



**République du Burundi**  
**Ministère de l'Environnement,**  
**de l'Agriculture et de l'Elevage**

**Projet Troisième Communication Nationale**  
**sur les Changements Climatiques**

**ETUDE DE VULNERABILITE ET D'ADAPTATION**  
**AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

**SECTEUR DES RESSOURCES EN EAU**

**Rapport définitif**

**Consultants :**

**Ir. NTUNGUMBURANYE Gérard**  
**Msc. NINDAMUTSA Astère**

**Sous la coordination de:**

**Rénilde NDAYISHIMIYE :**

**Directeur Général de l'IGEBU**

**Novembre 2018**

<b>Table des matières</b>	<b>pages</b>
<b>0. Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>I. Définition du champ de l'étude.....</b>	<b>12</b>
I.1. Objectif de l'étude.....	12
I.2. Identification de l'unité cible.....	12
<b>II. Identification des zones de l'étude et de l'horizon temporel.....</b>	<b>13</b>
II.1. Zones d'Etude.....	13
II.2. Horizon temporel.....	14
<b>III. Informations de base sur la vulnérabilité des ressources en eau aux variations et changements climatiques.....</b>	<b>17</b>
III.A. Les ressources en eau superficielles.....	17
III.A.1. Les effets néfastes des changements climatiques sur les ressources en eau.....	17
III.A.1.1. La plaine de l'Imbo.....	17
III.A.1.2. L'escarpement des Mirwa.....	18
III.A.1.3. La crête Congo-Nil.....	18
III.A.1.4. Les Plateaux Centraux .....	19
III.A.1.5. La Dépression du Kumoso.....	20
III.1.1.6. La Dépression du Bugesera au Nord-Est.....	20
III.B. Les ressources en eau souterraines.....	24
III. B.1. Etat des lieux des ressources en eau souterraines à Gitega, Rumonge et Moso.....	24
III.B.1.1.Introduction générale.....	24
III.B.1.2. Localisation des zones d'étude.....	24
III.B.1.3. Objet d'étude de chaque zone.....	24
III.B.1.4. Contexte géologique et hydrogéologique des zones	

d'étude.....	26
<b>IV. Cadre institutionnel de l'adaptation dans le secteur des ressources en eau.....</b>	<b>31</b>
<b>V. Méthodologie de l'étude.....</b>	<b>32</b>
V.1. La modélisation.....	32
V.2. Le jugement d'expert.....	32
<b>VI. Acquisition des données et développement de la situation de base.....</b>	<b>33</b>
VI.1. Etapes suivies dans l'acquisition des données et leur développement.....	33
VI.2. Source et disponibilité des données.....	33
VI.3. Equipements et système électronique utilisés.....	34
VI.4. Données hydrologiques de référence.....	34
VI.5. Analyse des données et test de la méthode.....	36
VI.6. Développement des données.....	41
<b>VII. Etablissement des scénarios.....</b>	<b>47</b>
VII.1. En présence des changements climatiques.....	47
<b>VIII. Résultats des travaux hydrogéologiques.....</b>	<b>51</b>
VIII.1. Gitega.....	51
VIII.2. Rumonge.....	53
VIII.3. Gihofi et Kinyinya.....	56
<b>IX. Evaluation des impacts et de la vulnérabilité.....</b>	<b>57</b>
IX.1. Impacts climatiques.....	57
IX.2. Impacts non climatiques.....	58
IX.3. Incertitudes.....	58
<b>X. Identification et évaluation de l'état de mise en œuvre des stratégies et mesures d'adaptation antérieures dans le secteur des ressources</b>	

en eau.....	59
<b>XI. Identification et priorisation des actions pour faire face aux changements climatiques futurs.....</b>	<b>61</b>
XI.1. Identification des actions pour faire face aux changements climatiques futurs.....	61
XI.2. Priorisation des actions pour faire face aux changements climatiques futurs.....	63
XI.3. Identification des activités pour la mise en œuvre des actions prioritaires.....	64
<b>XII. Les stratégies de développement dans le secteur des ressources en eau.....</b>	<b>67</b>
<b>XIII. Evaluation et formulation des objectifs.....</b>	<b>67</b>
<b>XIV. Plan d’actions stratégique d’adaptation aux changements climatiques.....</b>	<b>69</b>
<b>XV. Fiches de Projet.....</b>	<b>72</b>
XV.1.Fiche de projet n°1.....	72
XV.2.Fiche de projet n°2.....	75
XV.3.Fiche de projet n°3.....	78
<b>XVI. Conclusions et recommandations.....</b>	<b>81</b>
<b>XVII. Références bibliographiques.....</b>	<b>83</b>
<b>XVIII. Photographies.....</b>	<b>85</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1: Synthèse des principaux événements liés à l'eau.....	22
Tableau 2: Caractéristiques des bassins versants dans les zones d'étude....	34
Tableau 3: Données de base observées à Mahwa et à Nyabiraba.....	35
Tableau 4: Données de base observées à Mpotat-Tora et à Mutambara.....	35
Tableau 5: Données de base observées à Cankuzo et à Gisuru.....	35
Tableau 6: Bassin versant de la rivière Ruvyironza à Nyabiraba.....	47
Tableau 7: Bassin versant de la rivière Murembwe à Mutambara.....	48
Tableau 8: Bassin versant de la rivière Rumpungwe à Gisuru.....	49
Tableau 9: Résumé des effets des changements climatiques sur les débits moyens annuels ( $m^3/s$ ) de 2005-2017 à 2050.....	51
Tableau 10: Résultats d'analyse de quelques éléments chimiques dans les piézomètres de Gitega.....	52
Tableau 11: Résultats d'analyse de quelques éléments chimiques dans les piézomètres de Rumonge.....	54
Tableau 12: Analyse de quelques paramètres de terrain.....	56
Tableau 13: Priorisation et classement des actions déjà identifiées.....	63
Tableau 14: Liste des actions et activités du plan d'actions stratégiques pour faire face aux changements climatiques futurs.....	64
Tableau 15: Plan d'actions stratégiques d'adaptation aux changements climatiques.....	69
Tableau 16: Projet de collecte des eaux de pluie des toits de maison au Burundi.....	72
Tableau 17: Projet d'appui à la maîtrise et à la stabilisation de la dynamique fluviale des rivières de la région de Mumirwa .....	75

Tableau 18: Projet de création d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau.....	78
--	----

## Liste des figures

Figure 1. Carte hydrologique du Burundi.....	15
Figure 2. Carte des régions naturelles du Burundi .....	16
Figure 3. Localisation des 4 zones étudiées (Gitega, Rumonge, Gihofi et Kinyinya).....	25
Figure 4. Localisation des forages du champ captant de Gitega.....	27
Figure 5. Localisation des forages du champ captant de Rumonge.....	28
Figure 6. Affleurement de calcaires à Gihofi.....	29
Figure 7. Carte de relevé géologique et implantation des forages à Gihofi..	30
Figure 8. Affleurement de basaltes à Kinyinya.....	30
Figure 9. Graphique des débits mesurés et simulés à Nyabiraba.....	37
Figure 10. Graphique montrant la corrélation entre les débits mesurés et simulés à Nyabiraba.....	37
Figure 11. Graphique des débits mesurés et simulés à Mutambara.....	38
Figure 12. Graphique montrant la corrélation entre les débits mesurés et simulés à Mutambara.....	39
Figure 13. Graphique des débits mesurés et simulés à Gisuru.....	40
Figure 14. Graphique montrant la corrélation entre les débits mesurés et simulés à Gisuru.....	40
Figure 15. Graphique des pluies mesurées à Mahwa et des débits simulés à Nyabiraba.....	41
Figure 16. Graphique montrant la corrélation entre les pluies mesurées	

à Mahwa et les débits simulés à Nyabiraba .....	42
Figure 17. Graphique des pluies mesurées à Mpota- Tora et des débits simulés à Mutambara.....	43
Figure 18. Graphique montrant la corrélation entre les pluies mesurées à Mpota Tora et les débits simulés à Mutambara .....	43
Figure 19. Graphique des pluies mesurées à Cankuzo-Proj et des débits simulés à Gisuru.....	44
Figure 20. Graphique montrant la corrélation entre les pluies mesurées à Cankuzo-Projet et les débits simulés à Gisuru.....	45
Figure 21. Graphique des pluies tombées à Mahwa et les débits reconstitués à Nyabiraba.....	45
Figure 22. Graphique des pluies tombées à Mpota-Tora et les débits reconstitués à Mutambara.....	46
Figure 23. Graphique des pluies tombées à Cankuzo-Proj et les débits reconstitués à Gisuru.....	46
Figure 24. Graphique montrant le développement des scénarios de débits moyens à Nyabiraba.....	48
Figure 25. Graphique montrant le développement des scénarios des débits moyens à Mutambara.....	49
Figure 26. Graphique montrant le développement des scénarios des débits moyens à Gisuru.....	50
Figure 27. Chronique piézométrique des piézomètres du champ captant de Gitega.....	52
Figure 28. Chronique piézométrique des piézomètres du champ captant de Ru-Pz 04 et Ru-Pz 05 à Rumonge.....	55
Figure 29 & 30 Station automatique de Ru-Pz 04 et sonde électrique pour mesurer le niveau manuel sur Gi-F2 à Gihofi.....	55

Figure 31. Développement d'un piézomètre Gf-F1 bis à Gihofi.....56

## **Photographies**

1. Développement d'un piézomètre Gf-F1bis à Gihofi .....86
2. Photographie de la station hydrologique automatique de la  
Basse Murembwe.....86

## **Liste des abréviations**

1. AMC: Analyse Multicritères
2. BGR: Institut Allemand de Géosciences et des Ressources Naturelles
3. BV: Bassin Versant
4. CC: Changements Climatiques
5. CSLP II: Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté Deuxième  
Génération
6. CPP: Comité de Pilotage du Projet
7. °C : Degré Célcius
8. DGEREA : Direction Générale de l'Environnement, des Ressources  
en Eau et de l'Assainissement
9. DGPS: Differential Global Positioning System
10. DSS: Decision Support System
11. GIEC: Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
12. Gi-Pz 01: Gitega-Piézomètre numéro 01
13. Gf-F2: Gihofi-Forage numéro 02
14. GIRE: Gestion Intégrée des Ressources en Eau
15. IGEBU: Institut Géographique du Burundi



16. Km: Kilomètre
17. MFT: Marteau Fond de Trou
18. MINEAGRIE: Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage
19. MESRS: Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
20. MININTER & FP : Ministère de l'Intérieur et de la Formation Patriotique
21. Mm : Millimètre
22. M<sup>2</sup>/s : Mètre Carré par seconde
23. M<sup>3</sup>/s : Mètre Cube par seconde
24. Mg/l : Milligramme par litre
25.  $\mu$ s/cm: Micro Siemens par centimètre
26. NAM: Nedbør Afløbs Model/Model-Pluie-Ecoulement
27. Q: Débit en mm ou m<sup>3</sup>/s
28. ONG: Organisations Non Gouvernementales
29. PANA: Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques
30. PGES: Projet Gestion des Ressources en Eaux Souterraines
31. PAGIRE: Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
32. PNE: Politique Nationale de l'Eau
33. RE: Ressources en eau
34. REGIDESO: Régie de Production et de Distribution de l'Eau et de l'Electricité
35. RR: Précipitations en mm
36. RCP: Representative Concentration Pathways
37. Ru-Pz 01: Rumonge-Piézomètre numéro 01

- 38.% : Pourcentage
- 39. SCEP: Système de Collecte des Eaux Pluviales
- 40. SCNCC: Seconde Communication Nationale sur les Changements  
Climatiques
- 41. SNEau: Stratégie Nationale de l'Eau
- 42. TCNCC: Troisième Communication Nationale sur les Changements  
Climatiques
- 43. UB: Université du Burundi
- 44. USD: United States Dollar
- 45. VCR: Voies de Concentration Représentatives

## 0. INTRODUCTION

Comme tous les autres pays de notre planète, le Burundi fait face aux effets néfastes des changements climatiques (CC) dus principalement aux concentrations des gaz à effets de serre émises dans l'atmosphère. Beaucoup de régions du pays connaissent ces dernières décennies un déficit pluviométrique et hydrique, se traduisant notamment par l'aggravation de l'aridité des sols, la baisse des niveaux des rivières et des lacs ou leur tarissement pur et simple. A l'inverse, d'autres phénomènes climatiques tels que les pluies torrentielles, les températures extrêmes et les vents violents sont des signes qui révèlent aujourd'hui la vulnérabilité de plus en plus grandissante du pays face à ces CC. Cela engendre des conséquences aussi désastreuses comme la chute de la production surtout agricole, les pertes en vies humaines, les inondations et sécheresses répétitives, l'augmentation des risques de maladies, la destruction des infrastructures aussi bien publiques que privées, la dégradation de l'environnement, etc.

La distribution spatiale et temporelle des précipitations, les fréquences et les magnitudes des sécheresses et des inondations et d'autres phénomènes météorologiques, changeront de telle sorte qu'il est impossible de les prévoir avec certitude à l'heure actuelle. Il y a de grandes incertitudes en ce qui concerne les effets des changements climatiques sur les ressources en eau (RE). Ces dernières sont essentielles à l'évolution de l'humanité, des organismes vivants et de l'habitat naturel. En effet, l'eau sert à de multiples fins : agriculture, transport, boisson, nettoyage, industrie, production d'électricité, sauvegarde de l'environnement, loisirs, etc. L'étude de vulnérabilités et d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques est d'autant plus importante que c'est l'eau qui est le moteur de la vie et qui conditionne la quasi-totalité des activités socio économiques du Burundi.

La présente étude sur les ressources en eau, en plus d'une introduction et de la définition du cadre de travail, présente en détails la méthodologie utilisée, établit les scénarios de ces ressources, évalue les impacts de la vulnérabilité et propose des stratégies d'adaptation des RE face à ces CC. L'étude se termine par un plan d'actions stratégique d'adaptation aux changements climatiques dans ce secteur. Trois fiches de projet d'adaptation ont été élaborées et sont présentées à la fin du document.

# **I. DEFINITION DU CHAMP DE L'ETUDE**

## ***1.1. Objectif de l'étude***

L'étude de vulnérabilité et d'adaptation vise l'évaluation des ressources en eau face aux changements climatiques. Elle doit évaluer les impacts de cette vulnérabilité et relever les incertitudes y afférentes. L'étude doit aussi définir les stratégies et les options, ainsi que les mesures et les actions d'adaptation à ces changements en vue d'améliorer le système de gestion des ressources en eau et ainsi préserver l'équilibre environnemental, social et économique dans le pays.

## ***1.2. Identification de l'unité cible***

L'étude de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques a pour unité cible les ressources en eau en général et les eaux souterraines en particulier. En effet, concernant les eaux de surface, l'ensemble du pays est drainé par un chevelu de cours d'eau assez dense comme le montre la carte de la page 15. Les ressources en eau superficielles du Burundi sont considérées, dans une année normale, suffisantes pour couvrir les besoins du pays. Les informations sur les eaux souterraines sont mal connues et peu exploitées au Burundi car elles ne sont pas encore suffisamment étudiées. Mais, grâce à la coopération allemande, cette partie des ressources en eau vient de connaître une évolution importante à partir de l'année 2008. C'est à partir de cette date que le Projet Gestion des Ressources en Eaux Souterraines (PGES), sous la houlette du BGR - Institut Allemand de Géosciences et des Ressources Naturelles - a vu le jour et est encore à l'œuvre au Burundi. Ce projet a commencé à initier des travaux d'exploration des eaux souterraines au Burundi avec trois zones pilotes à savoir: Rumonge, Gitega et Kirundo. A l'heure actuelle, le projet est en train d'étendre ses activités aux autres zones du pays notamment à Gihofi et à Kinyinya. Il est actuellement en train de préparer sa troisième phase qui va s'étendre sur 3 ans (2019-2021).

Le premier principe de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) ou principe de Dublin (1992) stipule que l'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, indispensable à la vie, au développement et à l'environnement. Avec les changements climatiques, l'eau en général devient une source limitée et vulnérable. Cette considération s'explique par le fait que l'exploitation des quantités d'eau disponibles - à un prix

abordable par les bénéficiaires - est limitée par une variété de facteurs comprenant notamment les conditions climatiques défavorables dans certaines régions, l'inégale distribution spatio-temporelle des pluies, la compétition pour l'exploitation de la ressource, le manque de politique de sa conservation et la nécessité de partager les ressources en eau disponibles avec les pays voisins.

## **II. IDENTIFICATION DES ZONES DE L'ETUDE ET DE L'HORIZON TEMPOREL**

### ***II.1. Zones d'étude***

L'étude porte sur trois bassins versants (BV) : Le bassin versant de la Basse MULEMBWE à Mutambara comprenant la ville de Rumonge, le bassin versant de la RUVYIRONZA à Nyabiraba et le bassin versant de la RUMPUNGWE à Gisuru. Ces trois bassins ont été choisis pour leur appartenance aux sept régions naturelles qui ont été fortement secouées ces derniers temps par un stress hydrique sans précédent. Il s'agit des régions naturelles de KUMOSO et BUYOGOMA (Est) de KIRIMIRO et BUTUTSI (Centre) et MUGAMBA, MUMIRWA et IMBO (Sud-ouest du pays).

En outre, ces régions subissent actuellement une dégradation de l'environnement (déforestation) plus prononcée qu'ailleurs.

Une autre raison qui milite en leur faveur est qu'elles n'ont pas fait l'objet d'étude antérieure sur la vulnérabilité et l'adaptation aux changements climatiques dans les deux Premières Communications Nationales.

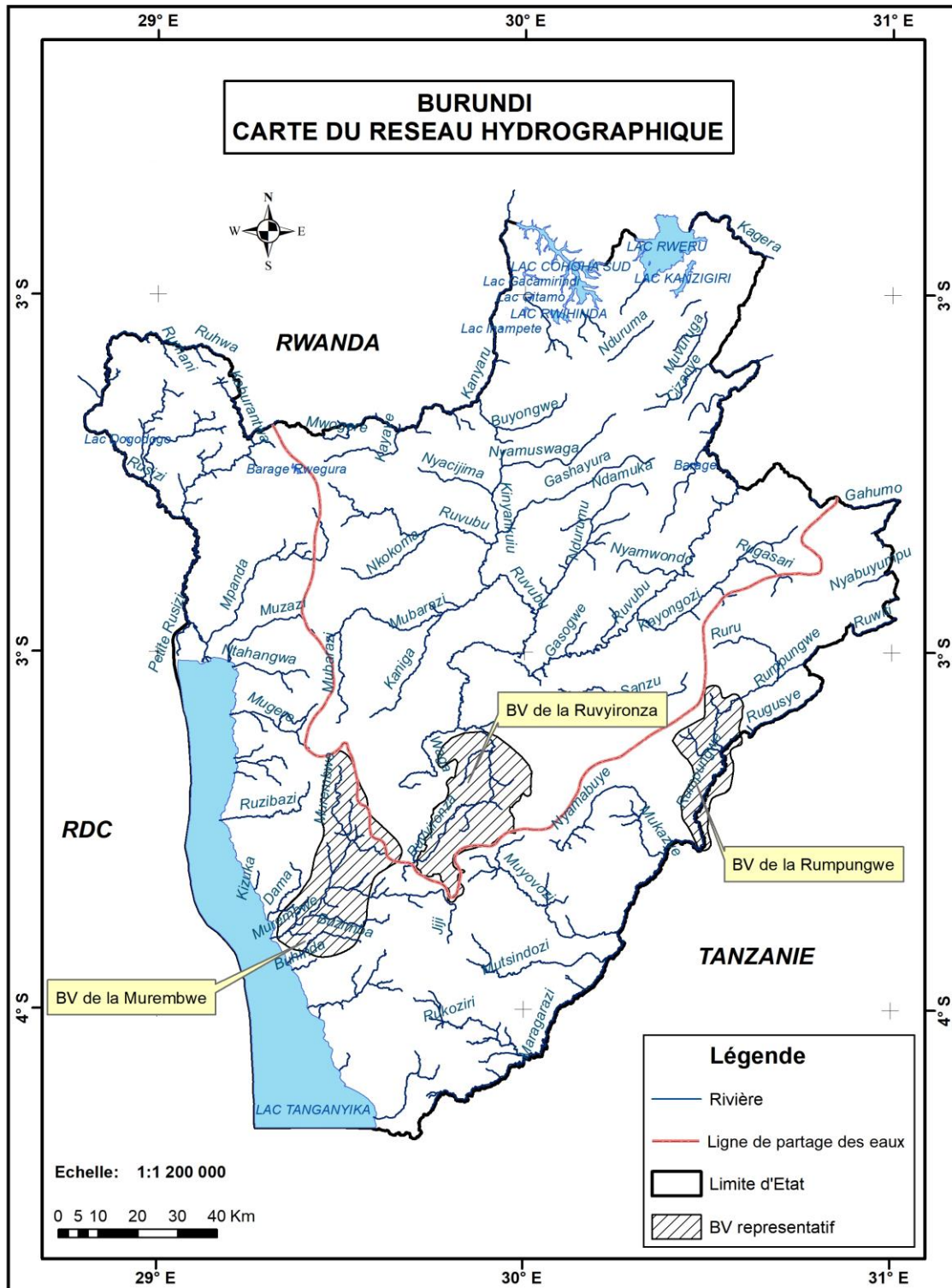
Enfin et pas des moindres, comme l'étude va mettre un accent particulier sur les eaux souterraines, l'équipe d'experts chargée de cette étude a opté pour l'inclusion des villes de Rumonge et de Gitega, qui sont situées dans les zones pilotes du Projet PGES, dans la zone d'étude de vulnérabilité et d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques.

La carte hydrologique du Burundi à la page 15 montre la localisation de ces trois bassins versants faisant l'objet de la présente étude. La figure 3 de la page 26 montre quant à elle les zones cibles du projet PGES.

## ***II.2. Horizon temporel***

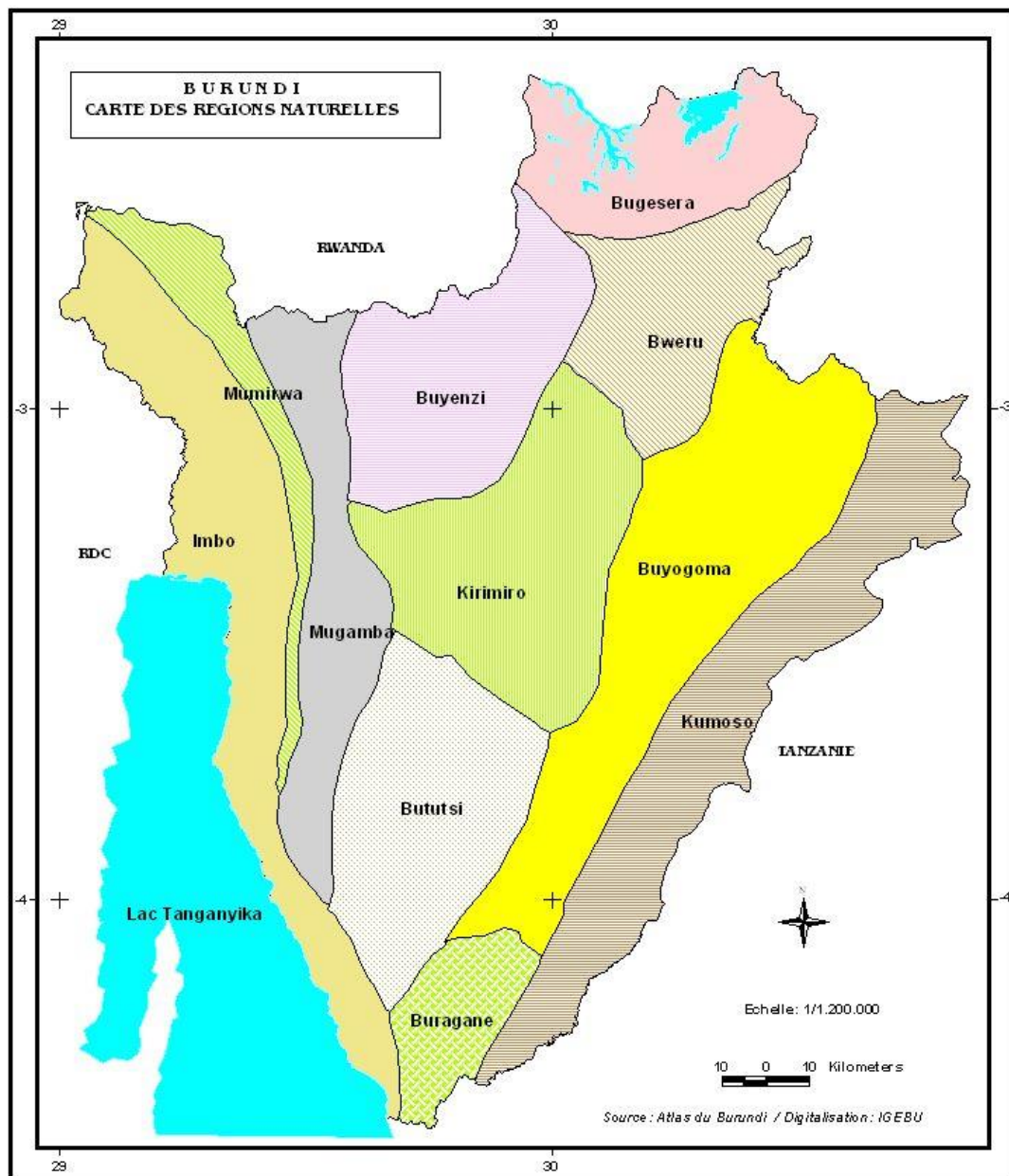
L'étude de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques a été menée à l'horizon 2050. La période de référence des données a été choisie comme allant de 2005 à 2017 qui est l'année de référence pour l'établissement de la situation de base. L'estimation des divers paramètres tenus en considération a été faite sur un intervalle de temps de 10 ans, soit aux horizons 2020, 2030, 2040, 2050.

En plus de ces sept régions étudiées, des commentaires sur la vulnérabilité des ressources en eau face aux changements climatiques à travers tout le pays ont été faits d'une manière générale.



Source : IGEBU, 2018

Figure 1: Carte hydrologique du Burundi



Source : IGEBU, 2018

Figure 2: Carte des régions naturelles du Burundi



### **III. INFORMATIONS DE BASE SUR LA VULNERABILITE DES RESSOURCES EN EAU AUX VARIATIONS ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

#### **III.A. LES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES**

##### *III.A.1. Les effets néfastes des changements climatiques sur les*

###### *ressources en eau*

On entend par effet néfaste des changements climatiques sur les ressources en eau, toute perturbation d'origine climatique affectant négativement les ressources en eau d'une région, et ayant des conséquences plus ou moins importantes sur l'homme et son environnement. Selon le degré de sensibilité aux changements climatiques, le Burundi peut être divisé en 6 zones écoclimatiques à savoir :

- La plaine de l'Imbo à l'Ouest;
- L'escarpement des Mirwa;
- La Crête Congo-Nil;
- Les Plateaux Centraux;
- La dépression du Kumoso à l'Est;
- La dépression du Bugesera au Nord-Est du pays.

Certaines de ces zones ayant déjà été étudiées lors des Première et Deuxième Communications Nationales sur les changements climatiques, ce sont les zones restantes qui font objet de la présente étude.

Selon les zones écoclimatiques, les informations de base sont spécifiques.

##### **III.A.1.1. La plaine de l'Imbo**

La plaine de l'Imbo est une région chaude, caractérisée par des températures élevées, une forte évaporation, une faible pluviosité et une faible capacité de rétention des eaux. La situation actuelle des ressources en eau dans cette région connaît une diminution progressive des ressources en eau dans les cours d'eau telle qu'il a été mentionné dans la Communication Nationale Initiale en ce qui est de la situation de base. Les effets néfastes dus à cette

diminution des ressources en eau dans cette région comprennent notamment :

- Une insuffisance d'eau potable pour la population de la région ;
- Une baisse de la production agricole;
- Une prolifération des maladies hydriques telles que le choléra et la dysenterie bacillaire;
- Une dégradation prononcée du couvert végétal tendant vers la désertification;
- Une aggravation de la pauvreté de la population, etc.

### **III.A.1.2. L'escarpement des Mirwa**

C'est une région escarpée intermédiaire entre la plaine de l'Imbo (774-1000 m) et la crête Congo-Nil (2000-2670 m). Malgré ce relief très accidenté, cette zone est naturellement fertile grâce au climat favorable de pluviosité suffisante et de température moyenne oscillant autour de 20°C.

- L'hydrographie est assez dense avec de nombreux cours d'eau à régime torrentiel qui traversent la région;
- L'accès à l'eau potable est limité par un habitat dispersé sur une pente abrupte;
- Les ressources en eau dans cette région suivent le même rythme de diminution comme décrite dans les 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> Communications Nationales.

Effets néfastes dus à cette situation de diminution des ressources en eau:

Comme le relief est très accidenté, la culture prédominante dans cette région escarpée est la banane grâce à sa qualité de fixatrice du sol. Mais comme la banane est très exigeante en eau, sa production s'en trouve affectée, entraînant ainsi une baisse inquiétante du revenu monétaire de la population.

### **III.A.1.3. La Crête Congo- Nil**

Cette crête est le faite dissymétrique et irrégulier du Burundi: à l'Ouest elle domine de plus de 1000 m le lac Tanganyika, à l'Est, elle se rattache aux plateaux centraux sans escarpement net. L'altitude de la crête varie de 2000 m à 2670 m (mont Heha). Son climat connaît des précipitations moyennes comprises entre 1400 et 1600 mm avec des températures annuelles moyennes variant de 18°C à 15.8°C avec des minima descendant des fois jusqu'à 0°C.

La ligne de partage des eaux entre les deux plus grands bassins du continent africain (bassin du Congo et celui du Nil) se confond avec cette crête, où un chevelu de cours d'eau prend naissance pour irriguer tout le pays.

Les cultures qu'on rencontre sur la crête Congo- Nil sont principalement des cultures vivrières comme la pomme de terre et les céréales ainsi que le thé comme culture industrielle. Les ressources en eau en diminution dans cette région, comme dans tout le pays telle que décrite dans la Communication Nationale Initiale, affectent la production agricole, même si ce n'est pas au même degré que dans d'autres régions du pays.

#### **III.A.1.4. Les Plateaux Centraux**

Cette région est caractérisée par une multitude de collines séparées par des vallées à fonds plats, marécageuses et de plus en plus drainées.

La pluviométrie y est plutôt satisfaisante en terme quantitatif mais sa distribution temporelle cause un problème. La période de saison sèche tend à devenir plus longue qu'avant, totalisant parfois 5 à 6 mois sans pluie.

La population de cette région vit presque exclusivement de l'agriculture. Toute perturbation au niveau du climat affecte négativement les ressources en eau, et partant, engendre des effets néfastes au niveau de la vie d'une population fortement dense et analphabète.

Les effets néfastes dus à cette baisse des ressources en eau :

- Tarsissement des points d'eau potable;
- Diminution de rendement ou perte totale des récoltes suite au manque de pluie au moment du semis ou de la floraison avec risque de famine;
- Diminution du pouvoir d'achat de la population en très grande majorité agricole, entraînant ainsi une pauvreté monétaire accrue;
- Risque de dépendance de la population à l'assistance humanitaire;
- Dégradation du couvert végétal par abattage de bois pour diverses utilisations (fabrication de briques, charbon du bois, vente de madriers et perches pour construction....)
- Renforcement du déséquilibre écologique entraînant à son tour un manque de pluie et ainsi le cycle infernal se referme.

### **III.A.1.5. La Dépression du Kumoso**

Cette région est caractérisée par une végétation clairsemée rappelant celle des régions semi-arides de la Tanzanie voisine. L'hydrographie y est très peu dense, les sources d'eau potable sont rares et très éloignées les unes des autres. La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 1200 mm /an, tandis que la température moyenne dépasse 21°C, entraînant ainsi une perte accrue d'eau par évaporation.

Les rivières qui traversent cette région prennent naissance dans des régions voisines du Bututsi, du Kirimiro et du Buyogoma, qui elles mêmes, sont affectées par la variabilité climatique actuelle, c'est à dire une diminution progressive des débits des cours d'eau.

La population peu dense vit de l'agriculture à prédominance de tubercule.

Le revenu monétaire de la population provient de la vente de la bière de banane, culture dont le rendement dépend largement de la bonne pluviosité. Cette diminution des ressources en eau dans cette région s'inscrit dans le cadre de la tendance générale décrite dans la Seconde Communication Nationale sur les changements climatiques en rapport avec les ressources en eau, en l'absence des changements climatiques.

Les effets néfastes dus à cette situation sur la région sont:

- Tarissement des sources d'eau peu profondes;
- Diminution de la production agricole avec risque de famine;
- Manque d'eau potable à une distance raisonnable;
- Problème d'hygiène pour une population analphabète, entraînant des maladies d'origine hydrique (dysenterie bacillaire, choléra);
- Pauvreté monétaire généralisée et dépendance accrue de l'assistance humanitaire.

### **III.A.1.6. La Dépression du BUGESERA au Nord-Est**

Cette région couvre une grande partie de la province de Kirundo et une petite partie de la province Muyinga. Elle est caractérisée par une faible pluviosité (800 mm / an) et une température moyenne de l'air (21°C) entraînant une perte d'eau disponible par évaporation. Sa population vit de l'agriculture pluviale et de l'élevage. Depuis bientôt deux décennies, la région subit une forte perturbation du régime climatique, qui se traduit par le début tardif des pluies avec comme conséquence, la baisse de la production

agricole qui a comme corollaires la famine, la perte des vies humaines et du bétail, le déplacement des populations, etc.

Dans cette région, il n'y a pas assez de cours d'eau, ni de points d'eau potable. Dans certaines communes comme Bugabira, Busoni et Giteranyi la population parcourt une longue distance allant jusqu'à plus de 15 Km à la recherche d'un point d'eau potable. Les visites menées sur terrain et plus précisément sur les bords des lacs du Nord nous ont fait découvrir que les niveaux de ces derniers ont diminué à tel point que l'eau s'est retirée à certains endroits jusqu'à plus de 100 m vers leur centre, alors qu'ils étaient naturellement peu profonds (voir photo n°4 en annexe).

La population à la quête des zones humides pour cultiver suit le retrait de cette masse d'eau des lacs (le cas du lac Cohoha), ce qui perturbe l'environnement en général, et aquatique en particulier.

Les effets néfastes de cette situation sur la région ont eu pour conséquences:

- Le manque d'eau pour tous les usages;
- La perte de production agricole suivie de famine et de perte en vies humaines qui s'en suit;
- La malnutrition aussi bien chez les personnes adultes que chez les enfants;
- La fuite de populations vers les régions ou pays voisins à la recherche de meilleures conditions de vie;
- Le recours à l'assistance humanitaire en vue de secourir les rescapés;
- La mobilisation de la solidarité nationale pour venir en aide aux populations sinistrées de Kirundo et Muyinga;
- La dégradation de l'environnement due à la déforestation, aux feux de brousses, à l'érosion, aux inondations des bas fonds, à la perte des cultures et aux autres phénomènes connexes ;
- La diminution de la biodiversité due à la baisse du niveau de l'eau du lac.

Notons que toutes les régions décrites ci-dessus ont des caractéristiques communes de vulnérabilité aux variabilités et changements climatiques notamment :

- La diminution du volume et du niveau d'eau dans les cours d'eau;
- Le tarissement de petites sources d'eau;
- La baisse du rendement agricole avec comme conséquence la famine;
- La malnutrition, les maladies surtout celles hydriques, l'exode de population;

- La faible pluviosité entraînant la dégradation du couvert végétal, ce dernier conduisant à son tour à la désertification et ainsi le cycle des malheurs chroniques se referme.

Le tableau 1 qui suit donne une synthèse générale des principaux événements dangereux passés et actuels liés à l'eau (depuis le début des observations climatologiques au Burundi), les types d'affectation et les zones affectées

**Tableau 1: Synthèse des principaux événements liés à l'eau**

<b>Année de référence</b>	<b>Événements climatiques</b>	<b>Types d'affectation</b>	<b>Zones affectées</b>
1917	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine généralisée	Tout le pays
1923	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine généralisée	Tout le pays
1931	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine généralisée	Tout le pays
1933	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine généralisée	Tout le pays
1937	Excès d'eau	Perte de récoltes	Tout le pays
1941	Excès d'eau	Perte de récoltes	Tout le pays
1943	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine généralisée	Tout le pays
1950	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine généralisée, baisse du niveau des lacs	Tout le pays
1958	sécheresse	Perte de récoltes, famine généralisée, baisse du niveau du lac Tanganyika (772.8 m)	Tout le pays
1961	Inondation	Perte des récoltes, famines généralisée, intervention humanitaire	Tout le pays
1964	Inondation	Pertes économiques par l'inondation, montée du niveau du lac Tanganyika (777.2 m)	Tout le littoral du Lac Tanganyika
1969-1970	Inondation	Pertes économiques	Tout le pays

1973-1974	Sécheresse prononcée	Mauvais rendement agricole sans recourir à l'assistance humanitaire	Tout le pays
1977	Excès d'eau	Pertes de récoltes dans les bas fonds	Tout le pays
1983-1984	Sécheresse prononcée	Perte de récolte, famine généralisée, assistance humanitaire	Tout le pays
1989	Excès d'eau	Perte de récolte dans les bas fonds	Tout le pays
1990	Sécheresse	Perte de récolte	Tout le pays
1993	Pluies tardives	Mauvais rendement agricole	Tout le pays
1997-1998	Excès d'eau	Mauvais rendement agricole	Tout le pays
1999-2000	Sécheresse prononcée	Perte de récoltes, famine, déplacement de populations, assistance humanitaire	Nord-Est du Pays (Kirundo et Muyinga)
2004-2005	Pluies tardives	-Mauvais rendement agricole au Nord-Est du pays, baisse des niveaux des cours d'eau, le niveau du lac Tanganyika baisse dangereusement, Insuffisance de l'Energie hydroélectrique	Tout le pays
Février 2014	Pluies torrentielles ayant causé des inondations et des glissements de terrain.	Dans la nuit du 9 février 2014 des pluies torrentielles sont tombées pendant environ 3 heures et ont causé des dégâts énormes dans cinq communes de la capitale du Burundi, Bujumbura : -Destructions des infrastructures publiques et des maisons; -Pertes en vies humaines. Le 12 février de la même année, deux autres communes et la Province de Bujumbura ont été touchées: -64 personnes ont été rapportées mortes, dont	Tout le littoral du Lac Tanganyika

		<p>beaucoup étaient des enfants.</p> <p>-Destructions des infrastructures publiques et des maisons (940);</p> <p>-12.500 personnes sont estimées sans-abri.</p> <p>-Il est à craindre que beaucoup de gens ont peut-être été enterrés par les éboulements.</p>	
--	--	--	--

**Sources :** Evaluation de la vulnérabilité des ressources en eau et actions prioritaires d'Adaptation aux Changements climatiques, dans le cadre du Plan d'Actions National d'Adaptation aux CC (PANA), MINATTE, Mai 2006  
: Média, février 2014

### **III.B. LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES**

#### **III.B. 1. Etat des lieux des ressources en eau souterraines à Gitega, Rumonge et Mosso**

##### **III.B.1.1. Introduction générale**

La majorité de l'approvisionnement en eau potable au Burundi provient des sources aménagées ou captées. L'eau potable au Burundi est donc principalement obtenue à travers l'eau souterraine car l'eau des sources est l'eau souterraine à court séjour dans la roche.

L'eau souterraine se trouvant dans les profondeurs, est protégée par les couches imperméables, cas d'argile. Elle ne peut être mise à la surface qu'à travers un forage.

Les forages d'eau sont peu nombreux dans le pays. Cependant, avec l'augmentation de la demande en eau potable associée à une croissance démographique très importante, l'exploitation de l'eau souterraine par forage deviendra indispensable dans l'avenir afin de couvrir ces nouveaux besoins.

Plusieurs acteurs commencent à s'intéresser à l'exploitation de cette précieuse ressource qui, de manière naturelle, est souvent protégée par les couches géologiques sous-jacentes.

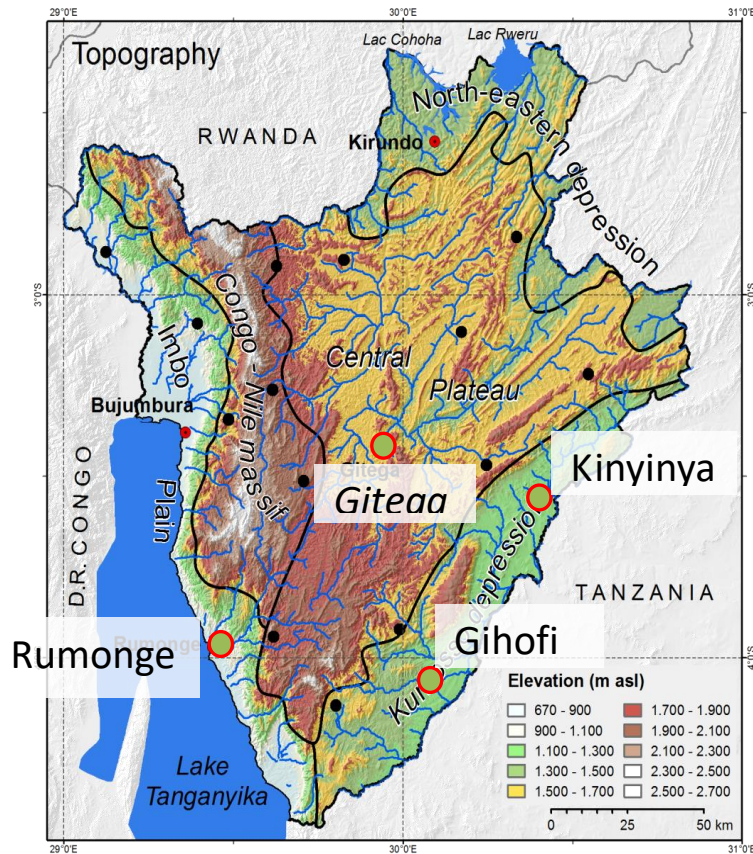
Le Service d'Hydrogéologie de l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU), a procédé à une étude de la disponibilité des ressources en eau



souterraines, de sa qualité et de sa gestion dans certaines régions du pays suivant le cas qui se présente.

Les zones étudiées sont composées de la zone du centre du pays (Gitega), du sud-ouest (Rumonge) et de l'Est du pays (Gihofi et Kinyinya).

### III.B.1.2. Localisation des zones d'étude



**Figure 3: Localisation des 4 zones étudiées (Gitega, Rumonge, Gihofi et Kinyinya)**

### III.B.1.3. Objet d'étude de chaque zone

Plusieurs objectifs ont poussé une étude de chaque zone.

**Gitega** : Cette ville subit une grande pression démographique. Les sources d’approvisionnement qui sont les sources et les forages du champ captant de Nyanzari, ne répondent plus actuellement à la demande.

La ressource eau est surexploitée, d’où une gestion efficace de la ressource s’avère nécessaire.

Des piézomètres (3) ont été installés dans le champ captant pour suivre de près la variation du niveau de la nappe.

**Rumonge** : La ville de Rumonge s’accroît exponentiellement. La population utilise l’eau des sources captées à plus de 20km. Cette eau est toujours insuffisante d’où elle fait recours à l’eau du lac qui engendre souvent des maladies des mains sales.

Deux forages de production ont été construits aux environs du lac Tanganyika, mais des terres très élevées en fer se manifestent.

Cinq piézomètres ont été construits pour étudier la qualité de l’eau souterraine à Rumonge afin de trouver la solution à cette problématique.

**Gihofi et Kinyinya** : Ces deux localités se trouvent dans la dépression du Mosso. La dépression du Mosso connaît des problèmes d’alimentation en eau potable. Dans l’optique de connaître le potentiel de la région, trois forages d’observation de la nappe (piézomètres), ont été construits à Gihofi et deux à Kinyinya.

### **III.B.1.4. Contexte géologique et hydrogéologique des zones d’étude**

#### **III.B.1.4.1. Gitega**

La géologie du champ captant de Gitega où l’étude a été menée est constituée par les schistes avec une alternance de quartzites selon la carte géologique du Burundi au 1/100 000.

Les travaux de forage menés lors de la construction des trois piézomètres dans ce champ captant ont montré que la géologie est constituée des schistes mais au-dessus des amphibolites.

L’hydrogéologie est constituée par les sources et forages qui alimentent la ville de Gitega. Plus de 60% de l’eau consommée dans la ville proviennent des forages du champ captant de Nyanzari constitué de F7, F7.3, F7.12, F7.8, F7.5, F7.17 et F7.15, F2, F4 et F9, F9.6 à Simba. F2 et F4 datent des années 1986 alors que le reste date des années 2008.

L'implantation de ces forages a été faite suivant les linéaments (failles) de la zone qui sont des axes d'écoulement préférentiel de l'eau souterraine. La géophysique a été aussi utilisée pour connaître l'épaisseur d'altération de la roche.

Les travaux de réalisation des trois piézomètres pour suivre de près le comportement de la nappe dans le champ captant ont montré l'existence de failles. Les forages de production appartiennent à la REGIDESO. La mauvaise gestion de la ressource fait que certains forages tombent en panne et de pénurie en eau se manifeste souvent dans la ville et surtout pendant la saison sèche.

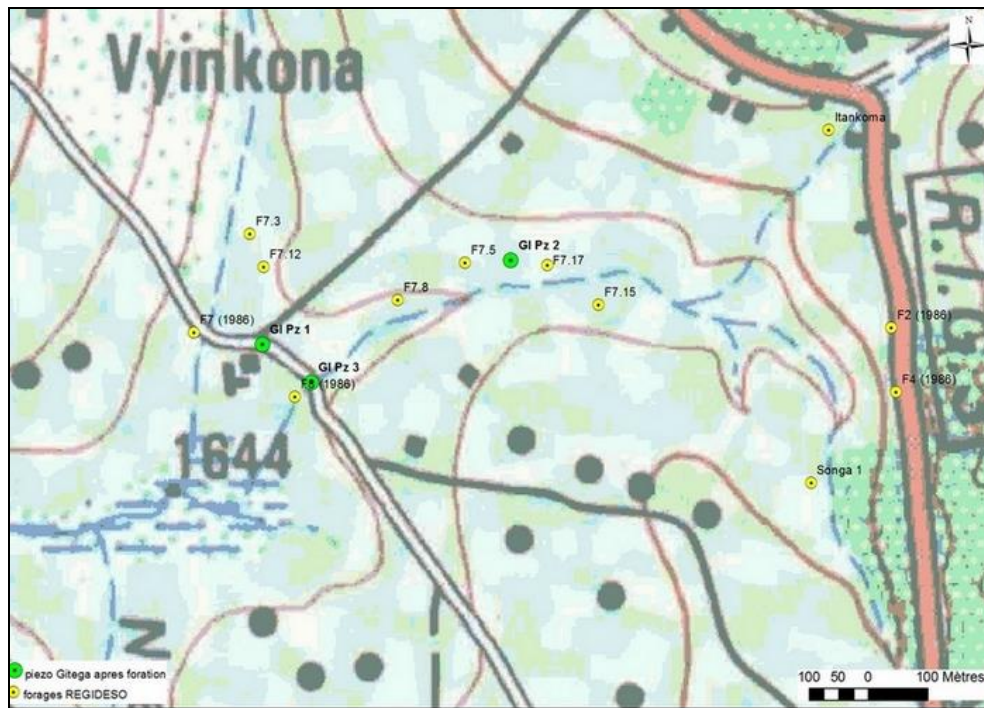


Figure 4: Localisation des forages du champ captant de Gitega

### III.B.1.4.2. Rumonge

La plaine de l'Imbo, où se trouve la ville de Rumonge, correspond au fossé d'effondrement du Lac Tanganyika qui fait partie de la branche occidentale du Rift Est-Africain. Ce graben est rempli par des sédiments de type lacustres à dominance sablo-argileuse au fond, recouverts par des dépôts fluviatiles argilo-sableux. La limite Est de la ville, est constituée par des collines à demi orange constituées par des granites. Cinq piézomètres ont été réalisés aux alentours de la ville de Rumonge, d'Ouest vers l'Est, des formations fluvio-lacustre (sable argileux) à granite, ont été rencontrées.

L'hydrogéologie de Rumonge est composée par le lac Tanganyika, les rivières, les sources et les forages.

Deux rivières bordent la ville, Dama au Nord et la Basse Mulembwe au Sud. Actuellement l'approvisionnement en eau potable de la ville se base sur un système de six sources qui se trouvent jusqu'à 15 km au nord de la ville de Rumonge dans les collines. De plus, l'eau souterraine est exploitée par deux forages de la REGIDESO situés à 200 m du Lac Tanganyika. Les piézomètres ont un rôle de quantifier le potentiel de la plaine vers les pieds de montagne et la qualité chimique des ressources en eau souterraines.

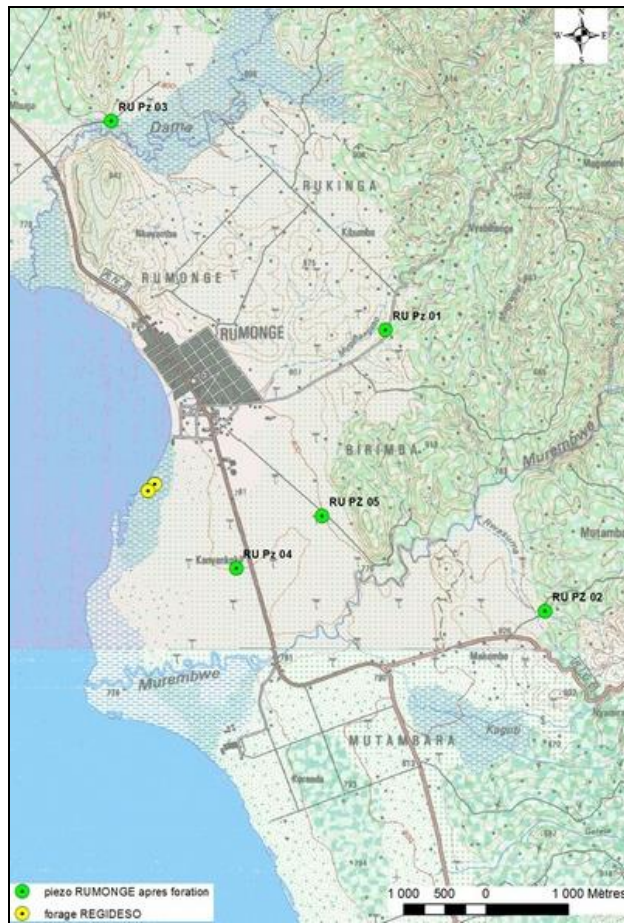


Figure 5: Localisation des forages de Rumonge

### III.B.1.4. 3. Kinyinya et Gihofi

Gihofi et Kinyinya sont deux centres localisés dans la région de Kumoso. En raison de la complexité géologique de la région, de la faiblesse et de la rareté des affleurements, une reconnaissance géologique générale fut réalisée.



Cette reconnaissance générale a été complétée par une investigation géologique beaucoup plus détaillée dans le secteur de Gihofi et Kinyinya où les forages ont été implantés. La carte géologique montre des formations calcaires et basaltiques dans les deux régions. Les investigations de terrain ont montré des affleurements de calcaires à différents faciès à Gihofi, ainsi que les basaltes.

A Kinyinya, les basaltes sont étendus partout, les calcaires ne sont pas visibles dans l'environnement.

La réalisation des forages a prouvé l'existence de deux formations ci-haut citées à Gihofi, des calcaires différents de ceux de Gihofi (dolomitisés) ont été trouvés dans les forages de Kinyinya. Les basaltes présentent une grande épaisseur d'altération.

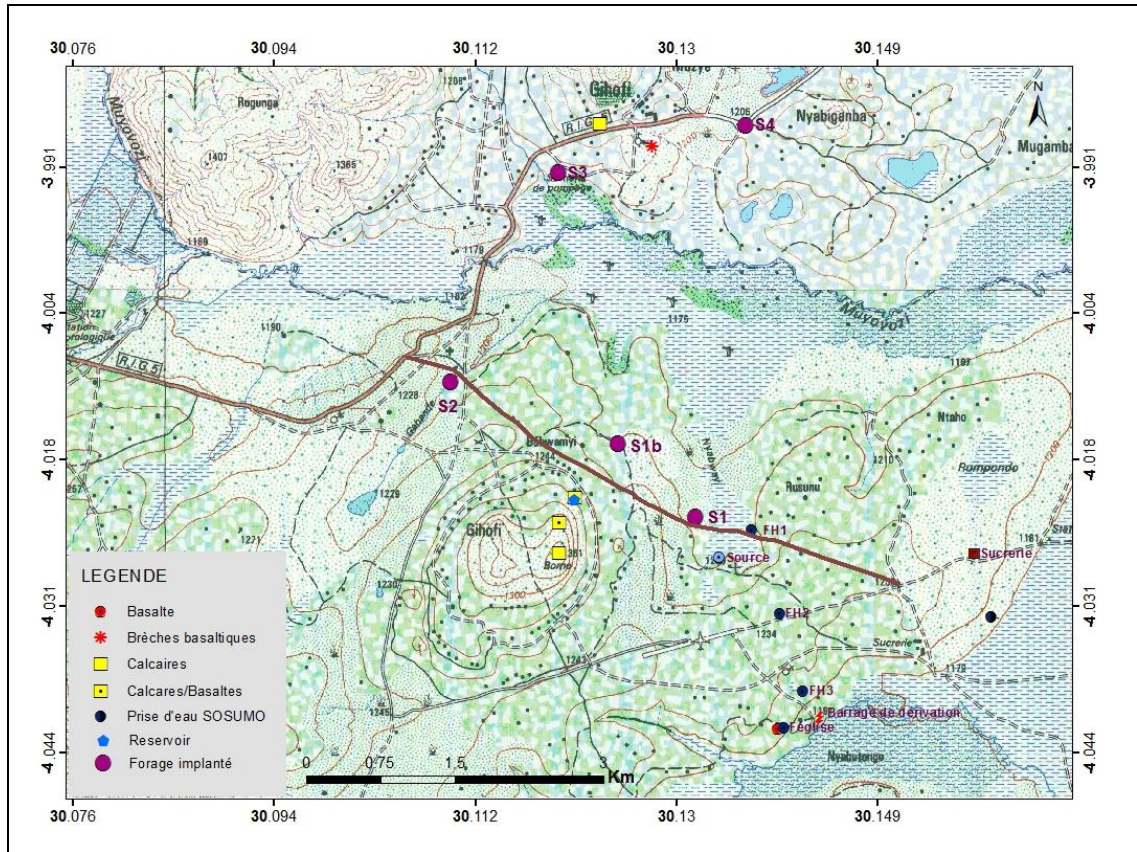
Du point de vue hydrogéologique, Gihofi est un centre à vocation urbaine. Il est alimenté par les sources de captage provenant des montagnes de Nkoma à 10km et les sources d'émergence dans les basaltes de Gihofi. Cette ressource est toujours insuffisante pour le centre qui s'agrandit.

Kinyinya connaît un problème d'alimentation en eau potable. Le centre est alimenté par les sources de captage provenant de la commune Nyabitsinda c.à.d. à 15km. L'alimentation n'est pas régulière d'où la population utilise l'eau des sources d'émergence dans les altérites de basaltes qui affleurent au centre Kinyinya.

La structure des calcaires justifie l'importance de ces dernières en hydrogéologie, car la recharge se fera à ce niveau c'est-à-dire à travers les fractures et/ou diaclases. Ces calcaires peuvent être assimilés à des quartzites fracturés et l'on pourrait s'attendre à un débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h bien que la pérennité n'est pas garantie (perméabilité des fractures).



**Figure 6: Affleurement de Calcaires à Gihofi**



**Figure 7: Carte de relevé géologique et implantation des forages à Gihofi**



**Figure 8: Affleurement de basaltes à Kinyinya**

## **IV. CADRE INSTITUTIONNEL DE L'ADAPTATION DANS**

### **LE SECTEUR DES RESSOURCES EN EAU**

Comme les Ressources en Eau constituent un élément vital pour l'économie du pays et donc la survie des populations, le déficit ou l'excès de ces ressources, suite aux effets néfastes des changements climatiques implique, de la part des pouvoirs publics et des populations touchées, de prendre des mesures ou des solutions susceptibles, soit d'atténuer ces effets, soit de s'y adapter. Certaines de ces mesures et /ou solutions ont été pratiquées depuis très longtemps. Nous n'en citerons que quelques unes des plus importantes :

1. Déplacement des populations vers les régions moins touchées par les événements extrêmes (sécheresse, inondations ...);
2. Changement de calendrier agricole au rythme des saisons;
3. Succession des cultures suivant les saisons par suite des attaques par les maladies et les ravageurs des plantes;
4. La conservation des ressources génétiques sous forme d'épis ou de graines sèches pour la constitution des semences dans des greniers.

L'adaptation dans le secteur des ressources en eau concerne toutes les institutions (départements ministériels, services publics et privés) ayant dans leurs attributions, la gestion et l'utilisation de la ressource eau, ainsi que l'ensemble de la population (toutes les communautés). Ces institutions sont principalement du ressort des secteurs de la gestion directe des Ressources en eau, de l'Agriculture, de l'Alimentation en Eau Potable, de l'Energie, de l'Industrie, du Transport, de l'Environnement, du Tourisme et de la Coopération Régionale et Internationale, dans le cadre des projets régionaux et multilatéraux dont le Burundi fait partie, pour ne citer que celles là.

Le plan d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA) élaboré en 2006 a proposé une série de 14 options prioritaires dont 8 ont été jugées pertinentes pour l'adaptation aux périodes de déficit ou d'excès pluviométriques. Il reste à savoir que ce plan d'adaptation n'a pas rencontré d'obstacles liés principalement:

- Aux problèmes de mobilisation des moyens financiers nécessaires à sa mise en œuvre;
- A la non intégration suffisante (effective) de la problématique des CC dans les cadres politique et stratégique de l'environnement;



- A l'insuffisance du personnel qualifié dans le domaine des CC.

En outre, la faible capacité institutionnelle du Burundi pourrait constituer un handicap pour la mise en œuvre de ses activités.

## **V. METHODOLOGIE DE L'ETUDE**

La méthodologie utilisée dans cette étude est principalement la modélisation.

### **V.1. La modélisation**

La modélisation a été utilisée à deux niveaux :

D'abord des modèles utilisés par le groupe qui a fait les projections des paramètres climatiques et exécutés en utilisant différents scénarios d'émissions, dénommés Representative Concentration Pathways (RCP) ou VCR, Voies de Concentration Représentatives en français, qui fournissent différentes hypothèses sur les modes d'émissions de gaz à effet de serre. Dans le cadre de cette étude, deux VCR ont été sélectionnées pour couvrir largement le forçage radiatif anthropique total, s'étendant du forçage faible à moyen (RCP4.5).

Ensuite nous avons utilisé le « Modèle- Pluie-Ecoulement » ou « Nedbør Afløbs Model » (NAM) pour évaluer la fiabilité des données et tester la performance de ce modèle.

### **V.2. Le jugement d'expert**

Le jugement d'expert qui est utilisé lorsqu'il s'agit particulièrement de synthétiser des relations complexes qui vont au-delà des méthodes formelles, a été employé dans l'appréciation des situations développées tout au long de cette étude.

On ne peut pas aussi se passer de cet exercice (jugement d'expert) lorsqu'on sait que malgré les dimensions très modestes du Burundi, ce dernier présente une très grande diversité éco climatique qui complique davantage l'étude de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques.



## **VI. ACQUISITION DES DONNEES ET DEVELOPPEMENT DE LA SITUATION DE BASE**

### ***VI.1. Etapes suivies dans l'acquisition des données et leur développement.***

- La reconnaissance des zones d'étude qui, en général sont les plus vulnérables aux changements climatiques au Burundi (KIRIMIRO, IMBO-SUD et l'Est (Buyogoma));
- La collecte des données hydrométéorologiques relatives à ces zones;
- La collecte des cartes topographiques et digitalisées des régions concernées;
- L'analyse de ces données et de leur fiabilité par:
  1. Le bouchage des trous des données manquantes et l'extension des données par des techniques appropriées;
  2. L'examen de la consistance des données collectées ;
- Le traitement des données récoltées par le « Modèle- Pluie-Ecoulement » ou "Nedbør Afløbs Model" (NAM) pour évaluer la fiabilité des données et tester la performance de ce modèle.

### ***VI.2. Source et disponibilité des données***

Toutes les données hydrométéorologiques utilisées dans cette étude proviennent des archives de l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU).

- Pour les séries pluviométriques, les stations climatologiques de référence de Ruvyironza pour le bassin de la Ruvyironza à Nyabiraba au centre du pays, de Mpota-Tora pour le bassin de la Basse Murembwe à Mutambara (Imbo-sud), et de Cankuzo pour le bassin versant de la Rumpungwe à Gisuru, à l'Est du pays (Buyogoma) ont été considérées;
- En ce qui concerne les débits, ils ont été observés à Nyabiraba pour la Ruvyironza, à Mutambara pour la Basse Murembwe et à Gisuru pour la Rumpungwe;
- Les débits journaliers mesurés sur toutes ces rivières sont disponibles sur la période allant de 2005 à 2014 ;

- La pluviométrie est disponible pour les 3 stations de Mahwa, de Mpota Tora et de Cankuzo pour toute la période de référence (2005 à 2014);
- Les précipitations moyennes journalières des bassins ont été obtenues par la méthode du Polygone de Thiessen combinant la pluviométrie de plusieurs stations.

### ***VI.3. Equipements et système électronique utilisés***

- ArcGIS 10.0 pour la cartographie des bassins versants et des zones d'étude;
- Caméra digitale pour la photographie des niveaux des lacs et rivières ainsi que des images jugées importantes;
- Modèle hydrologique : « Modèle- Pluie-Ecoulement » ou « Nedbør Afløbs Model » (NAM) ;

### ***VI.4. Données Hydrologiques de référence***

**Tableau 2 : Caractéristiques des Bassins versants dans les zones d'étude**

<b>Bassin versant</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Station clim. de référence</b>	<b>Débit moyen annuel (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Précipitation moyenne annuelle (mm)</b>	<b>Température moyenne annuelle (°C)</b>
Ruvyironza à Nyabiraba	728	Mahwa	10.0	1209	17.8
Basse Murembwe à Mutambara	962.91	Mpota-Tora	15.2	1576	15.8
Rumpungwe à Gisuru	1252.17	Cankuzo-Projet	7.1	1150	19.7

Les caractéristiques des 3 bassins versants montrent clairement que la superficie du bassin versant de Rumpungwe à Gisuru est largement supérieure à celles du bassin versant de Ruvyironza à Nyabiraba et de la Basse Murembwe à Mutambara. On remarque que la réponse des précipitations tombées à ces 3 bassins versants est proportionnelle aux débits moyens annuels mesurés à l'exutoire de ces 3 bassins versants.

**Tableau 3 : Données de base observées à Mahwa et à Nyabiraba**

Années	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>RR (mm)</b>	1017	1518	1046	1124	1158	1064	1548	1337	1152	1131
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	6.57	11.72	12.62	8.44	10.01	10.08	10.20	10.50	11.13	9.17
<b>Q (mm)</b>	257.4	458.3	495.5	329.0	394.0	394.8	398.7	412.3	437.4	360.2

Le tableau 3 ci-dessus montre que la région de Kirimiro a connu un déficit hydrique en 2005 et un excédent pluviométrique en 2011 comparativement aux autres années de la période d'observation.

**Tableau 4 : Données de base observées à Mpota-Tora et à la Mutambara**

Années	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>RR(mm)</b>	1309	1863	1488	1558	1592	1500	1773	1602	1705	1366
<b>Q(m<sup>3</sup>/s)</b>	10.7	15.9	14.8	11.3	12.2	17.6	12.7	15.2	20.6	21.6
<b>Q(mm)</b>	418.1	621.3	578.9	438.9	481.6	690.9	494.5	597.2	810.1	848.4

Le tableau 4 ci-dessus quant à lui, montre que la région de l'Imbo-Sud a connu un déficit hydrique en 2005 et un excédent pluviométrique l'année suivante (2006) si on compare les deux années aux autres années de la période d'observation.

**Tableau 5 Données de base observées à Cankuzo et à Gisuru**

Années	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>RR(mm)</b>	732	1525	1004	1196	1153	1224	1382	1098	1172	1012
<b>Q(m<sup>3</sup>/s)</b>	2.05	7.39	9.86	9.71	4.42	9.09	5.03	14.87	4.09	4.84
<b>Q(mm)</b>	80.4	289.2	386.9	378.8	173.9	356.1	196.7	584.0	161.0	190.1

Le tableau 5 ci-dessus quant à lui, montre que la région de Buyogoma a connu un déficit hydrique en 2005 et un excédent pluviométrique l'année suivante (2006) si on compare les deux années aux autres années de la période d'observation.

## VI.5. Analyse des données et test de la méthode

Les séries de données journalières de précipitations moyennes et de débits déjà traitées ont été calibrées. La corrélation entre les débits à l'exutoire et les précipitations moyennes en amont des bassins versants de Ruvyironza à Nyabiraba, de la Basse Murembwe à Mutambara et de la Rumpungwe à Gisuru a été établie à l'aide du « Modèle- Pluie-Ecoulement » ou « Nedbør Afløbs Model » (NAM) ».

Les figures 9 et 10 ci-dessous montrent le degré de performance du modèle (fig. 9) lors de la transformation des pluies tombées en amont du bassin versant à Mahwa en débits simulés à l'exutoire du bassin de la Ruvyironza à Nyabiraba et la corrélation (fig.10, r tendant vers 1) entre les débits mesurés et les débits simulés.

Pour le cas du BV de la Ruvyironza, on a :

$$\boxed{Y = 0.742 X + 2.131} \quad (1) \quad r = 0.81$$

Où : Y : Débit simulé en m<sup>3</sup>/s à Nyabiraba

X : Débit mesuré en m<sup>3</sup>/s à la même station

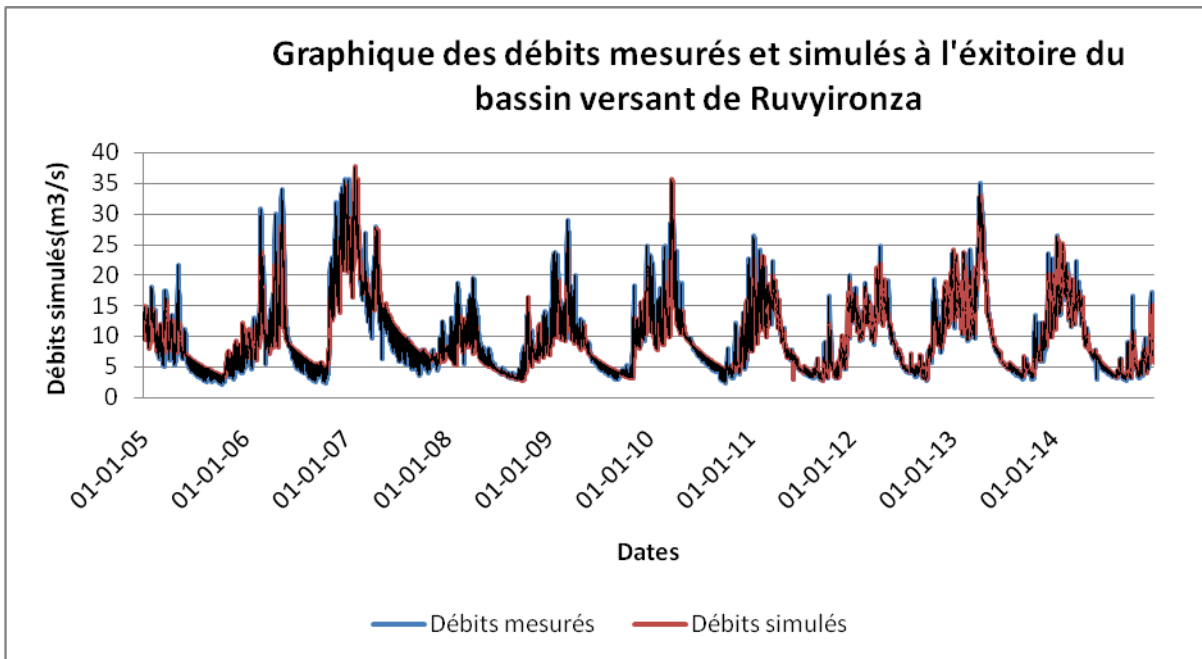
r : Coefficient de corrélation, exprimé par la formule suivante:

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (2) \quad \text{où : } \bar{X} \text{ est la moyenne des X}$$

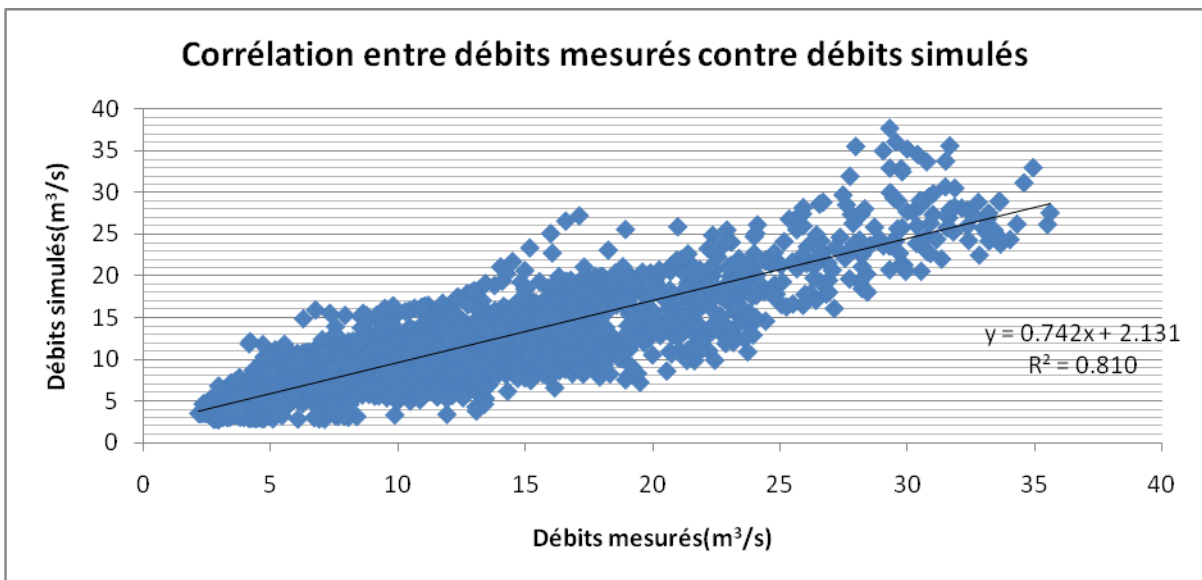
$\bar{Y}$  est la moyenne des Y

Quand r tend vers 1, alors la corrélation entre les deux paramètres X et Y est bonne, quand r tend vers 0, alors cette corrélation est mauvaise.

L'abscisse du graphique ci-dessous comprend les dates, c'est-à-dire du 1<sup>er</sup> au dernier jour d'observation sur terrain.



**Figure 9:** Graphique des débits mesurés et simulés à Nyabiraba



**Figure 10:** Graphique montrant la corrélation entre les débits mesurés contre les débits simulés à Nyabiraba

Les figures 11 et 12 ci-dessous montrent aussi le degré de performance du modèle (fig.11) lors de la transformation des pluies tombées en amont du

bassin versant à Mpota-Tora en débits simulés à l'exutoire de la Basse Murembwe à Mutambara et la corrélation (fig.12, r tendant vers 1) entre les débits mesurés et les débits simulés.

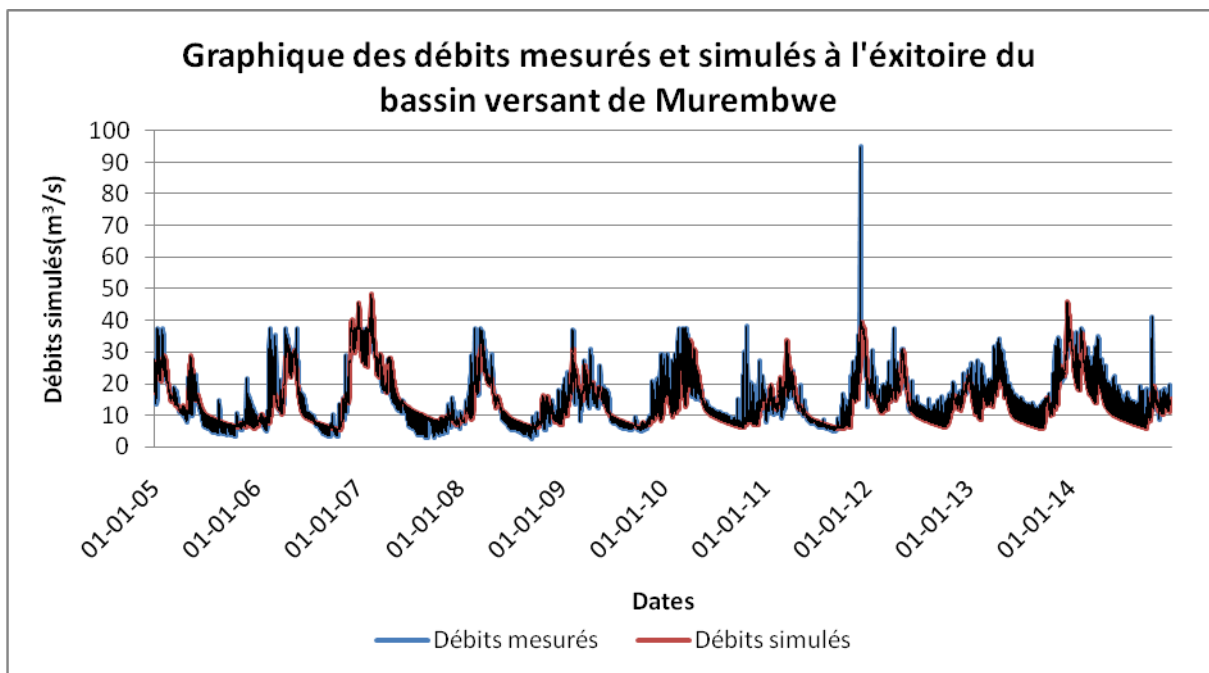
Pour le cas du BV de la Basse Murembwe, on a :

$$\boxed{Y = 0.823 X + 1.69} \quad (3) \quad r = 0.78$$

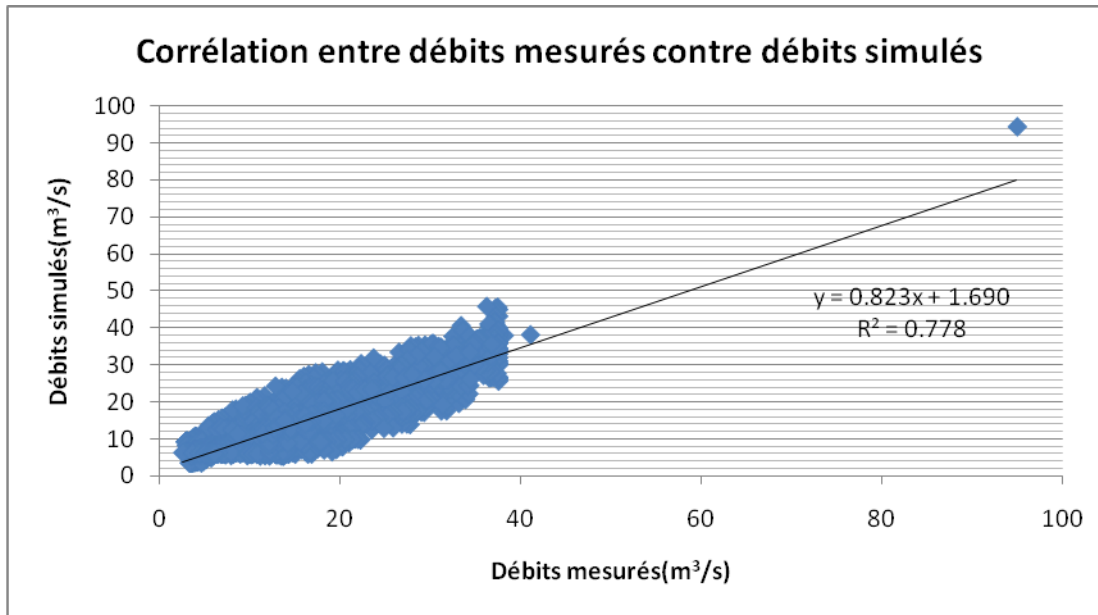
Où : Y : Débit simulé en m<sup>3</sup>/s à Mutambara

X : Débit mesuré en m<sup>3</sup>/s à la même station

r : Coefficient de corrélation, exprimé par la même formule que précédemment.



**Figure 11:** Graphique des débits mesurés et simulés à Mutambara



**Figure 12:** Graphique montrant la corrélation entre les débits mesurés et simulés à Mutambara

Les figures 13 et 14 ci-dessous montrent aussi le degré de performance du modèle (fig.13) lors de la transformation des pluies tombées en amont du bassin versant à Cankuzo en débits simulés à l'exutoire de Rumpungwe à Gisuru et la corrélation (fig.14,  $r$  tendant vers 1) entre les débits mesurés et les débits simulés.

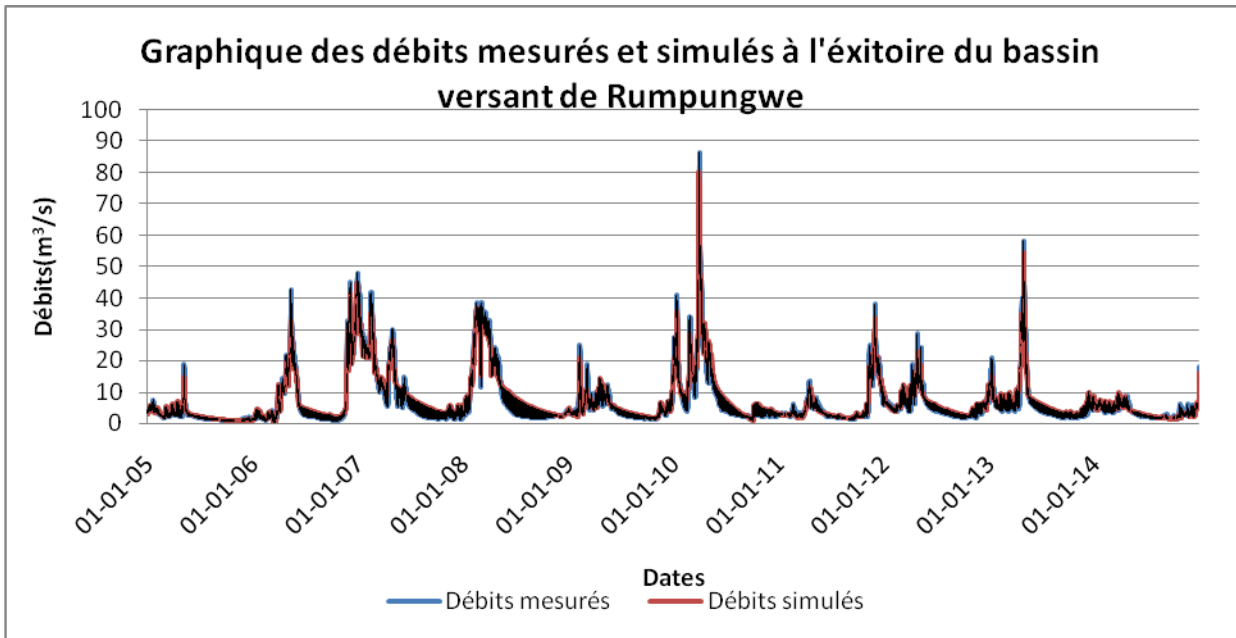
Pour le cas du BV de la Rumpungwe, on a :

$$\boxed{Y = 0.835 X + 1.899} \quad (4) \quad r = 0.93$$

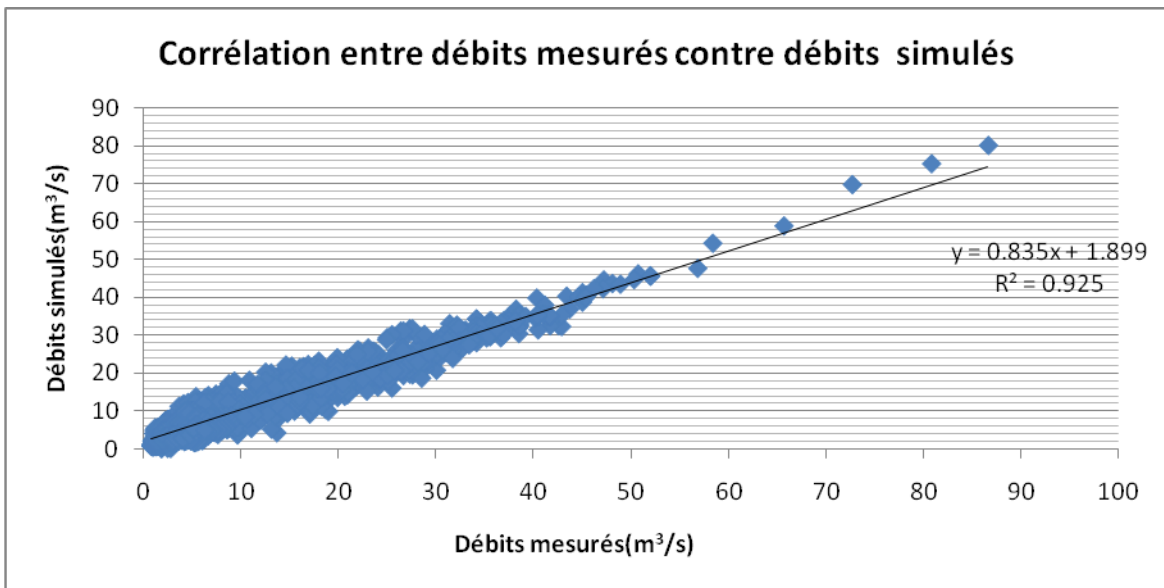
Où : Y : Débit simulé en  $m^3/s$  à Gisuru

X : Débit mesuré en  $m^3/s$  à la même station

r : Coefficient de corrélation, exprimé par la même formule que précédemment.



**Figure 13:** Graphique des débits mesurés et simulés à Gisuru



**Figure 14:** Graphique montrant la corrélation entre les débits mesurés et simulés à Gisuru



En conclusion, la corrélation entre les débits simulés et les débits mesurés à l'exutoire des trois bassins versants de la Ruvyironza (figures 9 et 10) ; de la Basse Murembwe (figures 11 et 12) et de la Rumpungwe (figures 13 et 14) est très bonne. Ce qui montre que le Modèle- Pluie-Ecoulement (NAM) utilisé dans cette étude est très performant.

### VI.6. Développement des données

Le développement des données a fait recours à la bonne corrélation entre les débits simulés à l'exutoire et la pluviométrie observée en amont pour établir une relation mathématique type linéaire.

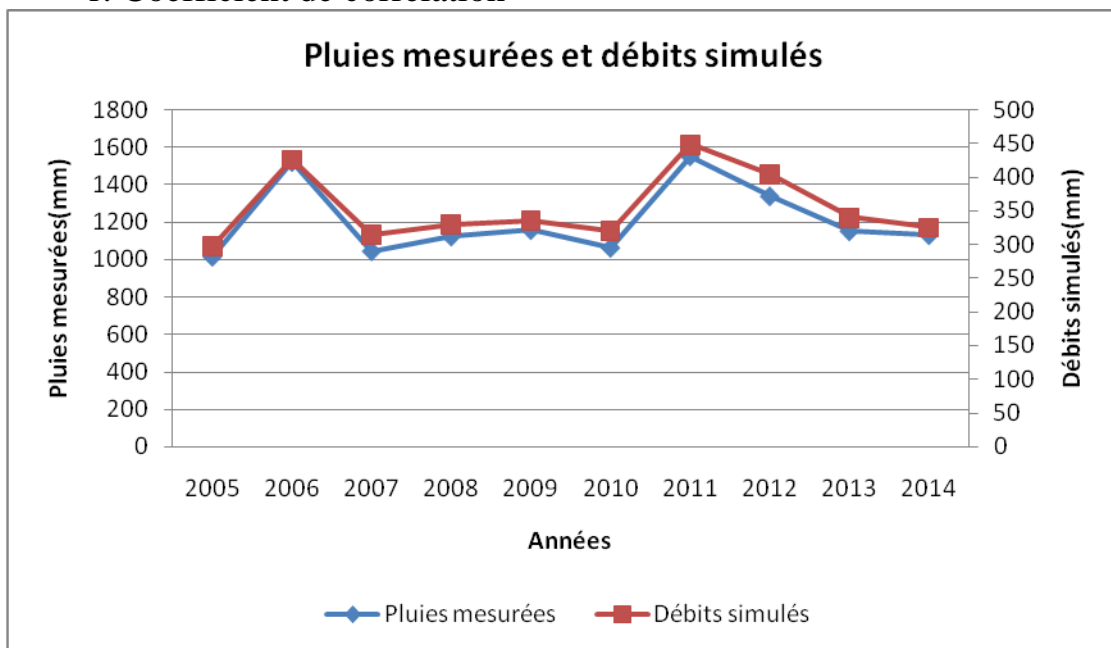
Pour le cas du bassin versant de la Ruvyironza à Nyabiraba, on a :

$$Y = 0.269X + 28.31 \quad (5) \quad r = 0.98$$

Où : Y : Débit moyen annuel simulé en mm à Nyabiraba

X : Pluviométrie annuelle mesurée en mm à Mahwa

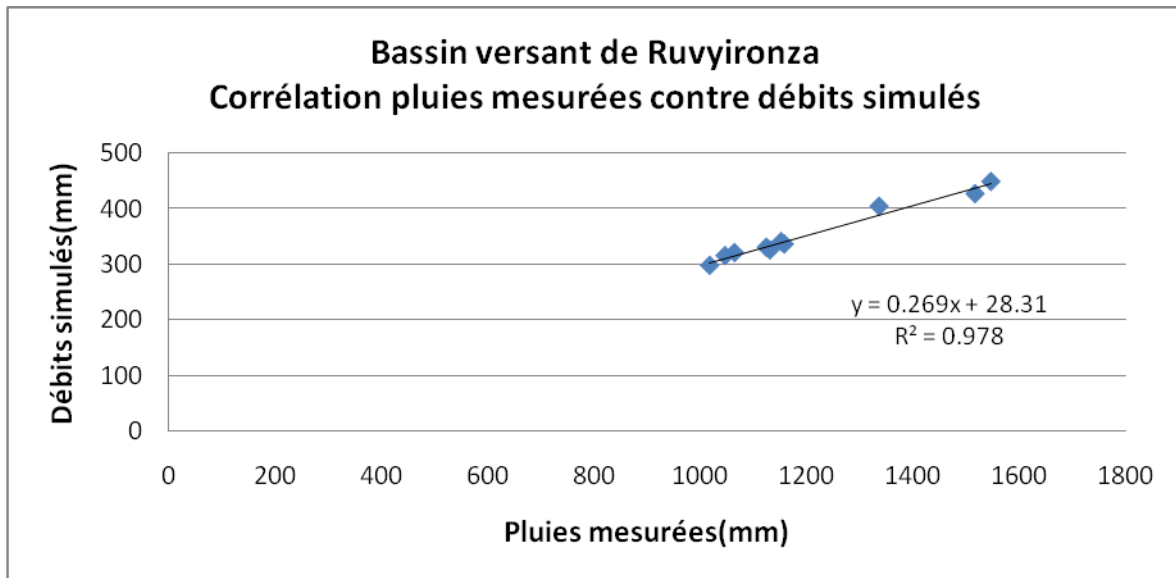
r: Coefficient de corrélation



**Figure 15: Graphique des pluies mesurées à Mahwa et des débits simulés à Nyabiraba**

La figure 15 prouve l'agrément entre les pluies mesurées à Mahwa et des débits simulés à Nyabiraba. Cela veut dire que le comportement des pluies

tombées à la station climatologique de Mahwa correspond bien à celui des débits simulés à la station hydrologique de Ruvyironza à Nyabiraba.



**Figure 16: Graphique montrant la corrélation entre les pluies mesurées à Mahwa contre les débits simulés à Nyabiraba**

La figure 16 nous montre la bonne corrélation entre les pluies tombées en amont à la station climatologique de Mahwa et les débits simulés à l'exutoire de la station hydrologique de Ruvyironza à Nyabiraba.

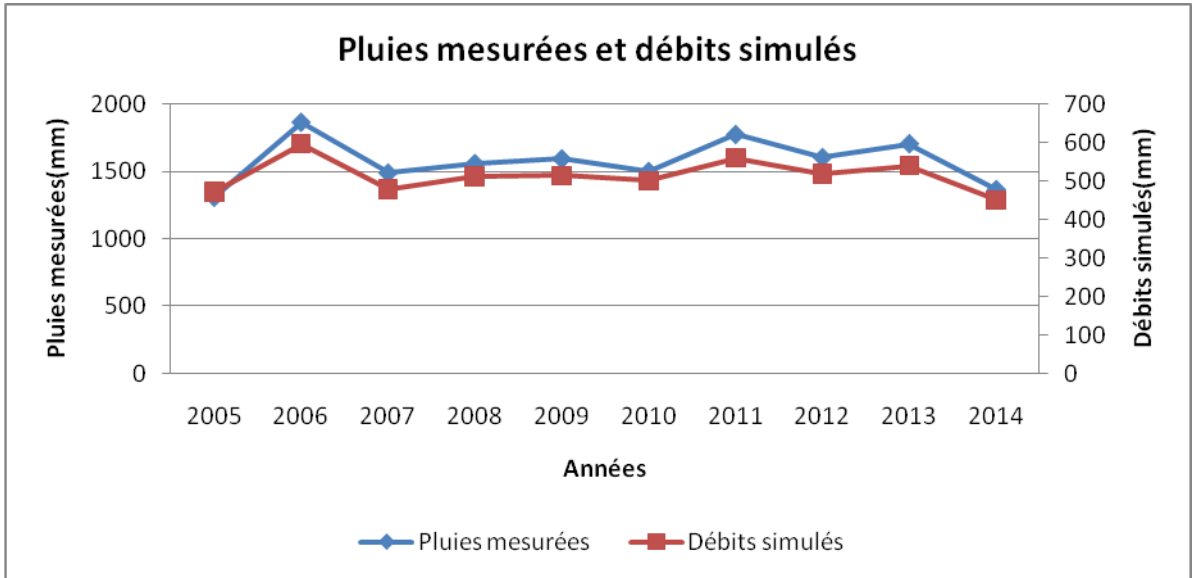
Pour le cas du bassin versant de la Basse Murembwe, on a :

$$\boxed{Y = 0.243 X + 130.9} \quad (6) \quad r = 0.94$$

Où : Y : Débit moyen annuel simulé en mm à la Basse Murembwe à Mutambara

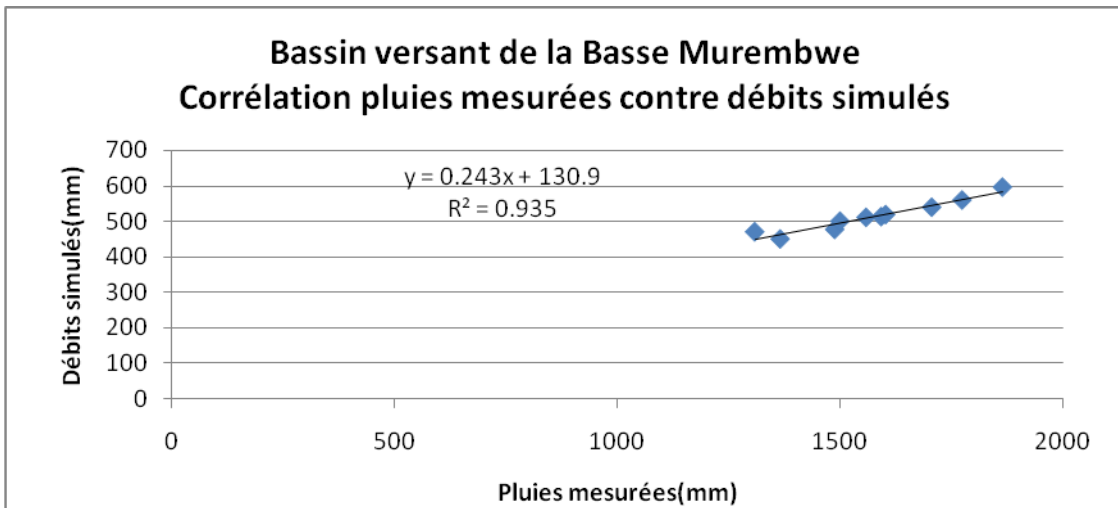
X : Pluviométrie annuelle observée en mm à Mpota-Tora

r: Coefficient de corrélation



**Figure 17: Graphique des pluies mesurées à Mpota-Tora et des débits simulés à Mutambara**

La figure 17 prouve l'agrément entre les pluies mesurées à Mpota-Tora et des débits simulés à la Basse Murembwe à Mutambara. Cela veut dire que l'allure des pluies tombées à la station climatologique de Mpota-Tora correspond bien à celle des débits estimés à la station hydrologique de la Basse Murembwe à Mutambara.



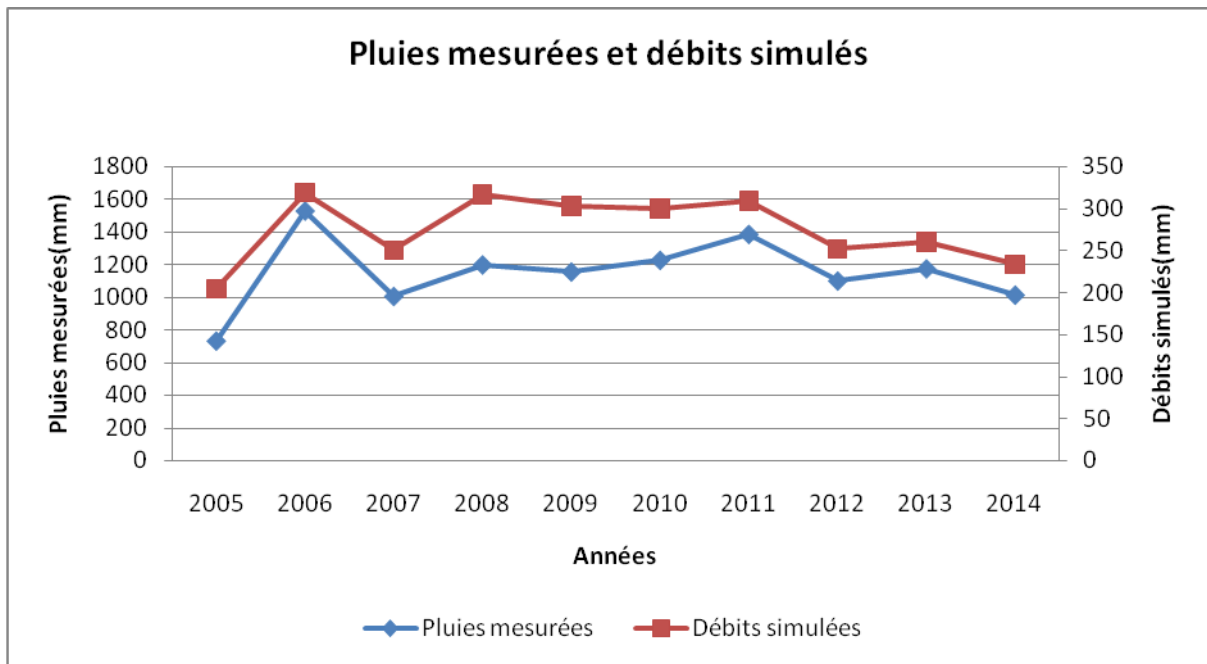
**Figure 18: Graphique montrant la corrélation entre les pluies mesurées à Mpota-Tora et les débits simulés à Mutambara**

La figure 18 nous montre la bonne corrélation entre les pluies tombées en amont à la station climatologique de Mpotat-Tora contre les débits simulés à l'exutoire à la station hydrologique de la Basse Murembwe à Mutambara.

Pour le cas du bassin versant de la Rumpungwe à Gisuru, on a :

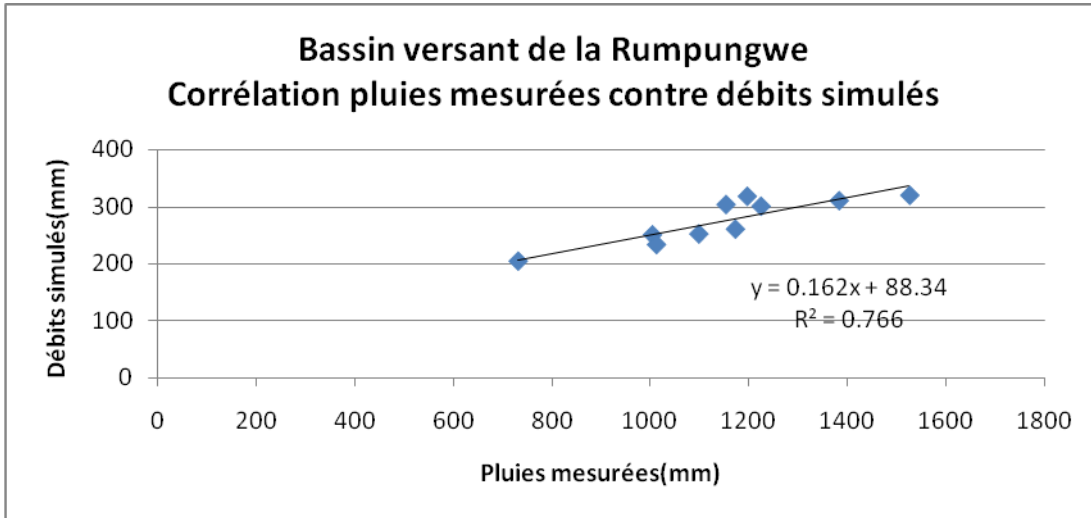
$$Y = 0.162X + 88.34 \quad (7) \quad r = 0.77$$

Où : Y : Débit moyen annuel simulé en mm à Giruru  
 X : Pluviométrie annuelle mesurée en mm à Cankuzo  
 r: Coefficient de corrélation



**Figure 19: Graphique des pluies mesurées à Cankuzo-Projet et des débits simulés à Gisuru**

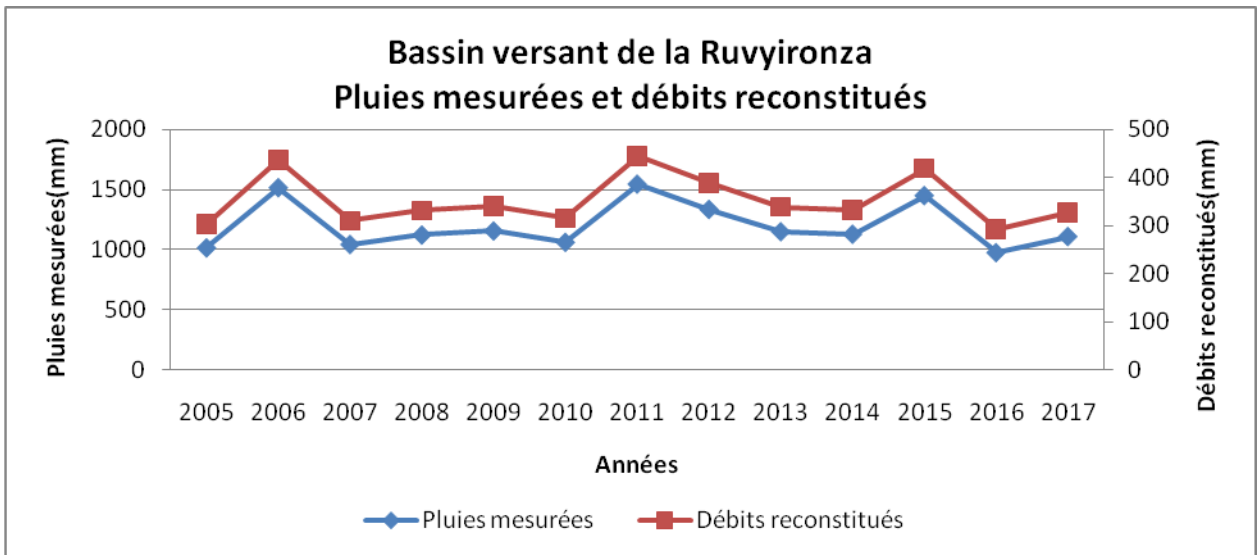
La figure 19 prouve l'agrément entre les pluies mesurées à Cankuzo-Projet et des débits simulés à Gisuru. Cela veut dire que le comportement des pluies tombées à la station climatologique de Cankuzo-Projet correspond bien à celui des débits estimés à la station hydrologique de Gisuru.



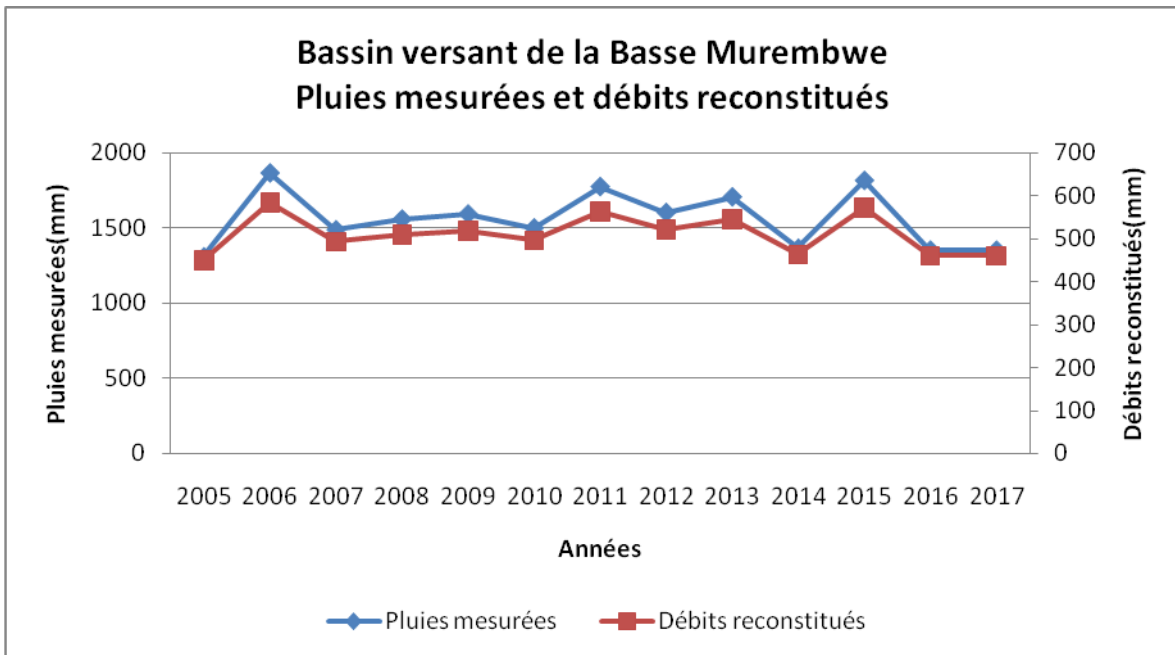
**Figure 20: Graphique montrant la corrélation entre les pluies mesurées à Cankuzo-Projet contre les débits simulés à Gisuru**

La figure 20 nous montre la bonne corrélation entre les pluies tombées en amont à la station climatologique de Cankuzo-Projet contre les débits simulés à l'exutoire de la station hydrologique de la Rumpungwe à Gisuru.

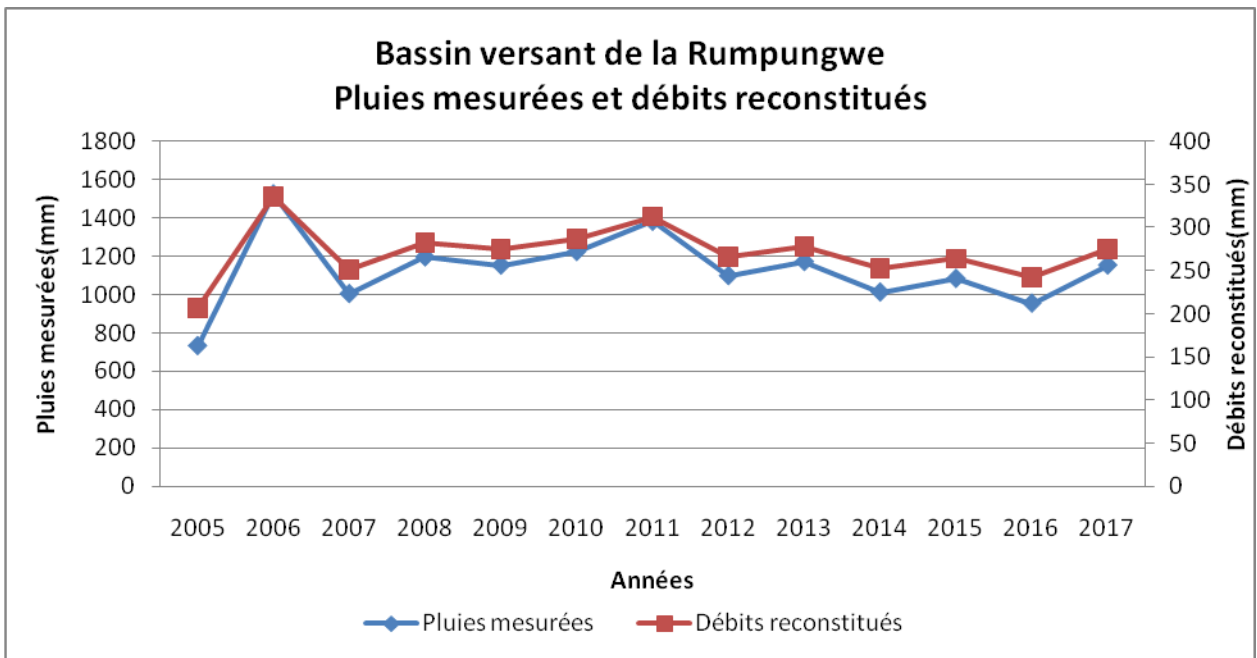
Ces trois équations  $Y = 0.269X + 28.31$ ;  $Y = 0.243 X + 130.9$  et  $Y = 0.162X + 88.34$  nous ont permis de reconstituer les séries des débits pour toute la période de référence 2005-2017 (figures 16, 18 et 20).



**Figure 21: Graphique des pluies tombées à Mahwa et les débit reconstitués à Nyabiraba**



**Figure 22:** Graphique des pluies mesurées à Mpota-Tora et les débits reconstitués à Mutambara



**Figure 23:** Graphique des pluies mesurées à Cankuzo-Proj et les débits reconstitués à Gisuru

## VII. ETABLISSEMENT DES SCENARIOS

### VII.1. En présence des changements climatiques

Le changement climatique pose un sérieux défi à la réalisation des objectifs de développement au Burundi comme partout ailleurs dans le monde. Les projections climatiques avec deux scénarios (RCP4.5 et RCP8.5) montrent une augmentation des précipitations annuelles comprise entre 12 et 13.15 % avec tous les scénarios et pour toutes les stations à l’horizon 2050. Elles montrent une augmentation de la température maximale annuelle comprise entre 0.80 et 0.91°C à l’horizon 2030 et une augmentation comprise entre 1.89 et 2.02°C à l’horizon 2050. Elles montrent également une augmentation de la température minimale annuelle comprise entre 0.91 et 0.99°C à l’horizon 2030 et une augmentation comprise entre 2.04 et 2.14°C à l’horizon 2050 pour tous les scénarios et les stations.

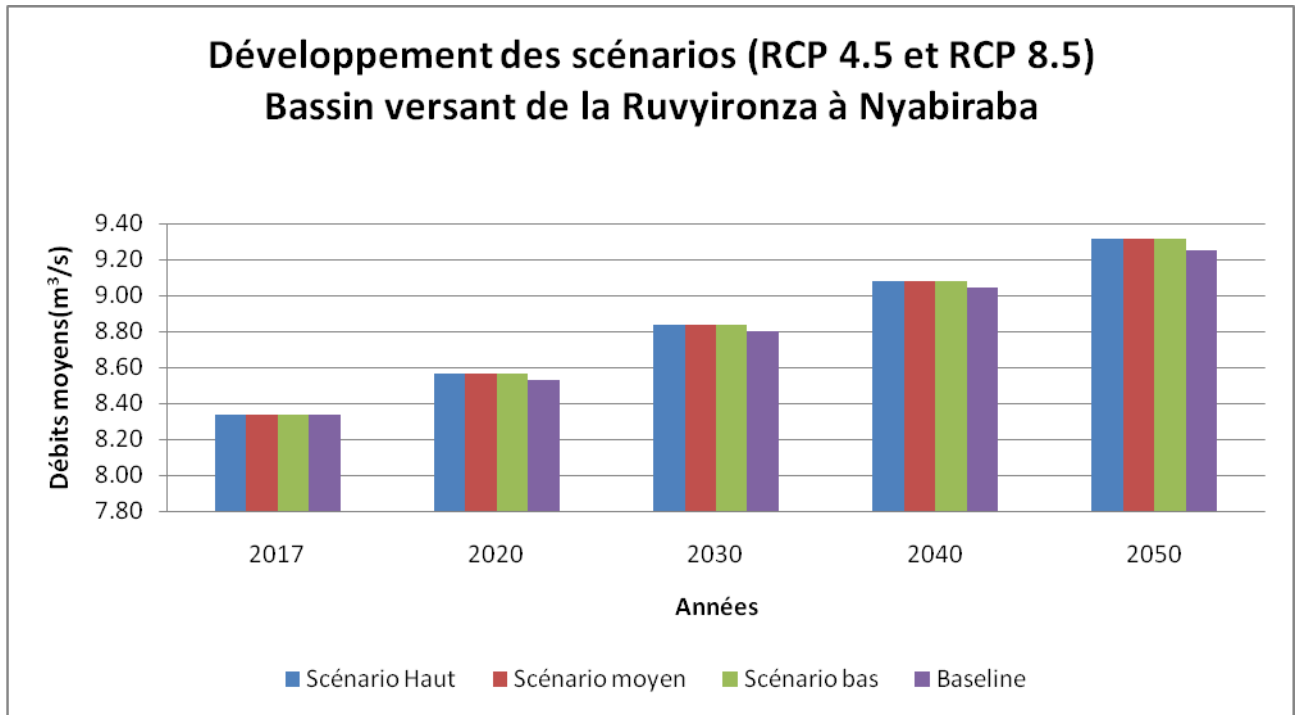
L’étape qui suit est de montrer l’évolution des ressources en eau en situation des changements climatiques exprimés en débits des rivières étudiées.

La procédure est de mettre à contribution la bonne corrélation déjà établie entre les débits moyens annuels simulés et les précipitations annuelles dans les bassins versants étudiés.

Les équations de régression linéaire établies antérieurement par le « Modèle-Pluie-Ecoulement » ou “Nedbør Afløbs Model” (NAM) nous permettent de reconstituer les débits moyens annuels à partir de la pluviométrie calculée avec les changements climatiques pour différents niveaux de scénarios (Tableau 6).

**Tableau 6 :** Bassin versant de la rivière Ruvyironza à Nyabiraba

Années	Scénario Haut		Scénario moyen		Scénario bas		Scénario de base
	RR (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	RR(mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	RR(mm)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /s)
2017	1112	8.33	1112	8.33	1112	8.33	8.33
2020	1145	8.56	1145	8.56	1145	8.56	8.53
2030	1185	8.84	1185	8.84	1185	8.84	8.80
2040	1220	9.08	1220	9.08	1220	9.08	9.04
2050	1255	9.32	1255	9.32	1255	9.32	9.25

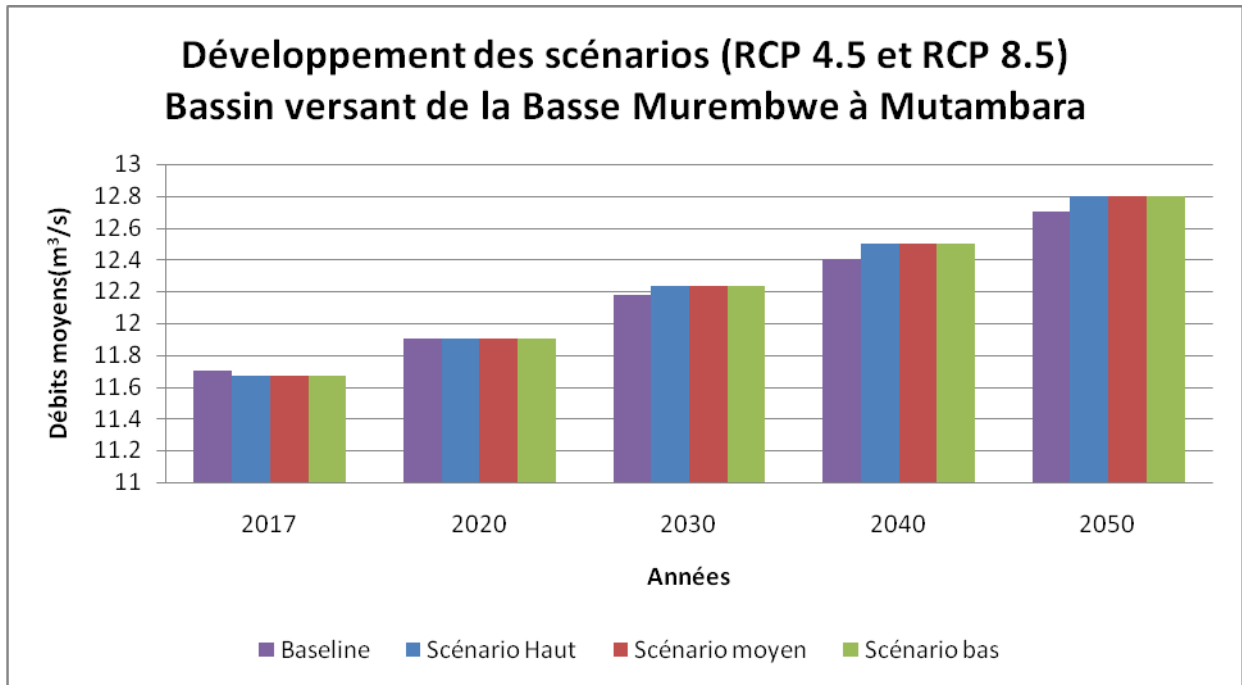


**Figure 24:** Graphique montrant le développement des scénarios de débits moyens à Nyabiraba

**Tableau 7 :** Bassin versant de la Basse Murembwe à Mutambara

Années	Scénario Haut		Scénario moyen		Scénario bas		Scénario de base
	RR (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	RR (mm)	Q(m <sup>3</sup> /s)	RR (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2017	1353	11.7	1353	11.7	1353	11.7	11.7
2020	1395	11.9	1395	11.9	1395	11.9	11.9
2030	1443	12.23	1443	12.23	1443	12.23	12.18
2040	1488	12.5	1488	12.5	1488	12.5	12.4
2050	1531	12.8	1531	12.8	1531	12.8	12.7

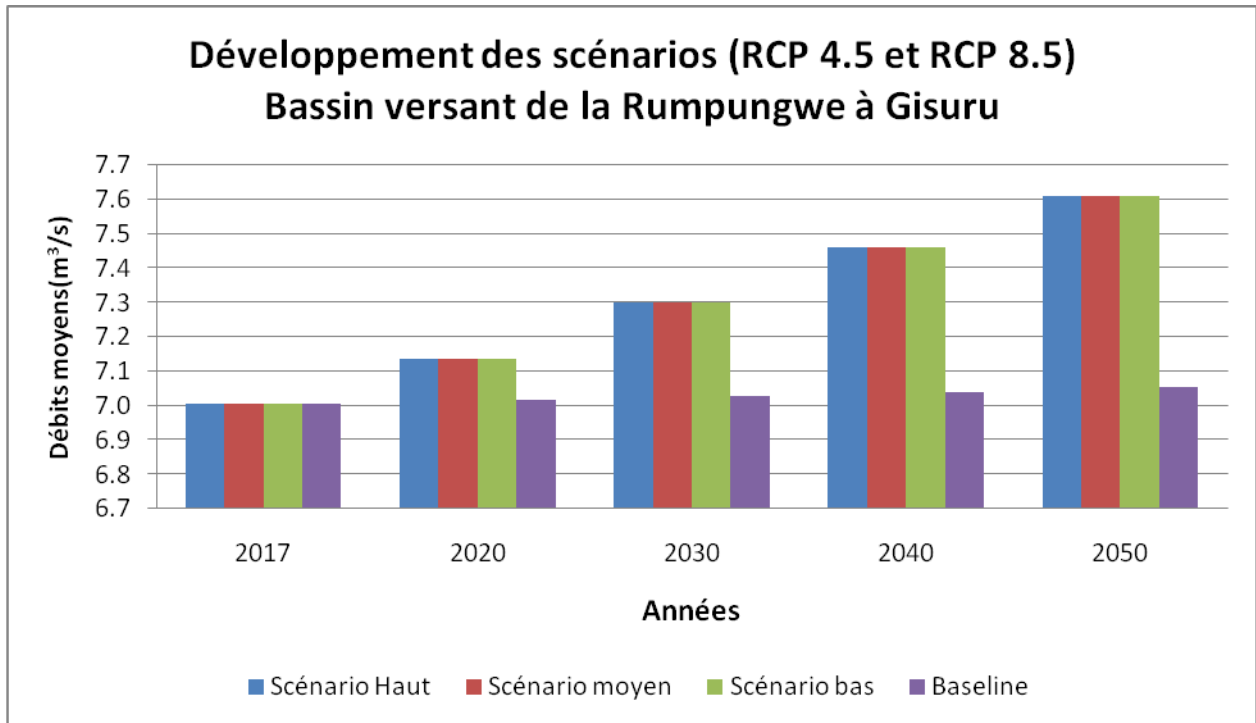




**Figure 25:** Graphique montrant le développement des scénarios des débits moyens à Mutambara.

**Tableau 8 :** Bassin versant de la Rumpungwe à Gisuru

Années	Scénario Haut		Scénario moyen		Scénario bas		Scénario de base
	RR (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	RR (mm)	Q(m <sup>3</sup> /s)	RR (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2017	1153	7.0	1153	7.0	1153	7.0	7.01
2020	1185	7.1	1185	7.1	1185	7.1	7.02
2030	1225	7.3	1225	7.3	1225	7.3	7.03
2040	1264	7.5	1264	7.5	1264	7.5	7.04
2050	1300	7.6	1300	7.6	1300	7.6	7.05



**Figure 26:** Graphique montrant le développement des scénarios des débits moyens à Gisuru

Les scénarios développés à différents niveaux de sensibilité des changements climatiques montrent une augmentation sensible des précipitations et de la température accompagnée d'une augmentation non négligeable des débits des cours d'eau des régions étudiées.

Ainsi, tous les scénarios (haut, moyen et bas) avec changement climatique montrent bien que les débits moyens annuels de la Ruvyironza à Nyabiraba, de la Basse Murembwe à Mutambara et de la Rumpungwe à Gisuru passent respectivement de  $8.33 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $9.32 \text{ m}^3/\text{s}$ , de  $11.7 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $12.8 \text{ m}^3/\text{s}$  et de  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $7.6 \text{ m}^3/\text{s}$  de 2005-2017 (période de référence) à l'horizon 2050, ce qui correspond à des augmentations respectives de 11.88 % , 8.55% et de 0.57 %.

Nous remarquons alors une augmentation importante des ressources en eau depuis la période 2020 à 2050 pour la Ruvyironza et depuis 2030 à 2050 pour la Basse Murembwe. Une légère augmentation des ressources en eau s'observe depuis la période 2020 à 2050 pour la Rumpungwe.

**Tableau 9 : Résumé des effets des changements climatiques sur les débits moyens annuels (m<sup>3</sup>/s) de (2005-2017) à 2050**

Rivières	Situation de base 2005-2017	Scénario Haut 2050		Scénario Moyen 2050		Scénario Bas 2050	
Ruvyironza à Nyabiraba	8.33	9.32	+ 11.88 %	9.32	+ 11.88 %	9.32	+ 11.88 %
Basse Murembwe à Mutambara	11.7	12.8	+8.55 %	12.8	+8.55 %	12.8	+8.55 %
Rumpungwe à Gisuru	7.0	7.6	0.57 %	7.6	0.57 %	7.6	0.57 %

## VIII. RESULTATS DES TRAVAUX HYDROGEOLOGIQUES

### VIII.1 Gitega.

La réalisation des trois piézomètres en 2013 dans le champ captant de Gitega a confirmé que la réalisation de forages à Gitega dans les schistes & quartzites reste une opération très délicate en raison des éboulements de ces formations en cours de foration au marteau fond de trou (MFT) dus aux fortes venues d'eau, liées elles-mêmes à une fracturation intense des roches dures, qui peuvent parfois se comporter comme de mini karsts. La nappe exploitée est captive avec une fracturation de la roche.

Les pompages ont montré que la nappe à Gitega est souvent très transmissive (de  $1^{E-3}$  à  $1^{E-2}$  m<sup>2</sup>/s).

Les pompages d'essais ont aussi montré que les piézomètres Gi-Pz02 et Gi-Pz01 sont deux pièces essentielles pour le contrôle du champ captant de la REGIDESO à Gitega. Le piézomètre Gi-Pz03, bien qu'appartenant à un système aquifère différent de son proche voisin le Gi-Pz01, sera aussi très utile pour étudier le comportement de cette partie de la nappe. Un forage Itankoma abandonné, a été aussi transformé en un piézomètre.

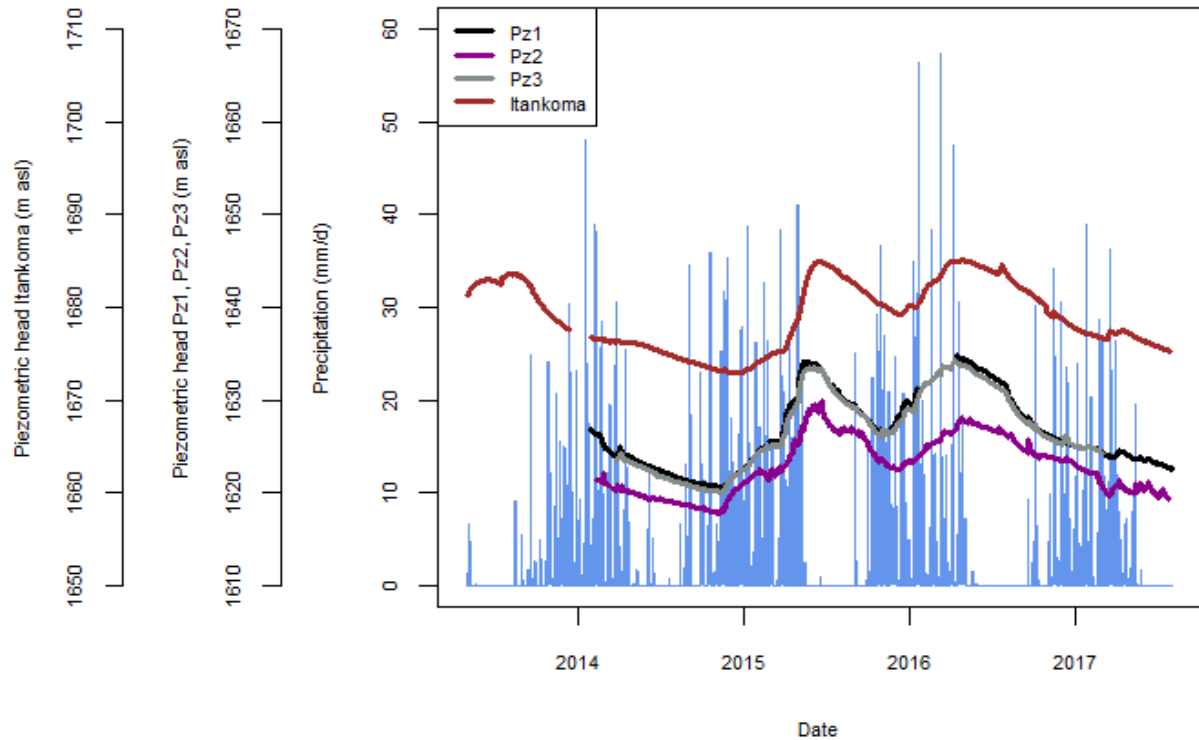
Les 4 piézomètres montrent des fluctuations du niveau de la nappe dues à des fortes exploitations de la ressource eau souterraine. Le niveau d'eau dans le champ captant, est suivi depuis 2013 jusqu'aujourd'hui, les résultats de ce suivi a permis au gestionnaire de ce champ a changer de mentalité d'exploitation en alternant le pompage.

Outre l'exploitation du champ captant, le changement climatique affecte la recharge de la nappe phréatique. L'eau souterraine du champ captant est de

très bonne qualité. Plusieurs séries d'échantillonnage chimique ont eu lieu pour mesurer les éléments majeurs et en traces.

**Tableau 10 : Résultats d'analyse de quelques éléments chimiques dans les piézomètres de Gitega**

ID	pH	EC μS/cm	K mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Fe II Mg/l	Mn mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Br mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	F	PO <sub>4</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
Gi- pz01	6.7	257	2	4	1	12	31	13	148	0.01	0.0	2	0.02	0.0	0.0	0.42	0.8	21
Gi- pz02	7.7	260	2	6	1	14	29	5	166	0.03	0.0	1	0.0	0.0	0.2	0.28	0.0	20
Gi- pz03	6.6	288	1	4	0	10	38	51	121	0.09	0.83	0	0.0	0.0	0.0	0.58	0.7	19



**Figure 27: Chronique piézométrique des piézomètres du champ captant de Gitega**

## ***VIII.2. Rumonge***

Les piézomètres de Rumonge sont cinq (5) et ont été construits en 2013 comme ceux de Gitega.

Le premier piézomètre réalisé à Rumonge a montré que l'on pouvait trouver de l'eau en très grande quantité dans les alluvions de la plaine, avec une teneur en fer acceptable (1.5 mg/l), comparée à celle des forages exploités actuellement par la REGIDESO (>10mg/l).

Les piézomètres 02 et 03 implantés en périphérie de la plaine alluviale ont été forés dans les schistes et quartzites, ce qui n'était pas l'objectif recherché initialement. Leur débit est relativement limité.

Un quatrième piézomètre fut implanté au milieu de la plaine avec l'objectif de rechercher une nappe profonde et avec l'espoir de ne pas y trouver de fer. Le sommet probable de cette nappe fut bien rencontré vers 123m après avoir traversé 80 m d'argile.

Un cinquième piézomètre fut réalisé dans la plaine alluviale pour une ultime tentative de trouver de l'eau dans les alluvions sans fer. Hélas, le Ru-Pz05 en contient un peu (1.5mg/l) bien que situé tout proche des affleurements de granites. En général, la nappe alluviale est potentielle en eau souterraine.

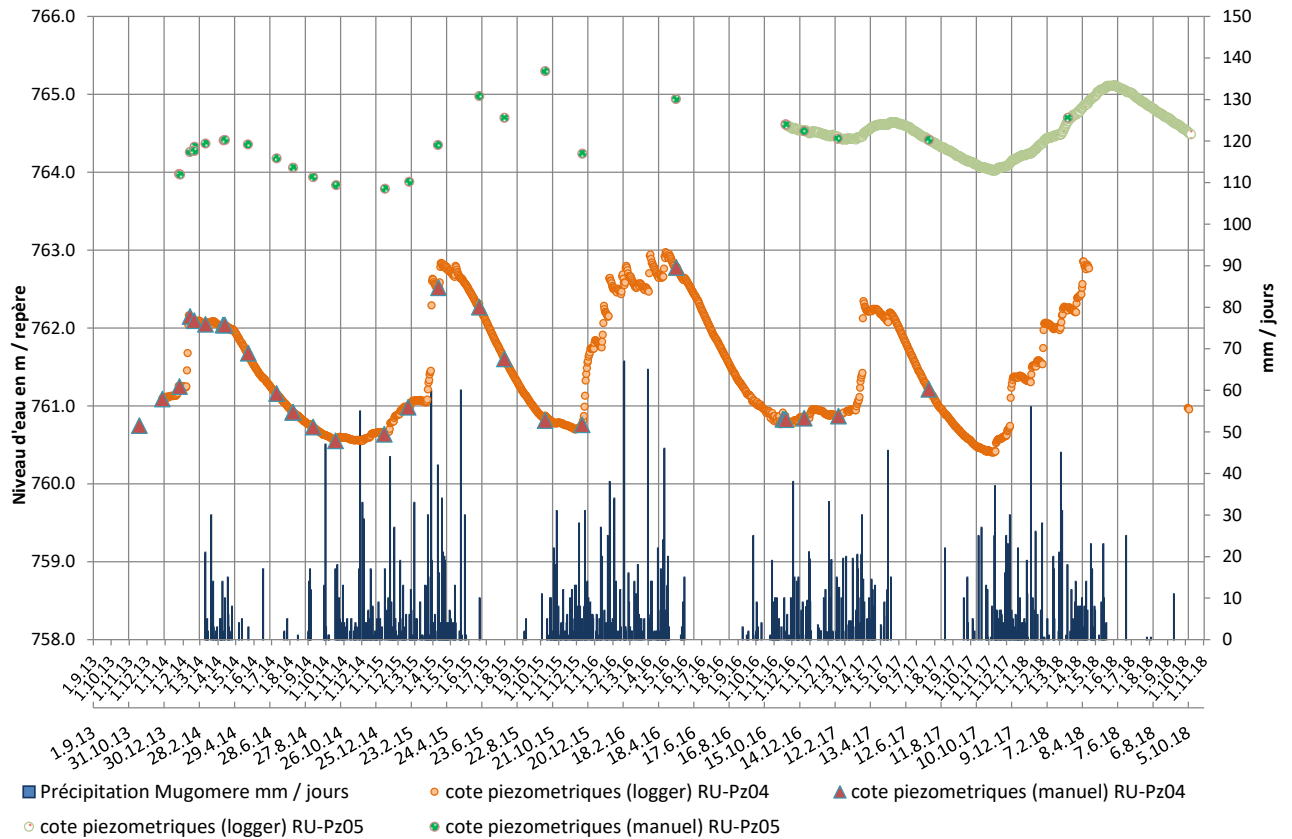
En raison des différents niveaux argileux rencontrés depuis la surface à Rumonge, la nappe no 2 est très bien protégée des risques de pollutions potentielles, ce qui n'est pas le cas de la nappe proche de la surface, qui ne fut jamais captée dans les forages réalisés.

Les Ru-Pz01 et Ru-Pz05 ont ainsi confirmé que la teneur en fer est moindre dès qu'on se rapproche des affleurements à l'Est de la ville et qu'un petit traitement devrait suffire à rendre cette eau propre à la consommation.

En ce qui concerne le sens d'écoulement de la nappe des alluvions, un nivellement par DGPS des repères des 5 piézomètres réalisés a permis de confirmer que les équipotentielles sont globalement parallèles à la ligne de rivage du Lac avec donc un sens d'écoulement depuis les affleurements (collines/ montagne) vers le Lac.

**Tableau 11: Résultats d'analyse de quelques éléments chimique dans les piézomètres de Rumonge**

ID	pH	EC µS/cm	K mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Fe II Mg/l	Mn mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Br mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	F	PO <sub>4</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
Ru-pz01	6.9	406	5	35	7	12	33	13	227	1.80	0.18	0	0.04	0.1	0.0	1.02	0.3	55
Ru-pz02	7.5	467	5	46	4	8	44	17	225	0.23	0.14	0	0.03	0.1	0.0	1.09	0.0	42
Ru-pz03	7.5	546	6	54	7	14	45	12	338	0.30	0.51	1	0.03	0.3	0.48	0.15	0.1	19
Ru_pz04	6.6	204	2	9	1	5	13	0	123	11.50	0.32	0	0.05	3.25	0.0	0.30	1.0	43
Ru-pz05	6.8	576	6	49	10	11	62	8	364	1.90	0.80	0	0.05	1.74	0.0	1.35	0.2	55



**Figure 28: Chronique piézométrique de Ru-pz04 & Ru-pz05 à Rumonge**

A Gitega et à Rumonge, les mesures de niveau d’eau dans les piézomètres sont faits manuellement par une sonde électrique ou par des enregistreurs automatiques.



**Figure 29 & 30 : Station automatique Ru-pz04 et Sonde électrique pour mesurer manuellement le niveau sur Gf-F2 à Gihofi**

### VIII.3 Gihofi et Kinyinya

Dans cette partie du Mosso, 5 piézomètres ont été construits depuis décembre 2017 et début 2018 dont 3 à Gihofi et 2 à Kinyinya. L'objectif était d'explorer le potentiel et la qualité en eau souterraine dans cette région. Pour le potentiel, les résultats ont été positifs à Gihofi, avec des débits  $>50\text{m}^3/\text{h}$ .

Les calcaires fracturés sont très potentiels avec les paramètres hydrodynamiques très intéressants de  $T= 2.1^{E-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les calcaires dolomitiques qui constituent l'aquifère à Kinyinya sont moins transmissifs que ceux de Gihofi. Les débits trouvés sont environs de  $10\text{m}^3/\text{h}$ .

L'eau souterraine est de bonne qualité dans la région du Mosso, à l'exception de certaines poches de fer à quelques endroits.

**Tableau 12 : Analyse de quelques paramètres de terrain**

ID	Ec $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. $^{\circ}\text{C}$	pH	Fe(II) $\text{mg}/\text{l}$	O <sub>2</sub> diss $\text{mg}/\text{l}$	Fluor $\text{mg}/\text{l}$	Redox
Gf-F1bis	502	24.4	7.0	0.8	8	0.24	259
Gf-F2	440	24.6	7.3	0.2	7	0.12	247
Gf-F3	545	23.5	7.1	0.0	6	0.06	240
Kn-F1	171	24.3	6.5	1.0	2	0.13	
Kn-F2	182	23.8	6.6	0.4	3	0.00	132

Les piézomètres de Mosso sont récemment construits, le suivi de niveau de la nappe n'a pas encore abouti à des chroniques piézométriques.



**Figure 31 : Développement d'un piézomètre Gf-F1bis à Gihofi**



## **IX. EVALUATION DES IMPACTS ET DE LA VULNERABILITE**

Le changement climatique est parmi les problèmes environnementaux auxquels l'humanité fait face aujourd'hui. Cette préoccupation mondiale se traduit par le réchauffement planétaire dont les impacts sont dangereusement inquiétants pour l'homme et l'environnement en général. L'eau étant essentielle à l'évolution de l'humanité, des organismes vivants et de l'habitat naturel, tout changement climatique intervenant au niveau des précipitations et des températures influe profondément sur cette ressource.

Les projections climatiques avec deux scénarios (RCP4.5 et RCP8.5) développés par l'équipe de climatologie dans le cadre global de la préparation de la TCNCC montrent une augmentation sensible des précipitations annuelles et de la température à l'horizon 2050.

Au niveau de cette ressource eau, la présente étude a analysé le comportement des ressources en eau d'une manière générale en fonction des changements projetés des principaux paramètres climatiques que sont la température et les précipitations et a abouti à une augmentation importante des ressources en eau, plus particulièrement les débits moyens annuels de l'ordre de 11.88 % à Nyabiraba, de 8.55% à Mutambara et de 0.57% à Gisuru d'ici l'an 2050. Ce qui causera des impacts d'origine climatique sur ces ressources en eau.

### ***IX.1. Impacts climatiques***

En se référant sur les résultats de l'étude sur le comportement des ressources en eau d'ici 2050 mentionnés ci-haut, il est probable que :

- 1.** les changements climatiques prévus dans les cinq prochaines décennies entraîneront une augmentation progressive des précipitations qui provoqueront de l'érosion sur les collines et des inondations dans les bas fonds, la destruction des infrastructures socio-économiques comme les routes, les ponts et autres infrastructures publiques. Ceci pourra se produire si aucune action, d'amont en aval des bassins versants étudiés, n'est entreprise dans le sens de maintenir l'équilibre écologique;
- 2.** L'inégale distribution spatio-temporelle des précipitations à travers le pays prévue dans l'étude sur le climat pourra faire que dans certaines régions du pays, l'excès pluviométrique causera des problèmes aux cultures qui pourra provoquer une baisse de rendement agricole;

3. L'augmentation de la température et des précipitations entraînera une détérioration de la qualité de l'eau avec comme corollaire, la prolifération des maladies à vecteurs et des maladies hydriques;

4. Au niveau de l'agriculture, l'érosion pluviale provoquera des pertes de terres arables et de cultures de bas-fonds dues aux inondations, surtout pendant la période de grande saison pluvieuse;

5. La forte érosion pluviale sera à l'origine de la faible production de l'énergie hydroélectrique par suite de l'envasement des lacs de retenue, et des pertes en lignes dues à la forte augmentation de la température.

### ***IX.2. Impacts non climatiques***

1. Si le taux de croissance démographique actuel se maintient et si l'habitat reste dispersé comme il l'est aujourd'hui, l'approvisionnement en eau potable et en énergie électrique va constituer un réel problème de développement socio-économique du pays;

2. D'ici 2050, il devra y avoir un déséquilibre entre les disponibilités en eau potable de surface et la demande en cette ressource dû en grande partie à la pression démographique qui prévaudra à cette période;

3. Ce déséquilibre entraînera nécessairement une concurrence accrue dans l'exploitation des ressources en eau souterraines qui sont encore aujourd'hui non polluées;

4. Le développement industriel et l'utilisation accrue des intrants agricoles projetée en vue de nourrir une population toujours croissante, combinés à une augmentation des précipitations et de température auront un impact négatif sur la qualité de l'eau aussi bien de surface que souterraine.

### ***IX.3. Incertitudes***

1. Suite à l'absence d'une base de données fiable pouvant permettre l'élaboration des modèles régionaux, susceptibles de représenter, à l'échelle nationale ou locale, les changements climatiques prévus au 21<sup>ème</sup> siècle,

force est de reconnaître le retard de certains pays en développement, dont le Burundi, en ce qui concerne son devenir climatique;

2. Les modèles climatiques ayant en général une résolution horizontale de plusieurs centaines de kilomètres, on comprend bien alors que le Burundi, avec ses dimensions modestes, ne peut pas fournir des résultats précis des sorties de ces modèles;

3. Le Burundi étant un pays montagneux et le modèle RCP ne tenant pas compte de l'effet de l'altitude, se trouve alors défavorisé par le fait que son climat est tempéré par ce paramètre topographique qui est l'altitude;

4. Le pays étant divisé en six petites zones écoclimatiques comme précisé plus haut (dans le chapitre III), il n'est pas aisé de prévoir les changements climatiques au niveau de chaque zone;

5. La capacité de prévoir la répartition spatiale et temporelle des précipitations est en général très limitée. Cette limitation augmente lorsqu'on passe de l'échelle mondiale à l'échelle régionale ou à celle des bassins hydrographiques.

## **X. IDENTIFICATION ET EVALUATION DE L'ETAT DE MISE EN OEUVRE DES STRATEGIES ET MESURES D'ADAPTATION ANTERIEURES DANS LE SECTEUR DES RESSOURCES EN EAU.**

Après avoir consulté les différents documents relatifs aux ressources en eau élaborés au niveau national, nous avons remarqué que parmi les plans d'actions y mentionnés, certains projets ont été réalisés et d'autres ne l'ont pas été, peut-être faute de bailleurs.

**Parmi ceux qui ont été exécutés ou en cours d'exécution, on peut citer :**

1. Etude sur l'évaluation des eaux souterraines du BURUNDI;
2. Développement d'un Système d'Aide à la prise de Décision (DSS) pour la planification et la gestion des ressources en eau;
3. Mise en œuvre d'un plan GIRE pilote;

4. Suivi Systématique du climat au Burundi;
5. Réhabilitation et densification du réseau hydrologique;
6. Suivi de la qualité de l'eau des principaux cours d'eau du pays;
7. Amélioration des prévisions climatiques saisonnières pour l'alerte rapide;
8. Renforcement du système de collecte des données météorologiques et hydrologiques;
9. La connaissance sur la disponibilité (quantitatif et qualitatif) et la demande en eau est publiée régulièrement;
10. La performance du personnel du secteur l'eau et assainissement est améliorée.

**Parmi ceux qui n'ont pas pu être exécutés on citera :**

1. Développer et vulgariser les techniques de collecte des eaux de pluie pour des usages agricoles ou ménagers;
2. Modélisation hydrologique;
3. Evaluation de la demande en eau;
4. Elaboration d'une stratégie, d'utilisation optimale des ressources en eau du Burundi;
5. Développement d'une stratégie de collecte et de traitement des données sur l'eau;
6. Aménagement des barrages de retenue collinaires dans la région de BUGESERA;
7. Système de Collecte des Eaux Pluviales (SCEP);
8. Amélioration des mécanismes de gestion et de diffusion des données et informations;

9. Valorisation des eaux de pluies;
10. Programme de lutte contre l'érosion dans la région de Mumirwa;
11. Protection des zones tampons dans la plaine inondable du lac Tanganyika et autour des lacs du Bugesera;
12. Stabilisation de la dynamique fluviale des cours d'eau et des torrents dans les Mumirwa y compris la ville de Bujumbura;
13. Le Ministère en charge de l'enseignement supérieur met en place et fait fonctionner une filière de formation en techniques et sciences de la gestion des ressources en eau, des services de l'eau et de l'assainissement;
14. Le Ministère en charge de l'Enseignement de base et secondaire crée et fait fonctionner les écoles secondaires techniques spécialisées en techniques de la gestion des ressources en eau, des services de l'eau et de l'assainissement;
15. Les capacités de recherche en matière de la gestion des ressources en eau, des services de l'eau et assainissement sont renforcées.

Ayant constaté qu'il y a des lacunes dans la mise en œuvre des stratégies et mesures d'adaptation antérieures, l'équipe des experts en charge des ressources en eau a procédé à l'identification et à la priorisation de certaines actions pouvant aider à faire face aux changements climatiques futurs. Le développement de cette étape de l'étude est décrit dans le chapitre qui suit.

## **XI. Identification et priorisation des actions pour faire face aux changements climatiques futurs**

### ***XI.1. Identification des actions pour faire face aux changements climatiques futurs***

Après avoir analysé les effets néfastes des changements climatiques et leurs impacts sur le secteur des ressources en eau, il importe de proposer dans ce chapitre des mesures et des actions d'adaptation de ces ressources pour faire face à ces changements.

Selon le GIEC, l'adaptation est définie comme l'ensemble des ajustements autonomes et des mesures proactives ou réactives d'ordre technique, politique, législatif ou autre, qui permettent à un système de minimiser les impacts négatifs des changements climatiques et d'exploiter de nouvelles opportunités.

C'est dans ce contexte que la politique nationale en matière de lutte contre le changement climatique a été mise en place en vue de proposer des mesures et des actions prioritaires visant à réduire les effets néfastes du changement climatique.

Les critères de sélection dont nous avons tenu compte dans la priorisation des actions / options sont les suivants:

1. La croissance économique;
2. La balance des paiements;
3. La lutte contre la pauvreté;
4. La création d'emploi;
5. La réduction de la pollution;
6. La préservation de la biodiversité;
7. Le potentiel de la réduction de la vulnérabilité;
8. L'acceptabilité;
9. La fiabilité;
10. Le coût de l'option / action.

Après avoir fait une sélection par rapport aux priorités du pays exprimées dans les différents documents de politique et de stratégies nationales, parmi une liste des actions identifiées seules 7 actions dans le secteur des Ressources en Eau ont été retenues pour la priorisation.

Il s'agit de :

1. Stabiliser les berges des rivières et des ravins de la région cible;
2. Aménager d'une façon intégrale les bassins versants de la région cible;
3. Mettre en place un système de suivi sur les disponibilités des ressources en eau nationales;
4. Protéger et gérer intégralement les zones tampons des lacs et des rivières;
5. Promouvoir la conservation et la gestion des eaux pluviales à des fins multiples;
6. Mise en place d'un Système d'alerte précoce de la variabilité climatique;
7. Protéger et gérer les zones inondables.

## **XI.2. Priorisation des actions pour faire face aux changements climatiques futurs**

Après avoir fait une priorisation par l'outil d'Analyse Multicritères(AMC), parmi une liste des actions déjà identifiées, ces actions ont été classées comme suit :

**Tableau 13 : Priorisation et classement des actions déjà identifiées**

No	Actions	Notes pondérées
1	<b>Promouvoir la conservation et la gestion des eaux pluviales à des fins multiples</b>	<b>91.0</b>
2	<b>Stabiliser les berges des rivières de la région cible</b>	<b>87.5</b>
3	<b>Mettre en place un système de suivi sur les disponibilités des ressources en eau nationales</b>	<b>67.9</b>
4	<b>Mise en place d'un Système d'alerte précoce de la variabilité climatique</b>	55.4
5	Protéger et gérer intégralement les zones tampons des lacs et des rivières	44.1
6	Aménager d'une façon intégrale les bassins versants de la région cible	25.3
7	Protéger et gérer les zones inondables	5.0

### **XI.3. Identification des activités pour la mise en œuvre des actions prioritaires**

Les actions prioritaires ont été à leur tour désagrégées en activités spécifiques pour rendre les actions opérationnelles. Le tableau 14 qui suit fournit le détail de toutes les activités pour chacune des actions hiérarchisées.

**Tableau 14: Liste des actions et des activités du plan d'actions stratégiques pour faire face aux changements climatiques futurs**

<b>Actions</b>	<b>Activités identifiées</b>
<b>Action 1:</b> Promouvoir la conservation et la gestion des eaux pluviales à des fins multiples;	<b>Activité 1.1:</b> Sensibiliser à tous les niveaux sur l'importance de la collecte et la valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons;
	<b>Activité 1.2:</b> Renforcer les capacités sur la collecte et la valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons;
	<b>Activité 1.3:</b> Installer des systèmes pilotes de collecte et de valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons;
<b>Action 2:</b> Stabiliser les berges des rivières et des ravins des régions cibles	<b>Activité 2.1:</b> Mener une étude de faisabilité de la stabilisation des berges des rivières de la région cible;
	<b>Activité.2.2 :</b> Sensibilisation des acteurs de la région cible sur la stabilisation des berges des rivières et des ravins;
	<b>Activité 3.3:</b> Mettre en place les ouvrages de stabilisation des berges des rivières et des ravins de la région cible.
<b>Action 3:</b> Mettre en place un système de suivi sur les disponibilités des ressources en eau nationales	<b>Activité 3.1:</b> Acquérir les équipements des stations hydrologiques et climatologiques automatiques;
	<b>Activité 3.2:</b> Acquérir les équipements de mesure des débits pour 3 équipes de jaugeages;
	<b>Activité 3.3:</b> Identifier les sites d'installations des équipements hydrologiques et climatologiques;



Actions	Activités identifiées
	<p><b>Activité 3.4:</b> Installer les équipements hydrologiques et climatologiques sur les sites adéquats.</p>
<p><b>Action 4:</b> Mise en place d'un système d'alerte précoce de la variabilité climatique</p>	<p><b>Activité 4.1:</b> Etablir un système de collecte en temps réel des données hydrométéorologiques nationales et de traitement de l'information pour installer une alerte précoce fonctionnelle;</p> <p><b>Activité 4.2:</b> Définir et réhabiliter un réseau d'observation hydro climatologique minimum optimal et moderne ainsi que l'expertise nécessaire à l'établissement de l'alerte précoce;</p> <p><b>Activité 4.3:</b> Assurer l'installation et la maintenance du réseau hydro-climatologique minimum optimal;</p> <p><b>Activité 4.4:</b> Recruter des experts et consultants internationaux pour former l'expertise nationale en matière d'alerte précoce;</p> <p><b>Activité 4.5:</b> Organiser des ateliers de formation des cadres burundais en alerte précoce;</p> <p><b>Activité 4.6:</b> Mettre en place un système de communication radio rurale pour diffuser l'information en langue nationale le Kirundi;</p> <p><b>Activité 4.7 :</b> Organiser des missions d'évaluation périodique du système d'alerte précoce pour s'enquérir du degré de satisfaction de la population bénéficiaire.</p>
<p><b>Action 5:</b> Protéger et gérer intégralement les zones tampons des lacs et des rivières</p>	<p><b>Activités 5.1:</b> Délimiter et cartographier les zones tampons des lacs et des rivières;</p> <p><b>Activités 5.2:</b> Produire et planter du matériel végétal sur les rives des rivières et dans la zone tampon;</p> <p><b>Activités 5.3:</b> Développer des activités génératrices de revenus dans les lacs et rivières et autour des zones de protection (exemple : pêches /pisciculture et apiculture, agriculture irriguée);</p> <p><b>Activités 5.4:</b> Mettre en place des comités de gestion et de protection des lacs et des rivières.</p>
<p><b>Action 6:</b> Aménager d'une façon intégrale les bassins versants des régions cibles</p>	<p><b>Activités 6.1:</b> Reboiser les crêtes et les flancs de collines surplombant les sites cibles;</p> <p><b>Activités 6.2:</b> Sensibiliser la population sur l'importance</p>

Actions	Activités identifiées
	<p>de la mise en place des courbes de niveau couplées d'herbes antiérosives pour la conservation des eaux et des sols des sites cibles;</p> <p><b>Activités 6.3:</b> Acquérir le matériel d'installation des courbes de niveau couplées d'herbes antiérosives des sites cible;</p> <p><b>Activités 6.4:</b> Installer et entretenir des courbes de niveau couplées d'herbes antiérosives associées à l'agroforesterie des sites cibles;</p> <p><b>Activités 6.5:</b> Installer les fossés végétalisés pour la maîtrise de l'érosion afin de protéger les populations et préserver d'autres structures telles que les terres des communautés contre des risques plus élevés de l'érosion pluviale des hautes terres.</p>
<p><b>Action 7:</b> Protéger et gérer les zones inondables</p>	<p><b>Activités 7.1:</b> Mettre en place un manuel de procédures standard pour la gestion des inondations définissant les attributions des chaque intervenant et le reportage après l'évènement;</p> <p>Activités 7.2: Elaborer un modèle de prévision et de simulation hydrologiques au niveau des grands barrages ou des points de confluence, acquisition des moyens de calcul et renforcement des capacités;</p> <p>Activités 7.3: Renforcer les capacités pour la maîtrise de cet outil;</p> <p><b>Activités 7.4:</b> Elaborer un plan de gestion des risques d'inondation;</p> <p><b>Activités 7.5:</b> Cartographier les zones à risque d'inondation.</p>

## **XII. Les stratégies de développement dans le secteur des ressources en eau**

- 1.** Promotion de la conservation et de la gestion des eaux pluviales à des fins domestiques pour l'accès facile aux ressources en eau;
- 2.** Contribution à la stabilisation des berges des rivières et des ravins des régions cibles pour leur consolidation;
- 3.** Amélioration du système de suivi des disponibilités des ressources en eau nationale pour leur évaluation et garantir leur demande pour tous les usages actuels et futurs;
- 4.** Amélioration du système d'alerte précoce de la variabilité climatique pour réduire les pertes socio-économiques;
- 5.** Protection et gestion intégrale des zones tampons des lacs et des rivières;
- 6.** Aménagement intégral des bassins versants et des marais afin de préserver l'équilibre écologique;
- 7.** Protection et gestion des zones inondables pour amortir leur gravité.

## **XIII. Evaluation et formulation des objectifs**

Les actions d'adaptation étant identifiées et priorisées et les stratégies définies, l'étape suivante est celle de formuler les objectifs à atteindre pour aboutir à une adaptation efficace des ressources en eau aux changements climatiques futurs.

### **L'objectif global est :**

Garantir de façon durable le suivi, la conservation, la gestion et la disponibilité de la ressource eau à tous les utilisateurs tout en faisant face aux changements climatiques prévisibles d'ici l'an 2050.

### **Les objectifs spécifiques sont :**

- 1.** Promouvoir la conservation et la gestion des eaux pluviales à des fins domestiques pour l'accès facile aux ressources en eau;
- 2.** Contribuer à la stabilisation des berges des rivières et des ravins des régions cibles pour leur consolidation;
- 3.** Améliorer le système de suivi et de gestion cohérente et coordonnée des disponibilités des ressources en eau nationale spécialement dans l'optique des changements climatiques annoncés.

## XIV. PLAN D' ACTIONS STRATEGIQUES D'ADAPTATION

### AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

**Objectif global :** Garantir de façon durable le suivi, la conservation, la gestion et la disponibilité de la ressource eau à tous les utilisateurs tout en faisant face aux changements climatiques prévisibles d'ici l'an 2050.

**Tableau 15: Plan d'actions stratégiques d'adaptation aux changements climatiques**

ACTIONS A MENER	ACTIVITES A MENER	INDICATEURS DE PERFORMANCE	INTERVENANTS
<b>OBJECTIF SPECIFIQUE 1 :</b> Promouvoir la conservation et la gestion des eaux pluviales à des fins multiples pour l'accès facile aux ressources en eau			
<b>Action 1:</b> Promouvoir la conservation et la gestion des eaux pluviales à des fins domestiques	<b>Activité 1.1:</b> Sensibiliser à tous les niveaux sur l'importance de la collecte et de la valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons	Nombre de séances organisées	MINEAGRIE DGEREA Société Civile
	<b>Activité 1.2:</b> Renforcer les capacités sur la collecte et la valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons	Nombre de personnes (techniciens) formées	MINEAGRIE DGEREA Société Civile
	<b>Activité 1.3:</b> Installer des systèmes pilotes de collecte et de valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons	Nombre des citernes pilote construites,	MINEAGRIE : DGEREA Entreprises

ACTIONS À MENER	ACTIVITES A MENER	INDICATEURS DE PERFORMANCE	INTERVENANTS
<b>OBJECTIF SPECIFIQUE 2:</b> Contribuer à la stabilisation des berges des rivières et des ravins des régions cibles en vue de leur consolidation			
<b>Action 2:</b> Stabiliser les berges des rivières et des ravins des régions cibles	<b>Activité 2.1:</b> Mener une étude de faisabilité de la stabilisation des berges des rivières de la région cible;	Le document de rapport de l'étude disponible et validée par les P.P	MINEAGRIE
	<b>Activité.2.2:</b> Sensibilisation des acteurs de la région cible sur la stabilisation des berges des rivières et des ravins;	Nombre des séances organisées	MINEAGRIE MININTER&FP
	<b>Activité 3.3:</b> Mettre en place les ouvrages de stabilisation des berges des rivières et des ravins de la région cible.	Nombre de Km d'ouvrages mis en place	MINEAGRIE MININTER&FP Entreprises
<b>OBJECTIF SPECIFIQUE 3:</b> Améliorer le système de suivi et de gestion cohérente et coordonnée des disponibilités des ressources en eau nationale spécialement dans l'optique des changements climatiques annoncés.			
<b>Action 3:</b> Mettre en place un centre de formation spécialisée permettant	<b>Activité 3.1:</b> Mener une étude de faisabilité de mise en place d'un centre de formation spécialisée.	Etude de faisabilité disponible et validée	MINEAGRIE: IGEBU DGEREA UB

<p>d'avoir en permanence des ressources humaines suffisantes et formées localement.</p>			
	<p><b>Activité 3.2:</b> Créer et équiper le centre de formation spécialisée.</p>	<p>Le centre bien équipé disponible et fonctionnel</p>	<p>MINEAGRIE: IGEBU DGEREA MEES&amp;RS UB</p>

## V. FICHES DE PROJET

### XV.1.FICHE DE PROJET N°1

**Tableau 16: Projet de collecte des eaux de pluie des toits des maisons au Burundi**

<p><b>Introduction/ Contexte</b></p>	<p>En se référant aux résultats de la projection, nous remarquons une augmentation de la température et des précipitations dans les régions cibles. Néanmoins, dans certaines régions, il peut y avoir des tendances de diminution de la ressource due à l'évaporation élevée. La plupart de la population de la zone cible se retrouvent sans accès facile aux sources en eau à cause de ces déficits hydriques. Dans les 2 cas, pour pallier à cette situation, le Gouvernement du Burundi opte pour une nouvelle solution qui est l'utilisation des eaux de pluies collectées sur les toits des maisons pour amortir les effets d'inondations mais aussi pour stocker l'eau et l'utiliser en cas de besoin.</p>
<p><b>Objectifs</b></p>	<p><b>1. Objectif général du projet :</b> Installer 28.030 systèmes de collecte et valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons à des fins domestiques d'ici 2025</p> <p><b>2. Les objectifs spécifiques sont les suivants:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilisation de la population et de l'administration sur le principe de la valeur économique de l'eau et la faisabilité de l'option ;</li> <li>- Renforcement des capacités sur la collecte et valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons ;</li> <li>- Installation des systèmes pilotes de collecte et valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons</li> </ul>
<p><b>Quels sont les résultats et sont-ils mesurables</b></p>	<p>Les résultats attendus du projet sont les suivants:</p> <p><b>Résultat 1:</b> Le principe de la valeur économique de l'eau et faisabilité de l'option sont vulgarisés et appliqués au niveau de la population et l'administration locale;</p> <p><b>Résultat 2 :</b> Les capacités techniques et humaines des institutions et les collectivités locales sur la collecte des eaux de pluie des toits des maisons à des fins domestiques sont renforcées ;</p> <p><b>Résultats 3:</b> Des systèmes pilotes de collecte et valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons sont installés dans 28.030 ménages.</p>
<p><b>Relation avec les priorités du développement</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La <b>Vision 2025</b> est un document de référence et d'orientation prospective essentiel en matière de développement pour les huit prochaines années et trace les orientations globales pour la croissance économique et sociale du pays.</li> <li>- Le <b>Cadre Stratégique et de Lutte contre la Pauvreté (CSLP) II</b>, prend en compte</li> </ul>



<p><b>ent durable du pays</b></p>	<p>dans la vision 2025 et représente le cadre fédérateur de toutes les politiques sectorielles et multisectorielles devant décliner en projets et programmes les piliers stratégiques de la vision « Burundi 2025 ».</p> <p>Ces cadres fournissent des axes d'interventions dont la plupart participent directement ou indirectement à l'atténuation des effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques. L'intégration du changement climatique comme question transversale dans le cadre de développement, permettra de maintenir les progrès durement réalisés à ce jour, et à réduire la pauvreté à travers tout le pays.</p> <p><b>Le Plan d'Action National de Lutte contre les Changements Climatiques « PANA »</b>, identifie les actions prioritaires qui sont urgentes et immédiates contribuant aux efforts d'adaptation du pays aux effets néfastes des changements climatiques.</p> <p><b>La loi n°1/02 du 26 mars 2012 portant code de l'eau du Burundi.</b> Celui-ci arrête les mesures de gestion et de protection ou de sauvegarde de la ressource eau et justifie même l'instauration des périmètres de protection à l'intérieur desquels certaines activités pourraient être interdites. L'article 56 de ce code précise que les règles et décisions d'utilisation de l'espace territorial doivent réduire les risques d'inondations ou les dommages qui pourraient en résulter.</p>
<p><b>Livrable du projet par exemple valeur/ avantages/ messages</b></p>	<p>La mise en place des dispositifs de collecte de l'eau de pluie des toits des maisons permettra aux ménages bénéficiaires du monde rural, d'accéder à l'eau utilisée dans les ménages sans trop dépenser. Elle permettra aussi de réduire les risques liés aux inondations d'une part et à la destruction des infrastructures publiques qui sont une réalité dans notre pays.</p>
<p><b>Portée du projet et mise en œuvre possible</b></p>	<p>Le projet est faisable et couvrira tout le territoire national</p>
<p><b>Les activités du projet</b></p>	<p>Les activités du projet sont groupées dans 4 composantes dont:</p> <p><b>Composante 1 : Sensibilisation de la population et de l'administration sur le principe de la valeur économique de l'eau et la faisabilité de la technologie</b></p> <p><b>Activités:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaborer, multiplier et diffuser un guide de sensibilisation;</li> <li>2. Organiser des séances de sensibilisation de la population sur le principe de la valeur économique de l'eau;</li> <li>3. Organiser des séances de sensibilisation de la population et de l'administration sur la faisabilité de l'option.</li> </ol>

	<p><b>Composante 2 : Renforcement des capacités sur la collecte et valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons</b></p> <p><b>Activités:</b> 1. Organiser des formations des formateurs pour la sensibilisation;  2. Former des techniciens formateurs;  3. Former des bénéficiaires;  4. Organiser des visites locales d'échange d'expériences sur les sites pilotes.</p> <p><b>Composante 3 : Installation des systèmes pilotes de collecte et de valorisation de l'eau de pluie des toits des maisons</b></p> <p><b>Activités:</b> 1. Installer les infrastructures pilotes;  2. Assurer la maintenance des infrastructures pilotes.</p> <p><b>Composante 4: Coordination du projet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recruter les membres de l'unité de coordination du projet;</li> <li>- Elaborer un manuel de procédure du projet;</li> <li>- Elaborer un manuel de suivi évaluation incluant un système intégrée de gestion du projet ainsi que la formation;</li> <li>- Elaborer un manuel d'exécution du projet.</li> </ul>
<b>Echéance</b>	La durée de projet est de 9 ans. Les trois premières années, seront consacrées aux études et à la sensibilisation et les six dernières années à l'installation et exploitation des équipements.
<b>Budget/ besoins en ressources</b>	Le budget estimatif de la mise en œuvre du projet est de 42.160.394 USD qui peut provenir des PTF et la contribution du Gouvernement du Burundi.
<b>Mesure/ Evaluation</b>	L'Evaluation portera sur les systèmes de collecte des eaux des toits des maisons mis en place et le nombre de personnes sensibilisées et formées.
<b>Complication possible/ Défis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Application limitée du principe de la valeur économique de l'eau;</li> <li>- Faible perception de besoins sur l'utilité de la technologie;</li> <li>- Accès limité aux crédits;</li> <li>- Faible pouvoir d'achat des ménages;</li> <li>- Les taxes et régime tarifaires exorbitants;</li> <li>- La réglementation informelle des affaires.</li> </ul>
<b>Responsabilité et Coordination</b>	L'institution de mise en œuvre du projet sera le MINEAGRIE et travaillera en étroite collaboration avec les services techniques en charge de la gestion de l'eau, des comités de développement communautaire et l'Administration locale pour la mise en œuvre des activités au niveau local. De plus, un Comité de pilotage du projet (CPP) sera institué et

	comprendra les représentants des institutions clés intervenant dans les activités du projet et des représentants des communes bénéficiaires. La Présidence du Comité de Pilotage sera assurée par le MINEAGRIE.

## XV.2.FICHE DE PROJET N°2

**Tableau 17: Projet d'appui à la maîtrise et à la stabilisation de la dynamique fluviale des rivières de la région de Mumirwa**

<p><b>Introduction/ Contexte et justification</b></p>	<p>L'escarpement occidental correspondant à la région naturelle du Mumirwa et de l'Imbo couvre 10% de la superficie du pays. Son altitude varie de 1 000 à 1 900 m et le relief est très marqué avec des pentes variant de 70% à plus de 100%. La densité de la population y est très forte (300 habitants / km<sup>2</sup>) et la taille de l'exploitation ne fait que diminuer.</p> <p>Cette partie du pays est traversée par un réseau hydrographique intense. Certaines de ses rivières comme Ntakangwa, Kanyosha et Muha traversent la ville de Bujumbura et se jettent dans le lac Tanganyika. Leurs bassins versants aux sols fertiles font l'objet d'une forte pression agricole et sont soumis à une érosion très sévère. De fortes crues causent d'importants dommages sur la ville de Bujumbura. Les sédiments emportés ainsi que les détritiques divers balayés au passage des courants sont une source de dégradation de l'écosystème du lac Tanganyika.</p> <p>Compte tenu des fortes pentes et de la forte pression sur les terres, un aménagement intégral des bassins versants s'avère nécessaire en vue de maintenir la fertilité des sols menacés par l'érosion et d'éviter notamment les dommages à l'aval, sur la ville de Bujumbura et sur l'écosystème du lac Tanganyika.</p>
<p><b>Objectifs</b></p>	<p><b>L'objectif global du Projet</b> est de contribuer d'une part, à consolider la stabilisation des berges des rivières traversant la plaine de l'Imbo et se jetant dans le Lac Tanganyika et, d'autre part, à améliorer la sécurité alimentaire de la population des contreforts de Mumirwa.</p> <p><b>Le premier objectif spécifique</b> est de mener une étude de faisabilité montrant en détail les besoins et les techniques nécessaires pour bien stabiliser les berges de ces rivières de la région qui est vulnérable.</p> <p><b>L'autre objectif spécifique</b> est de mettre en œuvre cette étude.</p>
<p><b>Quels sont les résultats et sont-ils mesurables</b></p>	<p>Les résultats attendus du projet sont les suivants:</p> <p><b>Résultat 1:</b> L'étude de faisabilité de la stabilisation des berges des rivières de la région de Mumirwa disponible.</p> <p><b>Résultat 2 :</b> Des cours d'eau de la région et des ravins surtout en commençant par</p>

	<p>les affluents du lac Tanganyika sont stabilisés par l'aménagement intégral des bassins versants de la région de Mumirwa.</p> <p><b>Résultat 3:</b> Les infrastructures en aval sont protégées</p>
<p><b>Relation avec les priorités du développement durable du pays</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La <b>Vision 2025</b> est un document de référence et d'orientation prospective essentiel en matière de développement pour les huit prochaines années et trace les orientations globales pour la croissance économique et sociale du pays.</li> <li>- Le <b>Cadre Stratégique et de Lutte contre la Pauvreté (CSLP) II</b>, prend en charge dans la vision 2025 et représente le cadre fédérateur de toutes les politiques sectorielles et multisectorielles devant décliner en projets et programmes les piliers stratégiques de la vision « Burundi 2025 ».</li> </ul> <p>Ces cadres fournissent des axes d'interventions dont la plupart participent directement ou indirectement à l'adaptation et à l'atténuation des effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques. L'intégration du changement climatique comme une question transversale dans les cadres de développement, permettra de maintenir les progrès durablement réalisés à ce jour, et réduire la pauvreté à travers le pays.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Le Plan d'Action National de Lutte contre les Changements Climatiques « PANA »</b>, identifie les actions prioritaires qui sont urgentes et immédiates contribuant aux efforts d'adaptation du pays aux effets néfastes des changements climatiques.</li> <li>- <b>La loi n°1/02 du 26 mars 2012 portant code de l'eau</b>. Celui-ci arrête les mesures de gestion et de protection ou de sauvegarde de la ressource eau et justifie même l'instauration des périmètres de protection à l'intérieur desquels certaines activités pourraient être interdites. L'article 56 de ce code précise que les règles et décisions d'utilisation de l'espace territorial doivent réduire les risques d'inondations ou les dommages qui pourraient en résulter.</li> <li>- La politique nationale d'assainissement et son plan d'action donnent des orientations en ce qui concerne la gestion des eaux pluviales.</li> <li>- Dans tous ces documents y compris le PAGIRE, la situation de la région de Mumirwa est décrite comme préoccupante.</li> </ul>
<p><b>Livrable du projet par exemple valeur/ avantages/ messages</b></p>	<p>L'étude de faisabilité du projet ainsi que l'étude d'impact environnemental et social.</p> <p>Les travaux de stabilisation des berges et des ravins réalisés conformément à l'étude de faisabilité. Ils permettront aussi de réduire les risques liés aux inondations et à la destruction des infrastructures publiques et privées qui sont une réalité dans notre pays.</p>
<p><b>Portée du</b></p>	<p>Le projet est faisable et couvrira toutes les rivières de la région de Mumirwa.</p>

<b>projet et mise en œuvre possible</b>	
<b>Les activités du projet</b>	<p>Les activités du projet sont groupées dans 4 composantes dont:</p> <p><b>Composante 1 : Stabilisation des berges des rivières de la région de Mumirwa</b>  <b>Activité 1:</b> Mener une étude de faisabilité de la stabilisation des berges des rivières de la région de Mumirwa;  <b>Activité 2:</b> Sensibilisation des acteurs;  <b>Activité 3:</b> Mettre en place les ouvrages de stabilisation des berges des rivières et des ravins de la région de Mumirwa.</p> <p><b>Composante 2 : Mobilisation et sensibilisation de la population autour de la problématique du respect du code de l'eau en ce qui concerne les zones de protection</b>  <b>Activité 1:</b> Elaborer le Guide de sensibilisation sur la problématique foncière;  <b>Activité 2:</b> Campagne de sensibilisation de la population autour de la problématique du respect du code de l'eau en ce qui concerne les zones de protection.</p> <p><b>Composante 3 : Coordination du projet</b>  - Recruter les membres de l'unité de coordination du projet;  - Elaborer un manuel de procédure du projet;  - Elaborer un manuel de suivi évaluation incluant un système intégrée de gestion du projet ainsi que la formation;  - Elaborer un manuel d'exécution du projet.</p>
<b>Echéance</b>	La durée du projet est de 7 ans. Les trois premières années seront consacrées plus aux études et à sensibilisation et les quatre dernières années à la stabilisation.
<b>Budget/ besoins en ressources</b>	Le budget estimatif de la mise en œuvre du projet est de 31.699.200 \$USD qui peut provenir des PTF et la contribution du Gouvernement du Burundi.
<b>Mesure/ Evaluation</b>	L'évaluation portera sur l'exécution des travaux de stabilisation et ce mécanisme sera développé dans l'étude de faisabilité du projet.
<b>Complication possible Défis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Respect limité des zones de protection (zones tampon);</li> <li>- Exiguïté des terres (densité élevée);</li> <li>- Coût élevé des travaux.</li> </ul>
<b>Responsabi-</b>	L'institution de mise en œuvre du projet sera le MINEAGRIE et travaillera en

<b>lité et Coordination</b>	<p>étroite collaboration avec le Ministère des travaux publics et l'Administration locale. De plus, un Comité de pilotage du projet (CPP) sera institué et comprendra les représentants des institutions clés intervenant dans les activités du projet et des représentants des communes bénéficiaires.</p> <p>La Présidence du Comité de Pilotage sera assurée par le MINEAGRIE.</p>
---------------------------------	---

### XV.3. FICHE DE PROJET N°3

**Tableau 18: Projet de création d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau**

<b>Libellés</b>	<b>Commentaires/Descriptions</b>
<b>Introduction/Contexte et justification</b>	<p>Le Projet de création d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau est d'une importance capitale. Car au Burundi, le suivi de la disponibilité des ressources en eau, avec des équipements automatisés en particulier, permet de mettre à la disposition des utilisateurs des données et informations hydrométéorologiques de très bonne qualité. Or, le principal obstacle du suivi de la disponibilité de la ressource eau est la capacité institutionnelle limitée au niveau des équipements et au niveau des ressources humaines. En effet, les équipements de suivi hydrométéorologique sont commandés à l'étranger et sont très chers. Le système de formation au niveau local en matière de suivi de la disponibilité de la ressource eau est presque inexistant pour assurer la formation des cadres et techniciens sur place. Aucun centre de formation approprié n'a été mis en place ni pour les techniciens ni pour les cadres. Sur ce, la mise en place d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau permettant d'avoir en permanence des ressources humaines suffisantes et formées localement serait un des moyens de mettre en œuvre ce projet.</p>
<b>Objectif global</b>	Rendre disponible l'expertise nationale en matière de suivi de la disponibilité des ressources en eau.
<b>Objectifs spécifiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mise en place des infrastructures pour le centre de formation;</li> <li>-Renforcement des capacités des cadres et techniciens;</li> <li>-Coordination du projet (Gestion du projet).</li> </ul>
<b>Résultats attendus (Quels sont les résultats ? et sont-ils mesurables ?)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une étude de faisabilité de mise en place d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau menée;</li> <li>- Des textes de création du centre de formation spécialisée sur les ressources en eau mis en place;</li> </ul>

Libellés	Commentaires/Descriptions
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les fonds pour la gestion du centre de formation spécialisée sur les ressources en eau mobilisés;</li> <li>- Le centre de formation spécialisée sur les ressources en eau créé et équipé;</li> <li>- Les cadres et techniciens formés localement.</li> </ul>
<b>Relations avec les priorités de développement durable du pays</b>	<p>Des plans nationaux de développement contiennent de nombreuses actions prioritaires de développement durable du pays comme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le Plan d'Actions National d'Adaptation au changement climatique (PANA);</li> <li>- Le Plan d'Actions pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE);</li> <li>- La Stratégie Nationale de l'eau (SNEau);</li> <li>- Politique nationale de l'eau (PNE).</li> </ul> <p>Des institutions de mise en œuvre de ces documents ont été mises en place. Il s'agit pour le secteur des ressources en eau, du Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (MINEAGRIE) qui dispose en son sein d'une Direction Générale de l'Environnement, des Ressources en Eau et de l'Assainissement chargée d'élaborer des politiques de préservation de l'environnement, de la gestion rationnelle des ressources en eau et de l'Assainissement. Par ailleurs, il existe des structures comme l'IGEBU chargé de l'évaluation des ressources en eau de surface et souterraine, en vue de mettre à la disposition des données et informations fiables pour les planificateurs du développement durable, leur permettant de bien répartir l'eau de surface et souterraine en quantité appropriée aux différents usagers.</p>
<b>Livrables du projet (par exemple : valeur, avantages, messages)</b>	<p>Des infrastructures du centre installées et bien équipées dans l'objectif de dispenser les cours d'une façon continue aux cadres et techniciens du pays et de la région.</p>
<b>Portée du projet et mise en œuvre possible</b>	<p>La création d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau de surface et souterraine va s'effectuer sur un des sites du territoire national. L'objectif de l'intervention est de disposer des capacités humaines capables d'évaluer les disponibilités des ressources en eau de surface et souterraine du pays. Cela est réalisable dans la mesure où le Gouvernement du Burundi et les Partenaires Techniques et Financiers potentiels sont directement impliqués dans la création du centre. Une sensibilisation des administratifs du Ministère en charge de l'éducation nationale, du Ministère des finances et du MINEAGRIE suffira à les</p>

Libellés	Commentaires/Descriptions
	mobiliser pour cette action.
<b>Les activités du projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mener une étude de faisabilité de mise en place d'un centre de formation spécialisée sur les ressources en eau de surface et souterraine;</li> <li>2. Mettre en place des textes de création du centre de formation spécialisée sur les ressources en eau de surface et souterraine;</li> <li>3. Créer et équiper le centre de formation spécialisée sur les ressources en eau de surface et souterraine;</li> <li>4. Mobiliser des fonds pour la gestion du centre de formation spécialisée sur les ressources en eau de surface et souterraine;</li> <li>5. Former les cadres et techniciens.</li> </ol>
<b>Echéance</b>	La durée du projet est de 8 ans. Les trois premières années seront consacrées plus aux études et à la formation des formateurs et les cinq dernières années à la mise en place du centre et à la formation au niveau local.
<b>Budget / besoins en ressources</b>	Le budget estimatif de la mise en œuvre du projet est de 2.620.000 USD qui peut provenir des PTF et la contribution du Gouvernement du Burundi.
<b>Mesure / évaluation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nombre d'infrastructures mises en place;</li> <li>-Nombre de cadres et techniciens formés;</li> <li>-Maquette de formation disponible.</li> </ul>
<b>Complications possibles / défis</b>	Difficultés de mobilisation des financements
<b>Responsabilité et coordination</b>	MINEAGRIE, IGEBU, DGEREA



## **XVI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

### **XVI.1. Eaux souterraines**

Le projet de réalisation des forages à Gitega, Rumonge et le Mosso (Gihofi et Kinyinya) a grandement contribué à la connaissance géologique et hydrogéologique de ces trois zones.

À Gitega, les investigations ont été limitées au champ captant de la REGIDESO avec l'objectif d'y réaliser des piézomètres pour la gestion de ce champ captant. Les pompages d'essai ont montré qu'on se trouvait dans un milieu extrêmement faillé, avec une nappe constituée probablement de plusieurs blocs, pas nécessairement en liaison hydrodynamique comme l'ont montré les deux piézomètres Gi-Pz01 et Gi-Pz03 sans aucune relation hydraulique bien que distant de 80m seulement. Les trois piézomètres, idéalement positionnés, sont d'une importance capitale pour suivre l'évolution de ce champ captant, dont la variabilité du niveau de la nappe dépend beaucoup de l'exploitation de la ressource dans les forages.

À Rumonge, trouver de l'eau exempte de Fer dans la nappe principale des alluvions semble une utopie. Cependant, les travaux du présent projet (PGRES) ont montré qu'en se rapprochant de très près des affleurements à l'Est de la plaine, le Fer y était en quantité acceptable (1.8mg/l) en comparaison avec le centre et l'ouest de la plaine où les teneurs sont de 10mg/l minimum. Une tentative de recherche d'une nappe profonde a presque réussi après avoir traversé 80m d'argile sous la nappe principale (très riche en fer) au Ru-pzo4.

Dans le Mosso, la géologie essentiellement composée par des calcaires a montré de potentialités en eau souterraine. Cette ressource peut être utilisée dans plusieurs secteurs si elle est exploitée.

Le suivi tant quantitatif que qualitatif de l'eau souterraine dans ces régions va continuer et va être étendu dans les autres coins du pays pour une bonne gestion durable de la ressource.

Des défis il y en a, notamment:

- Manque du personnel suffisant et qualifié en hydrogéologie;
- Manque du budget pour la réalisation de plus d'ouvrages hydrogéologiques;
- Manque d'entreprise de forage bien outillée pour la réalisation d'ouvrages (forages).

- Manque d'une structure de réglementation de l'exécution des travaux de forage au Burundi, car il y a des ONG et des privés qui se lancent dans l'exécution des forages sans en avoir les capacités requises.

## **XVI.2. Eaux superficielles**

L'étude de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur des ressources en eau a conclu sur l'existence d'une vulnérabilité de ces ressources au Burundi.

Cette vulnérabilité se traduit en dérèglement dans le comportement des paramètres hydroclimatiques comme les précipitations et les écoulements dans les cours d'eau et lacs.

La rupture de l'équilibre écologique due à ces changements va entraîner l'érosion et des glissements de terrain sur les collines et des inondations dans les bas fonds dans certaines régions du pays et pour une certaine période de l'année, tandis qu'elle provoquera un stress hydrique dans d'autres régions surtout celles de l'Est.

D'ici 2050, si le taux de croissance démographique actuel se maintient, il devra y avoir un déséquilibre entre les disponibilités en eau de surface et la demande en cette ressource. Ce déséquilibre entraînera nécessairement une concurrence accrue dans l'exploitation des ressources en eau souterraines dont les recherches sont en leur début et qui sont encore aujourd'hui non polluées.

La présente étude a proposé un plan d'actions stratégique d'adaptation aux changements climatiques prévisibles à l'horizon 2050. L'exécution de ce plan exigera des moyens assez importants que le Burundi ne pourra pas disponibiliser tout seul sans l'appui des partenaires techniques et financiers extérieurs.

Toutefois, nous interpellons le gouvernement d'attirer l'attention voulue aux actions d'adaptation proposées dans la présente étude par la mise en œuvre des projets visant la restauration de l'équilibre environnemental et partant assurer la sécurité alimentaire de la population et la promotion de son développement socio-économique intégral.

## **XVII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- 1.** Annuaire hydrologiques du Burundi, IGEBU, 1980-1990.
- 2.** Archives climatiques de l'IGEBU.
- 3.** Deuxième Communication Nationale sur les Changements Climatiques (DCNCC). MEEATU. Bujumbura, Janvier 2010.
- 4.** Comparison of the performance of rainfall-runoff hydrological models in Ruvubu river basin. A case study of Ruvyironza-Nyabaha catchment. MSc Thesis pp. 29. NINDAMUTSA Astère, (2007).
- 5.** Evaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques. Manuel du formateur. Bujumbura, Février 2018.
- 6.** Etude de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques. Secteur des ressources en eau. NDORIMANA L, NTUNGUMBURANYE G, Avril 2001.
- 7.** Etude de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques. Secteur des ressources en eau. Rapport définitif. NTUNGUMBURANYE G, NINDAMUTSA A. Septembre 2008.
- 8.** Evaluation de la vulnérabilité du secteur des ressources en eau et actions prioritaires d'adaptation aux changements climatiques. SINARINZI E, Mars 2006.
- 9.** Handbook of Applied Hydrology. Ven Te Chow, Mc Graw-Hill Book Company, USA, 1964.
- 10.** Handbook on methods for climate change. Impacts assessment and adaptation.
- 11.** Hydrologie de l'Ingénieur, G. Réménieras, Eyrolles, 1980.
- 12.** IPCC Technical Guidelines for assessing climate change. Impacts and

adaptation.

- 13.** Nouvelles du climat mondial N° 32. Quatrième Rapport d'évaluation du GIEC, Janvier 2008.
- 14.** Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques (PANA). Ministère de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de l'Environnement. Bujumbura, Janvier 2007.
- 15.** Plan Directeur national de l'eau, Rapport de Synthèse, Ministère de l'Energie et des Mines, 1998.
- 16.** Plan d'Actions Stratégiques pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau du Burundi – PAGIRE, Volume II, Tome 2, Fiches de projets. MEEATU. Bujumbura, Décembre 2009
- 17.** Politique Nationale de l'eau. Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme (MEEATU). Bujumbura, Décembre 2009
- 18.** Réflexions sur la rétention des eaux pluviales au Burundi. Rapport de la Commission. MATE, Octobre 2000.
- 19.** Répertoire des Bassins hydrologiques du Burundi, IGEBU, 1988.
- 20.** République du Burundi, CCNUCC, Première Communication Nationale, Août 2001.
- 21.** Stratégies d'adaptation aux changements climatiques. Rapport rédigé pour le GIEC par le groupe de travail III, OMM, PNUE, Juin 1990.
- 22.** Stratégie Nationale de l'Eau 2011-2020. Version actualisée, 2014.

## **XVIII. PHOTOGRAPHIES**



**Développement d'un piézomètre Gf-F1bis à Gihofi**



Photographie de la station hydrologique  
automatique de la Basse Murembwe