante a été utilisée.

$$BN = K_c * ET0 - P_{eff}$$

Avec :

- KC : coefficient cultural qui varie selon les cultures et leurs stades végétatifs ;

- ETo : Evapotranspiration de référence

- P_{eff} : Précipitations efficaces (utiles).

Les besoins bruts exprimait la quantité nécessaire que la ressource doit fournir en tenant compte des diverses pertes éventuelles, ont été évalués suivant la formule suivante :

$BB = \frac{BN}{e}$: avec e : efficience du réseau.

Après les calculs, le tableau suivant montre les besoins en eau d'irrigation en utilisant la méthode classique(numérique).

Tableau III-10 :besoin en eau d'irrigation avec la méthode numérique pour une année avec deux et trois saisons en fonction de l'année humide, moyenne et sèche

		Méthode classique		Rapport (différence)		Mugerero & Gihanga I&II	Rukaramu & une partie de Rusizi
Année	Rotation des cultures	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	superficie (ha)	superficie (ha)
Année Humide	riz-riz	700,25	42,86				
	riz- riz-polyculture	780,25	47,75	80,00	4,90		
Année Moyenne	riz-riz	1441,19	88,20			4693	1427
	riz- riz-polyculture	1563,83	95,71	122,64	7,51		
Année Sèche	riz-riz	1861,44	113,92				
	riz- riz-polyculture	2082,76	127,47	221,33	13,55		

Avec BB : Besoins Bruts

Les résultats trouvés montrent que les besoins décroissent de l'année humide à l'année sèche et en fonction des cultures pour chaque saison.

III.3.1.2. La méthode moderne Aquacrop

L'Aquacrop est un modèle de simulation de croissance des cultures développé par la FAO pour répondre aux problèmes de sécurité alimentaire et évaluer l'effet de l'environnement et de la production agricole (www.fao.org>aquacrop).

Il calcule les besoins en eau d'irrigation en fonction des données d'entrée qui sont essentiellement les suivantes :

- le climat ;
- Culture ;
- la gestion (irrigation& le champs) ;
- Sol (profil & aquifère) ;

Avec ce logiciel tous les paramètres sont tenus compte.

Les figures suivantes montrent les menus principaux du logiciel Aquacrop.

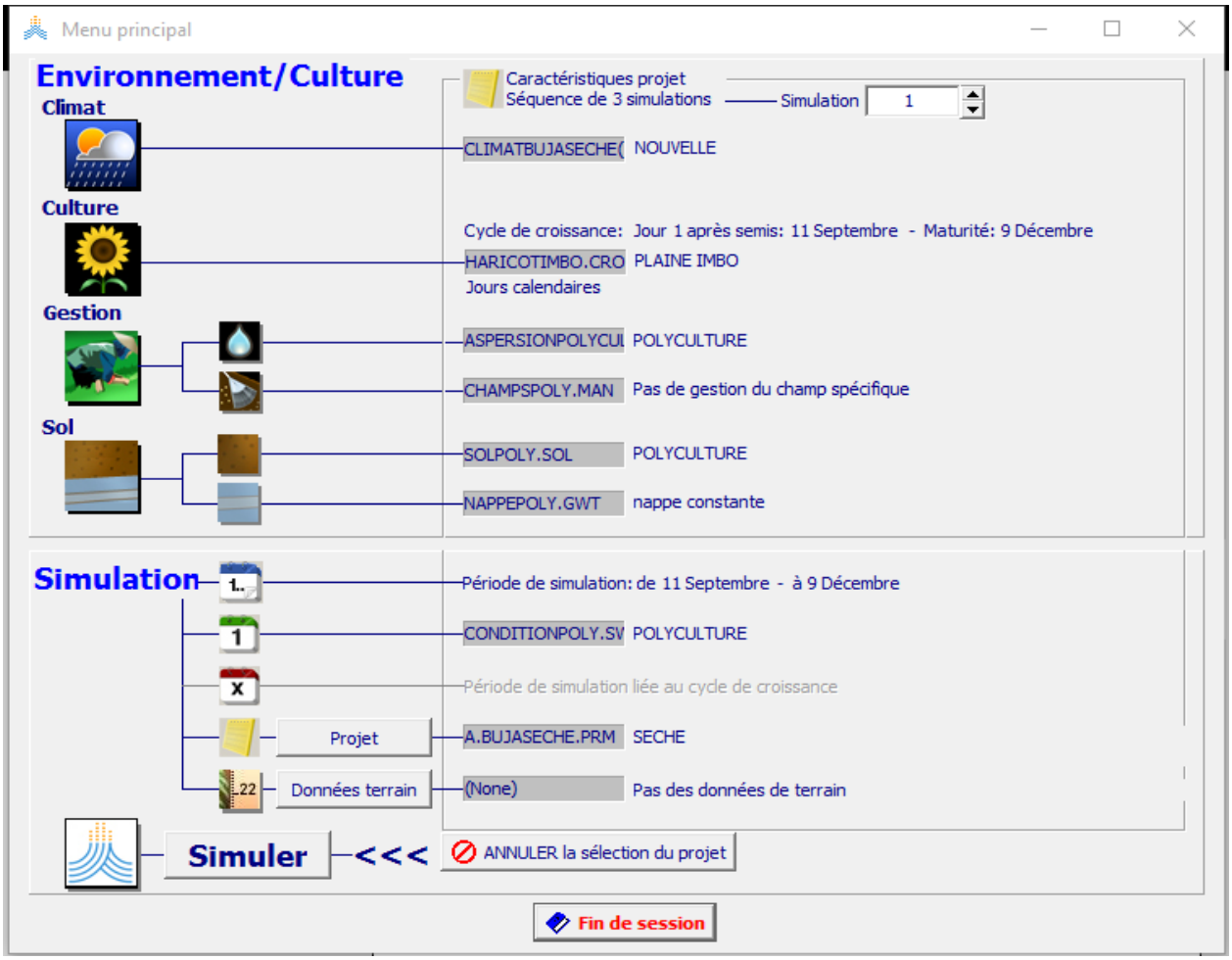


Figure III-8:menu principale du logiciel Aquacrop

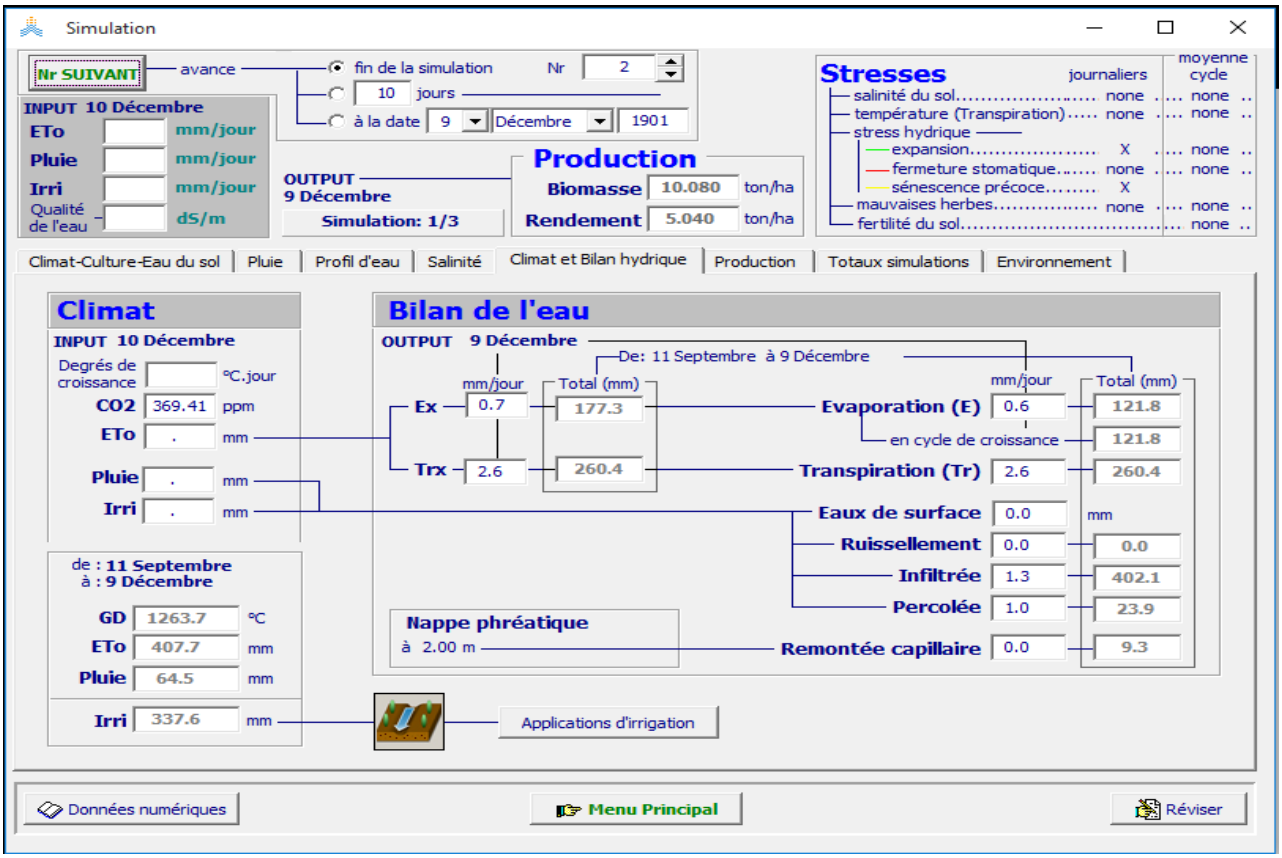


Figure III-9: menu des résultats de simulation

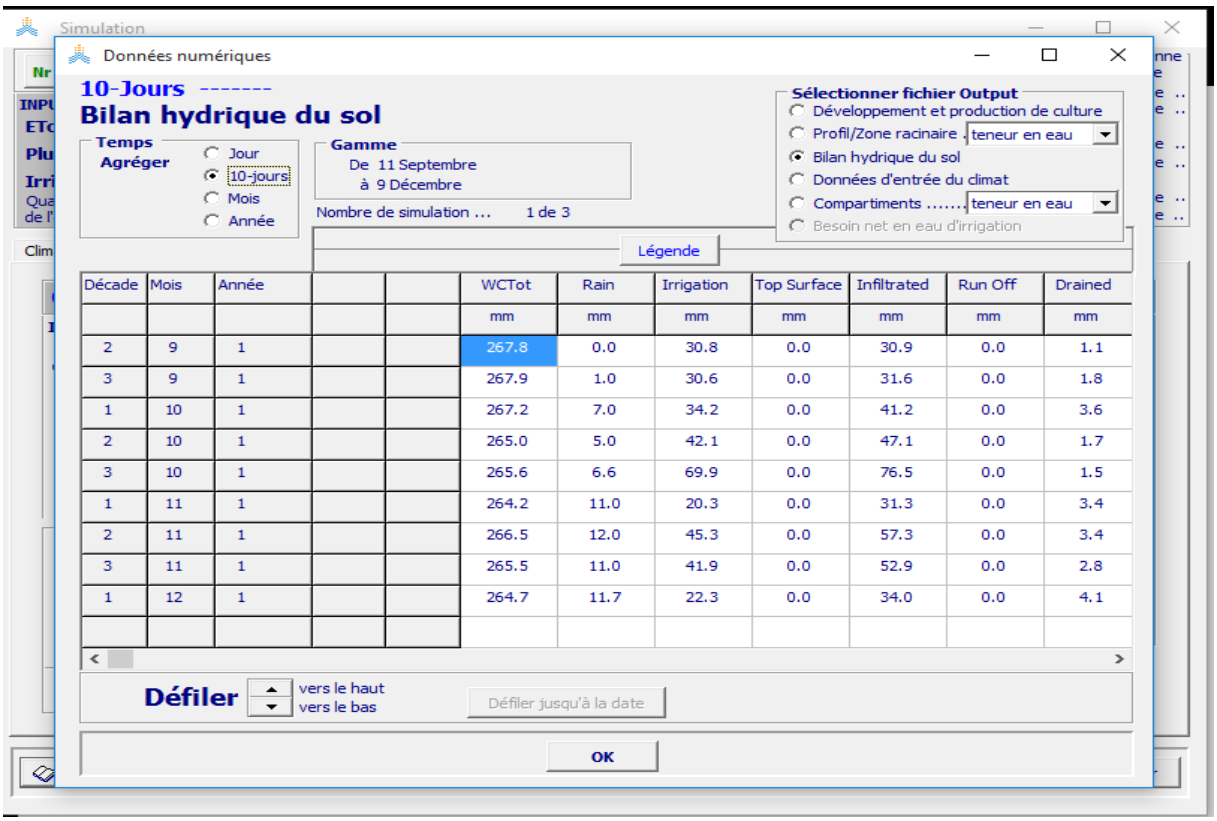


Figure III-10 *: menu du bilan hydrique du sol*

Après la simulation, les résultats trouvés sont les suivantes :

Tableau III-11 :les besoins en eau d'irrigation par la méthode Aquacrop pour une année avec deux et trois saisons en fonction de l'année humide, moyenne et sèche

		Méthode Aquacrop		Rapport (différence)		Mugerero & Gihanga I&II	Rukaramu & une partie de Rusizi
Année	Rotation des cult	BB(mm)	BB(10^6m^3)	BB(mm)	BB(10^6m^3)	superficie (ha)	superficie (ha)
Année Humide	riz-riz	614,50	37,61	156,70	9,59	4693	1427
	riz- riz-polyculture	771,20	47,20				
Année Moyenne	riz-riz	800,60	49,00	201,80	22,01		
	riz- riz-polyculture	1002,40	71,00				
Année Sèche	riz-riz	903,30	55,28	258,00	15,79		
	riz- riz-polyculture	1161,30	71,07				

III.3.1.3. Conclusion

La méthode classique prend en compte les caractéristique des plantes et les conditions météorique mais par contre la méthode Aquacrop tient compte par rapport aux paramètres ci haut cités à la nature du sol ainsi qu'à la présence de la nappe. Certes, ces deniers paramètres jouent un rôle prépondérant dans le calcul des besoins.

Le tableau et le schéma suivants montrent la comparaison des résultats détenus en utilisant ces deux méthodes.

Tableau III-12 :comparaison des résultats trouvés avec la méthode classique(utilisant la formule d'Ivanov) et Aquacrop

		méthode classique		méthode Aquacrop		rapport (différence)		
Année	Rotation des cultures	BB(mm)	BB(10^6m^3)	BB(mm)	BB(10^6m^3)	BB(mm)	BB(10^6m^3)	%
Année Humide	riz-riz	700,25	42,86	614,50	37,61	85,75	5,25	12,25
	riz- riz-polyculture	780,25	47,75	771,20	47,20	9,05	0,55	1,16
Année Moyenne	riz-riz	1441,19	88,20	800,60	49,00	640,59	39,20	44,45
	riz- riz-polyculture	1563,83	95,71	1002,40	71,00	561,43	24,70	25,81
Année Sèche	riz-riz	1861,44	113,92	903,30	55,28	958,14	58,64	51,47
	riz- riz-polyculture	2082,76	127,47	1161,30	71,07	921,46	56,39	44,24

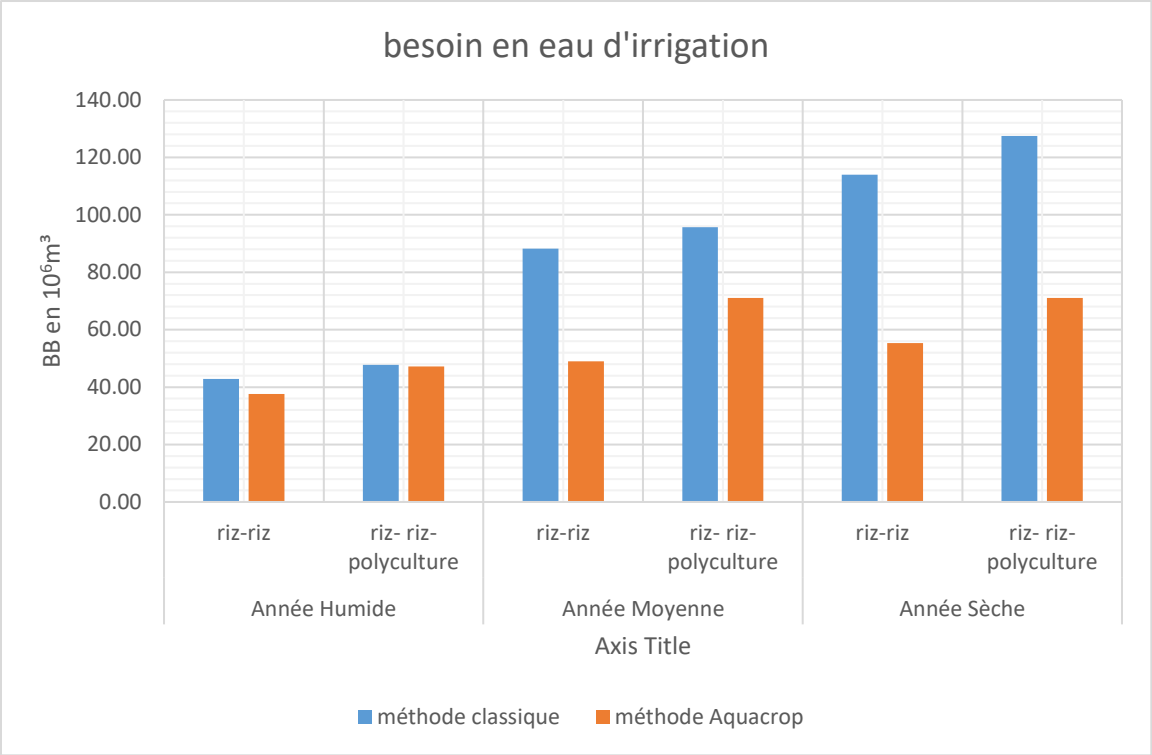


Figure III-11 : comparaison des résultats trouvés par la méthode classique et Aquacrop par année et par la saison des cultures

L'histogramme montre que la méthode classique sur-dimensionne par rapport à la méthode Aquacrop du fait qu'il y a des paramètres qui ne sont pas pris en considération.

La méthode moderne est même mieux conseillée par la FAO car elle tient en considération plusieurs facteurs. C'est ainsi qu'il faut absolument passer aux sondages pédologiques afin d'utiliser la méthode de calcul des besoins en eau des cultures. Ainsi dans la suite, l'évaluation du bilan hydrique et la proposition du mode de gestion seront faits à l'origine des résultats de l'Aquacrop.

Bilan hydrique consiste à établir l'adéquation Ressources – Besoins en comparant les ressources en eau de l'émissaire et les besoins en eau du périmètre à irriguer. Le bilan hydrique est réalisé pour chaque type d'année : l'année sèche, l'année moyenne et l'année humide.

Les données de la rivière pour chaque année ont été déterminées en utilisant les données provenant du jaugeage de 11ans de 2008 à 2019 avec une probabilité de non dépassement

$$p = \frac{m-0.5}{n+1} * 100\%.$$

Avec : m : le numéro d'ordre

n : taille de l'échantillon

Ainsi le tableau suivant traite les débits de la rivière Mpanda à Gatura.

Tableau III-13: débit de la rivière Mpanda à Gatura

		débit en fonction des années				
Mois	décade	Etiage	humide	moyenne	sèche	crues
Janvier	D1	3,25	9,90	9,06	7,33	11,09
	D2	3,25	8,45	7,85	6,12	9,38
	D3	3,25	10,93	9,47	6,63	12,31
Février	D1	2,87	10,01	9,18	3,91	9,59
	D2	2,87	8,47	6,65	4,09	8,14
	D3	2,87	11,41	9,86	4,58	10,90
Mars	D1	3,95	11,55	10,09	4,29	17,06
	D2	3,95	9,42	7,13	4,12	13,38
	D3	3,95	8,92	8,47	4,17	12,52
Avril	D1	3,31	7,69	6,40	3,77	10,89
	D2	3,31	11,57	9,55	4,49	17,58
	D3	3,31	10,63	9,74	4,31	15,96
Mai	D1	2,80	10,60	7,20	3,12	11,82
	D2	2,80	12,18	11,81	4,31	13,64
	D3	2,80	5,66	6,30	3,59	6,10
Juin	D1	2,27	7,39	6,00	2,68	8,94
	D2	2,27	7,39	6,00	2,68	8,94
	D3	2,27	7,39	6,00	2,68	8,94
Juillet	D1	2,11	3,81	5,20	2,36	8,60
	D2	2,11	3,81	5,20	2,36	8,60
	D3	2,11	3,81	5,20	2,36	8,60
Août	D1	2,25	7,98	5,14	2,62	9,42
	D2	2,25	7,98	5,14	2,62	9,42
	D3	2,25	7,98	5,14	2,62	9,42
Septembre	D1	2,16	7,48	3,61	2,16	2,22
	D2	2,16	9,41	6,40	3,13	25,43
	D3	2,16	8,38	6,13	2,21	3,32
Octobre	D1	2,51	7,56	6,98	2,76	10,82
	D2	2,51	10,93	7,38	2,65	7,15
	D3	2,51	9,30	8,79	2,99	18,25
Novembre	D1	3,16	9,59	6,17	3,77	10,88
	D2	3,16	10,89	8,08	3,86	12,11
	D3	3,16	9,82	7,93	3,87	12,25
Décembre	D1	3,68	11,23	9,51	6,69	14,29
	D2	3,68	10,76	8,68	6,62	14,03
	D3	3,68	11,42	9,09	5,09	8,67

Le bilan hydrique a été calculé en utilisant la formule suivante :

$Bilan = Qémissaire - Qutile$ Avec : Q : le débit

Les tableaux suivants montrent les bilans hydriques décadaires en fonction des années.

tableau III-14 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures riz-riz

		année humide /riz-riz					
	décade	Besoin en mm	Besoin en l/s,ha	besoin en m3/s	apport de la rivière(m3/s)	bilan(m3/s)	bilan en (106 m3)
Janvier	1D	19,80	0,23	1,40	9,90	8,49	7,34
	2D	21,40	0,25	1,52	8,45	6,93	5,99
	3D	16,50	0,19	1,17	10,93	9,76	8,44
Février	1D	20,30	0,23	1,44	11,87	10,43	9,01
	2D	24,60	0,28	1,74	9,92	8,18	7,07
	3D	9,00	0,10	0,64	13,62	12,99	11,22
Mars	1D	12,40	0,14	0,88	4,06	3,18	2,75
	2D	5,20	0,06	0,37	4,03	3,66	3,16
	3D	0,00	0,00	0,00	4,02	4,02	3,47
Avril	1D	0,00	0,00	0,00	8,91	8,91	7,70
	2D	0,00	0,00	0,00	13,85	13,85	11,97
	3D	0,00	0,00	0,00	12,65	12,65	10,93
Mai	1D	0,00	0,00	0,00	10,60	10,60	9,16
	2D	0,00	0,00	0,00	12,18	12,18	10,52
	3D	0,00	0,00	0,00	5,66	5,66	4,89
Juin	1D	0,00	0,00	0,00	7,39	7,39	6,38
	2D	0,00	0,00	0,00	7,39	7,39	6,38
	3D	37,60	0,44	2,66	7,39	4,72	4,08
Juillet	1D	29,70	0,34	2,10	3,81	1,71	1,47
	2D	32,60	0,38	2,31	3,81	1,50	1,30
	3D	44,70	0,52	3,17	3,81	0,64	0,56

Août	1D	44,70	0,52	3,17	7,98	4,81	4,16
	2D	51,80	0,60	3,67	7,98	4,31	3,72
	3D	51,00	0,59	3,61	7,98	4,37	3,77
Septembre	1D	38,60	0,45	2,73	7,48	4,75	4,10
	2D	33,00	0,38	2,34	9,41	7,08	6,11
	3D	35,60	0,41	2,52	8,38	5,86	5,06
Octobre	1D	22,40	0,26	1,59	7,56	5,97	5,16
	2D	1,60	0,02	0,11	10,93	10,82	9,35
	3D	0,00	0,00	0,00	9,30	9,30	8,03
Novembre	1D	0,00	0,00	0,00	9,59	9,59	8,29
	2D	0,00	0,00	0,00	10,89	10,89	9,41
	3D	17,20	0,20	1,22	9,82	8,60	7,43
Décembre	1D	16,90	0,20	1,20	11,23	10,03	8,67
	2D	10,80	0,13	0,77	10,76	10,00	8,64
	3D	17,10	0,20	1,21	11,42	10,21	8,82
Annuel		614,50					234,50

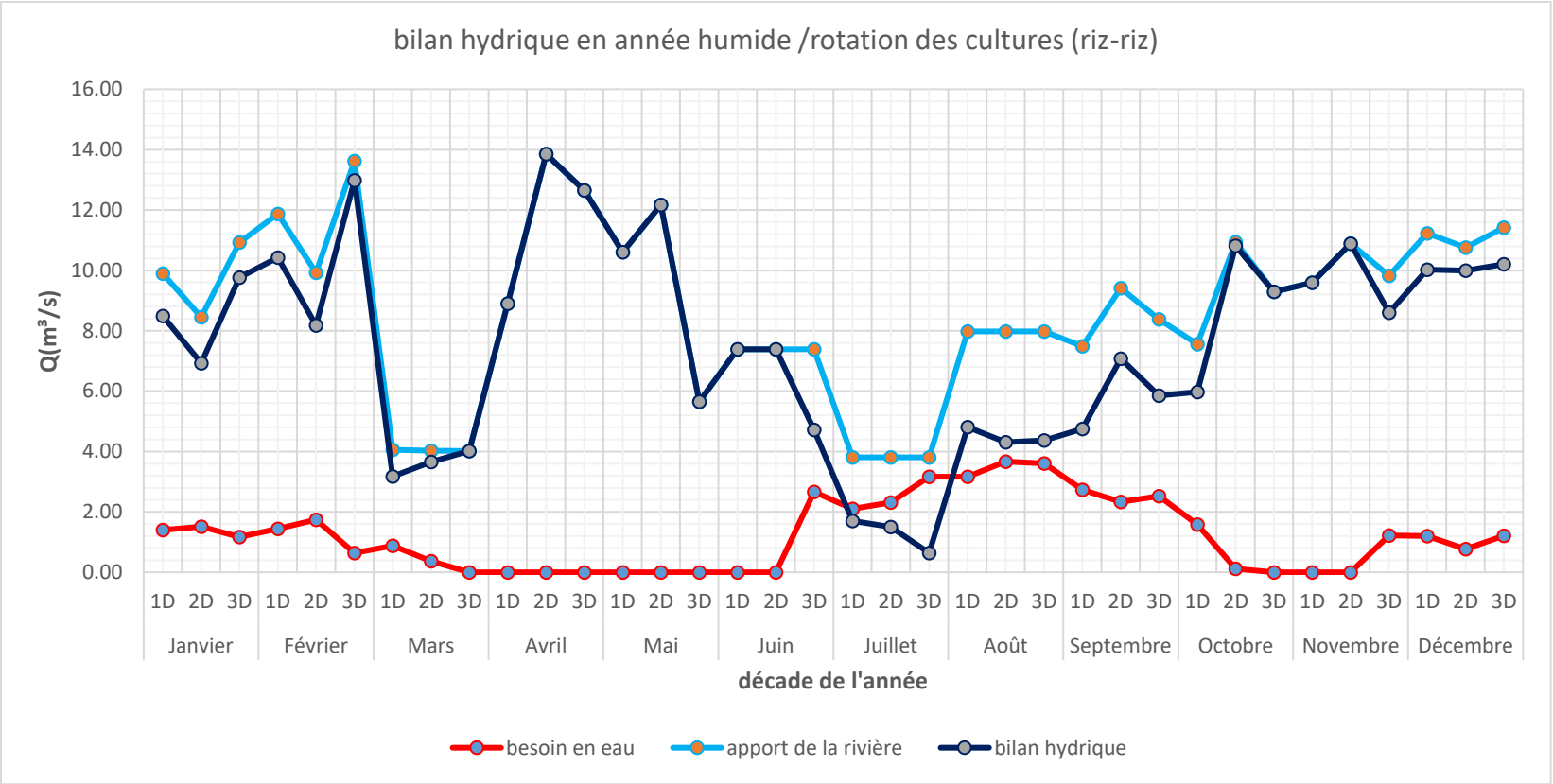


Figure III-12 :Bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures (riz-riz)

Tableau III-15 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures(riz-riz-polycultures)

		année humide /rotation des cultures (riz-riz-polyculture)					
	décade	Besoin en mm	Besoin en l/s.ha	besoin en m^3/s	apport de la rivière(m^3/s)	bilan(m^3/s)	bilan en (10^6 m^3)
Janvier	1D	4,10	0,05	0,29	9,90	9,61	8,30
	2D	0,00	0,00	0,00	8,45	8,45	7,30
	3D	12,20	0,14	0,86	10,93	10,07	8,70
Février	1D	15,40	0,18	1,09	11,87	10,77	9,31
	2D	23,90	0,28	1,69	9,92	8,23	7,11
	3D	14,40	0,17	1,02	13,62	12,60	10,89
Mars	1D	17,90	0,21	1,27	4,06	2,79	2,41
	2D	14,80	0,17	1,05	4,03	2,98	2,57
	3D	14,00	0,16	0,99	4,02	3,03	2,62
Avril	1D	21,60	0,25	1,53	8,91	7,38	6,37
	2D	23,10	0,27	1,64	13,85	12,22	10,55
	3D	13,40	0,16	0,95	12,65	11,70	10,11
Mai	1D	13,10	0,15	0,93	10,60	9,67	8,36
	2D	11,90	0,14	0,84	12,18	11,33	9,79
	3D	0,00	0,00	0,00	5,66	5,66	4,89
Juin	1D	19,80	0,23	1,40	7,39	5,98	5,17
	2D	28,50	0,33	2,02	7,39	5,37	4,64
	3D	30,50	0,35	2,16	7,39	5,23	4,52
Juillet	1D	38,50	0,45	2,73	3,81	1,08	0,94
	2D	46,40	0,54	3,29	3,81	0,52	0,45
	3D	51,60	0,60	3,66	3,81	0,15	0,13
Août	1D	44,40	0,51	3,15	7,98	4,83	4,18
	2D	48,50	0,56	3,44	7,98	4,54	3,93
	3D	33,50	0,39	2,37	7,98	5,61	4,84
Septembre	1D	0,00	0,00	0,00	7,48	7,48	6,47
	2D	18,30	0,21	1,30	9,41	8,12	7,01
	3D	30,20	0,35	2,14	8,38	6,24	5,39
Octobre	1D	28,50	0,33	2,02	7,56	5,54	4,79
	2D	26,10	0,30	1,85	10,93	9,09	7,85
	3D	34,00	0,39	2,41	9,30	6,89	5,95
Novembre	1D	21,50	0,25	1,52	9,59	8,07	6,97
	2D	11,00	0,13	0,78	10,89	10,11	8,73
	3D	17,50	0,20	1,24	9,82	8,58	7,41
Décembre	1D	16,00	0,19	1,13	11,23	10,09	8,72
	2D	9,70	0,11	0,69	10,76	10,07	8,70
	3D	16,90	0,20	1,20	11,42	10,22	8,83
Annuel		771,20					224,91

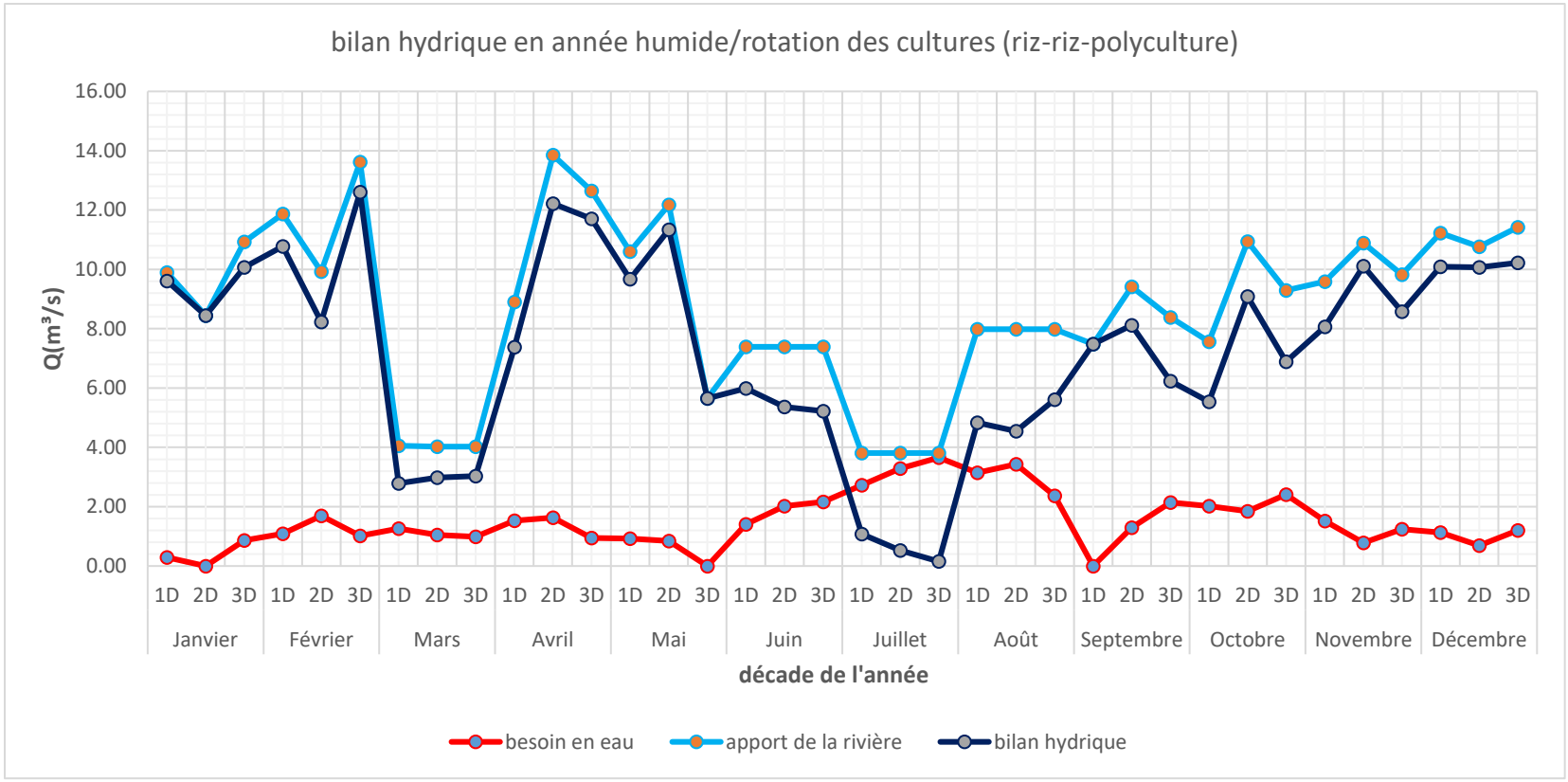


Figure III-13 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année humide avec la rotation des cultures(riz-riz-polycultures)

Tableau III-16 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz)

		année moyenne /rotation des cultures (riz-riz)					
	décade	Besoin en mm	Besoin en l/s.ha	Besoin en m^3/s	apport de la rivière(m^3/s)	bilan(m^3/s)	Bilan en (10^6 m^3)
Janvier	1D	29,20	0,34	2,07	9,06	6,99	6,04
	2D	28,50	0,33	2,02	7,85	5,83	5,04
	3D	35,00	0,41	2,48	9,47	6,99	6,04
Février	1D	25,90	0,30	1,83	9,26	7,42	6,41
	2D	33,00	0,38	2,34	6,69	4,36	3,76
	3D	22,50	0,26	1,59	9,94	8,34	7,21
Mars	1D	15,60	0,18	1,11	11,51	10,41	8,99
	2D	6,60	0,08	0,47	7,87	7,41	6,40
	3D	0,00	0,00	0,00	9,53	9,53	8,23
Avril	1D	0,00	0,00	0,00	6,44	6,44	5,56
	2D	0,00	0,00	0,00	9,63	9,63	8,32
	3D	0,00	0,00	0,00	9,82	9,82	8,49
Mai	1D	0,00	0,00	0,00	7,20	7,20	6,22
	2D	0,00	0,00	0,00	11,81	11,81	10,20
	3D	0,00	0,00	0,00	6,30	6,30	5,44
Juin	1D	0,00	0,00	0,00	6,00	6,00	5,19
	2D	0,00	0,00	0,00	6,00	6,00	5,19
	3D	44,70	0,52	3,17	6,00	2,84	2,45
Juillet	1D	37,40	0,43	2,65	3,14	0,49	0,42
	2D	39,40	0,46	2,79	3,14	0,35	0,30
	3D	48,90	0,57	3,46	3,14	-0,32	-0,28
Août	1D	49,00	0,57	3,47	5,14	1,67	1,44
	2D	52,90	0,61	3,75	5,14	1,39	1,21
	3D	57,00	0,66	4,04	5,14	1,10	0,95
Septembre	1D	51,00	0,59	3,61	3,61	-0,01	-0,01
	2D	47,80	0,55	3,39	6,40	3,02	2,61
	3D	46,40	0,54	3,29	6,13	2,85	2,46
Octobre	1D	27,80	0,32	1,97	6,98	5,01	4,33
	2D	3,60	0,04	0,26	7,38	7,13	6,16
	3D	0,00	0,00	0,00	8,79	8,79	7,59
Novembre	1D	0,00	0,00	0,00	6,17	6,17	5,33
	2D	0,00	0,00	0,00	8,08	8,08	6,98
	3D	27,00	0,31	1,91	7,93	6,02	5,20
Décembre	1D	23,20	0,27	1,64	9,51	7,87	6,80
	2D	20,80	0,24	1,47	8,68	7,20	6,22
	3D	27,40	0,32	1,94	9,09	7,15	6,18
Annuel		800,60					179,07

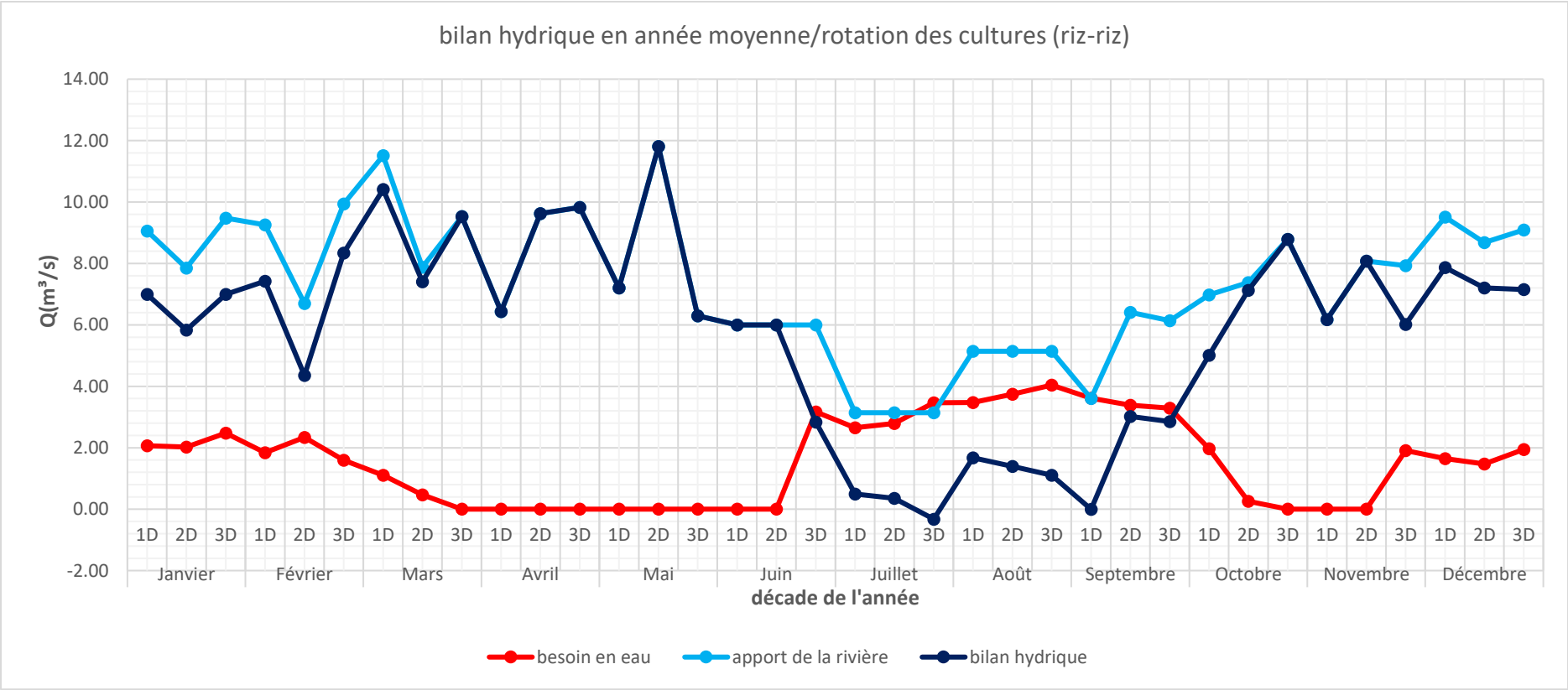


Figure III-14 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz)

Tableau III-17 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture)

		année moyenne /rotation des cultures (riz-riz-polyculture)					
	décade	Besoin en mm	Besoin en l/s.ha	besoin en m^3/s	apport de la rivière(m^3/s)	bilan(m^3/s)	Bilan en (10^6 m^3)
Janvier	1D	9,80	0,11	0,69	9,06	8,36	7,23
	2D	0,00	0,00	0,00	7,85	7,85	6,78
	3D	20,70	0,24	1,47	9,47	8,01	6,92
Février	1D	20,70	0,24	1,47	9,26	7,79	6,73
	2D	28,60	0,33	2,03	6,69	4,67	4,03
	3D	22,20	0,26	1,57	9,94	8,36	7,23
Mars	1D	27,20	0,31	1,93	11,51	9,59	8,28
	2D	28,70	0,33	2,03	7,87	5,84	5,05
	3D	26,40	0,31	1,87	9,53	7,66	6,61
Avril	1D	30,50	0,35	2,16	6,44	4,28	3,69
	2D	36,90	0,43	2,61	9,63	7,01	6,06
	3D	28,20	0,33	2,00	9,82	7,83	6,76
Mai	1D	31,30	0,36	2,22	7,20	4,98	4,31
	2D	24,80	0,29	1,76	11,81	10,05	8,68
	3D	0,00	0,00	0,00	6,30	6,30	5,44
Juin	1D	16,50	0,19	1,17	6,00	4,83	4,18
	2D	28,20	0,33	2,00	6,00	4,00	3,46
	3D	31,00	0,36	2,20	6,00	3,81	3,29
Juillet	1D	38,60	0,45	2,73	3,14	0,41	0,35
	2D	46,40	0,54	3,29	3,14	-0,15	-0,13
	3D	52,70	0,61	3,73	3,14	-0,59	-0,51
Août	1D	48,80	0,56	3,46	5,14	1,69	1,46
	2D	49,30	0,57	3,49	5,14	1,65	1,43
	3D	37,40	0,43	2,65	5,14	2,49	2,15
Septembre	1D	0,00	0,00	0,00	3,61	3,61	3,12
	2D	21,30	0,25	1,51	6,40	4,90	4,23
	3D	33,10	0,38	2,34	6,13	3,79	3,27
Octobre	1D	30,90	0,36	2,19	6,98	4,79	4,14
	2D	32,90	0,38	2,33	7,38	5,05	4,36
	3D	40,90	0,47	2,90	8,79	5,89	5,09
Novembre	1D	34,10	0,39	2,42	6,17	3,75	3,24
	2D	24,60	0,28	1,74	8,08	6,34	5,47
	3D	29,30	0,34	2,08	7,93	5,85	5,06
Décembre	1D	25,10	0,29	1,78	9,51	7,73	6,68
	2D	23,30	0,27	1,65	8,68	7,03	6,07
	3D	22,00	0,25	1,56	9,09	7,53	6,51
Annuel		1002,40		71,00			166,72

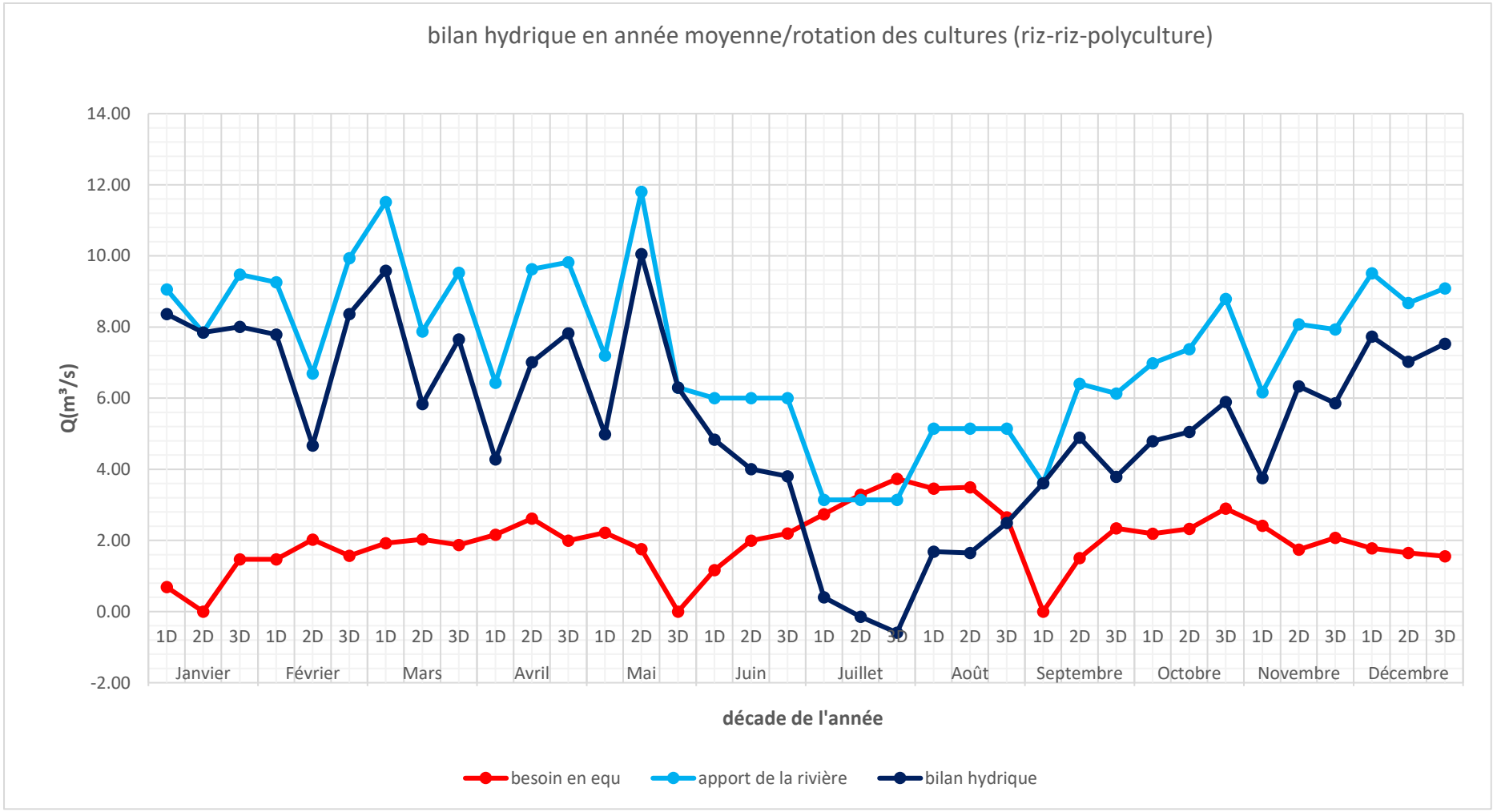


Figure III-15 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année moyenne avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture)

Tableau III-18 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz)

		année sèche/rotation des cultures (riz-riz)					
	décade	Besoin en mm	Besoin en l/s.ha	besoin en m^3/s	apport de la rivière(m^3/s)	bilan(m^3/s)	bilan en (10^6 m^3)
Janvier	1D	36,00	0,42	2,55	7,33	4,78	4,13
	2D	39,30	0,45	2,78	6,12	3,34	2,88
	3D	42,50	0,49	3,01	6,63	3,62	3,12
Février	1D	42,60	0,49	3,02	4,82	1,80	1,56
	2D	37,90	0,44	2,68	5,15	2,47	2,13
	3D	32,10	0,37	2,27	6,06	3,79	3,27
Mars	1D	29,10	0,34	2,06	11,27	9,21	7,96
	2D	9,80	0,11	0,69	7,68	6,99	6,04
	3D	0,00	0,00	0,00	8,68	8,68	7,50
Avril	1D	0,00	0,00	0,00	4,37	4,37	3,78
	2D	0,00	0,00	0,00	6,04	6,04	5,22
	3D	0,00	0,00	0,00	5,62	5,62	4,85
Mai	1D	0,00	0,00	0,00	3,55	3,55	3,07
	2D	0,00	0,00	0,00	6,29	6,29	5,44
	3D	0,00	0,00	0,00	4,64	4,64	4,01
Juin	1D	0,00	0,00	0,00	2,68	2,68	2,32
	2D	0,00	0,00	0,00	2,68	2,68	2,32
	3D	33,90	0,39	2,40	2,68	0,28	0,24
Juillet	1D	30,50	0,35	2,16	2,19	0,03	0,03
	2D	32,60	0,38	2,31	2,19	-0,12	-0,10
	3D	46,90	0,54	3,32	2,19	-1,13	-0,98
Août	1D	51,00	0,59	3,61	2,62	-0,99	-0,86
	2D	52,70	0,61	3,73	2,62	-1,11	-0,96
	3D	62,50	0,72	4,43	2,62	-1,81	-1,56
Septembre	1D	53,10	0,61	3,76	2,16	-1,60	-1,38
	2D	52,00	0,60	3,68	3,13	-0,55	-0,48
	3D	51,40	0,59	3,64	2,21	-1,44	-1,24
Octobre	1D	35,50	0,41	2,51	2,76	0,24	0,21
	2D	5,80	0,07	0,41	2,65	2,24	1,93
	3D	0,00	0,00	0,00	2,99	2,99	2,58
Novembre	1D	0,00	0,00	0,00	3,77	3,77	3,25
	2D	0,00	0,00	0,00	3,86	3,86	3,34
	3D	30,80	0,36	2,18	3,87	1,69	1,46
Décembre	1D	26,50	0,31	1,88	6,69	4,81	4,16
	2D	29,50	0,34	2,09	6,62	4,53	3,91
	3D	39,30	0,45	2,78	5,09	2,31	2,00
Annuel		903,30					85,17

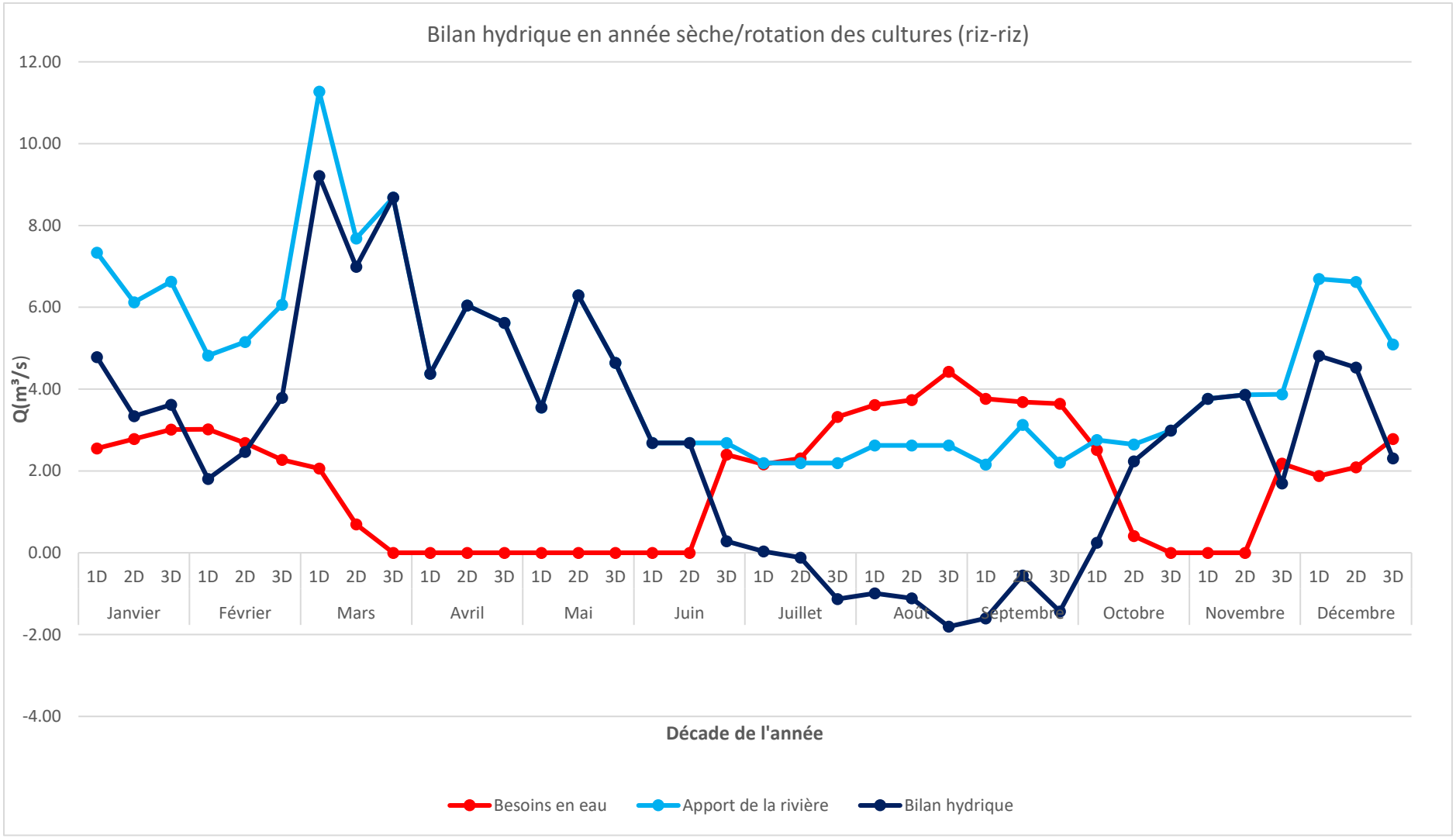


Figure III-16 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz)

Tableau III-19 : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture)

		année sèche/rotation des cultures (riz-riz-polyculture)					
	décade	Besoin en mm	Besoin en l/s.ha	besoin en m^3/s	apport de la rivière(m^3/s)	bilan(m^3/s)	bilan en (10^6 m^3)
Janvier	1D	16,30	0,19	1,15	7,33	6,18	5,34
	2D	0,00	0,00	0,00	6,12	6,12	5,29
	3D	22,30	0,26	1,58	6,63	5,05	4,36
Février	1D	29,10	0,34	2,06	4,82	2,76	2,38
	2D	29,70	0,34	2,10	5,15	3,05	2,63
	3D	27,10	0,31	1,92	6,06	4,14	3,58
Mars	1D	38,60	0,45	2,73	11,27	8,54	7,38
	2D	35,80	0,41	2,54	7,68	5,15	4,45
	3D	39,60	0,46	2,81	8,68	5,88	5,08
Avril	1D	38,00	0,44	2,69	4,37	1,68	1,45
	2D	28,00	0,32	1,98	6,04	4,06	3,51
	3D	37,50	0,43	2,66	5,62	2,96	2,56
Mai	1D	38,10	0,44	2,70	3,55	0,86	0,74
	2D	29,40	0,34	2,08	6,29	4,21	3,64
	3D	0,00	0,00	0,00	4,64	4,64	4,01
Juin	1D	16,60	0,19	1,18	2,68	1,51	1,30
	2D	29,00	0,34	2,05	2,68	0,63	0,54
	3D	30,40	0,35	2,15	2,68	0,53	0,46
Juillet	1D	39,50	0,46	2,80	2,19	-0,61	-0,52
	2D	46,50	0,54	3,29	2,19	-1,10	-0,95
	3D	54,00	0,63	3,83	2,19	-1,63	-1,41
Août	1D	50,80	0,59	3,60	2,62	-0,98	-0,84
	2D	49,40	0,57	3,50	2,62	-0,88	-0,76
	3D	41,50	0,48	2,94	2,62	-0,32	-0,27
Septembre	1D	0,00	0,00	0,00	2,16	2,16	1,87
	2D	22,10	0,26	1,57	3,13	1,56	1,35
	3D	34,70	0,40	2,46	2,21	-0,25	-0,22
Octobre	1D	33,70	0,39	2,39	2,76	0,37	0,32
	2D	37,30	0,43	2,64	2,65	0,01	0,00
	3D	49,50	0,57	3,51	2,99	-0,52	-0,45
Novembre	1D	38,20	0,44	2,71	3,77	1,06	0,92
	2D	36,10	0,42	2,56	3,86	1,31	1,13
	3D	35,60	0,41	2,52	3,87	1,35	1,17
Décembre	1D	32,50	0,38	2,30	6,69	4,39	3,79
	2D	38,60	0,45	2,73	6,62	3,88	3,36
	3D	35,80	0,41	2,54	5,09	2,56	2,21
Annuel		1161,30					69,38

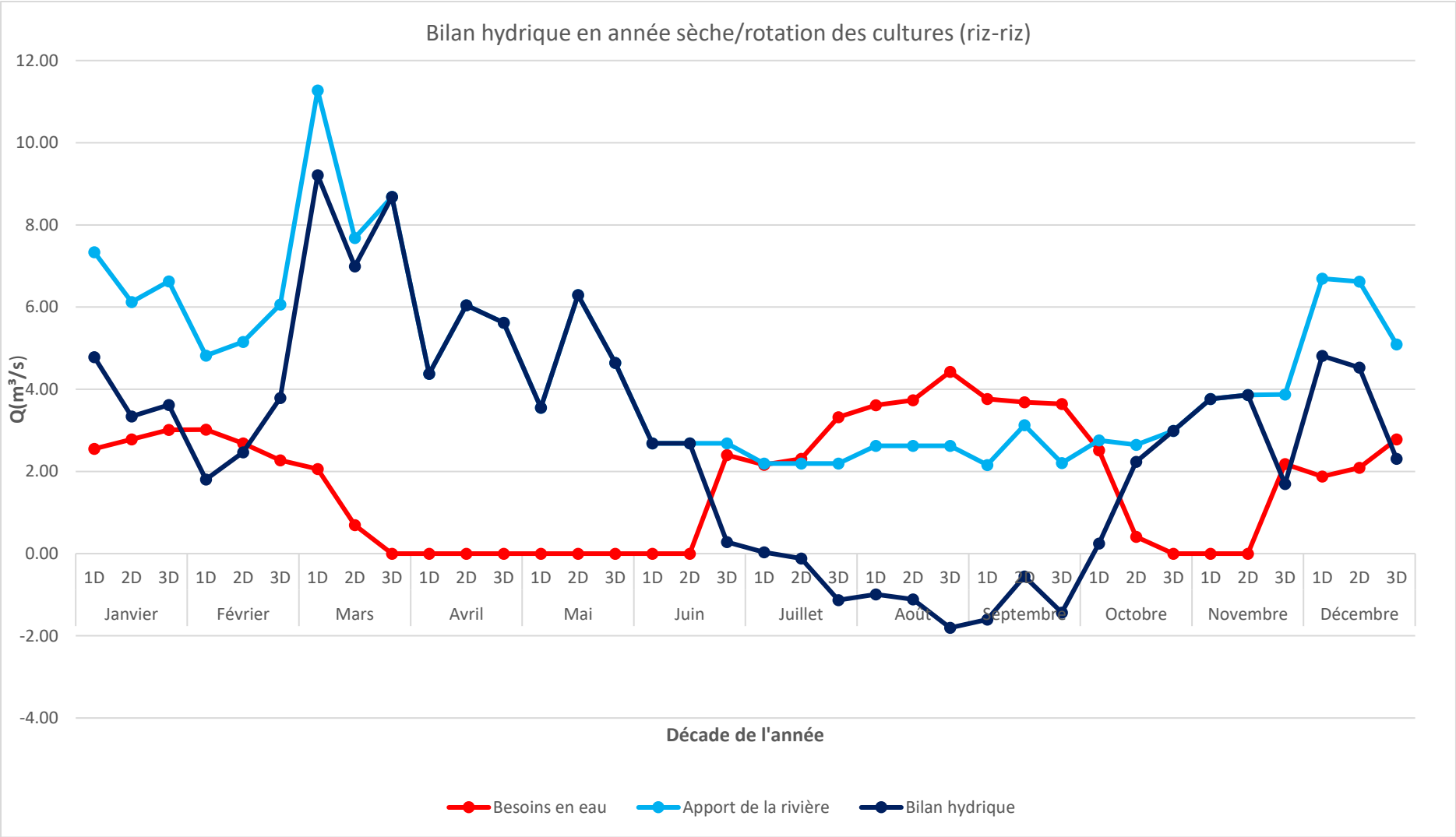


Figure III-17 : : bilan hydrique de la rivière Mpanda à Gatura en année sèche avec la rotation des cultures(riz-riz-polyculture)

III.3.1.4. Calcul des besoins avec irrigation par aspersion

Le calcul des besoins en eau d'irrigation faite avec une année de trois saisons par des polycultures.

Les résultats trouvés ont été calculés avec la méthode Aquacrop en fonction des différentes années.

Les tableaux suivants montrent les résultats trouvés en fonction des différentes années (année humide, moyenne, sèche) et des différentes rotations des cultures.

Tableau III-20 :les besoins en eau d'irrigation en année humide pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture.

	Année humide							
cultures	Polyculture(haricot-mais-patate douce)				riz-riz-polycultures		différence(rapport)	
méthode	Aspersion		Localisé		submersion		aspersion/ submersion	localisé/ submersion
Mois	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB($10^6 m^3$)	BB($10^6 m^3$)
Janvier	0,00	0,00	0,00	0,00	16,30	0,68	0,68	0,68
Février	49,60	2,08	45,10	1,89	53,70	2,25	0,17	0,36
Mars	51,00	2,14	49,30	2,07	46,70	1,96	-0,18	-0,11
Avril	0,00	0,00	20,60	0,86	58,10	2,44	2,44	1,57
Mai	22,10	0,93	0,00	0,00	25,00	1,05	0,12	1,05
Juin	99,00	4,15	95,20	3,99	78,80	3,31	-0,85	-0,69
Juillet	103,20	4,33	106,50	4,47	136,50	5,73	1,40	1,26
Août	104,00	4,36	104,30	4,38	126,40	5,30	0,94	0,93
Septembre	45,20	1,90	45,20	1,90	48,50	2,03	0,14	0,14
Octobre	98,40	4,13	77,50	3,25	88,60	3,72	-0,41	0,47
Novembre	61,90	2,60	61,90	2,60	50,00	2,10	-0,50	-0,50
Décembre	0,00	0,00	0,00	0,00	42,60	1,79	1,79	1,79
Total annuel	**634,40**	**26,61**	**605,60**	**25,40**	**771,20**	**32,35**	**5,74**	**6,95**

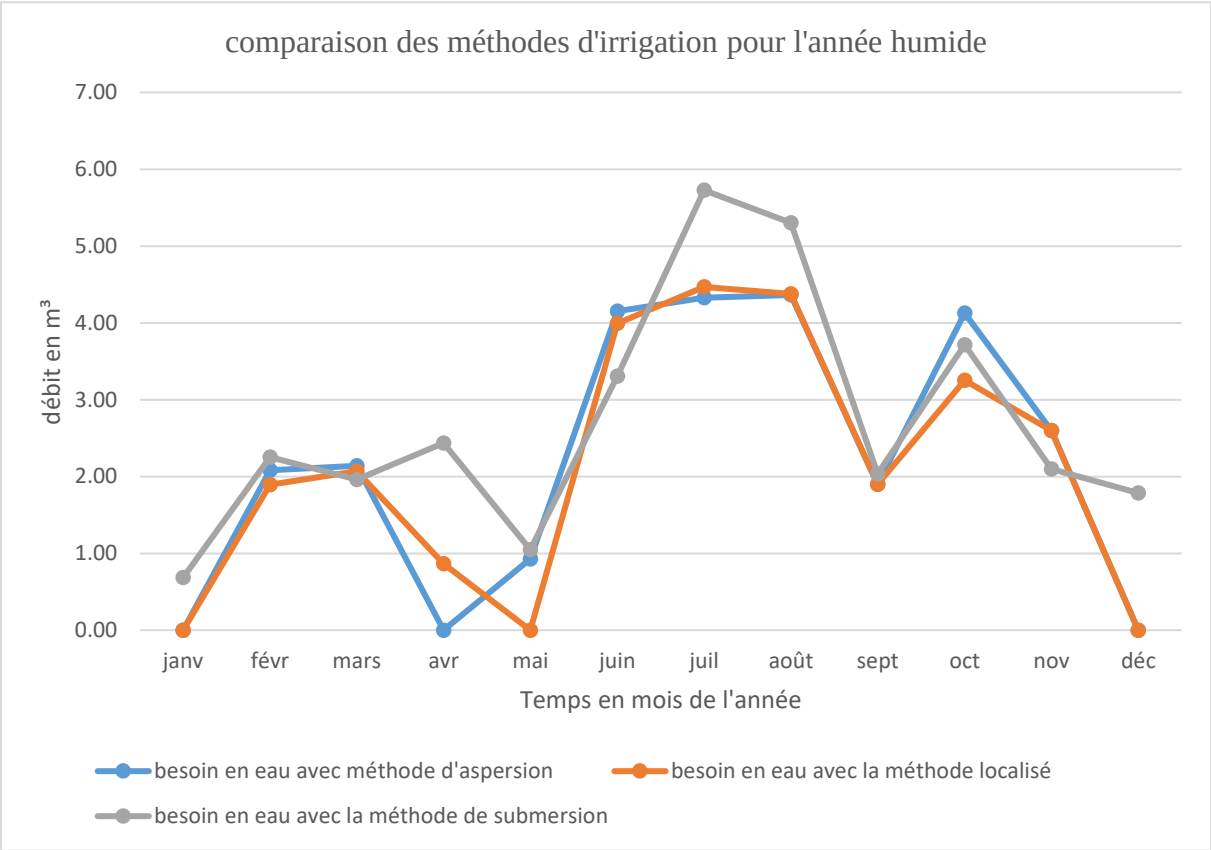


Figure III-18 : les besoins en eau d'irrigation en année humide pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture

Tableau III-21 : les besoins en eau d'irrigation en année moyenne pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saison et une saison de polyculture

	Année moyenne							
cultures	Polyculture(haricot-mais-patate douce)				riz-riz-polycultures		différence(rapport)	
méthode	Aspersion		Localisé		submersion		aspersion/ submersion	localisé/ submersion
Mois	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB($10^6 m^3$)	BB($10^6 m^3$)
janvier	37,40	1,57	38,50	1,62	30,50	1,28	-0,29	-0,34
février	51,10	2,14	51,10	2,14	71,50	3,00	0,86	0,86
mars	101,20	4,25	101,70	4,27	82,30	3,45	-0,79	-0,81
avril	0,00	0,00	0,00	0,00	95,60	4,01	4,01	4,01
mai	38,50	1,62	0,00	0,00	56,10	2,35	0,74	2,35
juin	99,60	4,18	96,90	4,06	75,70	3,18	-1,00	-0,89
juillet	104,50	4,38	105,40	4,42	137,70	5,78	1,39	1,35
août	153,60	6,44	150,20	6,30	135,50	5,68	-0,76	-0,62
septembre	76,00	3,19	58,40	2,45	54,40	2,28	-0,91	-0,17
octobre	115,30	4,84	123,40	5,18	104,70	4,39	-0,44	-0,78

novembre	87,80	3,68	86,90	3,65	88,00	3,69	0,01	0,05
décembre	20,90	0,88	21,90	0,92	70,40	2,95	2,08	2,03
total annuel	**885,90**	**37,16**	**834,40**	**35,00**	**1002,40**	**42,05**	**4,89**	**7,05**

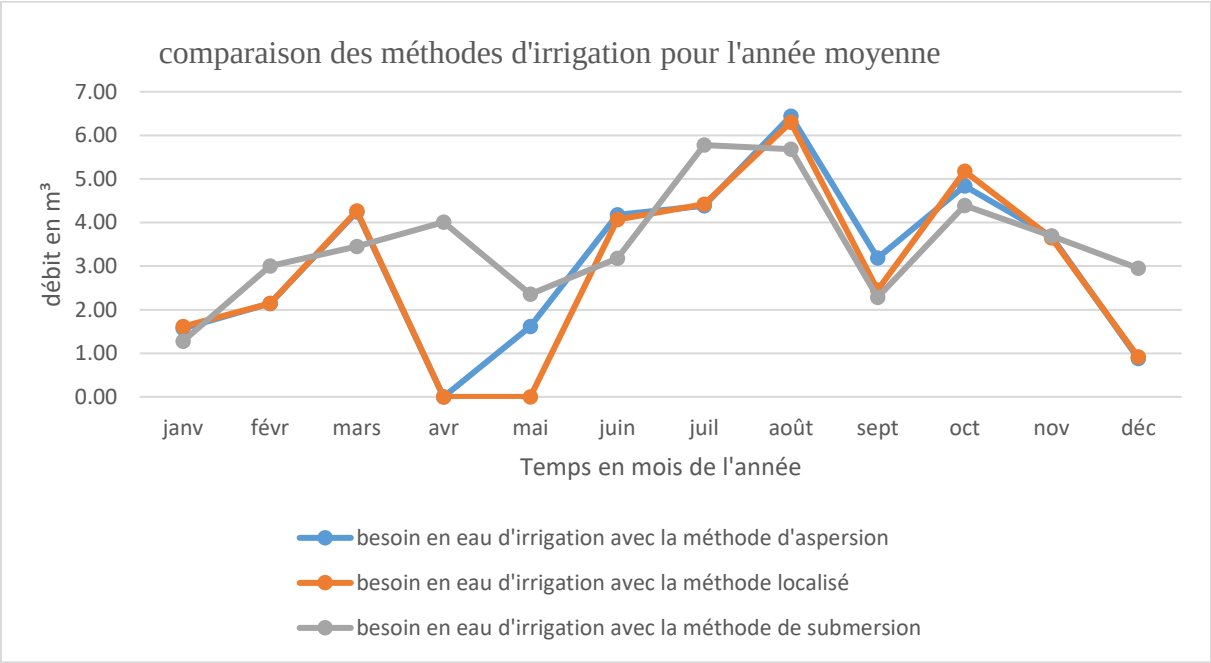
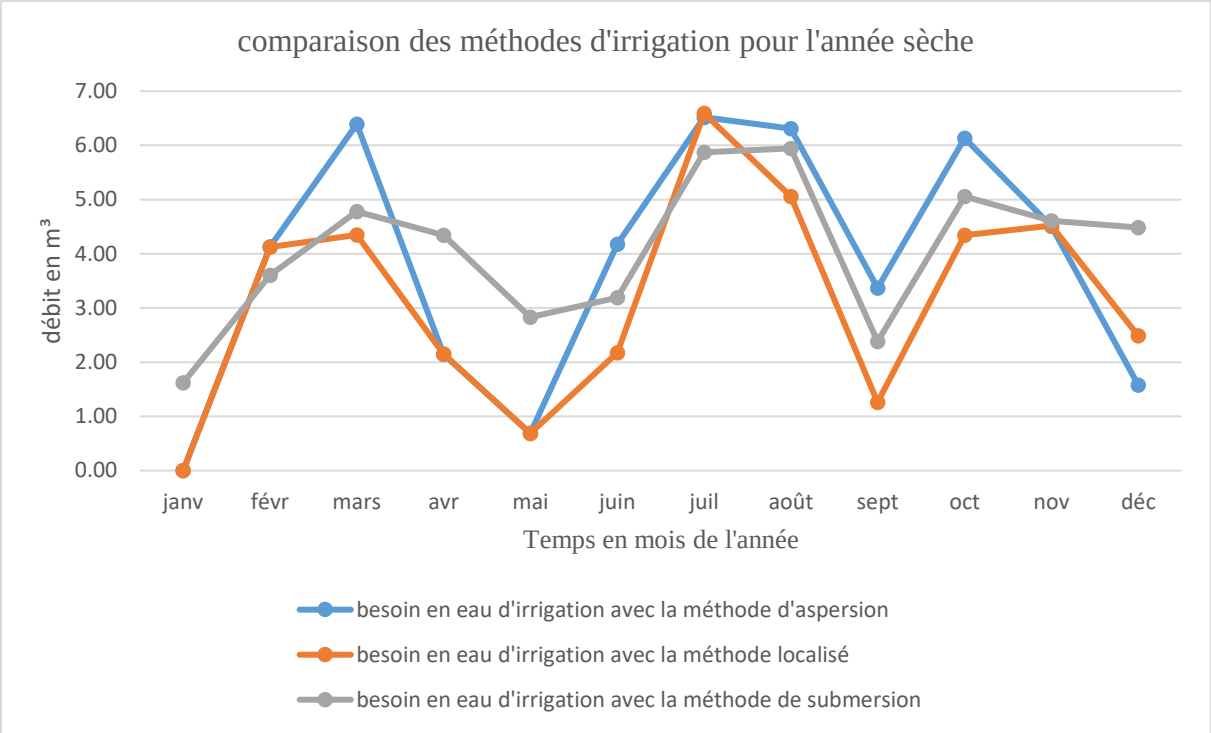


Tableau III-22 : les besoins en eau d'irrigation en année moyenne pour les polycultures avec deux différentes méthodes d'irrigation comparées à la submersion pour la riziculture de deux saisons et une saison de polyculture

	Année sèche							
cultures	Polyculture(haricot-mais-patate douce)				Rotation (riz-riz-polycultures)		différence(rapport)	
méthode	Aspersion		Localisé		submersion		aspersion/ submersion	localisé/ submersion
Mois	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB(mm)	BB($10^6 m^3$)	BB($10^6 m^3$)	BB($10^6 m^3$)
Janvier	0,00	0,00	0,00	0,00	38,60	1,62	1,62	1,62
Février	98,50	4,13	98,30	4,12	85,90	3,60	-0,53	-0,52
Mars	152,40	6,39	103,60	4,35	114,00	4,78	-1,61	0,44
Avril	51,20	2,15	51,30	2,15	103,50	4,34	2,19	2,19
Mai	16,40	0,69	16,40	0,69	67,50	2,83	2,14	2,14
Juin	99,60	4,18	51,90	2,18	76,00	3,19	-0,99	1,01
Juillet	155,40	6,52	157,10	6,59	140,00	5,87	-0,65	-0,72
Août	150,40	6,31	120,50	5,05	141,70	5,94	-0,36	0,89
Septembre	80,30	3,37	30,00	1,26	56,80	2,38	-0,99	1,12
Octobre	146,20	6,13	103,50	4,34	120,50	5,05	-1,08	0,71
Novembre	107,50	4,51	107,80	4,52	109,90	4,61	0,10	0,09
Décembre	37,70	1,58	59,30	2,49	106,90	4,48	2,90	2,00
Total annuel	**1095,60**	**45,96**	**899,70**	**37,74**	**1161,30**	**48,72**	**2,76**	**10,97**



III.3.1.5. Conclusion

Les méthodes d'irrigation sont différentes en fonction dont combien elles consomment de l'eau ou en fonction de leur mise en œuvre. Ainsi les derniers résultats montrent que la méthode qui économise plus l'eau est la méthode d'irrigation localisée. Avec cette méthode par rapport à celle de submersion, nous avons un gain annuel d'eau de 11millions de m³

.

CHAPITRE.IV CONSTRUCTION DU MODELE DE GESTION DE L'EAU DE LA RIVIERE MPANDA

IV.1. Introduction

Le bilan hydrique montre qu'il y a un surpris d'eau pendant la saison pluvieuse et un déficit pendant la saison sèche.

La solution qui est utilisée actuellement est de faire un tour d'eau pour palier à ce problème.

Mais cette solution n'est pas efficace car il y a beaucoup des inconvénients comme :

- Les conflits ;
- Corruption pour avoir de l'eau ;
- Décalage au niveau de semis des cultures ;
- Faibles rendements des cultures.

De ce fait, il faut construire un modèle efficace permettant de gérer l'eau pendant toute l'année, afin de pouvoir cultiver toute l'année.

Le modèle donc est construit pour pouvoir accumuler l'eau en excès de la saison pluvieuse, afin de l'utiliser pendant la saison sèche.

Il est alors indispensable de construire, dans la rivière un barrage permettant de remplir ce rôle ci haut cité.

On distingue donc, de façon schématique, plusieurs types de barrage :

- Suivant leur fonction mais sachant qu'un même ouvrage peut servir à plusieurs fonctions :
    - ✓ Accumulation d'eau restituée pour la production d'énergie, alimentation en eau potable ou irrigation ;
    - ✓ Régulation d'un cours d'eau pour la navigation ou la gestion des crues ou des étiages.
- Suivant leurs caractéristiques géométriques :

- ❖ Barrages réservoirs, de grande hauteur ;
- ❖ Barrages au fil de l'eau, sur le cours d'une rivière.

- Suivant leur conception :
  - ❖ Barrage poids, pour lesquels, comme leur nom l'indique, c'est la masse de l'ouvrage qui s'oppose à la pression de l'eau ;
  - ❖ Barrages voûtes, pour lesquels la pression de l'eau est transmise par l'ouvrage sur les parois latérales.
- Suivant les matériaux mis en œuvre pour construire le barrage ; on distingue :
  - ❖ Les barrages en terre ;
  - ❖ Les barrages en enrochements ;
  - ❖ Les barrages en gabions ;
  - ❖ Les barrages béton.

Dans le cas présent, nous allons utiliser le barrage ayant les caractéristiques suivantes :

- ✓ Accumulation pour irrigation ;
- ✓ Barrage poids ;
- ✓ Et en béton.

IV.2. Détermination des dimensions du barrage

Pour pouvoir déterminer les caractéristiques dimensionnelles du barrage qui servira de modèle pour gérer les eaux d'irrigation du périmètre dominé par la rivière Mpanda, nous allons nous servir du schéma suivant :

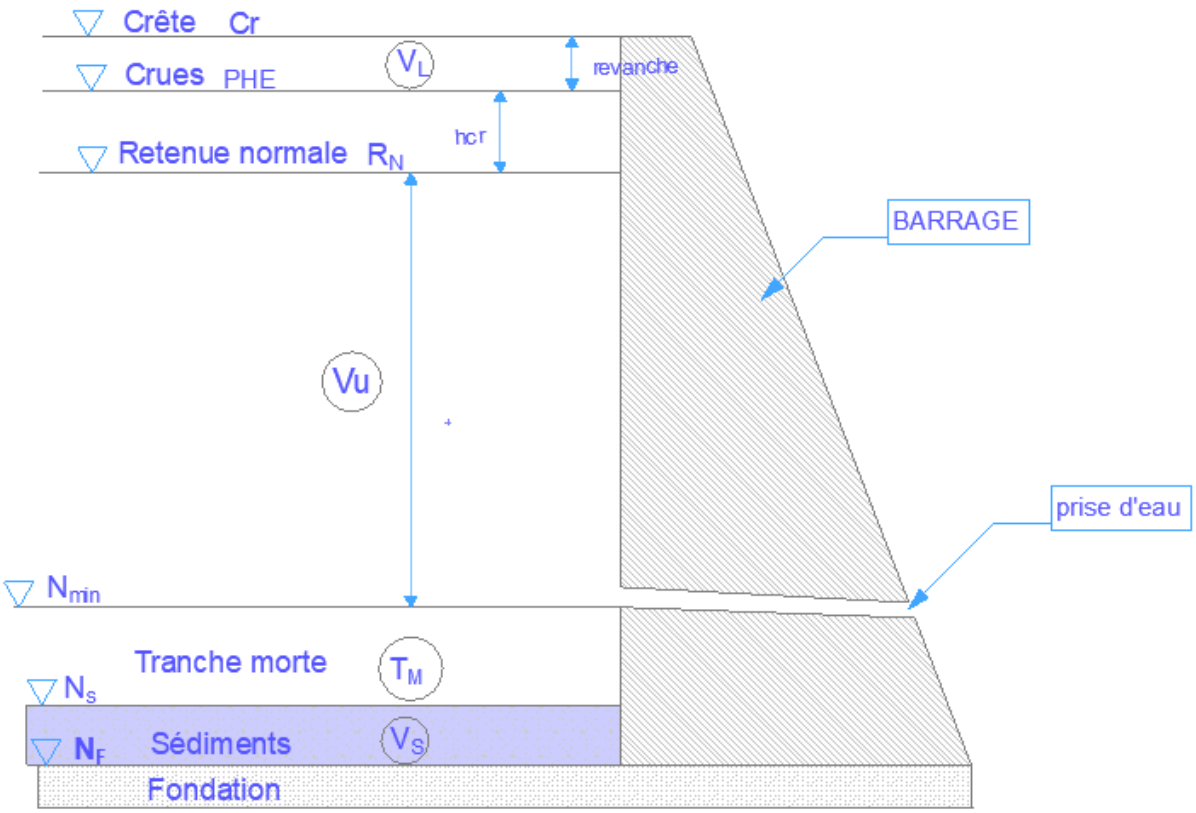


Figure V.1 : schéma d'un barrage

Annotation :

- Cr : Niveau de la crête
- PHE : Niveau des plus hautes eaux
- RN : Niveau de la retenue normale
- N_{min} : Niveau minimal d'exploitation
- N_F : Niveau de la fondation
- N_S : Niveau des sédiments
- V_L : Volume de laminage
- V_S : Volume des sédiments
- V_u : Volume utile
- T_M : Volume de la tranche morte

En bas de la retenue, il y a des sédiments provenant des apports solides du bassin versant suivi par le volume de la tranche morte qui est le volume environnemental. En haut du volume de la tranche morte se trouve le volume utile du barrage qui représente les besoins en eau d'irrigation.

La hauteur des crues suit la retenu normale pour protéger le barrage en cas des crues dans le but de les évacuer et pour plus de sécurité, on réserve la revanche.

IV.2.1. Calcul de l'apport solide en suspension

Pour estimer la sédimentation dans la retenu, la présente étude s'est beaucoup focalisée sur le calcul des apports solides en procédant par des formules empiriques, et de la comparaison des valeurs trouvées de la sédimentation dans les rapports des autres travaux déjà exécutés au Burundi.

Pour y parvenir, le calcul des sédiments a été fait en utilisant la formule de Fournier

$$E = \frac{1}{36}\left(\frac{P_{x^2}}{P_a}\right)^{2,65}\left(\frac{H^2}{S}\right)^{0,46}$$

Avec

- E- Apport solide annuel moyen spécifique t/km2/an
- Px- Pluviométrie mensuel moyen du mois le plus pluvieux
- Pa- Pluviométrie moyenne annuelle
- S- Superficie du bassin versant
- H- dénivelée moyenne

Cette formule a été choisie en fonction des données disponibles dans le bassin versant.

Le tableau suivant montre les apports annuels de la rivière Mpanda.

Tableau IV-1 :les apports de la rivière Mpanda

Px(mm)	Pa(mm)	S(ha)	H(m)	E(T/ha/an)	E(T/km²/an	poids(tonne/an)	volume(m³/an)
120,90	1 631,90	19 735,00	1 709,00	0,16	16,04	3 166,18	2 110,79

En comparant ces apports avec ceux des Mirwa qui sont de 0.10T/ha.an trouvé par des chercheurs pendant des recherches qui ont pris 10ans (DUCHAUFOUR. H et BIZIMANA. M, BITOKI. C, GUIZOL. P), on voit qu'on est dans la normale.

IV.2.2. Détermination du volume utile

Le volume utile est celui trouvé avec le calcul des besoins en eau d'irrigation avec l'année sèche.

$$Vu = 8\,000\,000 m^3$$

IV.2.3. Estimation du débit des crues de la rivière Mpanda à Gatura

IV.2.3.1. Délimitation du bassin versant

Comme on l'a déjà décrit dans le chapitre trois, le bassin versant de la rivière Mpanda à Gatura a une superficie de 197.35km². La délimitation du bassin versant a été faite en utilisant les éléments suivants :

- ✓ Les ortho photos les plus récentes,
- ✓ Le modèle numérique du terrain (MNT) et
- ✓ Le logiciel ARCGIS, version 10.3.

IV.2.3.2. Temps de concentration

Les temps de concentration (en minutes) sont calculés avec diverses formules empiriques adaptées aux bassins versants ruraux en termes d'occupation du sol mais aussi des pentes des terrains et de la forme. On prend la moyenne des résultats de ces formules. Les résultats sont synthétisés dans le tableau V.2.3.2.1.

Les formules utilisées :

Formule de Giandoti : $T_c = 60 * \frac{0.4\sqrt{S} + 0.0015L}{0.8\sqrt{I * L}}$ avec : T_c : temps de concentration en min

S : superficie en ha

L : plus grande longueur hydraulique

I : pente en m/m

- Formule de Passini : $T_c = 0.14 * \frac{(S * L)^{1/3}}{\sqrt{I}}$ avec : T_c : temps de concentration en min

S : superficie en ha

L : plus grande longueur hydraulique

I : pente en m/m

- Formule de Kirpich : $T_c = 0.0195\left(\frac{L}{I}\right)^{0.77}$ avec : T_c : temps de concentration en min

  L : plus grande longueur hydraulique

  I : pente en m/m

- Formule de Ventura : $T_c = 7.62*\left(\frac{S}{I}\right)^{0.5}$ avec : T_c : temps de concentration en min

  S : superficie en km²

  I : pente en m/m

Les résultats de calcul des temps de concentration sont mis dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 :Temps de concentration du bassin versant de Mpanda à Gatura

				Tc				
BV	**L(m)**	**S(ha)**	**P(m/m)**	**Giandotti**	**Passini**	**Kirpich**	**Ventura**	**moyenne**
Mpanda à Gatura	40240,00	19735,00	0,35	73,66	219,14	102,60	63,33	**114,68**

Le temps de concentration pour notre bassin est pris égal à **115min**

IV.2.3.3. Pluie de Projet

Comme les données de jaugeage de 11ans de 2008 à 2019 ne sont pas suffisantes pour mener une étude fiable, nous avons utilisé les données pluviométriques pour déterminer le débit des crues.

Ces données ont été trouvées en transposant les données de la station hydrologique de l'Imbo sems de 29ans de 1990 à 2019 comme ça été déjà décrit dans le chapitre précédent.

La pluie de projet a été estimée en utilisant trois méthodes dont Gumbel, méthodes des moments et la loi log Pearson.

L'objectif, ici, est d'estimer les pluies de pointes (pluies maximales) correspondants à un certain temps de retour, c'est-à-dire à une certaine probabilité d'apparition. Pour y parvenir, nous allons passer par l'analyse fréquentielles des pluies observées dans le bassin versant.

L'analyse fréquentielle d'une longue série de pluies maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

En hydrologie fréquentielle, les modèles fréquentiels les plus souvent utilisées pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes sont la distribution Log-Normale, la distribution

Log-Pearson type III, la distribution de Gumbel et la méthode des moments. Dans un cadre comparatif, comme cela est recommandé pour un tel projet, ces trois lois sont utilisées dans ce travail pour prédéterminer les pluies de pointes fréquentielles du projet.

La première étape consiste à la préparation de la série des données des pluies maximales annuelles enregistrées. Il s'agit premièrement de trier les valeurs dans l'ordre croissant ou décroisant selon que les fréquences calculées sont des fréquences de non dépassement ou de dépassement. Ensuite on attribue un rang à chaque valeur.

Après, à la deuxième étape, on calcule la fréquence empirique pour chaque rang en utilisant soit l'équation de Weibull (pour log-normal et log-Pearson III) soit celle de Hazen (pour

Gumbel). Cette fréquence empirique qui est régie par la relation ci-après :

$$F= \frac{(m-A)}{(n+1-A-B)}$$

Avec : m : rang de la valeur de la pluie

N : nombre des pluies dans la série des données

A&B : constantes dépendant de l'équation utilisée

(Weibull: A=B=0; Hazen: A=B=0.5)

$T=\frac{1}{1-F(x_i)}$ dans le cas de fréquence de non dépassement et $T=\frac{1}{1-F(x_i)}$ pour une fréquence de dépassement

- Distribution Log-Pearson III

La technique recommandée pour ajuster une distribution de Log Pearson III au prélèvement annuel observé consiste à calculer les logarithmes de base 10 du débit Q, à la probabilité de dépassement sélectionnée, F, à l'aide de l'équation : $Z = \log Q = \overline{Z} + K\sigma_z$. Le facteur *K* est, ici, du coefficient d'asymétrie de la série Z et de la probabilité sélectionnée.

Le coefficient d'asymétrie Cs est calculé par la formule : $C_s = \dfrac{n\sum\left(z-\bar{z}\right)^3}{(n-1)(n-2)\sigma^3}$

$\bar{z} = 10.72$; $\sigma = 2.78$;Cs = –0.899.

Le tableau suivant nous donne les résultats de la pluie du projet obtenue à l'aide de la méthode de Log-Pearson III.

Tableau IV-3 :pluie de projet la méthode de Log-Pearson III

T(ans)	F(x)	K(Y)	Log Q	z	h[mm]
1,0101	0,990	-2,957	1,403	2,326	25,273
1,11	0,901	-1,339	1,622	1,287	41,882
1,25	0,800	-0,769	1,699	0,842	50,037
2	0,500	0,148	1,824	0,000	66,625
5	0,200	0,854	1,919	-0,842	83,060
10	0,100	1,147	1,959	-1,282	91,020
25	0,040	1,407	1,994	-1,751	98,721
50	0,020	1,549	2,014	-2,054	103,199
100	0,010	1,660	2,029	-2,326	106,841
200	0,005	1,749	2,041	-2,576	109,855
500	0,002	1,843	2,054	-2,878	113,111
1000	0,001	1,900	2,061	-3,090	115,126
10000	0,000	2,030	2,079	-3,719	119,902

▪ Distribution de Gumbel

La loi de Gumbel a pour fonction de répartition :

$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\dfrac{x-a}{b}\right)\right)$ avec la variable réduite suivante $u = \dfrac{x-a}{b}$

= où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$F(x) = \exp(-\exp(-u))$ et $u = -\ln(\ln(F(x)))$.

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire :

$$x_p = a + bu_p$$

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes x - u il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi.

Il existe différentes méthodes d'ajustement : méthode graphique (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique), méthode des moments etc.

- *Méthode graphique*

On applique les étapes déjà décrites ci-haut jusqu'à la détermination de la variable réduite de Gumbel. Ci-dessous le tableau des résultats obtenus.

Tableau IV-4 :calcul de la variable réduite

ANNEE	H(mm)(z=820)	H(mm)(Z=1608,52)	H(mm)croissant	m	Fi	U(x)
1989	61	63,63	27,6284	1	0,02	-1,33
1990	84,3	86,93	41,1284	2	0,07	-0,99
1991	62,4	65,03	41,2284	3	0,11	-0,78
1992	56,3	58,93	43,8284	4	0,16	-0,61
1993	38,6	41,23	54,4284	5	0,20	-0,46
1994	61,7	64,33	56,6284	6	0,25	-0,33
1995	70	72,63	58,9284	7	0,30	-0,20
1996	54	56,63	59,6284	8	0,34	-0,07
1997	41,2	43,83	60,1284	9	0,39	0,05
1998	80,6	83,23	63,6284	10	0,43	0,17
1999	25	27,63	64,3284	11	0,48	0,30
2009	67,7	70,33	65,0284	12	0,52	0,43
2010	81,8	84,43	69,4284	13	0,57	0,57
2011	76	78,63	70,3284	14	0,61	0,72
2012	92,8	95,43	72,6284	15	0,66	0,87
2013	57	59,63	78,6284	16	0,70	1,05
2014	38,5	41,13	79,6284	17	0,75	1,25
2015	51,8	54,43	83,2284	18	0,80	1,47
2016	77	79,63	84,4284	19	0,84	1,75

2017	66,8	69,43	86,9284	20	0,89	2,12
2018	101	103,63	95,4284	21	0,93	2,65
2019	57,5	60,13	103,628	22	0,98	3,77

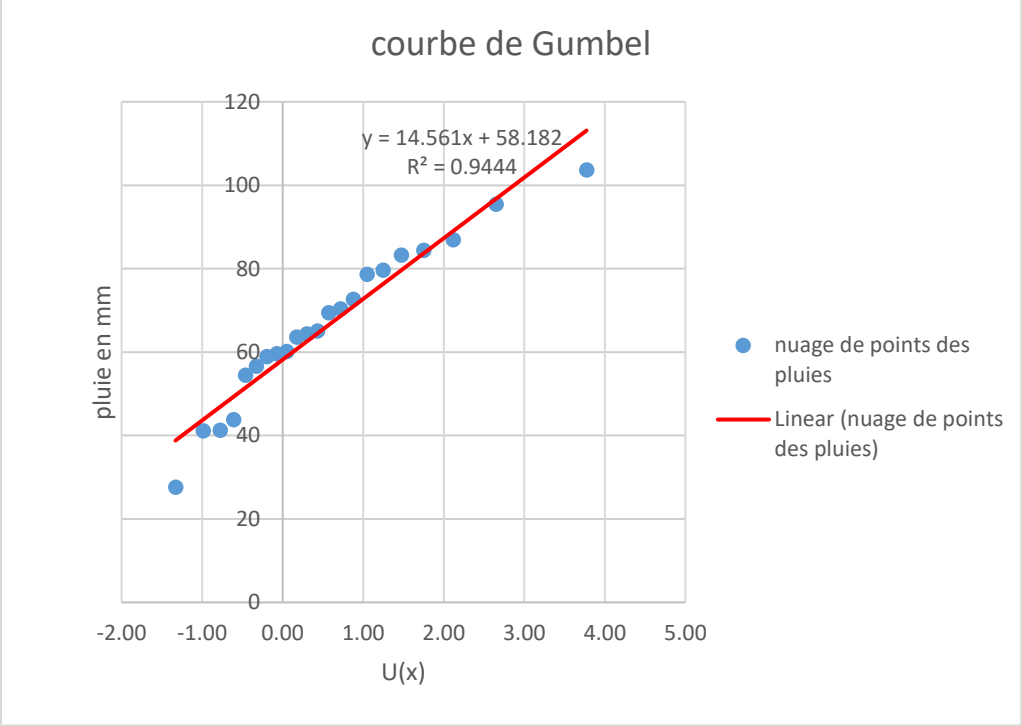


Figure IV-1 : courbe de Gumbel

Le tableau suivant nous donne les résultats de la pluie du projet obtenue à l'aide de la méthode de Gumbel.

Tableau IV-5 :pluie de projet avec la méthode de Gumbel

T(année)	F(x)	U(x)	H(mm)
1,1	0,09	-0,87	45,45
1,2	0,17	-0,58	49,69
1,4	0,29	-0,23	54,90
1,6	0,38	0,02	58,46
1,8	0,44	0,21	61,23
2	0,50	0,37	63,52
5	0,80	1,50	80,02
10	0,90	2,25	90,95
20	0,95	2,97	101,43
50	0,98	3,90	115,00
100	0,99	4,60	125,16
500	1,00	6,21	148,66
1000	1,00	6,91	158,76
1000	1,00	6,91	158,76

- *Méthode des moments*

La méthode des moments consiste à égaler les moments des échantillons avec les moments théoriques de la loi. Par la méthode des moments les paramètres *a* et *b* sont calculés d'après les formules :

$$\begin{cases} \hat{b} = \dfrac{\sqrt{6}}{\Pi}\hat{\sigma} \\ \hat{a} = \hat{u} - \hat{b}\gamma \end{cases}$$ avec : γ=0.577 (constante d'Euler)

$\hat{\sigma}$: écart-type des valeurs composant l'échantillon.

$\hat{u}$: moyenne de l'échantillon.

Dès lors il est possible d'estimer les débits dont la représentation graphique est une droite d'équation : $\hat{P} = \hat{a} + b\hat{u}$

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau IV-6 :pluie de projet par la méthode des moments

T(ans)	F(x)	U(x)	H ajustée
2,00	0,50	0,37	63,33
5,00	0,80	1,50	79,84
10,00	0,90	2,25	90,78
20,00	0,95	2,97	101,27
50,00	0,98	3,90	114,84
100,00	0,99	4,60	125,01
500,00	1,00	6,21	148,52
1000,00	1,00	6,91	158,62
5000,00	1,00	8,52	182,08
10000,00	1,00	9,21	192,18

Le tableau suivant montre la moyenne des pluies en fonction d'une période de retour.

Tableau IV-7 : pluie de projet en fonction du période retour

T(ans)	P(mm)
2	66,63
5	83,06
10	91,02
20	98,72
50	103,2
100	106,84
500	109,85
1000	113,11
50000	115,13

Après avoir trouvé les pluies de projet, on calcule alors l'intensité de projet

IV.2.3.4. Intensité de pluie

A défaut des courbes préétablies sur les Intensités -Durées et fréquence, la présente étude, utilise la formule suivante pour le calcul des intensités horaires de pluie :

$I(t_c, t) = (P_{24} * 0.95) * 60 / T_c(\min)$;

Avec :

- I = Intensité horaire de la pluie en mm/h
- t = Fréquence exprimée en temps de retour (années)
- P24 = Pluie journalière de projet de temps de retour t (mm)
- Tc = Temps de concentration en min

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV-8 : intensité des pluies en fonction des périodes

P_{24}(mm)	T_c(min)	T(an)	I(mm/h)
66,63	115	2	33,02
83,06		5	41,17
91,02		10	45,11
98,72		20	48,93
103,20		50	51,15
106,84		100	52,96
109,85		500	54,45
113,11		1000	56,06
115,13		5000	57,06

IV.2.3.5. Débit de projet

- En utilisant les données de la rivière

Nous avons des données de 11ans.

Avec ces données, deux méthodes d'ajustement statistique ont été utilisé.

La méthode de Gumbel et log Pearson III.

1° la méthode de Gumbel

Le tableau suivant synthétise le calcul du débit de projet par la méthode de Gumbel

Tableau IV-9 :calcul de la variable u(x)

année	**Q(m^3/s)**	**Q(m^3/s) croissant**	m	Fi	U(x)
2009	9,323	4,89	1	0,05	-1,13
2010	4,891	9,02	2	0,14	-0,69
2011	10,266	9,32	3	0,23	-0,39
2012	14,322	9,64	4	0,32	-0,14
2013	14,808	10,01	5	0,41	0,11
2014	9,637	10,27	6	0,50	0,37
2015	10,571	10,57	7	0,59	0,64
2016	9,023	12,33	8	0,68	0,96
2017	10,006	12,76	9	0,77	1,36
2018	12,761	14,32	10	0,86	1,92
2019	12,326	14,81	11	0,95	3,07

Tableau IV-10 : débit de projet par la méthode de Gumbel

T(année)	F(x)	U(x)	**Q(m^3/s)**
1,1	0,09	-0,87	7,69
1,2	0,17	-0,58	8,31
1,4	0,29	-0,23	9,07
1,6	0,38	0,02	9,59
1,8	0,44	0,21	9,99
2	0,50	0,37	10,33
5	0,80	1,50	12,74
10	0,90	2,25	14,33
20	0,95	2,97	15,86
50	0,98	3,90	17,84
100	0,99	4,60	19,33
500	1,00	6,21	22,76
1000	1,00	6,91	24,24
1000	1,00	6,91	24,24

2° la méthode de log-Pearson III

Le tableau qui vient résume le calcul de la variable z de la méthode de Log-Pearson III.

Tableau IV-11 :calcul de la variable Z de Log –Pearson III

Année	Q (m^3/s)	mi	Q (m^3/s)	Log Q	Weibull	z
2009,00	9,32	1	14,81	1,17	0,08	-1,38
2010,00	4,89	2	14,32	1,16	0,17	-0,97
2011,00	10,27	3	12,76	1,11	0,25	-0,67
2012,00	14,32	4	12,33	1,09	0,33	-0,43
2013,00	14,81	5	10,57	1,02	0,42	-0,21
2014,00	9,64	6	10,27	1,01	0,50	0,00
2015,00	10,57	7	10,01	1,00	0,58	0,21
2016,00	9,02	8	9,64	0,98	0,67	0,43
2017,00	10,01	9	9,32	0,97	0,75	0,67
2018,00	12,76	10	9,02	0,96	0,83	0,97
2019,00	12,33	11	4,89	0,69	0,92	1,38

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats de calcul du débit de projet par la méthode de Log-Pearson III.

Tableau IV-12 :débit de projet la méthode de Log-Pearson III

	T(ans)	F(x)	K(Y)	Log Q	z	Q [m^3/s]
2	1,0101	0,9900	-3,3075	0,5818	2,3264	3,8181
3	1,11	0,9009	-1,3346	0,8398	1,2867	6,9151
4	1,25	0,8000	-0,6961	0,9233	0,8416	8,3808
5	2	0,5000	0,2343	1,0449	0,0000	11,0899
6	5	0,2000	0,8277	1,1225	-0,8416	13,2591
7	10	0,1000	1,0268	1,1485	-1,2816	14,0782
8	25	0,0400	1,1727	1,1676	-1,7507	14,7102
9	50	0,0200	1,2372	1,1761	-2,0537	14,9990
10	100	0,0100	1,2797	1,1816	-2,3263	15,1919
11	200	0,0050	1,3084	1,1854	-2,5758	15,3236
12	500	0,0020	1,3322	1,1885	-2,8782	15,4340
13	1000	0,0010	1,3438	1,1900	-3,0902	15,4881
14	10000	0,0001	1,3620	1,1924	-3,7190	15,5733

- En utilisant les caractéristiques du bassin versant

Afin de déterminer les débits de crues, les méthodes suivantes ont été utilisées. Il s'agit de la méthode rationnelle qui est universellement reconnu et de la formule de SOGREAH usuelle en Afrique tropicale particulièrement dans les Pays des Grands Lacs.

- Méthode rationnelle

Cette méthode est donnée par la formule suivante

$Q_p = C_r * I * A$

- Q_p : Débit de pointe en m^3/s
- C_r : Coefficient de ruissellement en %
- I : Intensité horaire des pluies en mm/h, correspondant à une fréquence donnée.
- A : Superficie du bassin versant en km^2.

A cette forme générale de l'équation, on ajoute la constante de conversion des unités égale à 0,278 pour la conversion des unités On a donc :

$Q_p = 0{,}278 * C_r * I * A$

Evaluation du coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est donc le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée sur la hauteur d'eau précipitée. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\alpha = \frac{R}{P}$$

α- coefficient de ruissellement

R- hauteur d'eau ruisselée

P-Précipitations tombées dans le bassin versant

Le coefficient de ruissellement est beaucoup influencé par des caractéristiques du bassin versant comme la nature du sol, sa pente, sa couverture végétale. C'est un indicatif très important utilisé pour montrer la capacité d'un bassin versant à ruisseler. Les tableaux suivants donnent des

normes couramment utilisées en Afrique et au Burundi de quelques valeurs du coefficient de ruissellement.

Tableau IV-13 : Différents coefficients de ruissellement

Types de surface	Coefficient α
Sols imperméables avec végétation, ayant une : • pente i < 2% • Pente i =2 – 7% • pente i > 7%	 • 0,13 – 0,18 • 0,18 – 0,20 à 0,25 • 0,25 – 0,35
Sols perméables avec végétation, ayant une : • pente i < 2% • Pente i =2 – 7% • pente i > 7%	 • 0,05 – 0,10 • 0,10 – 0,15 à 0,25 • 0,15 – 0,20

La pente moyenne du bassin versant de Mpanda à Gatura est de 35%. D'après ce tableau, le coefficient de ruissellement du bassin versant de Mpanda serait compris entre 0,15 et 0,20.

Dans le présent travail nous avons pris un coefficient de ruissellement α=0,15

La formule de SOGREAH est la suivante :

$Q_T = (S^{0,75}/12) * (P_T - Po)$, avec :

- S= Surface du bassin versant en Km^2,
- P_T= Précipitations journalière de période de retour,
- Po= seuil probabiliste de ruissellement en mm,
- Q_T=Débit de pointe de période de retour T (année).

En appliquant la formule d'usage en Afrique tropicale et particulièrement dans les Pays des Grands Lacs, pour de bassins versants de superficie de l'ordre de 50 km^2, le débit de crues pour un temps de retour T, la formule de SOGREAH est donnée par la relation suivante :

$Q_T : 1,14\ S^{0,15}(P_T - P_0)$ avec,

- Q_T (m³/sec) = Débit de crue pour un temps de retour T(an)
- S = Superficie du bassin versant en km²
- P_T (mm) = Pluie maximale annuelle pour un temps de retour T (an)
- P_0 = Seuil de ruissellement estimé égale à 50 mm

Apres calcul les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV-5 : résultats des débits de projet par différentes méthodes

T(année)	I(tc,t)	p(mm)	Qp(m³/s) Rationnelle	Qp(m³/s) SOGREAH	Qp(m³/s) Grand Lac	Qp(m³/s) moyenne
2	33,02	66,63	271,76	72,95	41,88	128,86
5	41,17	83,06	338,80	145,06	83,27	189,04
10	45,11	91,02	371,27	179,99	103,32	218,19
20	48,93	98,72	402,68	213,78	122,72	246,39
50	51,15	103,20	420,95	233,43	134,00	262,79
100	52,96	106,84	435,80	249,41	143,17	276,13
500	54,45	109,85	448,09	262,63	150,76	287,16
1000	56,06	113,11	461,37	276,92	158,96	299,08
5000	57,06	115,13	469,60	285,76	164,04	306,47

Le tableau suivant nous donne la comparaison des débits du projet par les méthodes utilisant les caractéristiques du bassin versant et par celles utilisant les données de jaugeage.

			Débit par les caractéristiques du bassin versant				débit par les données du jaugeage	
T(année)	I(tc,t)	p(mm)	Qp(m³/s) Rationnelle	Qp(m³/s) SOGREAH	Qp(m³/s) Grand Lac	Qp(m³/s moyenne	Qp(m³/s) Gumbel	Qp(m³/s) Log-Pearson
2,00	33,02	66,63	271,76	72,95	41,88	128,86	10,33	11,09
5,00	41,17	83,06	338,80	145,06	83,27	189,04	12,74	13,26
10,00	45,11	91,02	371,27	179,99	103,32	218,19	14,33	14,08
20,00	48,93	98,72	402,68	213,78	122,72	246,39	15,86	14,71
50,00	51,15	103,20	420,95	233,43	134,00	262,79	17,84	15,00
100,00	52,96	106,84	435,80	249,41	143,17	276,13	19,33	15,19
500,00	54,45	109,85	448,09	262,63	150,76	287,16	22,76	15,32
1000,00	56,06	113,11	461,37	276,92	158,96	299,08	24,24	15,43
5000,00	57,06	115,13	469,60	285,76	164,04	306,47	27,66	15,49

A cause de l'importance de l'ouvrage, nous avons pris une période de retour de 100ans. En faisant la comparaison des méthodes d'estimation des débits de projet, on voit que la méthode rationnelle et la méthode de SOGREAH surestiment le débit en comparant avec les résultats trouvés en utilisant les données du jaugeage alors que ces derniers sont supposés être les plus réelles que les autres. Le débit du projet est alors 144m³/s qui est le résultat trouvé en utilisant la formule des GRAND LAC.

Le volume à stocker est de 10 000 000m³ après l'évaluation de tous les besoins nécessaires.

Le tableau suivant nous résume les caractéristiques de notre barrage

Tableau IV-14 : tableau récapitulatif des caractéristiques du barrage

Hauteurs des sédiments(m)	Hauteur de la tranche morte	Hauteur utile (m)	Hauteur des crues(m)	Revanche(m)	Hauteur du barrage
1,00	1,00	20,00	0.65	0,50	23.15

La coupe du barrage en béton armé ECH:1:125

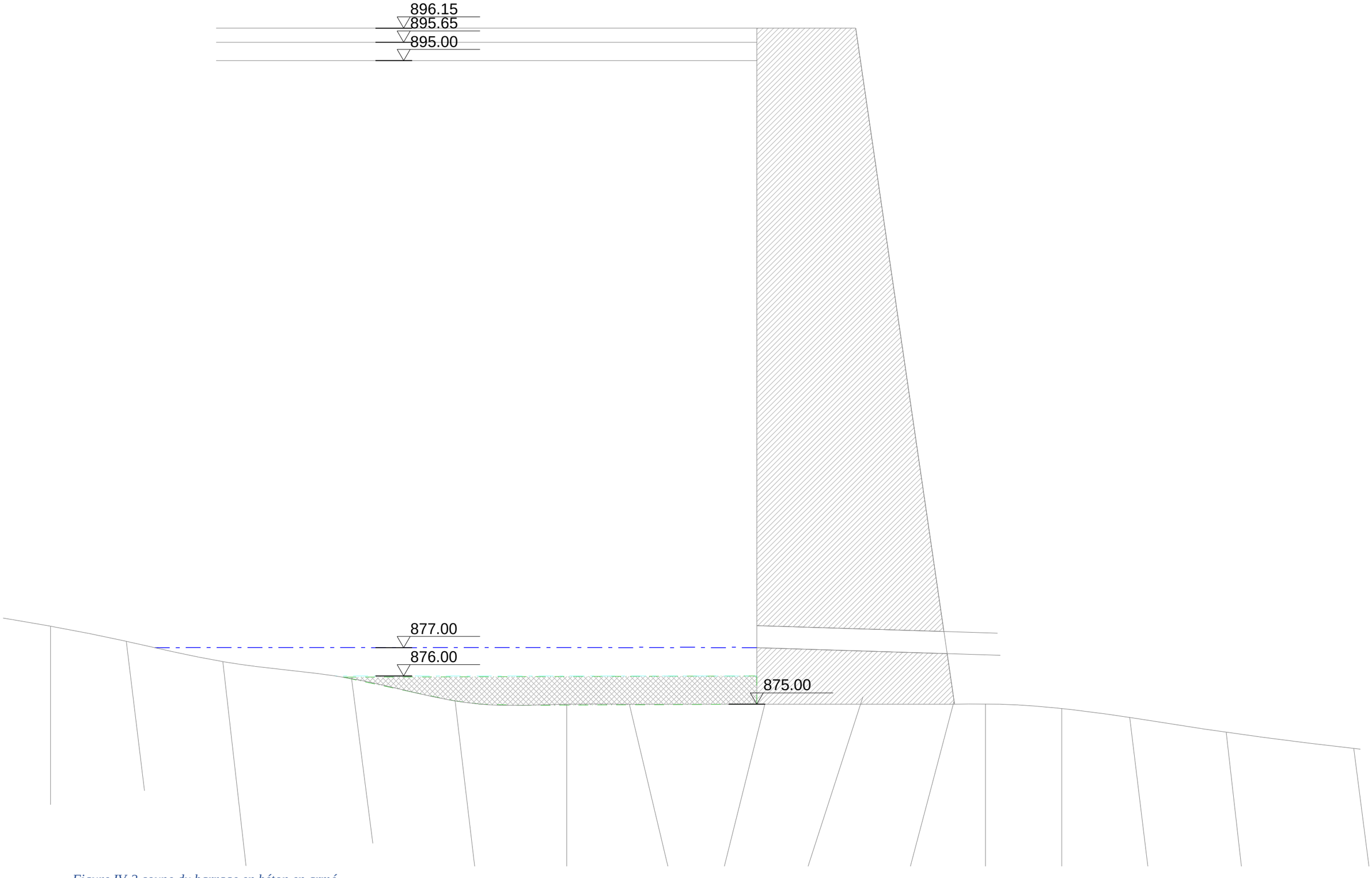


Figure IV-2 coupe du barrage en béton en armé

CHAPITRE.V ANALYSE DES RESULTATS, CONCLUSION ET RECOMMANDATION

V.1. ANALYSE DES RESULTATS

D'après les résultats trouvés dans le calcul des besoins en eaux d'irrigation, nous avons adopté de gérer le réseau d'irrigation en emmagasinant l'eau pendant la saison des pluies et l'utiliser en saison sèche.

L'estimation des crues du projet a été faite avec deux méthodes celle utilisant les données de la rivière et celle utilisant les données du bassin versant. Nous avons adopté celui utilisant les données du bassin versant car celle qui utilise les données de la rivière sous-estime le débit à cause des données d'une série de peu d'années.

En se basant sur la topographie du milieu et du volume trouvé, nous avons proposé un barrage avec retenue de 23.15m de hauteur, longueur à la base de 100m et la superficie inondée de 3 891 139m². La hauteur des crues sera prise égale à 0.65m.

V.2. Conclusion et recommandation

Le travail avait pour objectif de contribuer à la gestion intégrée du réseau d'irrigation du périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda afin de diminuer les conflits liés à l'utilisation de l'eau d'irrigation et de cultiver toute l'année.

Notre étude s'est basée sur les travaux antérieurs et la réalité qui se trouve maintenant sur terrain. En utilisant les différentes méthodes d'irrigations (irrigation par submersion, irrigation par aspersion et irrigation localisée) nous avons calculé les besoins en eau d'irrigation par la méthode classique (utilisant la formule d'Ivanov)) et la méthode moderne en utilisant le logiciel Aquacrop. Le calcul des besoins concernait le périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda de 6120ha de superficie. L'étude montre que le manque de l'eau est causé par l'augmentation des périmètres agricoles. Le manque de l'eau se manifeste en grande partie pendant la saison sèche. Suite à ces derniers nous avons opter les solutions suivantes :

- ✓ Construire un barrage réservoir à Gatura pour stocker pendant la saison pluvieuse qui permettra de palier au déficit hydrique dans le périmètre agricole dominé par la rivière Mpanda ;

- ✓ Changer les saisons des cultures (cultiver trois fois l'année au lieu de 2fois l'année) afin d'augmenter la production agricole ;
- ✓ La méthode la mieux adaptée reste la méthode de submersion pour le cas de la riziculture et la méthode d'irrigation localisé pour le cas de la polyculture.

Les recommandations suivantes sont à prendre en considération :

- Il faudra exiger aux futurs concepteurs du Burundi à utiliser le logiciel Aquacrop pour le calcul des besoins en eau d'irrigation car la méthode classique surestime les besoins en eau d'irrigation ;
- Sensibiliser la population dans la gestion intégrée du réseau d'irrigation ;
- Il faudra profiter pour utiliser la retenu pour l'élevage de poisson ;
- Pendant le remplissage du barrage hydroélectrique de Mpanda, il faudra le faire pendant la saison pluvieuse et informer la SRDI pour qu'elle puisse prendre des mesures de sécurité.

V.3. BIBIOGRAPHIE

- Annabelle.H(2007), « Quelle approche scientifique des conflits liés à l'eau d'irrigation ? » article, Université de Paris 8, p1.
- Asawa G.L. «Irrigation and Water Engineering Resources », Indiana Institute of Technology Roorkee. New Age International.
- FAO & PNUD (2000), « schéma directeur d'aménagement et de mise en valeur des marais ».
- FAO (2005), « irrigation en Afrique en chiffre ».
- FAO,snea(2003), « Eaux et sols de l'Afrique du Nord Synthèse et propositions »,
- Groupement Hydroplan & FICHTNER (1997), « projet Hydroagricole et Hydroélectrique de Mpanda(phaseI) »
- Groupement SHER Ingénieurs-Conseils sa,2017 «
- http://www.fao.org/neareast/news/view/fr/c/885885/ visité le 25/01/2020
- https://irrigazette.com/fr/articles/les-techniques-dirrigation-agricole « Les techniques d'irrigation agricole » visité le 14/02/2020.
- https://unfccc.int/files/land_use_and_climate_change/redd/submissions/application/pdf/20130902_subm_burundi_agriculture_sbsta39.pdf visité le 27 Janvier 2020
- MINAGRIE (2011) « Plan national d'investissement agricole 2012-2017 »
- Ministère de l'agriculture et d'élevage, 1981, « Demande de financement de projet de Développement Rural de l'Est Mpanda »
- Ministère de l'agriculture et de l'élevage (2011), « plan national d'investissement agricole (PNIA) », Bujumbura.
- Nadia.Saiyouri. « projetprojet projet d'eau 2012 ;méthode d'irrigation en milieu aride ».
- NEPAD & FAO (2006), « Aménagement des terres et intensification des cultures dans les marais et la plaine de l'Imbo », p1
- Ollier C.& Poirée M. (1983), « les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages », Eyrolles, Paris
- PAIOSA (2017), « Atlas des Marais, Bas-Fonds et Plaines Irrigables du Burundi »
- Peter w.&Muluneh.Y(2016), « irrigation and drainage enginering »
- Pierre-E. (2003), « Mémento de l'irrigation » Ingénieurs sans frontières, Bruxelles, p4-8

- PNSADR-IM (2017), « Etudes techniques détaillées (APS, APD ET DAO) de réhabilitation et d'extension du périmètre irrigué rizicole de Rukaramu en commune de Mutimbuzi de la province de Bujumbura » p7,3
- SRDI (2018), « Rapport annuel 2018 », p12
- SRDI (2019), « Rapport annuel 2019 », p32
- Terchi S.(2014) , « étude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation » mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master.
- USAID Burundi (2009), « CADRE LEGAL ET INSTITUTIONNEL DU SECTEUR DE L'EAU AU BURUNDI »

V.4. ANNEXES

Les données climatiques à la station de Buja Aéroport.

Tableau V-1 :la variation de la température de 1989 à 2018 à la stion de Buja aéroport

	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin		
Année	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1989	23,27	23,87	24,21	22,96	24,05	24,18	24,89	23,77	23,61	23,85	23,62	24,25	24,18	24,55	24,02	23,20	21,80	23,15
1990	23,50	24,89	24,33	24,94	24,93	23,83	24,06	24,45	24,89	25,00	25,90	25,40	24,81	24,24	23,77	23,50	23,60	23,09
1991	24,60	24,89	24,88	25,36	24,97	24,66	24,71	24,64	24,53	24,28	24,42	24,68	24,77	24,49	24,50	24,52	23,23	23,82
1992	24,09	23,99	25,08	23,96	24,61	24,57	24,89	24,72	24,00	24,16	24,98	25,07	24,53	24,28	23,63	24,70	24,34	23,00
1993	25,27	24,18	24,73	24,56	24,79	24,56	24,00	24,34	23,74	24,38	23,89	24,86	24,66	24,61	24,62	24,39	23,56	22,72
1994	24,44	24,13	23,72	24,83	25,24	24,51	24,31	25,05	24,77	24,69	25,17	24,80	24,93	25,17	24,01	23,85	23,67	22,46
1995	24,95	23,54	25,42	24,71	25,09	24,94	25,11	24,95	25,52	24,77	24,82	24,95	25,04	24,57	24,91	24,11	23,82	22,84
1996	24,24	25,53	24,34	24,83	25,09	25,23	25,07	24,79	24,62	25,12	25,03	25,03	24,59	25,06	24,26	24,55	23,18	21,75
1997	24,63	25,15	25,54	25,92	25,06	23,79	26,00	25,08	24,50	25,10	23,31	23,76	24,67	24,11	23,00	23,84	23,73	23,68
1998	24,60	25,80	25,70	26,18	25,64	23,53	25,60	25,18	24,74	26,09	25,00	24,98	25,83	25,37	24,51	24,18	23,03	23,49
1999	24,59	24,58	24,59	25,89	26,23	24,81	24,28	24,35	24,69	24,10	24,13	24,72	24,70	24,96	24,30	24,27	23,65	22,96
2000	24,51	24,85	24,30	24,75	23,70	24,70	24,28	23,94	23,87	24,71	24,53	24,85	25,09	25,29	22,77	23,81	24,57	23,20
2001	24,30	24,17	23,60	23,88	24,42	24,12	24,03	24,53	24,78	25,05	25,29	25,00	24,57	23,98	23,94	22,30	23,54	23,94
2002	24,69	24,43	24,34	25,47	24,79	25,91	24,57	24,56	25,05	25,28	24,65	24,25	24,33	24,07	24,54	24,54	25,11	23,27
2003	24,51	26,24	23,70	24,50	25,10	26,07	24,95	25,18	25,75	25,18	24,94	25,04	25,33	25,72	25,20	25,58	24,40	24,72
2004	24,73	25,31	24,61	24,93	25,23	24,32	25,40	24,91	25,23	24,78	24,78	24,72	25,00	25,52	24,05	23,65	23,49	23,23
2005	24,41	24,31	24,76	25,15	25,57	26,09	25,77	24,99	25,50	25,91	25,71	25,36	25,11	25,14	23,09	23,54	23,33	21,63
2006	23,45	24,51	26,16	26,72	24,98	24,88	25,58	24,75	25,40	24,72	24,78	24,95	25,51	24,71	24,72	24,05	23,67	24,02
2007	24,16	24,65	25,66	25,51	25,50	26,08	25,74	24,95	25,93	26,23	24,58	25,27	25,53	25,88	24,68	23,85	23,44	23,83
2008	25,70	23,94	25,14	24,73	24,78	24,52	23,90	24,47	25,06	25,47	23,91	24,72	26,00	25,02	25,37	24,50	23,85	23,44

2009	24,86	25,35	25,04	24,63	25,04	24,48	24,84	25,51	25,56	25,06	24,39	25,41	25,82	24,86	25,06	24,24	24,19	23,55
2010	24,46	24,94	25,90	25,69	26,08	25,01	25,21	25,33	24,79	24,55	25,02	25,96	25,27	25,35	25,57	24,05	24,43	23,20
2011	24,73	24,26	25,48	24,88	24,34	24,16	24,41	24,54	24,62	24,04	24,71	25,18	24,88	25,59	24,06	24,96	24,95	23,65
2012	25,37	24,78	25,47	24,09	24,54	25,22	24,13	25,88	25,26	24,80	24,37	24,69	23,89	24,02	23,51	23,54	23,82	23,33
2013	24,83	25,64	26,05	24,90	24,89	25,81	25,54	25,23	24,86	25,76	24,72	25,14	24,46	24,43	23,83	24,02	23,55	23,44
2014	24,91	24,73	24,91	24,02	24,78	25,09	25,63	24,34	24,84	25,06	25,20	25,35	25,74	25,65	25,35	25,36	24,09	23,84
2015	24,44	24,53	23,99	25,48	24,74	24,01	24,70	24,48	23,47	24,91	24,76	24,47	23,92	24,99	24,56	24,90	24,51	23,14
2016	26,35	25,77	25,80	25,48	25,90	25,75	25,75	26,73	27,25	25,92	25,96	26,22	25,60	26,00	24,71	24,95	22,83	23,78
2017	25,20	25,56	24,64	25,24	24,51	23,85	24,30	25,35	24,60	24,93	25,58	25,18	25,87	25,78	25,21	25,07	24,90	25,13
2018	24,58	24,43	24,70	25,76	25,00	24,84	25,13	25,38	24,88	24,34	25,02	25,16	24,85	25,53	25,90	24,20	24,18	23,11

	Juillet			Août			Sept			Octobre			Novembre			Décembre		
Année	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1989	23,47	21,76	22,77	23,81	23,47	24,74	24,04	24,99	24,59	24,77	24,07	23,68	25,00	24,32	23,83	23,91	24,22	23,87
1990	23,00	22,71	23,34	24,16	24,19	24,24	24,90	24,71	24,32	24,98	24,84	24,74	24,71	24,26	24,31	23,48	23,69	24,86
1991	22,72	22,82	23,01	23,30	23,32	24,49	23,70	24,86	25,42	24,30	22,67	23,25	23,67	23,71	23,37	23,72	23,73	24,12
1992	22,58	22,63	22,74	22,56	22,54	23,60	24,87	25,04	24,69	25,46	25,57	24,64	25,25	24,67	24,15	24,43	23,74	23,71
1993	22,81	22,89	24,23	23,10	24,70	24,86	23,84	25,04	26,25	25,88	25,88	25,48	24,24	25,58	24,36	24,35	24,08	25,02
1994	22,83	22,48	24,91	24,18	25,09	25,49	26,17	25,58	26,11	24,51	24,98	24,18	24,78	24,48	25,19	23,88	24,64	25,18
1995	23,77	23,72	23,64	23,42	24,95	25,19	25,23	25,91	24,14	24,48	24,38	24,73	23,62	24,38	23,95	24,32	25,09	9,82
1996	23,05	23,84	24,59	24,63	24,99	25,69	24,77	25,50	25,89	24,28	25,58	24,86	25,64	24,89	23,99	24,34	24,95	24,35
1997	24,78	25,17	25,35	24,43	25,88	26,20	26,55	26,51	25,12	24,38	24,23	25,74	23,95	24,15	23,83	24,66	24,72	24,24
1998	24,26	24,51	22,29	24,11	24,93	25,85	25,50	24,86	25,12	24,09	23,92	24,60	24,21	24,17	23,89	24,25	24,84	24,15
1999	23,00	23,93	24,33	23,12	24,71	24,22	23,74	25,51	24,49	23,82	24,13	25,68	25,39	23,15	23,00	24,86	24,15	23,89
2000	22,97	23,46	24,24	24,13	24,03	25,34	25,89	25,87	25,68	25,33	25,97	24,49	24,61	24,05	24,35	24,69	25,13	24,17
2001	23,48	23,49	23,63	23,91	24,48	25,52	25,05	24,92	24,18	25,10	24,93	24,09	24,59	25,39	25,65	24,90	24,73	25,04
2002	24,60	23,71	24,47	23,04	25,05	24,77	25,00	24,46	25,60	25,19	25,11	24,85	24,17	24,10	25,23	24,89	25,48	24,60

2003	23,83	23,23	24,00	23,64	23,90	24,80	24,88	25,02	24,34	25,03	24,34	25,34	24,16	24,45	24,91	24,09	24,91	24,21
2004	21,83	22,98	23,99	24,27	24,37	24,40	25,53	24,96	24,62	25,64	25,73	24,71	24,22	24,55	24,89	24,52	24,98	24,72
2005	23,31	24,23	24,62	24,32	23,60	24,87	25,13	24,98	25,98	25,90	24,96	25,06	24,98	24,95	24,62	24,96	24,81	25,05
2006	23,52	23,91	24,45	23,60	24,11	24,55	25,54	25,48	25,37	26,22	26,62	25,27	23,56	24,13	24,66	24,76	24,71	24,12
2007	22,80	23,78	24,76	23,49	23,67	24,47	24,85	25,65	26,48	25,73	25,36	25,40	24,05	24,34	24,85	24,74	24,77	24,85
2008	23,60	23,05	23,84	24,55	24,33	25,13	25,64	25,57	25,24	24,85	24,77	25,90	24,40	25,06	25,89	24,63	25,78	25,98
2009	23,53	24,04	24,42	24,95	24,92	25,22	25,69	26,33	26,36	26,19	25,54	26,27	26,45	24,85	25,01	24,97	25,37	24,97
2010	23,35	23,82	23,83	24,66	24,58	24,88	25,52	24,75	25,49	26,33	25,22	25,48	25,73	24,27	25,29	25,10	24,95	24,56
2011	23,02	23,80	23,25	24,49	24,40	25,02	25,35	25,36	24,65	24,34	23,49	24,40	24,24	23,65	24,15	23,52	24,95	24,78
2012	23,26	23,76	24,34	24,79	24,74	24,36	24,68	24,84	25,38	25,47	24,91	24,40	23,55	25,03	24,48	24,25	25,13	24,74
2013	23,66	23,47	24,25	24,15	24,36	24,60	24,58	25,54	24,58	23,66	24,61	25,23	24,29	24,58	24,10	24,42	24,42	25,00
2014	24,19	24,18	24,26	25,78	25,06	25,30	24,64	24,73	24,21	24,75	23,84	24,41	24,31	25,47	24,81	25,09	24,70	25,29
2015	23,20	23,69	23,91	23,38	24,10	25,11	24,88	25,47	25,35	25,41	24,19	23,31	23,22	23,68	24,20	25,32	24,99	25,59
2016	24,43	23,96	24,45	24,67	25,70	25,70	26,43	26,16	25,92	25,69	26,37	26,33	25,00	24,52	24,65	24,46	25,26	25,42
2017	24,20	25,18	25,07	25,22	24,80	25,69	25,72	26,04	26,07	25,86	24,93	25,55	25,00	24,81	24,64	25,43	25,54	25,25
2018	23,69	24,24	23,93	24,28	25,24	25,08	26,07	26,26	26,81	25,38	25,29	25,86	25,16	25,23	24,61	24,60	23,90	24,21

Tableau V-2 :la pluviométrie à la station de Buja aéroport (1989-2019)

	J			F			M			A			M			J		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1990	42,5	7,1	19,0	5,8	102,0	59,2	49,3	11,7	13,7	4,4	60,6	54,2	7,7	63,2	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	26,1	5,5	14,0	34,0	56,3	37,7	49,8	34,5	47,4	24,3	15,3	54,3	17,9	17,0	36,7	0,3	5,2	0,0
1992	17,7	7,6	39,5	35,0	39,7	11,2	21,0	40,8	34,7	24,7	14,7	13,0	73,1	28,4	7,3	0,0	0,3	7,4
1993	23,1	51,7	8,4	82,4	51,3	0,6	55,3	14,1	46,7	18,5	22,9	23,1	49,3	8,6	1,1	0,5	0,0	0,0
1994	109,4	4,1	43,3	61,9	6,1	5,4	7,6	23,7	27,9	16,9	48,3	43,9	27,5	2,8	5,5	0,0	0,0	0,6
1995	13,2	10,1	6,1	41,3	46,1	52,5	0,3	10,7	9,2	14,0	36,6	54,2	4,6	34,2	12,6	8,2	1,5	0,0
1996	39,9	0,0	76,6	15,4	14,2	13,2	86,2	53,4	38,9	29,7	20,1	31,5	1,1	3,0	3,5	18,5	1,6	0,3

1997	11,5	0,3	7,6	3,3	14,1	1,2	0,0	0,0	0,0	33,9	14,0	42,6	19,1	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1998	13,3	72,2	20,2	45,2	44,3	25,4	109,1	39,2	69,1	7,3	70,5	1,0	33,3	28,9	31,4	0,0	19,9	0,0
1999	21,9	30,2	13,7	2,8	8,4	2,7	90,3	15,0	41,8	34,8	57,7	0,0	23,8	1,5	0,0	0,0	0,3	0,0
2000	54,8	16,4	31,9	8,4	12,1	16,5	74,1	14,8	60,5	21,8	16,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2001	33,2	50,9	29,0	47,7	23,2	6,3	38,0	41,3	20,6	71,3	2,0	24,6	9,3	0,0	0,0	49,8	0,0	0,0
2002	26,9	50,1	58,4	35,0	87,1	0,0	35,1	41,8	47,5	33,3	27,3	18,9	32,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2003	31,7	0,0	14,8	3,3	23,5	34,1	24,5	26,8	49,5	36,7	27,1	4,3	5,0	13,3	6,7	1,9	0,0	0,0
2004	29,1	19,9	54,2	5,0	6,5	11,6	57,6	15,7	89,5	27,8	19,2	46,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2005	98,7	34,5	62,0	52,5	8,5	0,0	20,9	112,9	12,1	53,0	0,0	17,2	87,3	0,0	43,3	1,1	0,0	0,0
2006	31,3	45,6	10,1	3,9	74,6	42,5	11,4	64,9	34,8	69,6	24,9	16,7	49,8	38,8	0,3	0,6	1,9	0,0
2007	31,2	101,0	10,5	43,4	31,1	7,2	28,1	50,1	8,3	13,3	103,0	33,6	6,4	15,8	0,0	10,2	0,5	0,0
2008	3,2	28,5	67,3	82,4	55,5	28,8	36,6	19,7	15,1	24,2	25,2	19,8	0,0	3,7	19,5	89,2	0,0	0,0
2009	60,8	25,2	39,5	97,2	36,1	15,5	66,4	19,5	98,9	19,5	104,1	9,7	6,1	63,9	16,8	1,6	0,0	0,0
2010	128,1	57,8	24,5	16,6	55,9	51,5	47,0	22,0	86,8	22,3	28,9	12,5	25,5	6,5	1,8	4,4	0,0	0,0
2011	50,7	11,2	13,7	23,6	56,3	8,5	31,6	80,2	61,5	64,6	22,7	29,6	58,6	2,6	3,1	0,0	4,0	29,3
2012	35,5	30,8	2,1	9,7	57,5	29,0	6,6	32,8	4,2	44,0	44,8	15,3	46,1	6,4	1,9	0,0	0,0	46,8
2013	24,3	9,6	57,7	10,5	52,8	2,7	32,8	19,3	33,8	22,8	83,7	6,9	25,6	6,9	5,3	0,0	0,0	0,0
2014	45,0	52,2	15,9	122,4	2,2	35,8	31,9	34,1	14,6	15,4	29,6	10,6	5,5	0,2	0,0	13,8	4,7	0,0
2015	28,1	12,0	36,1	22,9	60,7	52,8	15,1	39,0	0,6	13,2	67,5	19,7	21,9	21,1	0,0	0,1	2,8	0,0
2016	11,5	43,1	59,1	40,7	35,3	34,5	7,8	1,9	21,7	59,2	18,6	1,0	3,8	10,3	13,4	0,0	0,0	0,0
2017	2,3	0,2	35,2	43,0	63,1	17,0	40,2	59,4	20,3	41,9	6,1	6,0	26,1	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2018	15,0	56,1	14,6	46,3	22,1	52,2	34,2	36,9	55,6	94,3	44,9	99,8	27,5	62,7	1,0	0,0	0,0	3,0
2019	12,3	65,1	13,6	20,3	49,0	39,0	34,8	35,1	30,3	36,3	41,4	30,6	1,0	12,1	25,4	0,0	0,0	9,9

	Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	6,0	20,0	22,1	11,9	48,1	32,0	22,8	25,2	8,9	16,1	23,1	3,3
1991	8,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	11,9	0,3	1,3	42,1	48,5	20,1	24,9	41,5	13,4	18,3	76,0	16,7
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	5,1	1,6	14,6	14,8	3,6	14,6	36,1	34,1	50,6	5,0	12,6
1993	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	1,2	8,2	0,0	20,5	33,3	2,5	35,3	24,7	27,0	5,0
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	7,5	0,0	5,7	0,0	23,7	8,1	32,8	11,2	40,7	48,5	23,3	30,3	50,8
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	25,3	12,0	29,2	17,9	17,6	19,9	0,0	0,0	0,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	24,8	14,3	0,0	68,2	30,9	5,9	14,5	10,6	26,5	32,1	34,5	10,4
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	1,9	0,0	15,5	55,6	20,7	7,5	3,3	0,0			
1998	0,0	3,8	0,0		0,0	2,0	0,0	13,6	13,7	9,5	2,1	29,5	3,8	19,0	8,4	11,7	31,1	15,0
1999	4,5	0,0	0,0	10,8	0,7	18,8	0,0	29,4	30,7	20,2	27,1	0,9	44,2	52,4	31,7	28,5	32,4	98,7
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0	24,5	5,3	10,4	22,2	98,0	83,6	14,0	26,3	110,4
2001	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	24,5	37,8	30,2	3,1	34,3	27,2	50,9	4,8	24,6	1,0	49,0
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,8	40,5	13,8	20,6	25,8	16,2	15,1	20,2	26,3	86,8
2003	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	34,2	13,2	7,2	0,3	19,7	58,4	18,1	36,5	13,4	14,3	15,8	8,2
2004	0,0	0,0	1,5	0,2	1,5	0,0	54,8	0,0	18,8	8,7	19,2	9,2	9,4	12,1	23,9	38,7	85,6	90,4
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,2	4,0	7,4	1,9	24,2	32,2	32,3	51,6	24,8	4,9	25,3
2006	0,0	0,0	0,9	31,8	0,0	6,3	0,0	23,7	8,6	7,0	5,4	50,6	64,9	44,0	48,2	43,8	35,7	36,5
2007	52,3	0,0	0,0	0,2	6,7	0,0	26,3	3,6	0,0	50,0	8,7	54,1	21,7	33,0	8,7	29,2	23,9	41,5
2008	6,9	0,0	8,2	1,6	0,0	2,0	0,0	23,3	8,6	48,3	21,4	0,0	28,0	18,1	19,0	9,8	9,0	18,2
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,3	0,0	3,6	1,4	40,3	22,2	5,1	49,1	173,4	26,5	44,0	1,9	179,9
2010	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	2,4	37,7	1,1	1,5	15,8	33,6	23,5	52,5	14,8	18,5	18,1	42,4
2011	0,0	0,0	23,6	0,0	0,3	4,3	1,2	22,8	62,1	6,9	33,9	26,7	25,4	30,7	52,8	94,0	92,2	8,6
2012	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	26,5	18,6	13,0	2,0	72,1	33,5	67,1	34,3	9,5	12,9	127,3	66,0	52,7
2013	0,0	0,0	0,0	13,5	0,0	0,0	27,3	36,7	15,4	1,2	4,7	6,5	36,2	10,6	12,7	38,1	57,1	28,0
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5				26,3	37,8	12,3	0,8	32,1	12,3	103,6	50,4	42,3
2015	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	5,6	5,7	11,8	26,7	26,0	66,2	29,2	50,9	17,4	52,3	38,0	28,3

2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,5	17,9	3,6	0,0	1,0	11,4	17,5	24,7	7,0	2,0	13,9
2017	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	5,7	18,2	1,5	7,5	12,2	8,4	0,0	120,9	6,0	8,4	32,5	9,5
2018	0,0	0,0	21,6	12,0	0,0	4,8	1,8	2,5	0,0	15,6	19,7	6,8	19,9	11,5	81,0	30,5	12,8	56,7
2019	4,3	0,0	0,8	6,2	0,0	0,0	15,0	30,1	9,7	33,6	55,9	44,0	14,9	44,7	64,6	29,9	50,3	97,7

Tableau V-3 :l'humidité à la station de Buja aéroport (1989-2019)

Année\Mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin		
décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	75,65	69,75	70,87	70,30	73,35	74,89	69,60	74,80	77,04	73,80	77,35	76,75	76,35	74,80	70,51	65,30	70,40	67,80
1998	76,40	77,40	75,17	75,25	73,15	75,72	79,25	76,20	79,06	74,15	79,40	75,25	75,65	71,40	76,08	72,60	67,30	66,20
1999	73,30	73,65	71,59	69,05	69,45	70,78	75,40	74,00	74,49	76,25	74,50	72,75	72,65	70,55	66,75	68,65	64,45	64,15
2000	76,12	75,85	73,35	75,45	76,10	72,64	75,20	75,95	76,74	73,65	74,30	73,80	63,01	66,30	70,87	65,55	61,35	67,15
2001	77,80	78,35	81,00	76,89	75,82	76,08	77,50	77,43	76,10	75,00	73,75	75,60	75,55	73,47	73,18	71,62	69,66	70,85
2002	76,70	78,90	77,56	75,80	77,55	72,82	74,95	77,25	73,95	76,35	80,80	78,05	75,85	71,90	70,24	66,10	65,35	67,30
2003	75,50	65,92	66,25	62,14	72,60	66,92	65,38	70,13	69,09	69,38	68,09	67,44	66,79	65,06	65,58	58,48	57,43	61,85
2004	69,68	75,85	72,61	75,80	74,25	75,63	71,90	76,80	75,95	77,75	78,95	74,80	71,80	72,80	68,38	63,75	65,55	60,70
2005	78,35	79,45	77,66	78,05	74,65	73,75	73,95	77,10	74,94	73,50	74,20	72,55	76,25	73,15	74,80	75,20	70,25	70,35
2006	78,26	76,50	71,88	70,95	78,60	74,81	70,15	75,15	72,71	76,00	74,25	74,70	73,80	77,15	69,72	67,70	67,35	67,15
2007	77,12	75,20	77,23	76,26	70,87	71,03	71,50	71,40	70,08	75,65	75,20	73,70	69,90	73,05	71,45	70,75	68,95	69,20
2008	71,00	76,15	78,25	77,75	76,40	75,57	77,15	74,20	76,89	74,30	78,10	74,95	66,95	68,10	70,74	72,80	65,95	66,15

2009	72,85	71,85	74,57	77,30	75,35	75,08	75,35	75,20	72,48	75,10	77,15	75,60	73,50	77,05	73,25	69,65	69,15	67,05
2010	77,55	76,78	71,30	74,70	74,65	76,38	74,50	73,70	77,15	76,17	75,65	72,35	75,25	73,05	69,07	70,60	65,90	65,65
2011	74,13	76,85	74,01	71,85	76,70	71,93	73,40	74,95	75,17	75,20	75,80	74,50	74,40	73,95	73,96	66,25	69,30	71,20
2012	77,55	79,10	75,00	71,00	76,90	74,36	77,25	71,10	76,23	77,25	77,15	75,10	78,60	76,80	74,35	69,95	71,00	70,35
2013	76,85	75,45	72,24	75,30	73,50	74,32	72,45	75,00	76,23	73,65	76,75	76,35	77,35	70,50	72,42	66,60	68,15	66,65
2014	79,30	78,35	76,02	76,80	76,80	77,08	75,40	77,10	73,22	73,80	75,30	74,40	69,90	71,35	68,28	70,20	72,65	65,10
2015	74,20	75,85	72,93	71,70	72,75	75,08	92,30	93,55	92,09	83,55	79,27	77,14	75,00	72,55	69,84	67,45	69,75	68,35
2016	75,95	75,55	76,32	75,90	76,20	75,50	74,70	73,00	70,53	76,40	72,75	75,85	72,85	70,80	72,90	70,51	71,45	67,25
2017	71,40	70,80	74,52	75,85	73,65	72,60	72,05	73,15	74,83	73,75	74,85	72,60	73,80	71,40	65,45	70,05	68,85	68,10
2018	74,15	77,70	75,51	75,75	71,60	74,11	72,30	75,40	74,96	77,85	75,00	76,25	75,10	75,90	71,20	68,35	64,05	68,00
2019	75,20	74,80	73,93	73,05	76,30	73,84	72,70	72,75	76,30	72,48	74,50	75,80	74,00	74,15	74,15	72,00	68,90	70,95

Année\Mois	Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,6	51	46	52,5	53,9	57,6	54,3	49	59,4
1997	68,50	63,00	65,55	63,40	64,25	59,52	59,05	58,70	50,60	58,10	72,50	74,54	78,15	77,45	77,45	79,65	78,00	77,11
1998	68,65	70,65	69,80	69,05	63,70	61,40	60,80	62,55	68,85	64,30	61,15	68,20	69,00	66,15	72,45	73,70	73,70	71,10
1999	61,55	62,95	58,64	68,25	57,45	66,73	68,60	64,15	69,80	71,60	70,35	62,86	67,15	78,35	79,10	73,40	75,65	75,03
2000	63,55	60,25	58,90	60,95	60,90	55,99	55,55	53,25	54,70	70,20	62,80	70,78	73,10	74,80	76,25	77,00	76,50	77,98
2001	68,40	68,19	66,95	70,92	70,36	70,08	69,80	68,85	73,96	74,95	72,95	73,70	76,18	74,13	69,15	73,65	75,35	74,08

2002	65,75	65,55	63,49	58,45	53,64	56,99	57,35	56,67	52,91	63,45	62,02	59,43	75,86	75,10	70,82	70,95	70,10	77,46
2003	58,59	59,85	58,20	55,84	56,83	57,65	62,29	66,36	64,59	56,58	55,13	59,80	60,44	65,10	64,30	65,64	63,44	60,35
2004	59,55	63,45	64,88	58,00	65,45	57,75	64,15	60,20	67,22	63,65	66,55	74,15	77,80	74,65	74,35	79,20	76,60	76,28
2005	64,45	62,05	63,30	62,45	66,20	59,97	60,10	59,10	62,00	65,50	65,35	69,10	72,25	71,60	75,55	73,75	72,00	72,67
2006	64,95	64,10	66,41	69,45	60,10	61,04	55,55	61,70	63,30	64,35	54,83	73,55	79,00	78,80	77,45	76,50	75,34	79,60
2007	69,15	67,80	68,62	70,30	61,95	66,78	65,90	64,80	63,70	68,95	68,94	71,20	75,42	75,20	75,95	74,45	73,85	72,20
2008	67,70	63,85	68,70	68,85	63,80	63,06	56,05	64,30	65,85	68,05	70,65	71,06	74,80	71,55	73,40	77,30	70,83	72,11
2009	62,85	63,69	65,27	61,45	61,70	62,44	58,45	61,00	59,88	67,30	69,52	65,06	69,75	76,60	77,10	77,07	75,09	76,43
2010	65,05	63,38	64,17	62,25	59,06	60,54	65,94	67,85	58,75	62,67	71,00	71,15	71,40	76,65	72,15	72,90	74,87	76,00
2011	69,00	67,35	70,19	64,95	68,85	66,10	62,65	69,60	71,25	75,15	78,20	72,87	74,90	81,50	80,90	80,65	79,05	78,32
2012	71,20	67,90	69,51	65,55	63,15	66,39	70,75	69,25	66,15	67,95	74,10	76,67	79,20	75,00	75,85	78,30	77,20	76,66
2013	64,05	63,15	60,94	68,75	65,25	64,00	67,80	67,60	74,90	74,10	69,60	71,45	79,75	77,65	80,70	76,00	79,70	78,87
2014	65,60	65,10	63,40	64,64	64,80	65,60	67,74	69,89	70,96	72,04	72,10	75,40	75,35	76,40	73,55	76,44	75,20	75,04
2015	66,49	62,80	61,51	59,90	62,20	56,11	67,20	58,45	62,20	63,25	72,70	73,60	73,16	77,00	75,15	72,45	76,50	78,00
2016	63,60	65,25	62,70	61,20	58,25	57,05	58,20	56,95	59,75	67,05	64,60	62,80	65,85	72,15	69,90	72,85	71,50	74,90
2017	70,80	71,75	68,70	69,00	70,85	66,35	62,90	65,25	61,35	61,90	66,35	71,30	69,09	73,55	75,35	74,65	75,90	73,40
2018	62,20	64,55	66,01	68,75	63,25	66,32	61,10	64,50	54,75	65,95	70,35	63,51	71,20	71,25	76,65	75,75	75,75	77,20
2019	68,80	68,55	67,35	66,51	66,95	65,35	61,59	61,95	65,25	65,80	74,85	74,90	73,43	77,25	79,05	78,25	76,70	76,85

Les données climatiques à la station de l'Imbo sems

Tableau V-4 :variation de la température à la station de l'Imbo sems (1989-2019)

MOIS	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin		
Années/décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1989	23,61	24,12	24,67	23,73	24,71	24,75	25,05	24,48	24,03	24,56	24,45	25,27	24,68	24,22	24,42	24,74	23,39	22,75
1990	24,19	25,49	24,79	25,43	25,57	24,18	24,12	24,55	25,15	25,24	26,21	25,75	25,04	24,50	24,28	23,80	23,73	23,78
1991	25,16	25,10	25,04	25,05	24,96	24,76	24,72	24,66	24,44	24,44	24,45	24,85	24,95	25,03	24,58	24,92	24,44	23,63

1992	24,43	24,15	24,86	24,00	25,15	24,63	24,59	24,81	23,88	24,20	25,04	24,46	24,29	24,04	24,18	23,97	24,07	24,45
1993	25,35	24,36	24,67	24,10	24,46	24,86	23,94	23,95	23,75	23,95	24,26	24,76	24,34	24,66	24,53	24,35	24,34	23,92
1994	24,02	24,26	24,10	24,75	24,96	24,81	24,19	24,03	24,70	24,86	23,55	24,76	24,35	24,80	24,65	24,21	23,82	23,91
1997	25,14	25,13	25,35	25,62	25,46	25,60	25,46	25,00	24,76	25,42	24,98	24,01	23,75	24,28	24,60	25,01	24,20	23,99
1998	25,51	25,74	25,98	26,23	24,45	25,96	25,82	26,01	25,44	26,33	25,51	26,23	26,17	25,75	25,64	25,33	24,02	23,72
1999	25,19	24,29	25,19	26,55	25,96	25,49	24,43	24,71	24,73	24,24	24,37	24,49	24,55	25,05	24,76	25,33	24,78	23,86
2010	14,19	14,72	15,80	15,03	15,45	15,12	15,26	15,24	15,08	14,62	15,13	15,61	15,40	15,54	16,19	15,44	15,56	15,31
2011	15,43	13,86	15,11	15,19	14,17	15,16	14,86	23,59	23,89	23,25	24,42	24,75	24,24	25,06	24,65	23,87	24,54	23,92
2012	25,43	24,61	25,05	25,57	24,16	25,27	24,32	25,81	25,34	25,09	24,40	25,60	24,23	24,95	24,74	24,88	23,56	23,84
2013	24,79	25,96	25,84	25,24	25,04	25,74	25,86	25,37	24,52	25,83	25,11	25,35	24,68	24,74	25,26	23,65	23,59	23,49
2014	25,26	24,94	25,50	24,56	24,48	25,34	26,05	24,33	25,21	25,42	25,12	25,32	25,98	168,39	24,68	25,17	24,61	23,73
2015	25,25	24,51	24,10	25,10	24,93	24,52	25,16	25,76	24,64	25,41	24,88	24,81	24,89	25,83	24,33	25,10	24,83	23,35
2016	26,48	25,82	26,34	26,76	26,02	25,83	25,77	26,16	26,74	25,61	25,71	25,53	24,89	25,83	24,33	24,12	24,22	22,85
2017	25,73	26,21	25,61	25,75	24,99	24,51	25,53	25,45	24,93	24,92	25,70	25,08	24,30	25,31	25,47	25,45	24,68	24,55
2018	25,02	24,50	25,05	26,41	25,97	25,23	25,47	25,49	25,40	24,46	25,15	24,64	25,02	25,31	15,30	25,12	24,75	24,27
2019	14,75	14,8	15,5	15,9	15,05	15,5	15,5	15,85	15,2	15,75	15,05	15,05	15,25	15,35	15,35	14,75	15,05	13,45

MOIS	Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
Années/décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1989	23,33	23,40	22,55	23,12	23,90	24,30	24,59	24,87	24,66	24,26	24,16	24,41	25,21	25,15	25,02	23,90	24,76	24,71
1990	23,02	22,98	22,46	22,87	23,95	24,01	23,77	24,85	24,32	24,98	24,43	24,89	25,26	24,64	24,43	24,01	23,54	24,13
1991	22,72	22,33	22,49	23,41	23,18	23,41	23,38	23,84	24,30	24,54	23,53	22,84	23,34	23,99	23,78	23,38	24,07	24,31
1992	22,54	22,00	22,43	22,48	22,45	23,36	24,54	24,86	24,89	24,88	24,54	25,02	24,25	23,96	24,50	23,87	23,40	24,04
1993	22,57	22,58	22,59	23,80	22,88	24,55	24,56	23,54	24,73	25,85	25,48	25,41	25,30	24,23	25,52	24,47	23,87	23,96
1994	23,15	23,50	23,35	23,07	24,58	24,46	24,96	25,25	26,75	23,60	23,62	24,58	15,82	15,10	15,65	23,75	24,20	24,30
1997	23,88	23,93	24,47	25,42	25,73	25,50	26,36	26,74	27,11	26,24	25,55	24,92	24,01	24,50	23,55	24,72	25,25	25,04
1998	23,70	23,94	23,71	24,14	24,75	24,73	25,90	25,50	25,44	23,63	25,75	24,38	25,24	24,81	25,90	25,22	24,68	25,14
1999	23,34	23,42	23,25	24,14	24,75	24,73	25,90	25,50	25,44	23,63	25,75	24,38	25,24	24,81	25,90	25,22	24,68	25,14

2010	14,75	15,57	15,13	15,59	15,38	15,76	15,93	15,47	15,76	16,34	15,46	15,28	15,54	14,25	15,12	14,76	15,36	14,25
2011	23,06	23,01	23,84	23,03	23,97	24,45	25,05	24,80	24,58	24,61	24,05	24,61	24,42	23,37	23,98	24,20	24,27	24,88
2012	23,06	23,14	23,75	23,98	23,86	23,18	24,51	25,07	25,33	25,26	25,21	25,03	23,78	24,74	24,55	24,09	24,59	24,40
2013	23,03	23,38	23,08	23,68	24,32	23,46	24,26	25,07	24,75	24,76	24,38	25,13	24,49	24,01	24,20	24,08	24,58	25,47
2014	23,92	24,12	24,09	24,34	25,68	25,65	24,34	24,86	25,19	25,55	25,34	24,92	24,99	24,74	24,77	24,69	24,91	24,92
2015	23,62	23,54	24,17	24,54	24,47	25,01	25,89	25,88	25,90	25,99	24,92	25,41	24,44	25,58	25,27	25,77	24,73	25,86
2016	23,38	23,57	24,34	24,12	24,81	24,07	25,59	25,76	25,91	25,47	26,22	26,00	25,64	25,83	25,85	24,26	24,88	25,42
2017	24,67	24,29	25,18	24,83	25,21	25,68	25,46	26,27	25,49	26,50	25,80	25,32	25,29	24,69	24,74	26,03	25,33	25,37
2018	23,50	23,82	23,33	24,66	24,33	24,88	25,46	25,93	26,93	25,95	25,53	26,34	15,70	15,30	15,75	14,82	14,68	15,02
2019	15,25	15,3	15,35	15,85	15,45	15,9	16,15	16,15	16	15,3	14,55	14,65	15,25	14,75	14,25	15,15	15	14,95

Tableau V-5 :pluviométrie à la station de l'Imbo sems (1990-2019)

mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin		
année/décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1990	19,3	13,8	12,6	4,9	6,3	38,7	129,5	18,0	18,1	4,6	63,5	55,5	14,9	44,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	32,7	14,0	25,6	41,7	47,4	33,9	48,9	61,3	78,2	24,7	27,9	43,3	9,6	13,8	40,9	15,3	10,5	0,0
1992	46,3	6,4	38,2	76,5	32,8	22,0	37,6	30,2	46,0	34,2	21,9	18,0	42,3	1,6	6,2	0,2	2,0	1,0
1993	45,0	36,5	28,5	38,7	23,5	0,9	52,7	28,5	43,8	19,3	10,9	47,7	67,0	4,0	5,9	0,0	0,7	0,0
1994	94,3	6,3	32,5	13,4	10,4	21,8	64,4	23,4	19,9	8,4	53,2	32,7	31,0	1,4	10,0	0,0	0,0	0,8
1997	16,8	11,1	8,7	5,2	20,0	14,2	9,9	31,3	55,1	18,6	42,8	39,3	18,6	42,8	39,3	0,0	11,6	0,0
1998	43,1	23,0	95,8	40,4	10,9	46,5	116,6	40,1	96,0	19,4	36,0	9,8	37,8	35,0	6,2	0,6	0,6	0,0
2009	31,8	46,8	5,4	28,0	14,4	11,2	60,9	9,8	46,6	64,0	83,5	195,6	46,3	14,0	5,8	0,0	0,0	0,0
2010	20,4	125,9	60,5	8,7	17,2	116,9	17,7	97,1	34,4	31,7	27,1	56,8	6,0	27,2	4,4	9,5	5,9	0,0
2011	19,4	32,5	21,9	49,9	23,1	35,4	52,7	72,5	40,5	17,6	68,3	37,6	0,8	74,3	7,8	0,0	0,0	0,0
2012	12,6	30,8	20,3	40,6	14,7	52,8	85,0	8,6	13,5	19,0	98,8	62,0	0,9	50,5	3,9	31,4	30,7	0,0
2013	0,0	46,1	21,3	55,8	6,2	47,1	41,5	12,5	42,8	5,4	47,4	52,9	0,9	13,4	0,0	40,5	0,0	0,0
2014	34,3	27,6	44,1	2,7	86,8	16,5	59,9	48,8	24,3	51,5	16,0	33,8	6,0	0,0	0,6	0,0	6,8	0,9
2015	16,1	13,8	33,4	11,0	17,1	34,8	28,5	14,7	27,9	11,7	9,8	27,4	0,0	17,9	44,2	0,0	0,0	23,7
2016	63,7	22,8	105,7	34,1	30,9	121,1	120,5	24,2	18,9	14,2	28,2	12,7	2,3	5,5	2,0	0,0	0,0	0,0

2017	93,5	8,8	1,9	16,9	36,6	50,0	20,4	21,5	80,4	4,7	41,4	5,5	17,8	23,8	7,4	0,0	0,0	0,0
2018	25,2	22,3	46,8	34,6	28,0	14,4	41,8	60,9	9,8	23,0	64,0	83,5	0,0	46,3	14,0	0,0	0,0	0,0
2019	5,4	20,4	54,1	11,2	8,7	25,5	46,6	17,7	23,2	195,6	31,7	40,5	5,8	6,0	8,8	0,0	9,5	0,0

mois	Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
année/décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	1,4	13,1	18,0	6,9	26,4	24,3	21,7	18,0	16,8	25,7	38,8	3,5
1991	0,1	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	17,0	3,4	12,0	26,0	43,3	24,1	46,7	48,6	16,8	29,5	105,8	37,0
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	12,3	0,0	13,7	11,4	13,6	20,8	79,9	22,2	22,1	16,5	15,4
1993	0,0	0,0	0,0	0	0	1,6	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	22,8	18,6	10,8	21,7	19,5	8,4	10,4
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6,3	0,0	0,0	3,8	17,1	41,3	32,2	56,8	54,6	68,6	19,0	31,2	33,7
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	0,1	5,4	0,0	24,2	52,3	35,0	22,5	18,9	23,5	64,8	34,1	44,1
1998	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	15,8	11,6	1,0	3,2	15,2	0,1	5,0	2,3	10,2	21,4	4,4
2009	0,0	0,0	16,9	17,7	0,0	36,8	15,2	12,0	0,0	26,8	20,2	10,6	17,0	35,5	74,4	27,6	24,0	73,4
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	13,3	55,6	47,3	0,0	13,1	15,4	40,0	67,7	66,5	26,7	10,8
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	2,8	12,9	19,4	20,0	5,5	42,5	17,2	35,3	31,2	33,4	145,5	60,2
2012	21,7	0,0	0,0	0,2	0,0	12,5	25,2	26,7	30,8	24,5	16,2	26,0	60,8	59,2	30,5	54,6	60,9	46,8
2013	0,0	23,3	0,0	57,0	0,0	12,5	34,3	26,7	30,8	11,8	16,2	26,0	12,6	59,2	30,5	126,0	90,5	104,3
2014	0,0	0,0	0,0	57,0	0,0	1,2	34,3	47,5	1,8	11,8	14,2	52,4	12,6	17,3	45,2	44,0	56,1	38,8
2015	0,0	0,0	0,0	19,3	0,0	0,0	3,9	45,5	3,5	23,6	26,2	20,7	14,6	43,6	32,5	70,7	21,3	94,1
2016	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	3,2	19,0	0,0	3,4	31,6	58,5	1,0	16,6	27,6	13,0	76,7	30,2	5,7
2017	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	33,2	4,7	9,9	22,0	5,0	3,9	20,1	19,9	22,6	46,7	23,1	34,8	16,0
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	17,7	0,0	1,0	15,2	12,0	16,3	26,8	20,2	29,3	17,0	35,5	42,8	27,6	24,0
2019	16,9	0,0	0,0	36,8	0,0	0,0	0,0	9,8	21,5	10,6	47,3	44,2	74,4	15,4	25,6	73,4	66,5	96,3

Tableau V-6 :variation de l'humidité à la station de l'Imbo sems (1997-2019)

Mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin		
année/décade	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
1997	73,10	70,10	69,32	68,50	72,90	73,31	70,20	71,70	76,19	72,30	75,90	75,50	76,25	75,10	68,82	64,35	69,40	64,55
1998	72,60	74,07	74,77	77,35	76,95	77,81	77,45	77,50	76,82	77,70	80,00	77,40	75,15	78,25	76,16	73,25	68,65	68,80
1999	81,00	78,65	73,91	75,45	74,50	76,13	79,65	76,10	80,68	82,05	78,60	76,85	77,30	74,05	70,27	70,70	66,15	67,65
2000	78,72	79,43	76,32	74,45	79,05	74,06	77,35	78,11	77,77	75,20	75,90	74,45	67,90	71,10	71,86	65,35	61,45	68,65
2001	78,00	79,55	77,82	73,96	79,48	77,64	78,20	74,53	77,90	77,07	79,89	75,80	78,85	77,37	76,52	72,72	72,90	72,10
2002	77,50	79,60	77,23	74,55	79,50	76,25	77,55	73,80	77,55	76,62	80,14	76,55	79,85	78,15	75,77	71,70	70,75	69,80
2003	75,70	71,27	71,25	68,79	75,65	70,72	71,03	73,73	69,60	70,13	71,21	68,15	67,88	64,06	64,42	56,43	62,63	60,20
2004	74,93	81,95	78,86	78,05	78,70	78,84	72,70	76,50	80,73	78,10	78,75	75,75	79,30	77,29	75,55	70,30	72,25	70,42
2005	78,20	76,80	78,23	77,85	77,95	76,66	75,83	75,58	73,14	79,70	76,43	74,58	76,85	69,90	74,41	70,20	69,50	64,55
2006	72,44	73,35	72,18	73,39	75,20	75,50	73,35	76,50	77,91	76,30	76,40	76,60	78,75	75,70	67,32	68,20	68,15	67,10
2007	78,47	77,25	76,73	77,31	72,70	75,69	72,85	77,65	76,53	78,13	78,45	79,30	78,45	76,76	72,00	70,60	68,15	65,75
2008	76,45	78,15	76,25	77,75	78,40	74,46	74,85	76,00	76,94	75,45	79,50	78,30	74,10	73,25	75,19	75,65	67,95	72,65
2009	46,25	73,92	75,82	78,10	78,20	78,63	77,60	78,15	76,09	78,20	79,95	78,15	74,85	79,65	75,86	71,65	70,65	70,15
2010	82,00	78,73	74,02	77,80	76,80	78,04	78,65	76,40	81,55	82,83	79,85	77,65	78,90	76,00	72,50	74,10	69,05	71,10
2011	79,38	79,23	76,18	73,90	79,30	74,06	75,85	77,86	77,41	77,10	76,75	76,04	76,70	76,75	74,50	67,75	68,80	72,20
2012	78,60	80,75	76,91	74,15	78,80	77,63	78,87	73,65	77,78	79,12	80,64	77,45	80,35	79,65	77,23	72,40	73,65	72,10
2013	78,30	79,50	76,95	73,85	78,90	77,44	77,70	74,15	76,78	78,12	79,89	77,60	79,40	78,30	76,00	72,55	72,10	70,75
2014	80,40	78,60	77,73	79,10	79,20	78,31	79,05	79,45	76,73	77,45	79,20	77,60	74,15	72,10	71,77	70,20	74,80	68,35
2015	79,75	80,90	78,73	77,55	78,00	79,13	74,90	76,10	80,32	76,95	77,65	77,25	80,20	76,94	76,00	72,20	75,10	74,77
2016	76,95	76,75	78,09	77,20	78,25	76,28	76,88	75,58	73,23	79,65	75,13	74,73	75,30	70,40	72,56	69,21	69,90	65,65
2017	70,70	70,55	72,23	73,54	74,55	75,13	74,45	75,30	77,73	76,45	76,00	74,80	78,75	73,65	66,20	68,30	66,55	64,55
2018	77,05	77,25	76,36	77,70	71,40	76,44	73,20	77,20	76,21	79,83	77,65	79,25	78,25	77,21	72,50	70,10	65,55	67,60
2019	78,15	77,35	75,48	76,10	77,50	73,55	74,30	75,70	75,45	75,43	77,30	78,30	76,55	75,85	75,85	74,75	70,20	72,55

Tableau V-7 *: coefficients culturaux des différentes cultures*

Culture	**Stade de développement de la culture**					**Durée totale de la période végétative**
	Initial	**Développement**	**Mi-saison**	**Fin sason**	**Récolte**	
Bananier Tropical	0,4 - 0,5	0,7 -0,85	1,0 - 1,1	0,9 - 1,0	0,75 - 0,85	0,7 - 0,8
Subtropical	0,5 - 0,65	0,8 - 0,9	1,0 - 1,2	1,0 - 1,15	1,0 - 1,15	0,85 - 0,95
Harcot Vert	0,3 - 0,4	0,65 - 0,75	0,95 - 1,05	0,9 - 0,95	0,85 - 0,95	0,85 - 0,9
Harcot Sec	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,65 - 0,75	0,25 - 0,3	0,7 - 0,8
Chou	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0, 95 - 1,1	0,9 - 1,0	0,8 - 0,95	0,7 - 0,8
Coton	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	1,05 - 1,25	0,8 - 0,9	0,65 - 0,7	0,8 - 0,9
Raisin	0,35 - 0,55	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9	0,6 - 0,8	0,65 - 0,7	0,55 - 0,75
Arachide	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,95 - 1,1	0,75 - 0,85	0,55 - 0,6	0,75 - 0,8
Maïs sucré	0,3 - 0,5	0,7 - 0,9	1,05 - 1,2	1,0 - 1,15	0,95 - 1,1	0,8 - 0,95
Maïs Grain	0,3 - 0,5	0,7 - 0,85	1,05 - 1,2	0,8 - 0,95	0,55 - 0,6	0,75 - 0,9
Ognon sec	0,4 - 0,6	0,7 - 0,8	0,95 - 1,1	0,85 - 0,9	0,75 - 0,85	0,8 - 0,9
Ognon vert	0,4 - 0,6	0,6 - 0,75	0,95 - 1,05	0,95 - 1,05	0,95 - 1,05	0,65 - 0,8
Pois,frais	0,4 - 0,5	0,7 - 0,85	1,05 - 1,2	1,0 - 1,15	0,95 - 1,1	0,8 - 0,95
Poivron frais	0,3 - 0,4	0,6 - 0,75	0,95 - 1,1	0,85 - 1,0	0,8 - 0,9	0,7 - 0,8
Pomme de terre	0,4 - 0,5	0,4 - 0,5	1,05 - 1,2	0,85 - 0,95	0,7 - 0,75	0,75 - 0,9
Riz	1,1 - 1,15	1,1 - 1,5	1,1 - 1,3	0,95 - 1,05	0,95 - 1,05	1,05 - 1,2
Carthame	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,65 - 0,7	0,2 - 0,25	0,65 - 0,7
Sorgho	0,3 - 0,4	0,7 - 0,75	1,0 - 1,15	0,75 - 0,8	0,5 - 0,55	0,75 - 0,85
Soja	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,0 - 1,15	0,7 - 0,8	0,4 - 0,5	0,75 - 0,9
Betterave sucrière	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,95 - 1,1	0,75 - 0,85	0,55 - 0,6	0,75 - 0,8
Canne à sucre	0,4 - 0,5	0,7 - 1,0	1,0 - 1,3	0,75 - 0,8	0,5 - 0,6	0,85 - 1,05
Tournesol	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,7 - 0,8	0,35 - 0,45	0,75 - 0,85
Tabac	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,0 - 1,2	0,9 - 1,0	0,75 - 0,85	0,85 - 0,95
Tomate	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	1,05 - 1,25	0,8 -0,95	0,6 - 0,65	0,7 - 0,9

Tomate Pastèque	0,4 - 0,5	0,7 - 0,8	0,95 - 1,05	0,8 - 0,9	0,65 - 0,75	0,75 - 0,85
Blé	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,05 - 1,2	0,68 - 0,75	0,2 - 0,25	0,8 - 0,9

Les tableaux suivants montrent le calcul détaillé des besoins en eau ainsi que le bilan hydrique de la rivière Mpanda

Tableau V-8 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture dans une année humide

RIZ-RIZ/ANNEE HUMIDE

efficience0,6 MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	77,70	76,95	76,00	76,40	72,70	76,70	75,15	74,45	71,86	72,80	70,60	70,50
Humidité de l'air Nouvelle	77,78	79,28	78,37	78,15	78,68	79,07	79,32	79,55	77,81	77,80	79,04	78,01	78,15	77,64	77,91	79,60	79,89	78,10
Température de l'air	25,25	24,81	25,44	25,07	24,84	25,30	25,40	25,66	25,58	26,08	25,53	25,57	25,70	25,68	25,30	25,42	25,40	25,47
Précipitations	44,96	54,00	46,55	70,28	65,94	72,08	46,17	36,10	53,37	41,59	32,61	49,71	82,94	59,69	54,25	33,95	63,95	56,67
P mensuelle	145,51			208,30			135,64			123,91			196,88			154,57		
Peff2(mens)	126,68			180,05			118,29			108,32			170,35			134,38		
Peff3(mens)	91,41			141,64			83,51			74,13			132,50			98,66		
Peff2	39,14	47,01	40,53	60,75	57,00	62,31	40,27	31,48	46,54	36,36	28,51	43,46	71,76	51,65	46,94	29,52	55,60	49,27
Peff3	28,24	33,92	29,24	47,79	44,84	49,01	28,43	22,23	32,86	24,88	19,51	29,74	55,82	40,17	36,51	21,67	40,82	36,17
peff moy	33,69	40,47	34,88	54,27	50,92	55,66	34,35	26,85	39,70	30,62	24,01	36,60	63,79	45,91	41,73	25,59	48,21	42,72
P	44,96	54,00	46,55	70,28	65,94	72,08	46,17	36,10	53,37	41,59	32,61	49,71	82,94	59,69	54,25	33,95	63,95	56,67
Peff	33,69	40,47	34,88	54,27	50,92	55,66	34,35	26,85	39,70	30,62	24,01	36,60	63,79	45,91	41,73	25,59	48,21	42,72
T^{O}	25,25	24,81	25,44	25,07	24,84	25,30	25,40	25,66	25,58	26,08	25,53	25,57	25,70	25,68	25,30	25,42	25,40	25,47
H	77,78	79,28	78,37	78,15	78,68	79,07	79,32	79,55	77,81	77,80	79,04	78,01	78,15	77,64	77,91	79,60	79,89	78,10
Eto	34,24	31,35	33,57	33,42	32,30	32,30	32,05	32,03	34,63	35,34	32,66	34,29	34,26	35,04	34,10	31,64	31,15	34,03
Culture		RIZ																
Kc	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0				
BN	-33,69	-5,98	2,04	-17,51	-15,38	-20,13	0,91	3,57	-6,81	2,96	7,01	-4,02	-31,25	-45,91	-41,73	-25,59	-48,21	-42,72

RUKARAMU

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Humidité de l'air Nouvelle	77,64	77,43	77,45	78,16	76,69	77,93	77,55	78,29	77,14	76,75	76,67	75,62	76,98	77,07	76,88	76,40	78,03	76,21
Température de l'air	25,21	24,99	24,96	24,93	25,13	25,11	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Précipitations	32,75	50,90	48,35	43,90	50,35	71,75	47,85	51,95	55,95	47,01	56,90	40,75	56,45	45,95	58,05	48,50	28,35	43,25
P mensuelle	132,00			166,00			155,75			144,66			160,45			120,10		
Peff2(mens)	115,2			144,1			135,3875			125,95675			139,3825			105,085		
Peff3(mens)	80,6			107,8			99,6			90,724			103,36			71,08		
Peff2	28,58	44,42	42,20	38,11	43,71	62,28	41,59	45,16	48,64	40,93	49,55	35,48	49,04	39,92	50,43	42,44	24,81	37,84
Peff3	20,00	31,08	29,52	28,51	32,70	46,59	30,60	33,22	35,78	29,48	35,69	25,56	36,36	29,60	37,40	28,70	16,78	25,60
peff moy	24,29	37,75	35,86	33,31	38,20	54,44	36,10	39,19	42,21	35,20	42,62	30,52	42,70	34,76	43,91	35,57	20,79	31,72
P	32,75	50,9	48,35	43,9	50,35	71,75	47,85	51,95	55,95	47,01	56,9	40,75	56,45	45,95	58,05	48,5	28,35	43,25
Peff	24,29	37,75	35,86	33,31	38,20	54,44	36,10	39,19	42,21	35,20	42,62	30,52	42,70	34,76	43,91	35,57	20,79	31,72
T^{O}	25,21	24,99	24,96	24,93	25,13	25,11	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
H	77,64	77,43	77,45	78,16	76,69	77,93	77,55	78,29	77,14	76,75	76,67	75,62	76,98	77,07	76,88	76,40	78,03	76,21
Eto	34,38	34,40	34,34	33,21	35,73	33,81	34,14	33,69	35,70	36,31	36,11	37,91	35,95	35,36	35,90	36,54	33,75	36,73
Culture		RIZ																
Kc	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0
BN	-24,29	0,09	1,91	3,23	1,11	-17,25	1,45	-7,18	-8,29	-0,71	-8,32	5,50	-8,55	-34,76	-43,91	-35,57	-20,79	-31,72
BB(mm)	-40,48	0,15	3,40	5,38	1,84	-28,75	2,42	5,95	-11,34	4,93	11,69	9,16	-14,25	-57,93	-69,54	-42,65	-34,65	-52,87
BB(l/s.ha)	-0,47	0,00	0,04	0,06	0,02	-0,33	0,03	0,07	-0,13	0,06	0,14	0,11	-0,16	-0,67	-0,80	-0,49	-0,40	-0,61

BBtotal(m^3/s)	-2,87	0,01	0,24	0,38	0,13	-2,04	0,17	0,42	-0,80	0,35	0,83	0,65	-1,01	-4,10	-4,93	-3,02	-2,45	-3,74
Q emiss	13,56			13,95			16,05			16,20			14,95			11,10		
Q emiss	9,90	8,45	10,93	11,87	9,92	13,62	4,06	4,03	4,02	8,91	13,85	12,65	10,60	12,18	5,66	7,39	7,39	7,39
Bilan (10^6m^3)	11,03	7,29	9,24	9,92	8,46	13,53	3,36	3,12	4,17	7,39	11,25	10,37	10,03	14,07	9,14	8,99	8,50	9,62

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	69,00	69,10	69,23	63,40	61,45	59,82	65,05	70,20	74,50	74,15	74,40	70,55	76,00	73,75	69,15	73,65	75,35	74,27
Humidité de l'air Nouvelle	79,26	78,07	75,99	72,70	72,24	72,10	70,14	68,57	69,40	67,73	65,33	65,61	70,24	71,32	68,45	71,16	77,56	74,92
Température de l'air	25,00	25,62	24,75	25,16	24,66	23,97	23,67	23,89	24,14	24,48	24,79	24,97	25,80	25,84	25,91	25,92	25,69	25,38
Précipitations	37,12	44,60	13,60	8,61	9,23	0,72	0,00	0,00	0,00	19,14	0,00	12,50	18,80	25,61	21,95	25,85	43,10	34,72
P mensuelle	95,32			18,56			0,00			31,64			66,36			103,67		
Peff2(mens)	84,02			18,78			3,00			29,89			59,41			91,12		
Peff3(mens)	51,26			1,14			0,00			8,98			29,82			57,94		
Peff2	32,72	39,31	11,99	8,71	9,34	0,73	0,00	0,00	0,00	18,08	0,00	11,81	16,83	22,93	19,65	22,72	37,88	30,52
Peff3	19,96	23,98	7,31	0,53	0,56	0,04	0,00	0,00	0,00	5,43	0,00	3,55	8,45	11,51	9,86	14,45	24,09	19,40
peff moy	26,34	31,65	9,65	4,62	4,95	0,39	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00	7,68	12,64	17,22	14,76	18,58	30,98	24,96
P	37,12	44,60	13,60	8,61	9,23	0,72	0,00	0,00	0,00	19,14	0,00	12,50	18,80	25,61	21,95	25,85	43,10	34,72
Peff	26,34	31,65	9,65	4,62	4,95	0,39	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00	7,68	12,64	17,22	14,76	18,58	30,98	24,96
T°	25,00	25,62	24,75	25,16	24,66	23,97	23,67	23,89	24,14	24,48	24,79	24,97	25,80	25,84	25,91	25,92	25,69	25,38
H	79,26	78,07	75,99	72,70	72,24	72,10	70,14	68,57	69,40	67,73	65,33	65,61	70,24	71,32	68,45	71,16	77,56	74,92

Eto	31,63	34,27	36,26	41,88	41,76	40,81	43,15	45,83	45,07	48,20	52,43	52,38	46,85	45,23	49,88	45,61	35,16	38,83
Culture																		
Kc					1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	
BN	-26,34	-31,65	-9,65	-4,62	40,99	44,51	47,47	50,42	49,58	41,26	49,81	42,09	31,87	25,75	32,63	24,75	-30,98	-24,96

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Humidité de l'air Nouvelle	75,83	74,74	73,89	71,53	70,20	70,24	68,79	67,89	68,69	68,99	66,13	66,35	67,68	67,83	69,71	71,46	72,68	74,11
Température de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Précipitations	39,70	28,65	15,10	6,30	1,75	1,20	0,25	0,00	1,20	3,30	1,10	5,55	16,80	23,50	16,65	40,40	33,70	39,15
P mensuelle	83,45			9,25			1,45			9,95			56,95			113,25		
Peff2(mens)	73,9325			10,86250043			4,2325			11,4575			51,4075			99,2625		
Peff3(mens)	41,76			0			0			0			24,17			65,6		
Peff2	35,17	25,38	13,38	7,40	2,06	1,41	0,73	0,00	3,50	3,80	1,27	6,39	15,16	21,21	15,03	35,41	29,54	34,31
Peff3	19,87	14,34	7,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,13	9,97	7,07	23,40	19,52	22,68
peff moy	27,52	19,86	10,47	3,70	1,03	0,70	0,36	0,00	1,75	1,90	0,63	3,20	11,15	15,59	11,05	29,41	24,53	28,50
P	39,7	28,65	15,1	6,3	1,75	1,2	0,25	0	1,2	3,3	1,1	5,55	16,8	23,5	16,65	40,4	33,7	39,15
Peff	27,52	19,86	10,47	3,70	1,03	0,70	0,36	0,00	1,75	1,90	0,63	3,20	11,15	15,59	11,05	29,41	24,53	28,50
T^{O}	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
H	75,83	74,74	73,89	71,53	70,20	70,24	68,79	67,89	68,69	68,99	66,13	66,35	67,68	67,83	69,71	71,46	72,68	74,11
Eto	37,69	39,39	40,03	43,05	44,38	43,28	45,73	47,24	46,38	46,62	51,71	52,36	50,68	50,82	48,11	44,91	42,63	40,46

Culture																		
Kc	0	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0
BN	-27,52	-19,86	-10,47	-3,70	47,80	46,91	49,94	51,96	49,26	49,38	48,49	46,55	37,00	32,69	34,66	13,26	-24,53	-28,50
BB(mm)	-43,90	-33,10	-16,08	-6,17	79,66	78,18	83,23	86,60	82,63	82,30	83,01	77,58	61,67	54,48	57,76	41,25	-40,88	-41,60
BB(l/s.ha)	-0,51	-0,38	-0,19	-0,07	0,92	0,90	0,96	1,00	0,96	0,95	0,96	0,90	0,71	0,63	0,67	0,48	-0,47	-0,48
BBtotal(m^3/s)	-3,11	-2,34	-1,14	-0,44	5,64	5,54	5,90	6,13	5,85	5,83	5,88	5,50	4,37	3,86	4,09	2,92	-2,90	-2,95
Q emiss	9,92			9,11			10,22			11,80			12,09			13,19		
Q emiss	3,81	3,81	3,81	7,98	7,98	7,98	7,48	9,41	8,38	7,56	10,93	9,30	9,59	10,89	9,82	11,23	10,76	11,42
Bilan ($10^6 m^3$)	5,98	5,32	4,28	7,27	2,02	2,11	1,37	2,83	2,18	1,50	4,37	3,28	4,51	6,07	4,95	7,18	11,80	12,41

Tableau V-9 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture avec polyculture dans une année humide

RIZ-RIZ-POLYCULTURE/ANNEE HUMIDE

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	77,70	76,95	76,00	76,40	72,70	76,70	75,15	74,45	71,86	72,80	70,60	70,50
Humidité de l'air Nouvelle	77,78	79,28	78,37	78,15	78,68	79,07	79,32	79,55	77,81	77,80	79,04	78,01	78,15	77,64	77,91	79,60	79,89	78,10
Température de l'air	25,25	24,81	25,44	25,07	24,84	25,30	25,40	25,66	25,58	26,08	25,53	25,57	25,70	25,68	25,30	25,42	25,40	25,47
Précipitations	44,96	54,00	46,55	70,28	65,94	72,08	46,17	36,10	53,37	41,59	32,61	49,71	82,94	59,69	54,25	33,95	63,95	56,67
P mensuelle	145,51			208,30			135,64			123,91			196,88			154,57		
Peff2(mens)	126,68			180,05			118,29			108,32			170,35			134,38		

Peff3(mens)	91,41			141,64			83,51			74,13			132,50			98,66		
Peff2	39,14	47,01	40,53	60,75	57,00	62,31	40,27	31,48	46,54	36,36	28,51	43,46	71,76	51,65	46,94	29,52	55,60	49,27
Peff3	28,24	33,92	29,24	47,79	44,84	49,01	28,43	22,23	32,86	24,88	19,51	29,74	55,82	40,17	36,51	21,67	40,82	36,17
peff moy	33,69	40,47	34,88	54,27	50,92	55,66	34,35	26,85	39,70	30,62	24,01	36,60	63,79	45,91	41,73	25,59	48,21	42,72
P	44,96	54,00	46,55	70,28	65,94	72,08	46,17	36,10	53,37	41,59	32,61	49,71	82,94	59,69	54,25	33,95	63,95	56,67
Peff	33,69	40,47	34,88	54,27	50,92	55,66	34,35	26,85	39,70	30,62	24,01	36,60	63,79	45,91	41,73	25,59	48,21	42,72
T^{O}	25,25	24,81	25,44	25,07	24,84	25,30	25,40	25,66	25,58	26,08	25,53	25,57	25,70	25,68	25,30	25,42	25,40	25,47
H	77,78	79,28	78,37	78,15	78,68	79,07	79,32	79,55	77,81	77,80	79,04	78,01	78,15	77,64	77,91	79,60	79,89	78,10
Eto	34,24	31,35	33,57	33,42	32,30	32,30	32,05	32,03	34,63	35,34	32,66	34,29	34,26	35,04	34,10	31,64	31,15	34,03
Culture		RIZ																
Kc	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95		1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95
BN	3,97	-5,98	-2,99	-22,52	-20,23	-24,97	-3,90	-26,85	-1,61	8,26	11,91	1,12	-26,11	-7,37	-9,33	4,46	-18,61	-10,39

RUKARAMU

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Humidité de l'air Nouvelle	77,64	77,43	77,45	78,16	76,69	77,93	77,55	78,29	77,14	76,75	76,67	75,62	76,98	77,07	76,88	76,40	78,03	76,21
Température de l'air	25,21	24,99	24,96	24,93	25,13	25,11	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Précipitations	32,75	50,90	48,35	43,90	50,35	71,75	47,85	51,95	55,95	47,01	56,90	40,75	56,45	45,95	58,05	48,50	28,35	43,25
P mensuelle	132,00			166,00			155,75			144,66			160,45			120,10		
Peff2(mens)	115,20			144,10			135,39			125,96			139,38			105,09		
Peff3(mens)	80,60			107,80			99,60			90,72			103,36			71,08		

Peff2	28,58	44,42	42,20	38,11	43,71	62,28	41,59	45,16	48,64	40,93	49,55	35,48	49,04	39,92	50,43	42,44	24,81	37,84
Peff3	20,00	31,08	29,52	28,51	32,70	46,59	30,60	33,22	35,78	29,48	35,69	25,56	36,36	29,60	37,40	28,70	16,78	25,60
peff moy	24,29	37,75	35,86	33,31	38,20	54,44	36,10	39,19	42,21	35,20	42,62	30,52	42,70	34,76	43,91	35,57	20,79	31,72
P	32,75	50,9	48,35	43,9	50,35	71,75	47,85	51,95	55,95	47,01	56,9	40,75	56,45	45,95	58,05	48,5	28,35	43,25
Peff	24,29	37,75	35,86	33,31	38,20	54,44	36,10	39,19	42,21	35,20	42,62	30,52	42,70	34,76	43,91	35,57	20,79	31,72
T^{O}	25,21	24,99	24,96	24,93	25,13	25,11	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
H	77,64	77,43	77,45	78,16	76,69	77,93	77,55	78,29	77,14	76,75	76,67	75,62	76,98	77,07	76,88	76,40	78,03	76,21
Eto	34,38	34,40	34,34	33,21	35,73	33,81	34,14	33,69	35,70	36,31	36,11	37,91	35,95	35,36	35,90	36,54	33,75	36,73
Culture		RIZ																
Kc	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95
BN	13,53	0,09	-3,24	-1,75	-4,25	-22,32	-3,67	-39,19	-2,93	4,74	-2,90	11,18	-3,16	4,13	-9,81	-0,86	11,27	3,17
BB(mm)	22,56	0,15	-4,99	-2,92	-7,09	-37,20	-6,11	-44,76	-2,69	13,77	19,85	18,64	-5,27	6,89	-15,55	7,44	18,79	5,29
BB(l/s.ha)	0,26	0,00	-0,06	-0,03	-0,08	-0,43	-0,07	-0,52	-0,03	0,16	0,23	0,22	-0,06	0,08	-0,18	0,09	0,22	0,06
BBtotal(l/s)	1,60	0,01	-0,35	-0,21	-0,50	-2,64	-0,43	-3,17	-0,19	0,98	1,41	1,32	-0,37	0,49	-1,10	0,53	1,33	0,37
Q emiss	9,90	8,45	10,93	11,87	9,92	13,62	4,06	4,03	4,02	8,91	13,85	12,65	10,60	12,18	5,66	7,39	7,39	7,39
Bilan ($10^6 m^3$)	7,17	7,29	9,75	10,43	9,01	14,05	3,88	6,22	3,64	6,85	10,75	9,79	9,48	10,10	5,84	5,93	5,23	6,06

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	69,00	69,10	69,23	63,40	61,45	59,82	65,05	70,20	74,50	74,15	74,40	70,55	76,00	73,75	69,15	73,65	75,35	74,27
Humidité de l'air Nouvelle	79,26	78,07	75,99	72,70	72,24	72,10	70,14	68,57	69,40	67,73	65,33	65,61	70,24	71,32	68,45	71,16	77,56	74,92
Température de l'air	25,00	25,62	24,75	25,16	24,66	23,97	23,67	23,89	24,14	24,48	24,79	24,97	25,80	25,84	25,91	25,92	25,69	25,38

Précipitations	37,12	44,60	13,60	8,61	9,23	0,72	0,00	0,00	0,00	19,14	0,00	12,50	18,80	25,61	21,95	25,85	43,10	34,72
P mensuelle	95,32			18,56			0,00			31,64			66,36			103,67		
Peff2(mens)	84,02			18,78			3,00			29,89			59,41			91,12		
Peff3(mens)	51,26			1,14			0,00			8,98			29,82			57,94		
Peff2	32,72	39,31	11,99	8,71	9,34	0,73	0,00	0,00	0,00	18,08	0,00	11,81	16,83	22,93	19,65	22,72	37,88	30,52
Peff3	19,96	23,98	7,31	0,53	0,56	0,04	0,00	0,00	0,00	5,43	0,00	3,55	8,45	11,51	9,86	14,45	24,09	19,40
peff moy	26,34	31,65	9,65	4,62	4,95	0,39	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00	7,68	12,64	17,22	14,76	18,58	30,98	24,96
P	37,12	44,60	13,60	8,61	9,23	0,72	0,00	0,00	0,00	19,14	0,00	12,50	18,80	25,61	21,95	25,85	43,10	34,72
Peff	26,34	31,65	9,65	4,62	4,95	0,39	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00	7,68	12,64	17,22	14,76	18,58	30,98	24,96
T^{O}	25,00	25,62	24,75	25,16	24,66	23,97	23,67	23,89	24,14	24,48	24,79	24,97	25,80	25,84	25,91	25,92	25,69	25,38
H	79,26	78,07	75,99	72,70	72,24	72,10	70,14	68,57	69,40	67,73	65,33	65,61	70,24	71,32	68,45	71,16	77,56	74,92
Eto	31,63	34,27	36,26	41,88	41,76	40,81	43,15	45,83	45,07	48,20	52,43	52,38	46,85	45,23	49,88	45,61	35,16	38,83
Culture																		
Kc	0,95	0,95		0,4	0,4	0,6	0,6	0,95	0,85	0,85	0,75	0,75		1,1	1,1	1,1	1,1	1,5
BN	3,71	0,91	-9,65	12,14	11,75	24,10	25,89	43,54	38,31	29,21	39,32	31,61	-12,64	32,54	40,11	31,59	7,69	33,29

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Humidité de l'air Nouvelle	75,83	74,74	73,89	71,53	70,20	70,24	68,79	67,89	68,69	68,99	66,13	66,35	67,68	67,83	69,71	71,46	72,68	74,11
Température de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Précipitations	39,70	28,65	15,10	6,30	1,75	1,20	0,25	0,00	1,20	3,30	1,10	5,55	16,80	23,50	16,65	40,40	33,70	39,15
P mensuelle	83,45			9,25			1,45			9,95			56,95			113,25		

Peff2(mens)	73,93			10,86			4,23			11,46			51,41			99,26		
Peff3(mens)	41,76			0,00			0,00			0,00			24,17			65,60		
Peff2	35,17	25,38	13,38	7,40	2,06	1,41	0,73	0,00	3,50	3,80	1,27	6,39	15,16	21,21	15,03	35,41	29,54	34,31
Peff3	19,87	14,34	7,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,13	9,97	7,07	23,40	19,52	22,68
peff moy	27,52	19,86	10,47	3,70	1,03	0,70	0,36	0,00	1,75	1,90	0,63	3,20	11,15	15,59	11,05	29,41	24,53	28,50
P	39,7	28,65	15,1	6,3	1,75	1,2	0,25	0	1,2	3,3	1,1	5,55	16,8	23,5	16,65	40,4	33,7	39,15
Peff	27,52	19,86	10,47	3,70	1,03	0,70	0,36	0,00	1,75	1,90	0,63	3,20	11,15	15,59	11,05	29,41	24,53	28,50
T°	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
H	75,83	74,74	73,89	71,53	70,20	70,24	68,79	67,89	68,69	68,99	66,13	66,35	67,68	67,83	69,71	71,46	72,68	74,11
Eto	37,69	39,39	40,03	43,05	44,38	43,28	45,73	47,24	46,38	46,62	51,71	52,36	50,68	50,82	48,11	44,91	42,63	40,46
Culture																		
Kc	0,95	0,95	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,95	0,85	0,85	0,75	0,75	0	1,1	1,1	1,1	1,1	0
BN	8,29	17,56	-10,47	13,52	16,73	25,27	27,07	44,88	37,67	37,73	38,15	36,08	-11,15	40,31	41,87	20,00	22,36	-28,50
BB(mm)	13,82	29,27	-16,08	22,54	27,88	42,11	45,12	74,79	63,85	62,88	65,54	60,13	-18,58	67,18	69,79	52,65	37,27	55,48
BB(l/s.ha)	0,16	0,34	-0,19	0,26	0,32	0,49	0,52	0,87	0,74	0,73	0,76	0,70	-0,22	0,78	0,81	0,61	0,43	0,64
BBtotal(l/s)	0,98	2,07	-1,14	1,60	1,97	2,98	3,20	5,30	4,52	4,45	4,64	4,26	-1,32	4,76	4,94	3,73	2,64	3,93
Q emiss	3,81	3,81	3,81	7,98	7,98	7,98	7,48	9,41	8,38	7,56	10,93	9,30	9,59	10,89	9,82	11,23	10,76	11,42
Bilan ($10^6 m^3$)	2,45	1,50	4,28	5,51	5,19	4,32	3,70	3,56	3,33	2,68	5,44	4,35	9,42	5,29	4,21	6,48	7,02	6,47

Tableau V-10 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture dans une année moyenne

Efficience0,6 RIZ-RIZ/ANNEE MOYENNE

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	NOVEMBRE			DECEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	77,70	76,95	76,00	76,40	72,70	76,70	75,15	74,45	71,86	72,80	70,60	70,50
Humidité de l'air Nouvelle	72,70	76,25	76,00	76,85	76,40	77,82	78,00	78,15	76,32	76,10	78,00	76,28	75,85	76,10	76,94	77,45	78,45	76,85
Température de l'air	24,44	24,50	24,50	24,09	24,58	24,71	25,14	24,51	25,04	25,10	24,96	24,81	24,72	24,71	24,70	24,86	24,88	24,81
Précipitations	19,25	31,45	30,50	38,10	32,65	35,35	28,48	22,55	30,50	31,05	18,60	34,35	50,80	26,35	37,45	19,15	38,70	39,90
P mensuelle	81,20			106,10			81,53			84,00			114,60			97,75		
Peff2(mens)	72,02			93,19			72,30			74,40			100,41			86,09		
Peff3(mens)	39,96			59,88			40,22			42,20			66,68			53,20		
Peff2	17,07	27,89	27,05	33,46	28,68	31,05	25,25	20,00	27,05	27,50	16,47	30,42	44,51	23,09	32,81	16,87	34,08	35,14
Peff3	9,47	15,48	15,01	21,50	18,43	19,95	14,05	11,12	15,05	15,60	9,34	17,26	29,56	15,33	21,79	10,42	21,06	21,72
peff moy	13,27	21,69	21,03	27,48	23,55	25,50	19,65	15,56	21,05	21,55	12,91	23,84	37,03	19,21	27,30	13,64	27,57	28,43
P	19,25	31,45	30,50	38,10	32,65	35,35	28,48	22,55	30,50	31,05	18,60	34,35	50,80	26,35	37,45	19,15	38,70	39,90
Peff	13,27	21,69	21,03	27,48	23,55	25,50	19,65	15,56	21,05	21,55	12,91	23,84	37,03	19,21	27,30	13,64	27,57	28,43
T^{O}	24,44	24,50	24,50	24,09	24,58	24,71	25,14	24,51	25,04	25,10	24,96	24,81	24,72	24,71	24,70	24,86	24,88	24,81
H	72,70	76,25	76,00	76,85	76,40	77,82	78,00	78,15	76,32	76,10	78,00	76,28	75,85	76,10	76,94	77,45	78,45	76,85
Eto	40,70	35,49	35,86	34,03	35,39	33,44	33,74	32,67	36,17	36,59	33,49	35,90	36,41	36,02	34,75	34,19	32,70	35,04
Culture		RIZ																
Kc	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0
BN	-13,27	17,35	18,42	9,95	15,38	11,29	17,46	15,48	13,31	13,21	18,91	10,27	-2,44	-19,21	-27,30	-13,64	-27,57	-28,43

RUKARAMU

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Humidité de l'air Nouvelle	73,43	75,10	75,55	75,75	75,35	76,28	75,95	75,85	74,52	75,45	74,65	74,36	74,50	75,00	75,17	75,10	75,30	74,95
Température de l'air	24,35	24,46	24,54	24,56	24,83	24,73	24,59	24,69	24,82	24,91	24,98	24,68	24,89	24,85	24,81	24,92	24,78	24,99
Précipitations	22,50	32,20	19,45	24,75	26,65	28,15	28,60	26,85	22,35	28,80	42,00	16,75	34,50	33,45	34,25	26,25	9,60	19,30
P mensuelle	74,15			79,55			77,80			87,55			102,20			55,15		
Peff2(mens)	66,03			70,62			69,13			77,42			89,87			49,88		
Peff3(mens)	34,49			38,64			37,24			45,04			56,76			23,09		
Peff2	20,04	28,67	17,32	21,97	23,66	24,99	25,41	23,86	19,86	25,47	37,14	14,81	30,34	29,41	30,12	23,74	8,68	17,45
Peff3	10,47	14,98	9,05	12,02	12,94	13,67	13,69	12,85	10,70	14,82	21,61	8,62	19,16	18,58	19,02	10,99	4,02	8,08
peff moy	15,25	21,83	13,18	17,00	18,30	19,33	19,55	18,35	15,28	20,14	29,37	11,71	24,75	24,00	24,57	17,37	6,35	12,77
P	22,50	32,20	19,45	24,75	26,65	28,15	28,60	26,85	22,35	28,80	42,00	16,75	34,50	33,45	34,25	26,25	9,60	19,30
Peff	15,25	21,83	13,18	17,00	18,30	19,33	19,55	18,35	15,28	20,14	29,37	11,71	24,75	24,00	24,57	17,37	6,35	12,77
T^{O}	24,35	24,46	24,54	24,56	24,83	24,73	24,59	24,69	24,82	24,91	24,98	24,68	24,89	24,85	24,81	24,92	24,78	24,99
H	73,43	75,10	75,55	75,75	75,35	76,28	75,95	75,85	74,52	75,45	74,65	74,36	74,50	75,00	75,17	75,10	75,30	74,95
Eto	39,47	37,16	36,61	36,33	37,33	35,78	36,08	36,37	38,57	37,30	38,62	38,60	38,72	37,89	37,58	37,84	37,33	38,18
Culture		RIZ																
Kc	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0
BN	-15,25	19,05	27,08	22,97	22,76	20,03	20,14	16,20	21,37	15,30	7,32	24,96	12,03	-24,00	-24,57	-17,37	-6,35	-12,77
BB(mm)	-22,12	31,75	45,14	38,28	37,94	33,38	33,56	26,99	35,61	25,50	31,51	41,60	20,05	-32,02	-40,95	-22,74	-10,58	-21,28

BB(l/s.ha)		0,37	0,52	0,44	0,44	0,39	0,39	0,31	0,41	0,30	0,36	0,48	0,23	-0,37	-0,47	-0,26	-0,12	-0,25
BBtotal(l/s)		2,25	3,20	2,71	2,69	2,36	2,38	1,91	2,52	1,81	2,23	2,95	1,42	-2,27	-2,90	-1,61	-0,75	-1,51
Q emiss	9,06	7,85	9,47	9,26	6,69	9,94	11,51	7,87	9,53	6,44	9,63	9,82	7,20	11,81	6,30	6,00	6,00	6,00
Q émiss (m^3/s)		7,85	9,47	9,26	6,69	9,94	11,51	7,87	9,53	6,44	9,63	9,82	7,20	11,81	6,30	6,00	6,00	6,00
Bilan ($10^6 m^3$)		4,84	5,42	5,65	3,46	6,54	7,89	5,15	6,05	4,00	6,39	5,94	5,00	12,16	7,95	6,58	5,83	6,49

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	69,00	69,10	69,23	63,40	61,45	59,82	65,05	70,20	74,50	74,15	74,40	70,55	76,00	73,75	69,15	73,65	75,35	74,27
Humidité de l'air Nouvelle	77,30	76,00	74,41	70,60	69,40	68,80	67,80	66,10	65,25	65,10	63,30	62,91	63,40	62,60	63,90	67,85	71,00	73,05
Température de l'air	24,55	24,95	24,58	24,74	24,20	23,78	23,15	23,40	23,33	23,80	24,32	24,45	24,59	25,07	25,19	24,88	24,92	24,92
Précipitations	7,80	15,95	6,20	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	4,30	12,60	11,80	16,70	18,20	23,45
P mensuelle	29,95			0,30			0,00			3,20			28,70			58,35		
Peff2(mens)	28,46			3,26			3,00			5,72			27,40			52,60		
Peff3(mens)	7,97			0,00			0,00			0,00			7,22			25,01		
Peff2	7,41	15,16	5,89	0,00	3,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,72	4,10	12,03	11,26	15,05	16,41	21,14
Peff3	2,08	4,24	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	3,17	2,97	7,16	7,80	10,05
peff moy	4,74	9,70	3,77	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	2,59	7,60	7,12	11,11	12,10	15,59
P	7,80	15,95	6,20	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	4,30	12,60	11,80	16,70	18,20	23,45
Peff	4,74	9,70	3,77	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	2,59	7,60	7,12	11,11	12,10	15,59
T°	24,55	24,95	24,58	24,74	24,20	23,78	23,15	23,40	23,33	23,80	24,32	24,45	24,59	25,07	25,19	24,88	24,92	24,92
H	77,30	76,00	74,41	70,60	69,40	68,80	67,80	66,10	65,25	65,10	63,30	62,91	63,40	62,60	63,90	67,85	71,00	73,05
Eto	33,99	36,53	38,37	44,36	45,18	45,29	45,54	48,43	49,51	50,70	54,46	55,33	54,90	57,19	55,46	48,79	44,07	40,97

Culture																		
Kc	0	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0
BN	-4,74	-9,70	-3,77	0,00	48,07	49,82	50,09	53,27	54,47	55,77	51,73	49,70	49,57	46,74	45,57	35,25	-12,10	-15,59

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Humidité de l'air Nouvelle	74,00	72,80	70,87	69,65	68,85	67,25	65,60	64,10	65,27	64,95	63,25	62,44	62,29	64,15	63,70	65,95	69,60	71,20
Température de l'air	24,90	25,00	24,50	24,19	23,70	23,30	23,41	23,74	23,99	24,15	24,53	24,95	25,09	25,41	25,36	25,14	24,93	24,85
Précipitations	20,50	8,40	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	5,70	3,40	17,90	17,50	20,65
P mensuelle	30,75			0,00			0,00			0,00			11,10			56,05		
Peff2(mens)	29,14			3,00			3,00			3,00			12,44			50,64		
Peff3(mens)	8,45			0,00			0,00			0,00			0,00			23,63		
Peff2	19,43	7,96	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	6,39	3,81	16,17	15,81	18,66
Peff3	5,63	2,31	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55	7,38	8,71
peff moy	12,53	5,13	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	3,19	1,90	11,86	11,59	13,68
P	20,50	8,40	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	5,70	3,40	17,90	17,50	20,65
Peff	12,53	5,13	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	3,19	1,90	11,86	11,59	13,68
T°	24,90	25,00	24,50	24,19	23,70	23,30	23,41	23,74	23,99	24,15	24,53	24,95	25,09	25,41	25,36	25,14	24,93	24,85
H	74,00	72,80	70,87	69,65	68,85	67,25	65,60	64,10	65,27	64,95	63,25	62,44	62,29	64,15	63,70	65,95	69,60	71,20
Eto	39,50	41,48	43,54	44,79	45,06	46,60	49,17	52,02	50,85	51,65	54,98	57,16	57,70	55,58	56,16	52,22	46,23	43,66
Culture																		
Kc	0	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0

BN	-12,53	-5,13	-1,13	0,00	49,57	51,26	54,08	57,22	55,93	56,82	52,23	54,30	53,70	49,61	51,45	37,75	-11,59	-13,68
BB(mm)	-7,91	-8,56	-1,88	0,00	82,61	85,43	90,14	95,37	93,22	94,70	87,06	90,50	89,50	82,68	85,74	62,92	-19,32	-22,80
BB(l/s.ha)	-0,09	-0,10	-0,02	0,00	0,96	0,99	1,04	1,10	1,08	1,10	1,01	1,05	1,04	0,96	0,99	0,73	-0,22	-0,26
BBtotal(l/s)	-0,56	-0,61	-0,13	0,00	5,85	6,05	6,39	6,76	6,60	6,71	6,17	6,41	6,34	5,86	6,07	4,46	-1,37	-1,62
Q emiss	3,14	3,14	3,14	5,14	5,14	5,14	3,61	6,40	6,13	6,98	7,38	8,79	6,17	8,08	7,93	9,51	8,68	9,09
Q émiss m^3/s	3,14	3,14	3,14	5,14	5,14	5,14	3,61	6,40	6,13	6,98	7,38	8,79	6,17	8,08	7,93	9,51	8,68	9,09
Bilan ($10^6 m^3$)	3,20	3,24	2,83	4,44	-0,61	-0,79	-2,40	-0,30	-0,40	0,23	1,05	2,05	-0,15	1,92	1,60	4,37	8,68	9,25

Tableau V-11 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture avec polyculture dans une année moyenne

RIZ-RIZ-POLYCULTURE/ANNE MOYENNE

MUGERERO ET RANDA

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,8	78,35	81,09	76,7	76,85	79	77,7	76,95	76	76,4	72,7	76,7	75,15	74,45	71,86	72,8	70,6	70,5
Humidité de l'air Nouvelle	72,70	76,25	76,00	76,85	76,40	77,82	78,00	78,15	76,32	76,10	78,00	76,28	75,85	76,10	76,94	77,45	78,45	76,85
Température de l'air	24,44	24,50	24,50	24,09	24,58	24,71	25,14	24,51	25,04	25,10	24,96	24,81	24,72	24,71	24,70	24,86	24,88	24,81
Précipitations	19,25	31,45	30,50	38,10	32,65	35,35	28,48	22,55	30,50	31,05	18,60	34,35	50,80	26,35	37,45	19,15	38,70	39,90
P mensuelle	81,20			106,10			81,53			84,00			114,60			97,75		
Peff2(mens)	72,02			93,19			72,30			74,40			100,41			86,09		
Peff3(mens)	39,96			59,88			40,22			42,20			66,68			53,20		
Peff2	17,07	27,89	27,05	33,46	28,68	31,05	25,25	20,00	27,05	27,50	16,47	30,42	44,51	23,09	32,81	16,87	34,08	35,14

Peff3	9,47	15,48	15,01	21,50	18,43	19,95	14,05	11,12	15,05	15,60	9,34	17,26	29,56	15,33	21,79	10,42	21,06	21,72
peff moy	13,27	21,69	21,03	27,48	23,55	25,50	19,65	15,56	21,05	21,55	12,91	23,84	37,03	19,21	27,30	13,64	27,57	28,43
P	19,25	31,45	30,50	38,10	32,65	35,35	28,48	22,55	30,50	31,05	18,60	34,35	50,80	26,35	37,45	19,15	38,70	39,90
Peff	13,27	21,69	21,03	27,48	23,55	25,50	19,65	15,56	21,05	21,55	12,91	23,84	37,03	19,21	27,30	13,64	27,57	28,43
T^{O}	24,44	24,50	24,50	24,09	24,58	24,71	25,14	24,51	25,04	25,10	24,96	24,81	24,72	24,71	24,70	24,86	24,88	24,81
H	72,70	76,25	76,00	76,85	76,40	77,82	78,00	78,15	76,32	76,10	78,00	76,28	75,85	76,10	76,94	77,45	78,45	76,85
Eto	40,70	35,49	35,86	34,03	35,39	33,44	33,74	32,67	36,17	36,59	33,49	35,90	36,41	36,02	34,75	34,19	32,70	35,04
Culture		RIZ																
Kc	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95
BN	31,49	17,35	13,04	4,85	10,07	6,27	12,40	-15,56	18,74	18,69	23,93	15,65	3,02	20,41	5,71	18,84	3,49	4,86

RUKARAMU

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,8	78,35	81,09	76,7	76,85	79	24,93	25,44	25,6	25,6	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Humidité de l'air Nouvelle	73,43	75,10	75,55	75,75	75,35	76,28	75,95	75,85	74,52	75,45	74,65	74,36	74,50	75,00	75,17	75,10	75,30	74,95
Température de l'air	24,35	24,46	24,54	24,56	24,83	24,73	24,59	24,69	24,82	24,91	24,98	24,68	24,89	24,85	24,81	24,92	24,78	24,99
Précipitations	22,50	32,20	19,45	24,75	26,65	28,15	28,60	26,85	22,35	28,80	42,00	16,75	34,50	33,45	34,25	26,25	9,60	19,30
P mensuelle	74,15			79,55			77,8			87,55			102,2			55,15		
Peff2(mens)	66,03			70,62			69,13			77,42			89,87			49,88		
Peff3(mens)	34,49			38,64			37,24			45,04			56,76			23,09		
Peff2	20,04	28,67	17,32	21,97	23,66	24,99	25,41	23,86	19,86	25,47	37,14	14,81	30,34	29,41	30,12	23,74	8,68	17,45
Peff3	10,47	14,98	9,05	12,02	12,94	13,67	13,69	12,85	10,70	14,82	21,61	8,62	19,16	18,58	19,02	10,99	4,02	8,08
peff moy	15,25	21,83	13,18	17,00	18,30	19,33	19,55	18,35	15,28	20,14	29,37	11,71	24,75	24,00	24,57	17,37	6,35	12,77

P	22,50	32,20	19,45	24,75	26,65	28,15	28,60	26,85	22,35	28,80	42,00	16,75	34,50	33,45	34,25	26,25	9,60	19,30
Peff	15,25	21,83	13,18	17,00	18,30	19,33	19,55	18,35	15,28	20,14	29,37	11,71	24,75	24,00	24,57	17,37	6,35	12,77
T^{O}	24,35	24,46	24,54	24,56	24,83	24,73	24,59	24,69	24,82	24,91	24,98	24,68	24,89	24,85	24,81	24,92	24,78	24,99
H	73,43	75,10	75,55	75,75	75,35	76,28	75,95	75,85	74,52	75,45	74,65	74,36	74,50	75,00	75,17	75,10	75,30	74,95
Eto	39,47	37,16	36,61	36,33	37,33	35,78	36,08	36,37	38,57	37,30	38,62	38,60	38,72	37,89	37,58	37,84	37,33	38,18
Culture		RIZ																
Kc	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95
BN	28,17	19,05	21,59	17,52	17,16	14,66	14,73	-18,35	27,15	20,89	13,11	30,75	17,84	17,69	11,13	18,59	29,11	23,51
BB(mm)	52,49	31,75	35,99	29,20	28,60	24,44	24,54	-25,94	45,25	34,82	39,88	51,25	29,73	34,02	18,56	31,39	48,52	39,18
BB(l/s.ha)	0,61	0,37	0,42	0,34	0,33	0,28	0,28	-0,30	0,52	0,40	0,46	0,59	0,34	0,39	0,21	0,36	0,56	0,45
BBtotal(m^3/s)	3,72	2,25	2,55	2,07	2,03	1,73	1,74	-1,84	3,21	2,47	2,82	3,63	2,11	2,41	1,31	2,22	3,44	2,77
Q emiss	9,06	7,85	9,47	9,26	6,69	9,94	11,51	7,87	9,53	6,44	9,63	9,82	7,20	11,81	6,30	6,00	6,00	6,00
Q émiss (m^3/s)	9,06	7,85	9,47	9,26	6,69	9,94	11,51	7,87	9,53	6,44	9,63	9,82	7,20	11,81	6,30	6,00	6,00	6,00
Bilan(10^6m^3)	4,61	4,84	5,98	6,21	4,03	7,09	8,45	8,39	5,46	3,43	5,88	5,35	4,40	8,12	4,31	3,26	2,22	2,79

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	69	69,1	69,23	63,4	61,45	59,82	65,05	70,2	74,5	74,15	74,4	70,55	76	73,75	69,15	73,65	75,35	74,27
Humidité de l'air Nouvelle	77,30	76,00	74,41	70,60	69,40	68,80	67,80	66,10	65,25	65,10	63,30	62,91	63,40	62,60	63,90	67,85	71,00	73,05
Température de l'air	24,55	24,95	24,58	24,74	24,20	23,78	23,15	23,40	23,33	23,80	24,32	24,45	24,59	25,07	25,19	24,88	24,92	24,92
Précipitations	7,80	15,95	6,20	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	4,30	12,60	11,80	16,70	18,20	23,45

P mensuelle	29,95			0,30			0,00			3,20			28,70			58,35		
Peff2(mens)	28,46			3,26			3,00			5,72			27,40			52,60		
Peff3(mens)	7,97			0,00			0,00			0,00			7,22			25,01		
Peff2	7,41	15,16	5,89	0,00	3,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,72	4,10	12,03	11,26	15,05	16,41	21,14
Peff3	2,08	4,24	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	3,17	2,97	7,16	7,80	10,05
peff moy	4,74	9,70	3,77	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	2,59	7,60	7,12	11,11	12,10	15,59
P	7,80	15,95	6,20	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	4,30	12,60	11,80	16,70	18,20	23,45
Peff	4,74	9,70	3,77	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	2,59	7,60	7,12	11,11	12,10	15,59
T^{O}	24,55	24,95	24,58	24,74	24,20	23,78	23,15	23,40	23,33	23,80	24,32	24,45	24,59	25,07	25,19	24,88	24,92	24,92
H	77,30	76,00	74,41	70,60	69,40	68,80	67,80	66,10	65,25	65,10	63,30	62,91	63,40	62,60	63,90	67,85	71,00	73,05
Eto	33,99	36,53	38,37	44,36	45,18	45,29	45,54	48,43	49,51	50,70	54,46	55,33	54,90	57,19	55,46	48,79	44,07	40,97
Culture																		
Kc	0,95	0,95	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,95	0,85	0,85	0,75	0,75	0	1,1	1,1	1,1	1,1	
BN	27,55	25,00	-3,77	17,74	16,45	27,17	27,32	46,01	42,09	43,09	40,84	38,63	-2,59	55,32	53,89	42,57	36,38	-15,59

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	25,56	25,56	25,13	24,8	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,5	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Humidité de l'air Nouvelle	74,00	72,80	70,87	69,65	68,85	67,25	65,60	64,10	65,27	64,95	63,25	62,44	62,29	64,15	63,70	65,95	69,60	71,20
Température de l'air	24,90	25,00	24,50	24,19	23,70	23,30	23,41	23,74	23,99	24,15	24,53	24,95	25,09	25,41	25,36	25,14	24,93	24,85
Précipitations	20,50	8,40	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	5,70	3,40	17,90	17,50	20,65
P mensuelle	30,75			0			0			0			11,1			56,05		

Peff2(mens)	29,14			3,00			3,00			3,00			12,44			50,64		
Peff3(mens)	8,45			0,00			0,00			0,00			0,00			23,63		
Peff2	19,43	7,96	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	6,39	3,81	16,17	15,81	18,66
Peff3	5,63	2,31	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55	7,38	8,71
peff moy	12,53	5,13	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	3,19	1,90	11,86	11,59	13,68
P	20,50	8,40	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	5,70	3,40	17,90	17,50	20,65
Peff	12,53	5,13	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	3,19	1,90	11,86	11,59	13,68
T^{O}	24,90	25,00	24,50	24,19	23,70	23,30	23,41	23,74	23,99	24,15	24,53	24,95	25,09	25,41	25,36	25,14	24,93	24,85
H	74,00	72,80	70,87	69,65	68,85	67,25	65,60	64,10	65,27	64,95	63,25	62,44	62,29	64,15	63,70	65,95	69,60	71,20
Eto	39,50	41,48	43,54	44,79	45,06	46,60	49,17	52,02	50,85	51,65	54,98	57,16	57,70	55,58	56,16	52,22	46,23	43,66
Culture																		
Kc	0,95	0,95	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,95	0,85	0,85	0,75	0,75	0	1,1	1,1	1,1	1,1	0
BN	24,99	34,27	-1,13	17,91	18,02	27,96	29,50	49,42	43,22	43,91	41,24	42,87	-1,12	57,94	59,87	45,59	39,26	-13,68
BB(mm)	45,91	57,12	-1,88	29,86	30,04	46,60	49,17	82,37	72,04	73,18	68,73	71,44	-1,87	96,57	99,78	75,98	65,43	-22,80
BB(l/s.ha)	0,53	0,66	-0,02	0,35	0,35	0,54	0,57	0,95	0,83	0,85	0,80	0,83	-0,02	1,12	1,15	0,88	0,76	-0,26
BBtotal(m^3/s)	3,25	4,05	-0,13	2,11	2,13	3,30	3,48	5,83	5,10	5,18	4,87	5,06	-0,13	6,84	7,07	5,38	4,63	-1,62
Q emiss	3,14	3,14	3,14	5,14	5,14	5,14	3,61	6,40	6,13	6,98	7,38	8,79	6,17	8,08	7,93	9,51	8,68	9,09
Q émiss (m^3/s)	3,14	3,14	3,14	5,14	5,14	5,14	3,61	6,40	6,13	6,98	7,38	8,79	6,17	8,08	7,93	9,51	8,68	9,09
Bilan(10^6m^3)	-0,10	-0,78	2,83	2,62	2,60	1,59	0,11	0,49	0,89	1,55	2,17	3,22	5,44	1,07	0,74	3,57	3,49	9,25

Tableau V-12 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture dans une année sèche

efficience 0,6 RIZ-RIZ/ANNEE SECHE

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	77,70	76,95	76,00	76,40	72,70	76,70	75,15	74,45	71,86	72,80	70,60	70,50
Humidité de l'air Nouvelle	70,18	73,51	73,66	75,10	74,73	75,46	73,28	73,93	73,92	73,86	74,62	74,10	73,22	74,19	76,10	75,54	76,04	74,87
Température de l'air	18,08	17,72	18,09	23,49	23,44	23,98	23,73	24,13	24,10	23,81	24,24	24,28	23,99	23,97	23,88	24,03	24,29	24,47
Précipitations	14,68	17,03	17,29	22,20	21,66	10,44	16,17	11,37	13,37	8,93	10,45	14,61	29,41	15,00	19,00	8,73	22,42	18,94
P mensuelle	49,00			54,30			40,91			33,99			63,41			50,09		
Peff2(mens)	44,65			49,16			37,77			31,89			56,90			45,58		
Peff3(mens)	19,40			22,58			14,55			10,39			28,05			20,05		
Peff2	13,38	15,52	15,76	20,10	19,61	9,45	14,93	10,50	12,34	8,38	9,80	13,71	26,39	13,46	17,05	7,94	20,40	17,23
Peff3	5,81	6,74	6,85	9,23	9,01	4,34	5,75	4,04	4,75	2,73	3,20	4,47	13,01	6,63	8,40	3,50	8,98	7,58
peff moy	9,59	11,13	11,30	14,66	14,31	6,90	10,34	7,27	8,55	5,55	6,50	9,09	19,70	10,05	12,73	5,72	14,69	12,41
P	14,68	17,03	17,29	22,20	21,66	10,44	16,17	11,37	13,37	8,93	10,45	14,61	29,41	15,00	19,00	8,73	22,42	18,94
Peff	9,59	11,13	11,30	14,66	14,31	6,90	10,34	7,27	8,55	5,55	6,50	9,09	19,70	10,05	12,73	5,72	14,69	12,41
T^{O}	18,08	17,72	18,09	23,49	23,44	23,98	23,73	24,13	24,10	23,81	24,24	24,28	23,99	23,97	23,88	24,03	24,29	24,47
H	70,18	73,51	73,66	75,10	74,73	75,46	73,28	73,93	73,92	73,86	74,62	74,10	73,22	74,19	76,10	75,54	76,04	74,87
Eto	33,76	29,48	29,84	35,71	36,17	35,91	38,70	38,38	38,35	38,00	37,55	38,36	39,22	37,76	34,83	35,87	35,51	37,51
Culture		RIZ																
Kc	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0

BN	-9,59	21,30	21,52	24,62	25,47	32,61	32,24	29,19	27,88	30,54	29,17	27,36	17,56	-10,05	-12,73	-5,72	-14,69	-12,41

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Humidité de l'air Nouvelle	69,16	71,66	72,18	72,95	72,17	72,75	73,38	73,77	71,91	71,07	72,79	72,60	71,92	73,02	72,76	73,66	74,26	72,85
Température de l'air	24,00	24,11	23,97	24,17	24,19	24,14	24,27	24,17	24,31	24,53	24,58	24,14	24,28	24,46	24,51	24,36	24,38	24,70
Précipitations	11,30	11,82	10,60	12,85	4,95	9,05	13,25	6,30	12,05	5,40	13,10	4,05	13,25	14,90	12,90	16,15	56,65	6,45
P mensuelle	33,72			26,85			31,60			22,55			41,05			79,25		
Peff2(mens)	31,66			25,82			29,86			22,17			37,89			70,36		
Peff3(mens)	10,23			6,11			8,96			3,53			14,63			38,40		
Peff2	10,61	11,10	9,95	12,36	4,76	8,70	12,52	5,95	11,39	5,31	12,88	3,98	12,23	13,75	11,91	14,34	50,30	5,73
Peff3	3,43	3,59	3,22	2,92	1,13	2,06	3,76	1,79	3,42	0,85	2,05	0,63	4,72	5,31	4,60	7,83	27,45	3,13
peff moy	7,02	7,34	6,58	7,64	2,94	5,38	8,14	3,87	7,40	3,08	7,46	2,31	8,48	9,53	8,25	11,08	38,87	4,43
P	11,30	11,82	10,60	12,85	4,95	9,05	13,25	6,30	12,05	5,40	13,10	4,05	13,25	14,90	12,90	16,15	56,65	6,45
Peff	7,02	7,34	6,58	7,64	2,94	5,38	8,14	3,87	7,40	3,08	7,46	2,31	8,48	9,53	8,25	11,08	38,87	4,43
T^{O}	24,00	24,11	23,97	24,17	24,19	24,14	24,27	24,17	24,31	24,53	24,58	24,14	24,28	24,46	24,51	24,36	24,38	24,70
H	69,16	71,66	72,18	72,95	72,17	72,75	73,38	73,77	71,91	71,07	72,79	72,60	71,92	73,02	72,76	73,66	74,26	72,85
Eto	45,17	41,71	40,70	39,89	41,07	40,14	39,42	38,70	41,66	43,30	40,79	40,36	41,61	40,27	40,73	39,14	38,29	40,92
Culture		RIZ																
Kc	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0	0	0	0
BN	-7,02	38,54	38,18	36,24	42,23	38,77	35,22	32,89	32,18	38,05	31,29	36,03	31,05	-9,53	-8,25	-11,08	-38,87	-4,43

BB(mm)	-11,70	64,23	63,64	60,40	70,39	64,62	58,70	54,82	53,63	63,42	52,15	60,05	51,75	-15,89	-13,75	-9,53	-24,48	-7,38
BB(l/s.ha)		0,74	0,74	0,70	0,81	0,75	0,68	0,63	0,62	0,73	0,60	0,70	0,60	-0,18	-0,16	-0,11	-0,28	-0,09
BBtotal(m^3/s)		4,55	4,51	4,28	4,99	4,58	4,16	3,88	3,80	4,49	3,69	4,25	3,67	-1,13	-0,97	-0,68	-1,73	-0,52
Q emiss		13,56			13,95			16,05			16,20			14,95			11,10	
Q emiss	7,33	6,12	6,63	4,82	5,15	6,06	11,27	7,68	8,68	4,37	6,04	5,62	3,55	6,29	4,64	2,68	2,68	2,68
Q émiss (m^3/s)		6,12	6,63	4,82	5,15	6,06	11,27	7,68	8,68	4,37	6,04	5,62	3,55	6,29	4,64	2,68	2,68	2,68
Bilan(10^6m^3)		1,36	1,83	0,47	0,14	1,28	6,15	3,28	4,22	-0,10	2,03	1,18	-0,10	6,41	4,85	2,90	3,82	2,77

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	69,00	69,10	69,23	63,40	61,45	59,82	65,05	70,20	74,50	74,15	74,40	70,55	76,00	73,75	69,15	73,65	75,35	74,27
Humidité de l'air Nouvelle	74,88	72,22	70,42	68,21	66,69	65,66	64,00	64,11	62,77	60,38	59,90	56,83	59,65	59,33	60,94	63,86	64,59	65,87
Température de l'air	24,23	24,24	24,21	23,82	23,57	23,00	22,62	22,41	22,47	22,92	22,97	23,38	23,92	24,12	24,40	23,63	23,74	24,38
Précipitations	0,90	4,15	2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,60	0,18	7,27	4,06	13,76
P mensuelle	7,24			0,00			0,00			0,00			3,79			25,09		
Peff2(mens)	9,15			3,00			3,00			3,00			6,22			24,33		
Peff3(mens)	0,00			0,00			0,00			0,00			0,00			5,05		
Peff2	1,14	5,25	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	5,91	0,30	7,05	3,94	13,34
Peff3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46	0,82	2,77
peff moy	0,57	2,62	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,95	0,15	4,26	2,38	8,06
P	0,90	4,15	2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,60	0,18	7,27	4,06	13,76
Peff	0,57	2,62	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,95	0,15	4,26	2,38	8,06

T°	24,23	24,24	24,21	23,82	23,57	23,00	22,62	22,41	22,47	22,92	22,97	23,38	23,92	24,12	24,40	23,63	23,74	24,38
H	74,88	72,22	70,42	68,21	66,69	65,66	64,00	64,11	62,77	60,38	59,90	56,83	59,65	59,33	60,94	63,86	64,59	65,87
Eto	37,14	41,09	43,69	46,22	47,92	48,26	49,79	49,21	51,18	55,49	56,28	61,63	58,89	59,87	58,15	52,14	51,32	50,77
Culture																		
Kc	0	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0
BN	-0,57	-2,62	-1,38	0,00	52,72	53,09	54,77	54,13	56,29	61,04	53,46	58,55	55,94	53,92	55,09	45,28	-2,38	-8,06

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Humidité de l'air Nouvelle	70,09	74,26	68,45	66,12	65,37	65,70	62,92	62,96	61,63	60,98	59,16	57,66	58,23	58,74	58,85	63,27	62,98	63,67
Température de l'air	24,55	24,35	23,80	23,73	23,39	22,98	22,90	22,93	24,29	23,40	23,96	24,48	24,66	24,86	24,53	24,36	24,16	24,40
Précipitations	4,20	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,55	7,20	5,00	6,20
P mensuelle	5,95			0,00			0,00			0,00			0,80			18,40		
Peff2(mens)	8,06			3,00			3,00			3,00			3,68			18,64		
Peff3(mens)	0,00			0,00			0,00			0,00			0,00			1,04		
Peff2	5,69	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	2,53	7,29	5,07	6,28
Peff3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,28	0,35
peff moy	2,84	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	1,27	3,85	2,67	3,32
P	4,20	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,55	7,20	5,00	6,20
Peff	2,84	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	1,27	3,85	2,67	3,32
T°	24,55	24,35	23,80	23,73	23,39	22,98	22,90	22,93	24,29	23,40	23,96	24,48	24,66	24,86	24,53	24,36	24,16	24,40
H	70,09	74,26	68,45	66,12	65,37	65,70	62,92	62,96	61,63	60,98	59,16	57,66	58,23	58,74	58,85	63,27	62,98	63,67

Eto	44,79	38,25	45,83	49,08	49,46	48,16	51,89	51,92	56,88	55,77	59,72	63,22	62,84	62,57	61,59	54,58	54,57	54,08
Culture																		
Kc	0	0	0	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	0
BN	-2,84	-1,18	0,00	0,00	54,40	52,98	57,07	57,11	62,56	61,34	56,73	60,06	59,70	58,87	57,24	48,00	-2,67	-3,32
BB(mm)	-0,95	-1,97	0,00	0,00	90,67	88,48	95,12	95,18	104,27	102,24	94,55	100,10	99,49	98,11	95,40	80,00	-3,96	-5,53
BB(l/s.ha)	-0,01	-0,02	0,00	0,00	1,05	1,02	1,10	1,10	1,21	1,18	1,09	1,16	1,15	1,14	1,10	0,93	-0,05	-0,06
BBtotal(m^3/s)	-0,07	-0,14	0,00	0,00	6,42	6,27	6,74	6,74	7,39	7,24	6,70	7,09	7,05	6,95	6,76	5,67	-0,28	-0,39
Q emiss	9,92			9,11			10,22			11,80			12,09			13,19		
Q emiss	2,19	2,19	2,19	2,62	2,62	2,62	2,16	3,13	2,21	2,76	2,65	2,99	3,77	3,86	3,87	6,69	6,62	5,09
Q émiss (m^3/s)	2,19	2,19	2,19	2,62	2,62	2,62	2,16	3,13	2,21	2,76	2,65	2,99	3,77	3,86	3,87	6,69	6,62	5,09
Bilan($10^6 m^3$)	1,95	2,02	1,89	2,27	-3,28	-3,15	-3,96	-3,12	-4,48	-3,87	-3,50	-3,55	-2,83	-2,67	-2,49	0,89	5,96	4,74

Tableau V-13 : calcul détaillé des besoins en eau et le bilan hydrique pour le cas du double riziculture avec polyculture dans une année sèche

RIZ-RIZ-POLYCULTURE/ANNEE SECHE

MUGERERO ET RANDA

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	77,70	76,95	76,00	76,40	72,70	76,70	75,15	74,45	71,86	72,80	70,60	70,50
Humidité de l'air Nouvelle	70,18	73,51	73,66	75,10	74,73	75,46	73,28	73,93	73,92	73,86	74,62	74,10	73,22	74,19	76,10	75,54	76,04	74,87
Température de l'air	18,08	17,72	18,09	23,49	23,44	23,98	23,73	24,13	24,10	23,81	24,24	24,28	23,99	23,97	23,88	24,03	24,29	24,47
Précipitations	14,68	17,03	17,29	22,20	21,66	10,44	16,17	11,37	13,37	8,93	10,45	14,61	29,41	15,00	19,00	8,73	22,42	18,94
P mensuelle	49,00			54,30			40,91			33,99			63,41			50,09		
Peff2(mens)	44,65			49,16			37,77			31,89			56,90			45,58		

Peff3(mens)	19,40			22,58			14,55			10,39			28,05			20,05		
Peff2	13,38	15,52	15,76	20,10	19,61	9,45	14,93	10,50	12,34	8,38	9,80	13,71	26,39	13,46	17,05	7,94	20,40	17,23
Peff3	5,81	6,74	6,85	9,23	9,01	4,34	5,75	4,04	4,75	2,73	3,20	4,47	13,01	6,63	8,40	3,50	8,98	7,58
peff moy	9,59	11,13	11,30	14,66	14,31	6,90	10,34	7,27	8,55	5,55	6,50	9,09	19,70	10,05	12,73	5,72	14,69	12,41
P	14,68	17,03	17,29	22,20	21,66	10,44	16,17	11,37	13,37	8,93	10,45	14,61	29,41	15,00	19,00	8,73	22,42	18,94
Peff	9,59	11,13	11,30	14,66	14,31	6,90	10,34	7,27	8,55	5,55	6,50	9,09	19,70	10,05	12,73	5,72	14,69	12,41
T^{O}	18,08	17,72	18,09	23,49	23,44	23,98	23,73	24,13	24,10	23,81	24,24	24,28	23,99	23,97	23,88	24,03	24,29	24,47
H	70,18	73,51	73,66	75,10	74,73	75,46	73,28	73,93	73,92	73,86	74,62	74,10	73,22	74,19	76,10	75,54	76,04	74,87
Eto	33,76	29,48	29,84	35,71	36,17	35,91	38,70	38,38	38,35	38,00	37,55	38,36	39,22	37,76	34,83	35,87	35,51	37,51
Culture		RIZ																
Kc	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95
BN	27,54	21,30	17,04	19,26	20,05	27,22	26,43	-7,27	33,64	36,24	34,80	33,11	23,44	31,49	20,37	28,36	19,05	23,23

RUKARAMU

Mois	NOVEMBRE			DÉCEMBRE			JANVIER			FÉVRIER			MARS			AVRIL		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	77,80	78,35	81,09	76,70	76,85	79,00	24,93	25,44	25,60	25,60	25,37	25,49	25,59	25,28	25,45	25,38	25,18	25,31
Humidité de l'air Nouvelle	69,16	71,66	72,18	72,95	72,17	72,75	73,38	73,77	71,91	71,07	72,79	72,60	71,92	73,02	72,76	73,66	74,26	72,85
Température de l'air	24,00	24,11	23,97	24,17	24,19	24,14	24,27	24,17	24,31	24,53	24,58	24,14	24,28	24,46	24,51	24,36	24,38	24,70
Précipitations	11,30	11,82	10,60	12,85	4,95	9,05	13,25	6,30	12,05	5,40	13,10	4,05	13,25	14,90	12,90	16,15	56,65	6,45
P mensuelle	33,72			26,85			31,60			22,55			41,05			79,25		
Peff2(mens)	31,66			25,82			29,86			22,17			37,89			70,36		
Peff3(mens)	10,23			6,11			8,96			3,53			14,63			38,40		
Peff2	10,61	11,10	9,95	12,36	4,76	8,70	12,52	5,95	11,39	5,31	12,88	3,98	12,23	13,75	11,91	14,34	50,30	5,73
Peff3	3,43	3,59	3,22	2,92	1,13	2,06	3,76	1,79	3,42	0,85	2,05	0,63	4,72	5,31	4,60	7,83	27,45	3,13

peff moy	7,02	7,34	6,58	7,64	2,94	5,38	8,14	3,87	7,40	3,08	7,46	2,31	8,48	9,53	8,25	11,08	38,87	4,43
P	11,30	11,82	10,60	12,85	4,95	9,05	13,25	6,30	12,05	5,40	13,10	4,05	13,25	14,90	12,90	16,15	56,65	6,45
Peff	7,02	7,34	6,58	7,64	2,94	5,38	8,14	3,87	7,40	3,08	7,46	2,31	8,48	9,53	8,25	11,08	38,87	4,43
T^{O}	24,00	24,11	23,97	24,17	24,19	24,14	24,27	24,17	24,31	24,53	24,58	24,14	24,28	24,46	24,51	24,36	24,38	24,70
H	69,16	71,66	72,18	72,95	72,17	72,75	73,38	73,77	71,91	71,07	72,79	72,60	71,92	73,02	72,76	73,66	74,26	72,85
Eto	45,17	41,71	40,70	39,89	41,07	40,14	39,42	38,70	41,66	43,30	40,79	40,36	41,61	40,27	40,73	39,14	38,29	40,92
Culture		RIZ																
Kc	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,95	0,95	0,95	0,95
BN	42,67	38,54	32,08	30,26	36,07	32,75	29,31	-3,87	38,43	44,55	37,41	42,09	37,29	34,76	30,44	26,10	-2,50	34,45
BB(mm)	71,12	64,23	53,46	50,43	60,12	54,58	48,85	-6,45	64,05	74,25	62,35	70,14	62,15	57,94	50,73	47,26	31,75	57,41
BB(l/s.ha)	0,82	0,74	0,62	0,58	0,70	0,63	0,57	-0,07	0,74	0,86	0,72	0,81	0,72	0,67	0,59	0,55	0,37	0,66
BBtotal(l/s)	5,04	4,55	3,79	3,57	4,26	3,87	3,46	-0,46	4,54	5,26	4,42	4,97	4,40	4,10	3,59	3,35	2,25	4,07
Q emiss	7,33	6,12	6,63	4,82	5,15	6,06	11,27	7,68	8,68	4,37	6,04	5,62	3,55	6,29	4,64	2,68	2,68	2,68
Q émiss m^3/s	7,33	6,12	6,63	4,82	5,15	6,06	11,27	7,68	8,68	4,37	6,04	5,62	3,55	6,29	4,64	2,68	2,68	2,68
Bilan($10^6 m^3$)	1,98	1,36	2,45	1,08	0,77	1,90	6,75	7,03	3,58	-0,76	1,40	0,56	-0,73	1,89	0,91	-0,57	0,38	-1,19

MUGERERO ET GIHANGA I&II

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	69,00	69,10	69,23	63,40	61,45	59,82	65,05	70,20	74,50	74,15	74,40	70,55	76,00	73,75	69,15	73,65	75,35	74,27
Humidité de l'air Nouvelle	74,88	72,22	70,42	68,21	66,69	65,66	64,00	64,11	62,77	60,38	59,90	56,83	59,65	59,33	60,94	63,86	64,59	65,87
Température de l'air	24,23	24,24	24,21	23,82	23,57	23,00	22,62	22,41	22,47	22,92	22,97	23,38	23,92	24,12	24,40	23,63	23,74	24,38
Précipitations	0,90	4,15	2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,60	0,18	7,27	4,06	13,76

P mensuelle	7,24			0,00			0,00			0,00			3,79			25,09		
Peff2(mens)	9,15			3,00			3,00			3,00			6,22			24,33		
Peff3(mens)	0,00			0,00			0,00			0,00			0,00			5,05		
Peff2	1,14	5,25	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	5,91	0,30	7,05	3,94	13,34
Peff3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46	0,82	2,77
peff moy	0,57	2,62	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,95	0,15	4,26	2,38	8,06
P	0,90	4,15	2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,60	0,18	7,27	4,06	13,76
Peff	0,57	2,62	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,95	0,15	4,26	2,38	8,06
T^{O}	24,23	24,24	24,21	23,82	23,57	23,00	22,62	22,41	22,47	22,92	22,97	23,38	23,92	24,12	24,40	23,63	23,74	24,38
H	74,88	72,22	70,42	68,21	66,69	65,66	64,00	64,11	62,77	60,38	59,90	56,83	59,65	59,33	60,94	63,86	64,59	65,87
Eto	37,14	41,09	43,69	46,22	47,92	48,26	49,79	49,21	51,18	55,49	56,28	61,63	58,89	59,87	58,15	52,14	51,32	50,77
Culture																		
Kc	0,95	0,95	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,95	0,85	0,85	0,75	0,75	0	1,1	1,1	1,1	1,1	0
BN	34,71	36,41	-1,38	18,49	19,17	28,96	29,87	46,75	43,50	47,17	42,21	46,22	-0,01	62,90	63,82	53,10	54,08	-8,06

RUKARAMU

Mois	MAI			JUIN			JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE		
Décades	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Humidité de l'air	25,56	25,56	25,13	24,80	24,41	23,83	24,01	24,11	24,28	24,64	25,02	25,50	25,71	25,89	26,02	25,79	25,57	25,62
Humidité de l'air Nouvelle	70,09	74,26	68,45	66,12	65,37	65,70	62,92	62,96	61,63	60,98	59,16	57,66	58,23	58,74	58,85	63,27	62,98	63,67
Température de l'air	24,55	24,35	23,80	23,73	23,39	22,98	22,90	22,93	24,29	23,40	23,96	24,48	24,66	24,86	24,53	24,36	24,16	24,40
Précipitations	4,20	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,55	7,20	5,00	6,20
P mensuelle	5,95			0,00			0,00			0,00			0,80			18,40		
Peff2(mens)	8,06			3,00			3,00			3,00			3,68			18,64		

Peff3(mens)	0,00			0,00			0,00			0,00			0,00			1,04		
Peff2	5,69	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15	2,53	7,29	5,07	6,28
Peff3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,28	0,35
peff moy	2,84	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	1,27	3,85	2,67	3,32
P	4,20	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,55	7,20	5,00	6,20
Peff	2,84	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	1,27	3,85	2,67	3,32
T^{O}	24,55	24,35	23,80	23,73	23,39	22,98	22,90	22,93	24,29	23,40	23,96	24,48	24,66	24,86	24,53	24,36	24,16	24,40
H	70,09	74,26	68,45	66,12	65,37	65,70	62,92	62,96	61,63	60,98	59,16	57,66	58,23	58,74	58,85	63,27	62,98	63,67
Eto	44,79	38,25	45,83	49,08	49,46	48,16	51,89	51,92	56,88	55,77	59,72	63,22	62,84	62,57	61,59	54,58	54,57	54,08
Culture																		
Kc	0,95	0,95	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,95	0,85	0,85	0,75	0,75	0	1,1	1,1	1,1	1,1	0
BN	39,71	35,15	0,00	19,63	19,78	28,90	31,13	49,32	48,34	47,40	44,79	47,42	0,00	68,25	66,48	56,19	57,36	-3,32
BB(mm)	66,18	60,69	0,00	32,72	32,97	48,26	51,89	82,20	80,57	79,00	74,65	79,03	0,00	113,75	110,80	93,64	95,59	-5,53
BB(l/s.ha)	0,77	0,70	0,00	0,38	0,38	0,56	0,60	0,95	0,93	0,91	0,86	0,91	0,00	1,32	1,28	1,08	1,11	-0,06
BBtotal(l/s)	4,69	4,30	0,00	2,32	2,34	3,42	3,68	5,82	5,71	5,60	5,29	5,60	0,00	8,06	7,85	6,63	6,77	-0,39
Q emiss	2,19	2,19	2,19	2,62	2,62	2,62	2,16	3,13	2,21	2,76	2,65	2,99	3,77	3,86	3,87	6,69	6,62	5,09
Q emiss (m^3/s)	2,19	2,19	2,19	2,62	2,62	2,62	2,16	3,13	2,21	2,76	2,65	2,99	3,77	3,86	3,87	6,69	6,62	5,09
Bilan($10^6 m^3$)	-2,16	-1,82	1,89	0,26	0,25	-0,69	-1,31	-2,33	-3,03	-2,45	-2,28	-2,26	3,25	-3,62	-3,43	0,05	-0,13	4,74

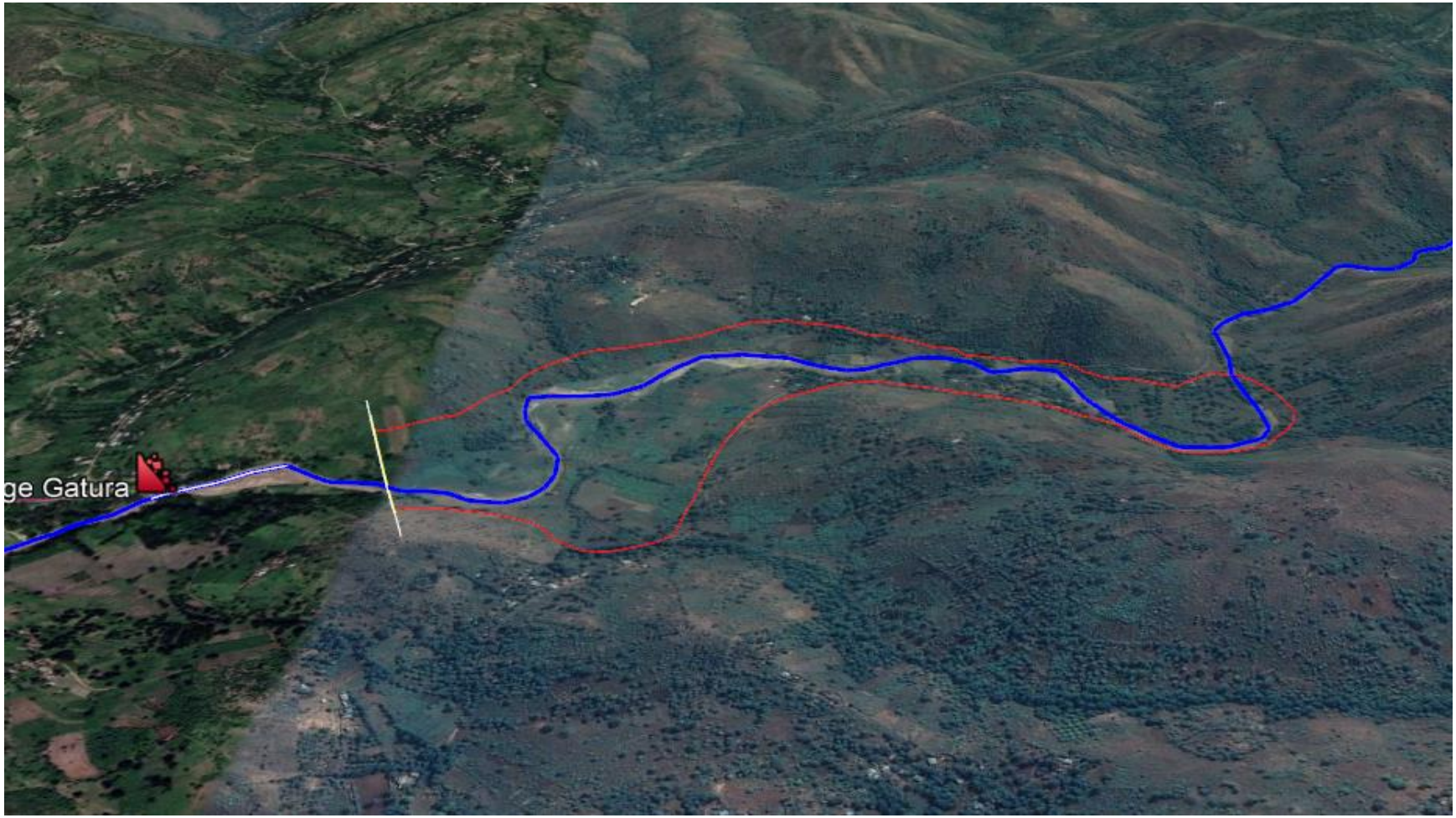


Figure V-1:l'espace qui peut être inondé par la retenu

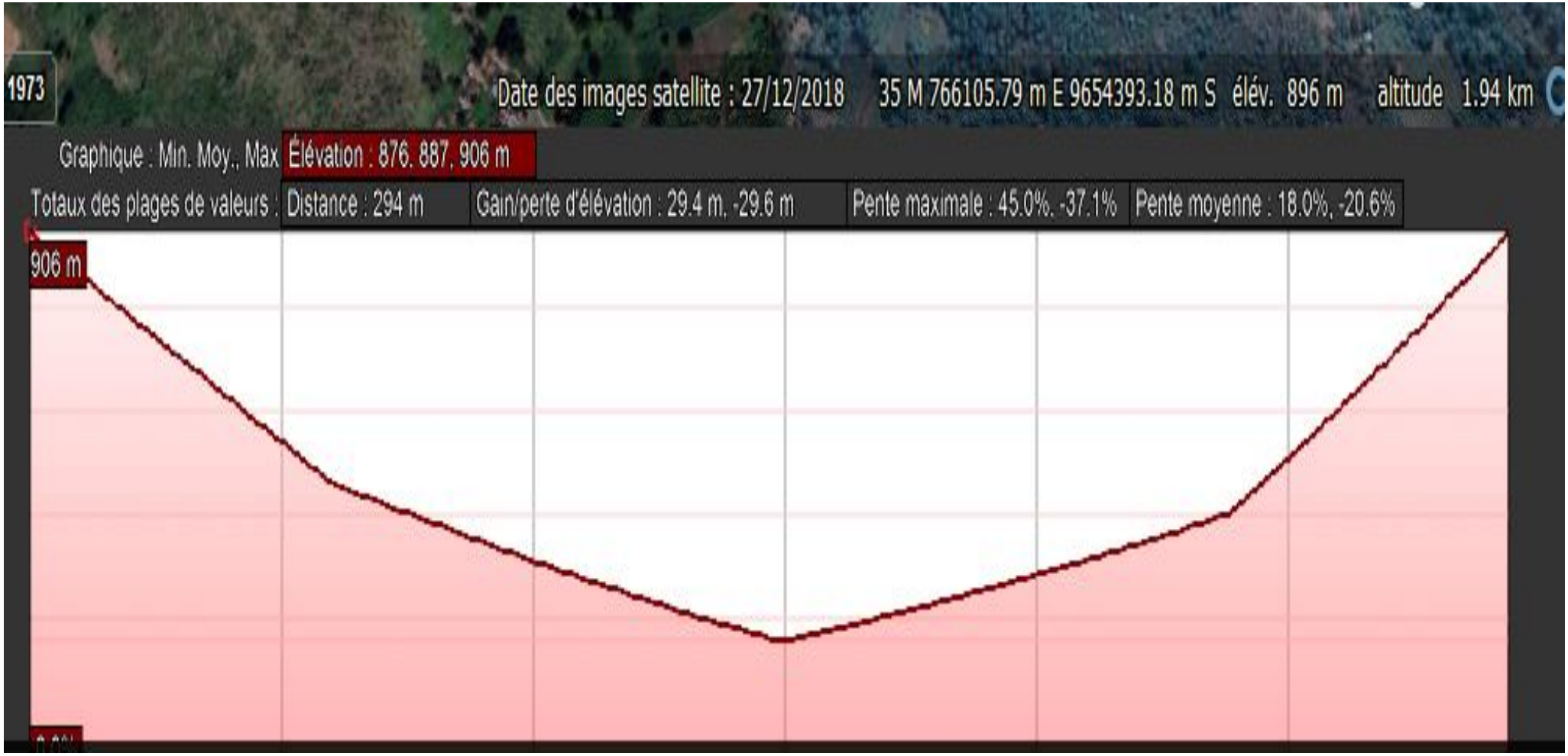


Figure V-2:profil en travers à l'endroit du barrage