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

Analyse de l’effet d’adaptation des maïsiculteurs à la sècheresse sur la production au Burundi

Ngendabanyikwa, Athanase

2023-09
UB, Faculté des sciences économiques et administratives
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/433

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

MASTER EN ECONOMIE RURALE, SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE

ANALYSE DE L'EFFET D'ADAPTATION DES MAISCULTEURS A LA SECHERESSE SUR LA PRODUCTION AU BURUNDI

Par :

NGENDABANYIKWA Athanase

Mémoire

présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention d'un diplôme de master en Economie Rurale, Sociale et Environnementale

Option : Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles.

==========

Sous la direction de:

Pr. Diomède MANIRAKIZA

Bujumbura, Septembre 2023

MEMBRES DU JURY

Président : Pr. Willy Marcel NDAYITWAYEKO

Directeur : Pr. Diomède MANIRAKIZA

Secrétaire : Dr. Théogène NSENGIYUMVA

DEDICACES

Je rends grâce au Bon Dieu et dédie ce mémoire, enfin finalisé, à tous ceux qui m'ont soutenu, particulièrement :

A Mes Parents

A mes frères et sœurs, neveux

A tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé.

NGENDABANYIKWA Athanase

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de recherche, nous avons l'obligation de devoir remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, directement ou indirectement, m'ont apporté le soutien et le suivi nécessaire jusqu'à son aboutissement. Que toutes ces personnes trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Nous tenons à remercier personnellement le professeur MANIRAKIZA Diomède qui a encadré ce mémoire par sa rigueur scientifique, ses qualités pédagogiques, nous ont permis d'améliorer la qualité de cette recherche

Vous êtes nombreux à m'avoir soutenu, au risque d'en oublier certains, je m'abstiens à citer vos noms. De manière exceptionnelle je cite la famille NIJIMBERE Etienne pour son soutien au cours de notre parcours académique.

A mes amis(es) et à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

NGENDABANYIKWA Athanase

RESUME

Au Burundi 90% de la population vivent de l'agriculture, le secteur comptant pour 39,6% du PIB, 84% de l'emploi et 95% de l'approvisionnement alimentaire. Le changement climatique entrave la production agricole qui dépend du climat. Les principales manifestations du changement climatique au Burundi sont la sécheresse, les inondations, les glissements de terrain, les grêles. Notre travail se propose d'analyser les effets d'adaptation des maïsiculteurs à la sécheresse sur la production de maïs. Pour arriver à nos objectifs nous avons utilisé les données de l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des ménages Burundais(EICVMB), l'analyse descriptive a été utilisée pour décrire les principaux risques climatiques auxquels font face les ménages burundais ainsi que les stratégies d'adaptation utilisées. La régression logistique a été utilisée pour analyser les déterminants d'adaptation des maïsiculteurs à la sécheresse et la score de propension également utilisée pour analyser l'effet d'adaptation des maïsiculteurs à la sécheresse. Les résultats trouvés ont montré que 71,15% des ménages burundais ont subi le choc lié à la sécheresse. Les résultats du modèle logit ont montré que les ménages agricoles qui ont subi la sécheresse s'adaptent à la sécheresse augmentent la probabilité de s'adapter de 0.0365733. De même les résultats du modèle logit ont montré que lorsque la taille de ménages augmente d'une unité la probabilité de s'adapter diminue de 0.0084933. Il en est de mémé pour la variable éducation, les résultats du modèle logit ont montré que la probabilité d'adaptation augmente de 0.0259614 les maïsiculteurs du niveau fondamental. Elle augmente également de 0.0822163 pour ceux ayant le niveau post fondamental. Il en est de même pour les ménages qui leur niveau universitaire, la probabilité de s'adapter augmente de 0.0822163. Pour la variable accès au crédit, la probabilité de s'adapter augmente de 0.1094634. En fin les résultats par modélisation du score de propension ont montré que l'impact ou bénéfice de l'adaptation est de 42.2538875kg de maïs.

Les résultats de ce travail pourront éclairer les décideurs politiques sur la manière dont ils puissent orienter les politiques agricoles en adaptant l'agriculture aux changements climatiques.

Mots clés : Changement climatique, Sécheresse

ABSTRACT

In Burundi 90% of the population makes a living from agriculture, the sector accounting for 39.6% of GDP, 84% of employment and 95% of the food supply. Climate change hampers climate-dependent agricultural production. The main manifestations of climate change in Burundi are drought, floods, landslides and hail. Our work aims to analyze the effects of adaptation of corn farmers to drought on corn production. To achieve our objectives we used data from the Integrated Survey on the Living Conditions of Burundian Households (EICVMB), the descriptive analysis was used to describe the main climate risks facing Burundian households as well as the strategies adaptations used. Logistic regression was used to analyze the determinants of maize farmers' adaptation to drought and the propensity score was also used to analyze the effect of maize farmers' adaptation to drought. The results found showed that 71.15% of Burundian households suffered the shock linked to drought. The results of the logit model showed that agricultural households that experienced drought adapt to drought increase the probability of adapting by 0.0365733. Similarly, the results of the logit model showed that when household size increases by one unit, the probability of adapting decreases by 0.0084933. The same is true for the education variable, the results of the logit model showed that the probability of adaptation increases by 0.0259614 the maize farmers of the fundamental level. It also increases by 0.0822163 for those with the post-basic level. The same is true for households with their university level, the probability of adapting increases by 0.0822163. For the access to credit variable, the probability of adapting increases by 0.1094634. Finally, the results by propensity score modeling showed that the impact or benefit of adaptation is 42.2538875 kg of maize. The results of this work may inform policy makers on how they can guide agricultural policies by adapting agriculture to climate change.
Keywords: Climate change, Drought

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY ..... **i**
DEDICACES ..... **ii**
REMERCIEMENTS ..... **iii**
RESUME ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TABLE DES MATIERES ..... **vi**
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES ..... **ix**
SIGLES ET ABRÉVIATIONS ..... **x**
AVANT-PROPOS ..... **xii**
0. INTRODUCTION GENERALE **1**
0.1. Contexte et justification 1
0.2. Contexte du changement climatique et ses impacts 2
0.2.1. Changement climatique à l'échelle mondiale 2
0.2.2. Vulnérabilité au changement climatique des pays en développement 3
0.3. Problématique 8
0.4. Objectifs de la recherche 10
0.4.1. Objectif général 10
0.4.2. Objectifs spécifiques 11
0.5. Hypothèses de l'étude 11
0.6. Importance de l'étude 11
0.7. Délimitation de l'étude 11
0.8. Organisation de l'étude 12
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE **13**
I.1. Revue théorique 13
I.1.1. Clarification de quelques concepts 13
I.1.1.1. Changements climatiques 13
I.1.1.2. Chocs 13
I.1.1.3. Chocs climatique 14
I.1.1.4. Adaptation au changement climatique 14
I.1.1.5. Variabilité climatique 15
I.1.1.6. La sécheresse 16
I.1.1.7. Impact 16
I.1.1.8. Vulnérabilité du secteur agricole 16
I.1.2. Les approches théoriques utilisées dans la littérature sur l'analyse de l'adoption des stratégies d'adaptation 18

I.1.2.1. Théorie de l'action raisonnée 19
I.1.2.2. Théorie du choix Rationnel 19
I.1.2.3. Théorie du comportement adaptatif du producteur en agriculture 20
I.1.2.4. Théorie de l'évaluation d'impact 20
I.1.2.5. Approche d'évaluation contingente 21
I.1.2.6. Théorie des comportements interpersonnels 22
I.1.2.7. Théorie du comportement planifié 22
I.2. Revue empirique 23
Conclusion du premier chapitre 28
CHAPITRE II. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNEES 29
II.1. Source de données 29
II.2. Présentation des données d'analyse 29
II.3. Contexte et Justification de l'EICVMB 29
II.4. Objectifs de l'enquête 30
II.5. Méthodes d'analyse des données 31
II.5.1. Identification des variables 31
II.5.2. Variable dépendante 32
II.5.3. Variables indépendantes 32
II.5.4. Outils d'analyse des données 32
II.5.4.1. Approches économétriques empirique d'analyse d'utilité 33
II.5.4.2. Modélisation des déterminants de l'adaptation au choc de la sécheresse 33
II.5.4.3. Test appropriés du modèle économétrique 35
II.5.4.3.1. Test de multicolinéarité 35
II.5.4.3.2. Tests de Hosmer-Lemeshow 35
II.5.4.3.3. Test de bonnes prédictions avec la Surface ROC 35
II.5.4.4. Spécification du modèle 36
II.5.4.5. Procédure d'estimation 37
II.5.4.5.1. Modélisation de l'effet d'adaptation aux chocs climatiques sur la production de maïs 38
II.5.4.5.2. Estimation du score de propension 38
II.5.4.5.3. Définition du chevauchement et du support commun 39
II.5.4.5.4. Tester l'équilibre des scores de propension et des Co variables 39
II.5.4.5.5. L'effet moyen du traitement 41
Conclusion du deuxième chapitre 43
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS 44
III.1. Analyse Descriptive 44
III.1.1 Caractéristiques démographiques et sociodémographiques 47

IV.1.1.1. Tranche d'âge du chef du ménage 47
III.1.1.2. Niveau d'éducation du chef du ménage 48
III.1.2. Caractéristiques institutionnelles 48
III.1.3 Analyse descriptive des variables quantitatives 49
III.1.3.1. Taille du ménage 49
III.1.3.2. Taille du ménage 50
III.1.3.3. Main-d'œuvre 50
III.1.3.4. Quantité des intrants utilisés 51
III.1.3.5. Temps utilisé de la maison à la parcelle 52
III.1.4. Total des animaux 52
III.2. Déterminants d'adaptation au choc de sécheresse 53
III.2.1. Résumé des résultats des tests de spécification du modèle 53
III.2.2. Test de normalité des erreurs 54
III.2.3. Estimation des déterminants d'adaptation à la sécheresse 54
III.2.4. Interprétation des rapports de chances 55
III.2.5. Interprétation des effets marginaux 56
III.2.6. Effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs 57
III.2.7. Délimitation du chevauchement et du support commun 60
III.2.8. Résultats de l'effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs 61
III.2.9. Taux d'adaptation à la sécheresse 62
III.2.10. Discussions des résultats 62
III.2.10.1. Déterminants d'adaptation à la sécheresse 62
III.2.10.2. Effet d'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs 63
III.2.10.3. Taux d'adaptation à la sécheresse 64
Conclusion du troisième chapitre 65
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 69
ANNEXES 73

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux

Tableau 1 : Facteurs de vulnérabilité du secteur agricole 17
Tableau 2 : Impacts de la sécheresse sur certains secteurs clés au Burundi selon la Plan National de lutte contre la sécheresse 18
Tableau 3 : Identification des variables 31
Tableau 4 : Provinces affectées par la sécheresse 44
Tableau 5 : Estimation Logit des déterminants d'adaptation à la sécheresse 55
Tableau 6 : Test de propension et test d'équilibrage des covariances 58
Tableau 7 : Indicateur de la qualité avant et après appariement 58
Tableau 8 : Résultats de l'effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs 61

Figures

Figure 1 : Analyse descriptive du taux d'affectation de la sécheresse 45
Figure 2: Analyse descriptive des stratégies d'adaptation à la sécheresse 46
Figure 3 : Répartitions des ménages selon l'âge du chef du ménage 47
Figure 4 : Répartitions des ménages selon le niveau d'éducation du chef du ménage 48
Figure 5 : Répartition des ménages selon l'accès au crédit 49
Figure 6: Répartition des ménages selon la superficie 49
Figure 7 : Répartition des ménages selon les membres du ménages 50
Figure 8 : Répartition des ménages selon la main-d'œuvre 51
Figure 9 : Répartition des ménages selon les semences et fertilisants 51
Figure 10 : Répartition des ménages agricoles par rapport au temps utilisé 52
Figure 11 : Répartition des ménages selon le nombre d'animaux 53
Figure 12 : Biais standardisé avant et après appariement 59
Figure 13 : Distribution des scores de propension et support commun 60
Figure 14 : Taux d'adaptation des agriculteurs à la sécheresse 62

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ATT : Average Treatment Effect of the Treated
ATU : Average Treatment Effect of the Untreated
AUC : Under area curve
CO2 : Dioxyde de Carbone
EM-DAT : Emergency Events Database
ENAB : Enquete Nationale Agricole du Burundi
ENSNSAB : Enquête Nhjationale sur la Situation Nutritionnelle et la Mortalité du Burundi
FAO : Food and Agriculture Organizations of the United Nations
FAOSTAT : Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
FIDA : Fonds international de développement agricole
GES : Gaz à Effet de Serre
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IAASTD : International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development
IGEBU : Institut Géographique du Burundi
INSBU : Institut National de Statistique du Burundi
IPCC : The Intergovernmental Panel on Climate Change
ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
ISTEEBU : Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi l'Environnement.
MINATTE : Ministère de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de
MV : Maxumun de Vraissemblance
ND-GAIN : Notre Dame Global Adaptation Index
NDMC : National Drought Mitigation Center
ODD : Objectifs du Développement Durable
OMD : Objectifs du Millénaire pour le Développement
ONU : Organisation des Nations Unies
PANA : Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques
PND : Plan National de Développement
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
PSM : Propensity Score Matching
ROC : Receiver Operating Characteristic

TCNCC	: Troisième Communication Nationale sur le Changement Climatique
UNCCD	: United Nations Convention to Combat Desertification
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
UNISDR	: United Nations International Strategy for Disaster Reduction
UNSIPC	: UN/ Stratégie Internationale de Prévention de Catastrophes
USD	: United States dollar
VIF	: Variance inflation factor
ZD	: Zone de dénombrement

AVANT-PROPOS

Ce travail a été effectué dans le cadre de l'obtention d'un diplôme de Master en Economie Rurale, Sociale et de l'Environnement. Spécialité : Economie de l'Environnement et des ressources Naturelles

Le thème de l'étude **« Analyse de l'effet d'adaptation des maïsiculteurs à la sécheresse sur la production au Burundi»** a été choisi afin de mieux examiner l'effet d'adaptation à la sècheresse sur la production. Il a été question de constater la différence entre la production de maïs réalisée par les maïsiculteurs qui se sont adaptés et celle réalisée par ceux qui ont refusé de s'adapter.

Pour bien réaliser cette étude les données primaires de l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des ménages Burundais(EICVMB) ont été utilisées mais aussi des ouvrages généraux, des rapports ainsi que des revues documentaires ont été consultés.

En fin, Les résultats de ce travail montrent que l'adaptation à la sécheresse par les maïsiculteurs burundais présente une importance capitale dans l'accroissement de la production de maïs des adaptateurs.

0. INTRODUCTION GENERALE

Ce chapitre est consacré à la présentation du contexte général de l'agriculture dans un contexte de changement climatique, les coûts de chocs climatiques identifiés. La problématique et les questions de recherche, les objectifs de recherche et les hypothèses, Intérêt de recherche, Justification du choix du sujet, délimitation de l'étude et son organisation sont présentés dans ce chapitre.

0.1. Contexte et justification

Le maïs est produit sur près de 100 millions d'hectares dans les pays en développement, près de 70 % de la production totale de maïs dans le monde en développement provenant de pays à revenu faible ou intermédiaire inférieur (FAOSTAT, 2010).

D'ici 2050, la demande de maïs doublera dans le monde en développement, et le maïs devrait devenir la culture la plus productive au monde et dans le monde en développement d'ici 2025 (Rosegrant et al., 2008). Dans de grandes parties de l'Afrique, le maïs est la principale culture de base; représentant en moyenne 32 % des calories consommées en Afrique orientale et australe, atteignant 51 % dans certains pays. Heisey et Edmeades (1999) ont estimé qu'un quart de la superficie mondiale de maïs est affectée par la sécheresse au cours d'une année donnée.

Parmi les contraintes supplémentaires entraînant des pertes de rendement et économiques importantes chaque année, citons la faible fertilité des sols, les ravageurs et les maladies. Il est difficile de donner un chiffre précis sur les pertes de rendement combinées du maïs dues à ces stress.

Cependant, il est susceptible d'être étendu. Les rendements du maïs restent faibles et très variables d'une année à l'autre à travers l'Afrique subsaharienne à 1,6 t ha1, juste assez pour atteindre l'autosuffisance dans de nombreuses régions (Ba¨nziger et Diallo, 2001 ; FAOSTAT, 2010).

La population mondiale devrait dépasser les 9 milliards d'ici 2050, la croissance démographique étant la plus élevée dans les pays en développement. La récolte aux niveaux actuels de productivité et de croissance démographique sera bien en deçà des demandes futures. Les projections de changement climatique exacerberont davantage la capacité d'assurer la sécurité alimentaire dans de nombreuses régions productrices de maïs. Le développement de matériel génétique amélioré pour répondre aux besoins des générations futures à la lumière du changement climatique et de la croissance démographique est de la plus haute importance (Easterling et al., 2007).

Au Burundi le maïs est la céréale la plus cultivée à travers tout le pays suivi par le riz, le sorgho, le blé et l'éleusine.

La recherche sur le maïs au Burundi existe depuis 1929 et plusieurs variétés d'origines diverses furent introduites et évaluées dans les différentes zones agro-écologiques.

Le maïs constitue la première céréale au Burundi tant au point de vue production totale annuelle que superficie emblavée. Il est pratiquement cultivé partout, surtout dans la zone de haute altitude où il constitue l'aliment de base pour la population. Cependant, le rendement en grain est très faible au niveau des agriculteurs burundais (moins de 1 t/ha) par rapport à celui obtenu dans les différentes Stations de Recherche de l'ISABU (3 t/ha).

Malgré l'importance du maïs dans le secteur agricole, les changements climatiques posent des problèmes de production. Par exemple, en raison de précipitations irrégulières, les agriculteurs sont confrontés au risque d'une mauvaise récolte totale. Alternativement, des quantités insuffisantes de précipitations à certains stades de la saison de croissance affectent négativement la croissance des cultures et réduisent finalement le rendement total des cultures (MacCarthy et al., 2017).

0.2. Contexte du changement climatique et ses impacts

0.2.1. Changement climatique à l'échelle mondiale

Plusieurs études ont montré que le changement climatique est en cours et devrait s'accentuer au cours des décennies à venir (Stern, 2006 ; IPCC, 2007b ; IPCC, 2014). En effet, les concentrations de dioxyde de carbone ont augmenté de plus de 40 % au cours des 200 dernières années et celles du méthane représentent plus du double du niveau préindustriel (National Aeronautics and Space Administration, 2017 ; Siegenthaler et al., 2005 ; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2006 ; Spahni et al., 2005). La température moyenne mondiale a augmenté de 1,1 °C depuis 1880 et si la même tendance se poursuit, la température moyenne de la surface du globe pourrait augmenter de 3,7 à 4,8 °C au cours du XXIe siècle, alors qu'elle a augmenté d'environ 0,85 °C de 1880 à 2012 (IPCC, 2014). La NASA (2005) souligne que les températures moyennes ont augmenté de 0,8 °C au cours du siècle dernier. L'IPCC (2007) prédit une augmentation de la température moyenne à la surface du globe entre 0,3 °C et 4,8 °C en 2100 dans le monde. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2008) prévoit d'ici 2050 un réchauffement moyen de la surface du globe de 1,1 °C à 6,4 °C, une élévation du niveau de la mer entre 18 cm et 59 cm, des vagues de chaleur extrêmes, des pluies abondantes et des ouragans plus intenses.

Field et al. (2012) ont noté que depuis 1950, le nombre de jours et de nuits chauds a augmenté et prévoient que la longueur, la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur augmenteront, alors que les précipitations seront de plus en plus variables.

Le changement climatique est global et n'épargne aucun pays. Il est considéré comme l'une des plus grandes menaces des moyens d'existence de la population mondiale, en particulier celle vivant dans les pays en développement (IPCC, 2014a ; Stern, 2006 ; IPCC, 2007b). Maon et al. (2009) soulignent qu'à l'échelle mondiale, les catastrophes liées au changement climatique sont passées de 125 à 500 par an entre 1980 et 2008. Selon UNISDR (2015), entre 1995 et 2015, les catastrophes liées au changement climatique ont provoqué la mort de 606 000 personnes, affecté 4,1 milliards de personnes et occasionné des pertes économiques évaluées entre 250 et 300 milliards de dollars EU dans le monde.

Le plus inquiétant, est qu'il est prédit que dans le moyen terme, le changement climatique contribuera à l'augmentation de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire de la population mondiale à travers l'accentuation de la dégradation de l'environnement, la surexploitation des ressources naturelles, l'intensification des catastrophes naturelles (United Nations Environment Programme, 2016 ; Olson et al., 2014 ; United Nations Department of Economic and Social Affrairs, 2017 et 2015). Un rapport du Pentagone (Schwartz et Randall, 2003) souligne que le changement climatique mondial pourrait entraîner des sécheresses catastrophiques, des famines et des émeutes. D'autres auteurs prédisent que les conflits et les guerres futures pourraient être liés au changement climatique (Klare, 2001 ; Renner, 2002).

0.2.2. Vulnérabilité au changement climatique des pays en développement

Il est largement reconnu que les pays en développement demeurent les plus vulnérables au changement climatique (Arnell, 1999 ; Wit et Stankiewicz, 2006 ; IPCC, 2007 ; Reid et al., 2007 ; Di Falco, 2014), alors qu'ils ne contribuent qu'à 10 % aux émissions de GES. Cette vulnérabilité pourrait être expliquée, d'une part, par la pauvreté et le manque de capitaux pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation et d'atténuation au changement climatique (Fischer et al., 2005 ; Maskrey et al., 2007 ; Di Falco, 2014) et, d'autre part, par la forte dépendance de l'économie de ces pays au secteur primaire (agriculture, élevage, pêche, foresterie, etc.), qui est très sensible aux conditions climatiques sévères et demeure encore traditionnel.

En outre, ces pays sont faiblement connectés aux marchés mondiaux (Morton, 2007 ; Di Falco et Chavas, 2009 ; Di Falco, 2014).

Des études ont montré que sans stratégie d'adaptation, le changement climatique cause beaucoup de préjudices sur l'agriculture, mais ces préjudices peuvent être atténués à travers la mise en œuvre de stratégies d'adaptation au niveau des paysans (Downing, 1991 ; Mendelsohn et Dinar, 1999 ; Smit et Skinner, 2002). Dans le même cadre, Gbetibouo (2009) souligne que le degré auquel le secteur agricole est affecté par le changement climatique dépend des capacités d'adaptation des paysans.

Le dernier rapport mondial sur les crises alimentaires de l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture (2018) souligne que les catastrophes naturelles liées au changement climatique ont déclenché des crises alimentaires dans 23 pays avec deux tiers de ces pays se trouvant en Afrique, où 32 millions de personnes vivaient déjà une situation d'insécurité alimentaire aiguë. Déjà en 2005, la FAO (2005a) soulignait que le changement climatique pourrait faire perdre aux pays en développement près de 280 millions de tonnes de production potentielle de céréales. Dans le même sens, la Banque Mondiale (World Bank, 2018) souligne que si des actions concrètes de développement et sur le climat ne sont pas faites d'ici 2050, environ 143 millions de personnes vivant en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et en Amérique latine vont migrer à cause du changement climatique.

De l'avis de plusieurs spécialistes, à cause du changement climatique, la situation mondiale de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire risque de s'aggraver, particulièrement dans les pays d'Afrique Subsaharienne (United Nations Convention to Combat Désertification, 2012 ; Jones et al., 2013 ; UNCCD, 2013). Il est prédit que le changement climatique va réduire profondément la productivité agricole (Rosenzweig et Parry, 1994 ; Cline, 2007 ; Parry et al., 2005). Plusieurs modèles climatiques convergent sur des scénarii d'augmentation des températures en milieu rural qui impacteront négativement sur la production et la productivité agricole (Dinar et al., 2008). Le quatrième rapport de IPCC (2007) souligne que dans les pays à basse altitude et dans les zones tropicales sèches, une légère hausse des températures entrainera une baisse significative de la productivité agricole.De plus, les pays africains manquent de ressources financières pour faire face au changement climatique (Di Falco et Chavas, 2009 ; IAASTD, 2009 ; World Resource Institute, 2016 ; Hallegatte et al., 2017 ; ND-GAIN, 2017 ; World Bank, 2018). Parallèlement, leurs moyens de subsistance dépendent principalement de l'agriculture et de l'élevage qui sont très sensibles au changement climatique. En effet, dans la sous-région africaine, l'agriculture et l'élevage emploient plus de 70 % de la population ; ils contribuent, ainsi, à peu près, entre 20 à 40 % du Produit intérieur brut et 55 % des revenus d'exportations (Barios et al., 2008).

De plus, la croissance galopante de la population mondiale qui atteindrait 9,3 milliards en 2050 nécessite une augmentation de la production agricole de 70 %, de lait de 80 % et de viande de 103 % pour satisfaire les besoins alimentaires de cette population (United Nations, 2011).

Cette situation préoccupe de plus en plus la communauté internationale, qui fait face à un double défi à savoir : (i) éliminer la faim et la pauvreté et (ii) réduire les effets négatifs actuels et potentiels du changement climatique. De l'avis de la FAO (2016), ce double défi est un impératif moral, car les communautés et les pays les plus pauvres qui souffrent le plus des effets négatifs du changement climatique contribuent moins aux émissions de GES.

C'est dans ce cadre que la communauté internationale a pris la responsabilité de construire un avenir durable en s'attaquant en même temps à l'insécurité alimentaire, la pauvreté et au changement climatique. À ce titre, les Objectifs de Développement Durable1 (ODD) et l'Accord de Paris sur le changement climatique ont été élaborés en 2015 et ratifiés en 2016. Ainsi, plusieurs pays ont intégré la dimension adaptation au changement climatique dans les politiques nationales de lutte contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire (Christiansen et al., 2011 ; Meybeck et al., 2012 ; FAO, 2016 ; UNFCCC, 2016a).

Dans les pays d'Afrique Subsaharienne, il est prédit que le changement climatique entrainera la récurrence des sécheresses et de la désertification (IPCC, 2007 ; IPCC, 2014). De plus, les prévisions indiquent que le changement climatique devrait entrainer une baisse de la productivité agricole et animale et une réduction drastique de la sécurité alimentaire et des revenus (Rosenzweig et Parry, 1994 ; Parry et al., 2005; FAO, 2006 ; IPCC, 2007)

L'élevage extensif serait aussi négativement affecté par le changement climatique à cause de sa dépendance aux pâturages et à l'eau pour l'alimentation du cheptel. Les changements climatiques peuvent affecter l'élevage directement en influant sur la productivité du cheptel et indirectement en agissant sur l'environnement (Adams et al., 1999 ; Calvosa et al., 2010). Les impacts potentiels du changement climatique sur le cheptel comprennent les changements dans la production et la qualité des cultures fourragères et des pâturages (Thornton et al., 2009; FIDA 2010; Chapman et al., 2012; Polley et al., 2013), dans la disponibilité de l'eau (Thornton et al., 2009; Nardone et al., 2010 ;Henry et al., 2012), dans la croissance animale et la production de lait et viande (Thornton et al., 2009 ; Nardone et al., 2010 ; Henry et al., 2012), les maladies (Thornton et al., 2009 ; Nardone et al., 2010), dans la reproduction (Nardone et al., 2010) et dans la biodiversité (Reynolds et al., 2010).

Les impacts futurs du changement climatique modifieront le schéma de ces événements extrêmes, mais conduiront également à des changements liés à l'évolution de la température moyenne, aux précipitations annuelles et saisonnières, etc. qui auront également des effets économiques significatifs.

Au Burundi l'agriculture est l'épine et pierre angulaire de l'économie. Elle est dominée par l'agriculture de substance caractérisée par une très forte population agricole (plus de 90% de la population totale), un émiettement des exploitations (moyenne inférieure à 0,5 ha) et une très faible productivité et dont seulement 15% de la production est vendue sur le marché. L'accès aux intrants tels que les engrais et les pesticides est également très limité. 43% des terres agricoles sont des cultures permanentes. La situation de base , c'est –à- dire avec la variabilité climatique les rendements agricoles obtenus n'arrivent pas à satisfaire les besoins alimentaires de la population burundaise. De plus sept risques de catastrophe naturels ,liés à des facteurs environnementaux :la sécheresse, coulée de boue et glissements de terrain, tremblement de terre, feux de forêt. Le pays est également exposé à des risques biologiques, tels que les épidémies, les pandémies et la contamination par les espèces invasives.

Selon les données 2015 de l'EM-DAT, entre 1992 et 2015, 298 Burundais ont trouvé la mort dans des catastrophes naturelles : sécheresses, orages, inondations, glissements de terrain et tremblements de terre. La moyenne mobile sur dix ans des catastrophes naturelles au Burundi indique deux événements et 27 morts par an. La Banque mondiale signale que 96,6 % des habitants du Burundi, qui vivent sur 96,3 % de la superficie totale du pays, sont exposés à un risque de mortalité relativement élevé lié à deux types de menaces ou plus (Banque mondiale 2005).La sécheresse à elle seule a contribué 44,7%. L'analyse de la stabilité de maïs sur une période allant de 1999 à 2010 montre que en 1999 la production en tonnes au Burundi était estimée à 128706 et celle de 2000 était estimée à 117840. La perte enregistrée est 5474 tonnes soit une perte de 4%. En 2006 la production était estimée 116825 tonnes et la perte était de 6487tonnes soit une de 5%.En 2007, la production était de 115507tonnes et la perte était de 7805tonnes soit une perte de 6%.la production a régressé également en 2008 où la production était de 117681tonnes avec une perte de 5531 soit une perte une perte de 5%. Il en est de même en 2009 où la production était de 120379 tonnes avec une perte 2933 tonnes soit une perte de 2%.

Selon l'ONU-SIPC (Erian etColl.; 2013) les cultures ont souffert de cinq épisodes de sécheresse modérée (manioc) et de cinq petites sécheresses (sorgho et maïs) entre 1999 et 2011, affectant 0,15 % de la production agricole totale. Les dommages économiques provoqués par les sécheresses de 1999 à 2011 sont estimés à 239 millions USD, soit 20 millions USD par an.

Le coût économique médian des catastrophes naturelles au Burundi, tous risques confondus, est estimé à 23,3 millions USD par an, dont 3,3 millions liés aux inondations et 20 millions USD aux sécheresses (soit 0,7 % du PIB en 2014). Il s'agit là d'une première estimation s'appuyant sur une évaluation du risque, une analyse de la vulnérabilité et les coûts des pertes de production agricole, et basée sur les données secondaires de l'UNISDR (2013,2015). Des sécheresses récurrentes ont déjà frappé la majeure partie du nord du Burundi. Dans cette partie du pays, fin 2005 début 2006, la sécheresse a été déclarée catastrophe nationale et a coûté selon les informations officielles une somme colossale de 71 milliards de francs burundais (environ 45,8 millions USD) en guise de solidarité nationale. Les déplacements massifs des populations burundaises parties au Rwanda et en Tanzanie pour survivre étaient une conséquence d'un fait tout à fait nouveau au Burundi.

Parmi les événements climatiques extrêmes qu'a connus le Burundi, figurent les sécheresses météorologiques et les sécheresses agro-météorologiques prolongées, dans certaines régions du pays provoquant de lourdes conséquences sur la vie socio-économique des populations. Des études ont montré que le pays a connu un déficit pluviométrique dans les années 1943-1944 due à une grande sécheresse qui a causé la famine dite « manori ». Selon Heltz et Bidou (1994), on attribue la chute de la production agricole de 1943-1944 à la sécheresse exceptionnelle qui s'étendit sur tout le pays. Selon l'Institut géographique du Burundi (IGEBU, 2019), des phases humides des décennies 1936-1945, 1946-1955, 1956-1965 et 1966-1975 ont été suivies par la succession des décennies sèches (1976-1985, 1986-1995 et1996-2005).

Selon Abayisenga et al. (2018), l'analyse des distributions temporelles des précipitations montre une intensification des saisons sèches qui entraîne des sécheresses plus graves.

0.3. Problématique

Dans l'agriculture mondiale, le maïs est caractérisée par son indifférence à la photopériode et occupe la 3ème place après par sa production après le blé et le riz.

Cette culture entre dans l'alimentation humaine et du bétail. D'une manière générale, le maïs devient plus important quand la pluviométrie augmente. Ce qui veut dire que le maïs est une plante gourmande en eau. Le maïs résiste moins à la sécheresse et reprend difficilement après un stress qui se manifeste par le jaunissement, le flétrissement et le recroquevillent des feuilles.

En 2015, malgré les progrès accomplis par les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), le monde comptait encore 836 millions de personnes vivant dans l'extrême pauvreté et près de 795 millions de personnes sous-alimentées avec plus de 80 % vivant en Afrique Subsaharienne et en Asie du Sud (Nations Unies, 2015).

Dans un même ordre d'idée, en 2007, le gouvernement du Burundi a mis en place un Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques(PANA) pour faire face aux effets néfastes de changement climatique que le Burundi est soumis actuellement et de promouvoir la capacité d'adaptation des communautés burundaises. En plus de ce plan d'autres documents en lien avec la planification en matière de lutte contre la sécheresse ont vu le jour :le Plan National de Développement du Burundi(PND Burundi, 2018-2027) ;Vision 2025 ; Politique Nationale sur le changement Climatique,2013 ; Lettre de politique foncière, 2008 ; Politique Nationale de Gestion des Ressources en Eau, 2009 ; Politique forestière nationale , 2012 ; Lettre de politique énergétique, 2011 ; Politique Nationale Genre du Burundi,2012 ;Politique Nationale de Santé(2005-2015) ; Stratégie Nationale et Plan d'Action de Lutte Contre la dégradation des Sols(SNPA-LCD),2011 ; Stratégie Nationale de Réduction de Risques de Catastrophes 2017-2025 et Plan d'Action 2018-2021 ; Stratégie nationale de l'eau 2011-2020, 2012, Stratégie Nationale et Plan d'Action en matière de Diversité Biologique,2013 ; Stratégie Nationale et Plan d'Actions sur le changement Climatique, 2013 ; Stratégie nationale d'adaptation et plan d'actions face aux futurs impacts des changements climatiques, 2019 ; Stratégie Nationale et Plan d4action REED+Burundi, 2019 ; Stratégie nationale de communication en matière d'adaptation au changement climatique d'alerte précoce face aux événements climatiques extrêmes(2014-2018),2014 ; Plan National d'Investissement Agricole (PNIA, 2018-2022),2017 ; Programme de définition des cibles de neutralité en matière de dégradation des terres(NDT), 2019 ; Programme

d'Action National de Lutte contre la Dégradation des terres(PAN-LCD),2005 : Plan Stratégique National de Sécurité alimentaire et Nutrition 2014-2017,(PSNSAN),2014, Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau(PAGIRE) ; Communications Nationales sur les Changements Climatiques.

Cela étant, la faible adaptation de communautés burundaise les expose à une vulnérabilité grandissante. La synthèse des études de vulnérabilité montre que tous les secteurs vitaux de l'économie nationale sont affectés par les phénomènes de variabilité et changements climatiques.

Au niveau de l'agriculture et de l'élevage, la vulnérabilité se manifeste à travers les famines répétitives qui sévissent dans les régions du Nord-Est et de l'Est du pays. Les chocs climatiques ont toujours comme.

En moyenne, 30% des chocs sont liés à des risques naturels et le risque naturel qui affecte beaucoup la communauté burundaise reste la sécheresse avec un taux d'affectation de 71,15%.

Toujours au Burundi, la population agricole est d'environ 90% selon les résultats de l'ENAB 2019.

Les risques climatiques ont eu des répercussions sur la vie de l'homme et de son environnement : périodes de famines prolongées liées aux perturbations climatiques qui restent gravées da la mémoire des burundais (Bigirimana et al., 1992, et 1999, PNUD, 2005). Il s'agit notamment des famines des années 1917,1923, 1931,1933, 1943 et 1958 dans tout le pays et 1989-1990 dans les régions de Bujumbura Rural, Bururi, Gitega et Muramvya, et 2000-2005 dans la région du Nord-Est du pays. Certaines de ces famines sont d'origine climatique (sécheresse, excès de pluies, grêle), alors que d'autres font suite à des calamités telles que l'invasion des insectes déprédateurs notamment les sauterelles et les criquets migrateurs.

L'adaptation au changement climatique est reconnue comme l'une des principales options politiques pour faire face au changement climatique, notamment dans les pays en voie de développement (Smith et Lenhart, 1996 ; Brooks et Adger, 2005 ; Deressa et al., 2009 ; Gbetibouom, 2009 ; Di Falco et al., 2011). Elle est considérée comme une option prioritaire pour réduire les effets négatifs du changement climatique sur le secteur agricole afin de contribuer à améliorer la sécurité alimentaire et les revenus des ménages ruraux au niveau des pays en développement. (FAO, 2009b; Van de Giesen et al., 2010; Vermeulen et al., 2012)

Selon la troisième communication sur le changement climatique, l'analyse de l'évolution de l'agriculture en fonction des précipitations montre que la production de maïs a régressé suite à la variabilité de paramètres climatique sur une décennie de 2005 à 2017.Il ressort qu'en 2006 la production de maïs était de 123 tonnes et réduite à 117 tonnes soit une réduction de 4% lorsque les précipitations varient de 923,7mm à 1742mm. Il en est de mémé pour l'année 2013 où la production était estimée 162 tonnes et régressé à 128 tonnes en 2014 soit une réduction de 20% lorsque les précipitations ont varié de 1228mm à 1173mm. La littérature scientifique s'accorde de plus en plus à dire qu'au cours des prochaines décennies l'augmentation des températures et les modifications des niveaux de précipitations entraineront des diminutions des rendements agricoles dans de nombreux pays(Orindi et al. 2006; Stige et al. 2006). D'autres se sont intéressées aux déterminants d'adaptation aux changements climatiques (Deressa T (2006). Peu d'études se sont intéressées sur l'effet d'adaptation aux changements climatiques sur la production agricole au Burundi. C'est pourquoi notre travail se propose d'apporter une contribution solide sur la littérature existante.

Face de ce qui précède, notre travail se propose de répondre à la question suivante : **Quel est l'effet d'adaptation à la sécheresse des maïsiculteurs sur la production du maïs au Burundi ?**

De cette question centrale découlent trois questions spécifiques :

- Quels sont les risques climatiques principaux auxquels font face les ménages burundais?
- Quelles sont les stratégies d'adaptation utilisées par les maïsiculteurs burundais après la sécheresse ?
- Quels sont les déterminants d'adaptation au choc de la sécheresse par les maïsiculteurs au Burundi ?
- Ya –t-il un effet d'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs ?

0.4. Objectifs de la recherche

0.4.1. Objectif général

L'objectif général de ce mémoire est d'analyser l'effet d'adaptation au choc de la sécheresse sur la production de maïs des ménages burundais.

0.4.2. Objectifs spécifiques

- Analyser les risques climatiques auxquels font face les maïsiculteurs burundais.
- Identifier les stratégies d'adaptation déployées par les maïsiculteurs affectés.
- Analyser les déterminants d'adaptation au choc de la sécheresse par les maïsiculteurs burundais.
- Evaluer l'effet d'adaptation au choc de la sécheresse sur la production du mais au Burundi

0.5. Hypothèses de l'étude

- Les risques climatiques auxquels font face les ménages burundais sont la sécheresse, les inondations, etc.
- Les stratégies d'adaptation utilisées par les maïsiculteurs sont essentiellement agricoles.
- Les déterminants d'adaptation au choc de la sécheresse sont essentiellement socioéconomiques
- Il n'existe pas de l'effet d'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs

0.6. Importance de l'étude

La prise en conscience des impacts des risques climatiques sur le bien être des communautés aideront des décideurs politiques à élaborer des politiques sectorielles relatives à l'adaptations des systèmes de production qui sont résilients aux chocs climatiques afin de faire face à la vulnérabilité du secteur agricole aux conséquences des changements climatiques.

Les agriculteurs, les institutions de recherches tant étatiques que privée, les coopératives, les ONGs se verront la nécessité d'investir dans le secteur agricole et soutenir les efforts des agriculteurs burundais en matières d'adaptation aux changements climatiques.

0.7. Délimitation de l'étude

Ce travail porte sur l'analyse de l'effet d'adaptation aux chocs climatiques sur la production du maïs au Burundi .Cette étude a utilisé les données issues de l'Enquête Intégrée sur les conditions de Vie des ménages Burundais (EICVMB, 2019-2020).Elle porte sur toute l'étendue du pays.

0.8. Organisation de l'étude

Notre étude s'articule autour de cinq chapitres :

Le premier chapitre parle de l'introduction, le second chapitre parle de la littérature théorique et empirique, le troisième chapitre parle de la méthodologie et analyse des données, le quatrième chapitre parle de la discussion des résultats et enfin nous allons terminer par la conclusion et recommandations.

CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE

Ce chapitre présente une revue de la littérature existante liée aux changements climatiques, l'adaptation et son effet sur la production de maïs. Il est composé de la revue théorique et empirique. Il met en évidence les théories nécessaires nous permettant de comprendre la logique de l'étude et la contribution des différents auteurs sur les cas similaires étudiés.

I.1. Revue théorique

I.1.1. Clarification de quelques concepts

I.1.1.1. Changements climatiques

Parler de changement climatique dans le monde scientifique s'est avéré une question en nuance pour quelques opinions ou écoles de pensées au cours du 21ième siècle (Lidzen, 2007; Leroux 2005 ; Michaels, 2006). Cependant, les premières argumentations scientifiques par rapport au changement climatique retrouvées dans les rapports produits par le «Intergovernmental Panel on Climate Change » (IPCC), sont sans équivoque au sujet des principales causes du réchauffement climatique. Avec un degré de certitude plus élevé, il confirme non seulement la tendance au réchauffement planétaire, mais également l'influence non négligeable des activités anthropiques sur ce phénomène. Il présente aussi un plus grand nombre d'évidences pour corroborer la théorie de l'influence des activités humaines sur la chimie de l'atmosphère depuis l'ère industrielle. Cette modification des caractéristiques chimiques de l'atmosphère, notamment l'augmentation de la concentration des principaux gaz à effet de serre (GES), a et aura comme résultante un déséquilibre et un changement sans précédent des différents attributs des principaux régimes climatiques mondiaux. Parmi ces changements inhérents à une modification de la concentration des GES dans l'atmosphère, on peut citer une augmentation de la température moyenne planétaire.

I.1.1.2. Chocs

Les chocs sont définis par Dercon et al. (2005) comme des événements indésirables entraînant des pertes de revenus, d'actifs ou de consommation des ménages. Ils peuvent être divisés en plusieurs catégories, telles que les chocs économiques, sanitaires, météorologiques, politiques, sociaux ou criminels. Les chocs les plus courants pour les ménages ruraux des pays en développement sont les chocs sanitaires (maladies ou décès de membres du ménage) (Nguyen et al., 2020b) et les chocs climatiques (Lohmann et Lechtenfeld, 2015). Ce document se concentre uniquement sur les chocs météorologiques signalés par les ménages ruraux.

I.1.1.3. Chocs climatique

Un choc climatique est un évènement météorologique extrême, un épisode inattendu. C'est un « évènement rare selon les statistiques relatives à sa fréquence en un lieu donné » (IPCC 2007a, Glossaire).

La définition de la rareté est fonction de la probabilité d'occurrence de l'évènement, toujours selon le rapport du GIEC : « phénomène météorologique extrême devrait normalement être aussi rare, sinon plus, que les dixième ou quatre-vingt-dixième percentiles**.**

I.1.1.4. Adaptation au changement climatique

L'adaptation constitue l'une des réponses pour faire face au changement climatique. Elle peut s'appliquer aux systèmes humains ou aux écosystèmes et joue un rôle essentiel dans la réduction de l'exposition et de la vulnérabilité au changement climatique

Pour les systèmes humains, l'adaptation constitue une démarche d'ajustement au climat (actuel ou attendu) ainsi qu'à ses conséquences, de manière à en atténuer les impacts préjudiciables et à en exploiter les impacts bénéfiques (GIEC 2018).

Dans les systèmes humains, l'adaptation peut être anticipée ou réactive, ainsi qu'incrémentale et/ou transformationnelle. Pour les écosystèmes, il s'agit d'une démarche d'ajustement au climat actuel ainsi qu'à ses conséquences ; l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu et à ses conséquences(GIEC2018).

Smit et al. (1996) décrivent l'adaptation au changement climatique comme se référant à tout ajustement, qu'il soit passif, réactif ou anticipatif, qui peut répondre aux conséquences anticipées ou réelles associées au changement climatique. Ils ajoutent que l'adaptation impliquait des ajustements pour améliorer la viabilité des activités sociales et économiques et réduire leur vulnérabilité au climat, y compris sa variabilité actuelle et les événements extrêmes, ainsi que le changement climatique à plus long terme. IPCC (2001) a mentionné que l'adaptation correspond à des ajustements ou des interventions qui ont lieu pour gérer les pertes ou profiter des opportunités offertes par un climat changeant. Les ajustements ou les interventions dans ce concept comprennent les ajustements des systèmes naturels et humains ou les interventions des organisations gouvernementales, des organisations non gouvernementales, des secteurs privés, des secteurs publics et des politiques.

Selon IPCC (2007), l'adaptation désigne les ajustements apportés aux systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques réels ou prévus ou à leurs effets, qui atténuent les dommages ou exploitent des possibilités bénéfiques. La FAO (2009 b) considère l'adaptation au changement climatique comme des processus spontanés ou organisés par lesquels l'homme et la société s'adaptent aux changements climatiques en modifiant le fonctionnement des systèmes fonciers et des ressources naturelles et d'autres formes d'organisation sociale et économique afin de réduire la vulnérabilité aux conditions climatiques changeantes. Littérature fournit divers types et explications de l'adaptation au changement climatique. Elle distingue une adaptation réactive, anticipative, autonome et planifiée :

L'adaptation réactive correspond aux actions mises en œuvre par des institutions, des individus, des plantes et des animaux après le choc, tandis que l'adaptation anticipée concerne des actions soigneusement étudiées pour réduire les effets potentiels du changement climatique avant les faits (Phuong, 2011). Smit et al. (1996) définissent l'adaptation autonome comme des ajustements naturels ou spontanés face aux changements climatiques et l'adaptation planifiée comme une intervention des activités humaines et des actions préalablement planifiées. Selon Maddison (2007), il y a deux composantes importantes de l'adaptation : la perception et l'adoption de stratégies. L'adaptation peut donc être considérée comme un processus en deux étapes. La première étape nécessite que les agriculteurs, lato sensu, perçoivent un changement dans les conditions climatiques. Dans la deuxième étape, les agriculteurs mettent en œuvre un ensemble de stratégies pour faire face aux différentes conditions (Maddison, 2007).

I.1.1.5. Variabilité climatique

Un des éléments intégrateurs du changement global, l'expression « variabilité climatique » a été définie par plusieurs auteurs dont Boko (1988), cité par Beltrando (1995) et Brou (2005). Elle fait pressentir la mobilité ou la variation du schéma climatique moyen et d'autres statistiques (écarts standards, normales, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels.

La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques. Dans ce travail, il s'agit de caractériser les cycles interannuels et les tendances du climat.

I.1.1.6. La sécheresse

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) définit la sécheresse comme une période sèche prolongée dans un cycle climatique naturel, susceptible de se produire n'importe où à la surface de la terre. Il s'agit d'un phénomène insidieux causé par un déficit pluviométrique. Elle précise que des facteurs aggravants comme la pauvreté et une gestion non durable des terres peuvent accroître la vulnérabilité à la sécheresse.

Le Centre National d'Atténuation de la Sécheresse (National Drought Mitigation Center - NDMC) des Etats-Unis définit la sécheresse comme une période prolongée de pluviométrie déficitaire, qui a pour conséquences d'endommager les cultures et d'entraîner une perte importante du rendement.

Les deux définitions s'accordent que la sécheresse est une réduction des précipitations par rapport à une situation considérée comme normale pour une période donnée (une ou plusieurs saisons, voire années) et une région déterminée et qui causent un déficit hydrique pour certains secteurs de l'économie du pays.

I.1.1.7. Impact

L'impact est défini comme, « toute modification quantitative, qualitative et fonctionnelle, positive ou négative, subie par tout ou partie d'un système (cible) à la suite d'un choc ou stress externe (d'origine anthropique, artificielle ou naturelle), et dont la magnitude dépend de la valeur et de la vulnérabilité du système cible » (GIEC, 2007). Littéralement, l'impact correspond souvent aux effets négatifs et aux dommages induits.

En plus quant à Issa (2012), l'impact amène la cible à un état futur différent de ce qu'il aurait été dans sa tendance d'évolution « normale » (état de référence). Dans le contexte de cette étude, les variables climatiques futures constituent « le choc ou stress externe» et les agrosystèmes représentent « le système cible ». Ainsi dans ce travail, l'impact du changement climatique potentiel est l'un des éléments qui attire l'attention et les analyses pour évaluer la vulnérabilité du secteur agricole et des ménages agricoles.

I.1.1.8. Vulnérabilité du secteur agricole

Le tableau suivant montre les composantes de la vulnérabilité du secteur agricole ses facteurs ainsi que les impacts concernés.

Tableau 1 : Facteurs de vulnérabilité du secteur agricole

Composante de la vulnérabilité	Facteurs de la vulnérabilité	Impact concerné
	Changement de température	sécheresse
	Changement de la pluviométrie	érosion/sécheresse
	Changement des événements météorologiques extrêmes	érosion/sécheresse
Sensibilité	Type de sol	érosion
	Type de pente	érosion
	Densité de la population	érosion/sécheresse
	Couverture végétale	Changement de la production agricole
	Déforestation	érosion
	Type de culture	érosion
	Système d'irrigation	érosion/sécheresse
	Mesures antiérosives	Sécheresse
	Utilisation des intrants agricoles	Changement de la production agricole
	Tailles des champs et accès aux terres agricoles	
Capacité d'adaptation	Ressources financières des ménages	érosion, sécheresse, changement de la production agricole
	Connaissance des mesures de prévention des impacts d'érosion et de sécheresse	
	Accès aux prévisions météorologiques saisonnières	
	Accès aux institutions s de promotions de l'agriculture	

Source : GIZ, 2014

En tenant compte des ressources et données disponibles, deux impacts clés du secteur de l'agriculture ont été développés: l'érosion de sol et la sécheresse. Ces deux éléments forment l'impact potentiel total du secteur qui se produit s'il n'existe aucune capacité à s'adapter: le changement de la production agricole.

Tableau 2 : Impacts de la sécheresse sur certains secteurs clés au Burundi selon la Plan National de lutte contre la sécheresse

Le tableau suivant illustre les impacts de la sécheresse sur certains secteurs clé au Burundi

Secteur	Impacts
Eau	➢ Assèchement des lacs et autres cours d'eau et disparition de la flore aquatique ➢ Baisse de la production des centrales hydroélectriques
Energie	➢ Arrêts plus fréquentes de certaines centrales hydroélectriques en service suite au dépassement des seuils de fonctionnement pour cause de déficit pluviométriques et de la sécheresse prolongée
Agriculture et élevage	➢ Réduction des récoltes et des cheptels bovins, caprins, ovins, et volailles, aggravée par des sécheresses plus longues et plus fréquentes, avec une probabilité d'occurrence entre 40% et 60% ➢ Les rendements de la production de viande et du lait seront encore plus affectés, de même que la production de poisson, en cas de sécheresse ➢ Baisse de la qualité et de la quantité de pâturages
Social	➢ Augmentation des cas de paludisme ➢ Appauvrissement de la population ➢ Accroissement du taux de malnutrition ➢ Renforcement des tendances de migrations

Source : PNS, 2020

I.1.2. Les approches théoriques utilisées dans la littérature sur l'analyse de l'adoption des stratégies d'adaptation

Pour le cas de la présente étude, deux approches ont été retenue : approches psychosociales et économétriques.

I.1.2.1. Théorie de l'action raisonnée

La théorie de l'action raisonnée a été proposée par Fishbein et Ajzen (1975) pour prédire et expliquer les comportements des individus à l'adoption des innovations. Elle stipule que les comportements d'un individu à innover sont déterminés par deux facteurs de base, l'un reflétant son intérêt personnel et l'autre son influence sociale (Ajzen et Madden, 1986). L'intérêt personnel se réfère à une attitude qui conduit un individu à évaluer, favorablement ou défavorablement, l'adoption d'une innovation. L'attitude est formée de l'ensemble des croyances quant aux conséquences de la réalisation du comportement, pondérées par l'importance que l'individu accorde à chacune de ces conséquences. Les croyances sont définies par la probabilité subjective de l'individu sur le fait qu'effectuer un comportement particulier puisse produire des résultats spécifiques. L'influence sociale, considérée comme une norme subjective, se réfère à la perception que les individus ont de ce que les autres attendent d'eux, et à leur degré de motivation de se conformer à ces attentes. La norme subjective se réfère à l'ensemble des croyances d'un individu quant à l'opinion de personnes ou de groupes de référence par rapport au fait qu'il réalise un comportement. La théorie de l'action raisonnée suppose que tous les autres facteurs qui influencent le comportement le font de manière indirecte.

I.1.2.2. Théorie du choix Rationnel

Dans la littérature économétrique, les modèles d'estimation empirique des décisions d'adoption ou d'innovation en agriculture des technologies agricole dépendent du type de mesure mis en œuvre lors des enquêtes, c'est à dire si l'exploitant à fait un choix discret, hiérarchisé ou d'intensité. Pour l'analyse des choix discrets, comme pour l'étude de l'adoption/rejet, il n'est pas possible d'utiliser des modèles linéaires classiques car les réponses sont binaires.

On utilise alors des modèles de choix dichotomiques de type Probit ou Logit. Pour les réponses ordonnées ou hiérarchiques, les modèles polytomiques, comme les Probit et Logit multinomiaux ou ordonnés, sont utilisés (Roussy et al., 2015). Le modèle Tobit permet quant à lui de modéliser l'intensité d'innovation agricole ainsi que le taux d'utilisation des technologies agricole lorsque la variable dépendante est continue et censurée au point 0 (Tobin, 1956 ; Ngondjeb et al., 2011; Combary, 2013). La probabilité de s'adapter à la sécheresse dépend de la volonté d'un ménage soit qu'il a une aversion au risque climatique ou qu'il aime le risque.

Ce cadre d'utilité suppose qu'un ménage rationnel cherche à maximiser l'utilité espérée relative à sa décision. Supposons $E(\cup_1)$ l'utilité espérée de l'adaptation et $E(\cup_0)$ de la non adaptation, il décidera de s'adapter lorsque son utilité espérée de l'adaptation à la sécheresse agricole est supérieure à son utilité espérée non adaptation.

I.1.2.3. Théorie du comportement adaptatif du producteur en agriculture

La théorie du comportement adaptatif constitue un dépassement des principales limites de la théorie néoclassique de la production, à savoir le caractère exogène de la fonction de production et de la fonction d'objectif (Chia et al., 2014). Ainsi, Chia et al., (2014) ont montré que cette théorie fait affiliation avec la théorie économique de production et sert de base à la théorie de gestion des exploitations agricoles. Plus loin, ces auteurs évoquent que le point de départ de la théorie du comportement adaptatif du producteur est la reconnaissance d'une technologie pour être mise en œuvre, en toute décision d'action (par exemple le choix d'une stratégie d'adaptation au changement climatique) requiert une série d'actions plus élémentaires (choisir la parcelle, choisir la variété, etc.) requérant chacune une ou plusieurs décisions.

I.1.2.4. Théorie de l'évaluation d'impact

Le problème fondamental de l'évaluation d'impact est d'estimer la partie du changement dans le résultat attribuable à l'intervention à évaluer. C'est pourquoi Rubin (1974) indique que répondre à cette question signifie à mesurer l'effet d'un traitement sur les résultats d'intérêt pour des individus donnés. Dans ce cadre, il définit le traitement comme le fait qu'un individu ou un groupe d'individus soit exposé à une intervention, et l'effet correspond à la différence due à l'exposition sur les résultats (exemple, le revenu, le rendement, le taux de mortalité, etc.). L'intervention peut être des actions spécifiques d'un programme ou projet tel que l'octroi de bourses familiales aux pauvres, la fourniture d'infrastructures comme les routes, les périmètres agricoles ou des politiques plus générales comme la réforme sur l'éducation, la taxe sur les prix, etc. L'exposition signifie ici le fait d'être informé, sensibilisé ou enrôlé sur un programme**,** projet ou politique. Les individus correspondent aux unités d'observations et peuvent être de diverses catégories selon les disciplines de recherche : exemple : (i) des parcelles de cultures en agronomie ; (ii) des animaux en biologie médicale ; (iii) des villages, ménages, hommes, femmes, jeunes, ou des entreprises, en sciences sociales, etc. Sur cette base, Rubin (1974) classe les individus en deux groupes selon leur statut de traitement : «traités» et « non traités ».

Le groupe des « traités » est constitué par les individus qui sont exposés à la politique, programme ou à la technologie. Contrairement aux « non-traités » qui sont constitués des individus qui ne sont pas exposés à la politique, au programme ou à la technologie. Pour chaque individu « traité » ou « non traité », Rubin (1974) souligne qu'il a deux résultats.

Le résultat obtenu s'il est exposé au traitement et le résultat obtenu s'il n'est pas exposé au traitement. De ce fait avant l'exposition au traitement ces deux résultats peuvent être observés, c'est ce que Rubin (1974) qualifie de résultats potentiels.

I.1.2.5. Approche d'évaluation contingente

D'une manière générale, elle repose sur la présentation d'un scénario d'offre, description d'un bien ou d'un service de manière orale ou picturale, et sur l'interrogation de l'agent économique à propos de ce bien ou service (Mitchell et Carson, 1989 ; Desaigues et Point, 1993). De ce fait, elle ne s'appuie pas sur l'observation des comportements, mais utilise la reconstitution d'un marché fictif (contingent) pour inciter les individus à révéler la valeur qu'ils accordent à un bien ou un milieu naturel, à son amélioration ou aux dommages qui lui ont été causés (Terra, 2005). L'agent économique est directement interrogé et le consentement à payer et/ou à travailler reflète la valeur qu'il attribue à ce bien (Luchini, 2002 ; Maresca et al., 2006). Le consentement à payer correspond au prix qu'un acheteur consent à payer pour une quantité donnée d'un bien ou d'un service (Kalish et Nelson, 1991 ; Westenbroch et Skiera, 2002). En innovation agricole, le consentement à payer revient au montant que l'agriculteur est susceptible d'investir pour acquérir l'innovation s'il est prédisposé à l'adopter (Ulimwengu et Sanyal, 2011). Bien adapté aux pays développés, cet indicateur est moins fiable dans les pays en développement dont les actes économiques sont faiblement monétarisés surtout en zone rurale. Les travaux agricoles sont généralement réalisés dans un JJcadre, le CAP ne reflète pas la volonté des agriculteurs à adopter les innovations.

D'où le recours au consentement à travailler qui est une méthodologie innovante (Kramer et al., 1995). Le consentement à travailler représente le nombre d'hommes-jours que l'agriculteur est disposé à travailler pour acquérir l'innovation agricole. Vu sous cet angle, il peut être assimilé au consentement à payer lorsqu'il est évalué en termes de coût d'opportunité. Plusieurs types de questions permettent de mesurer le consentement à payer et/ou le consentement à travailler des personnes interrogées (Judez et al., 1998).

Les questions les plus fréquemment utilisées sont : la question ouverte, la question fermée de choix dichotomique ou polytomiques, la carte de paiement et le procédé des enchères (Bonnieux et al., 1995 ; Maresca et al., 2006). L'utilisation de la carte de paiement et de la méthode des enchères types n'est pas très recommandable. La carte de paiement, comme l'indique Schuman (1996) introduit un biais qui incite les enquêtés à préférer certaines valeurs offertes et à en rejeter d'autres. L'abandon, signalé par Turner et al. (1994), du procédé de l'enchère, qui fut très utilisé durant les années 80, est dû au biais important que subit la déclaration du consentement à payer et/ou du consentement à travailler de l'enquêté à travers l'offre de départ (starting bid ou starting point). La question ouverte et le choix dichotomique ou polytomiques sont plus recommandés dans les pays en voie de développement (Hanemann, 1984). L'analyse économétrique des consentements à payer est fonction des types de questions posées. On utilise généralement un modèle Logit binaire (Delvaux et al., 1999 ; Chebil et al., 2009) ou Probit binaire (Rozan, 2000 ; Rulleau et al., 2009) pour analyser les déterminants du consentement à payer lorsque la question fermée est utilisée (payer/travailler ou ne pas payer/travailler pour acquérir l'innovation agricole).

I.1.2.6. Théorie des comportements interpersonnels

La théorie des comportements interpersonnels (Triandis, 1977) est basée sur les théories de l'action raisonnée (Fishbein et Ajzen, 1975) et du comportement planifié (Ajzen, 1991) et elle se distingue de ces dernières, par sa description plus fine des composantes facilitant le comportement. Cette théorie stipule qu'un comportement est influencé par trois composantes : l'intention comportementale, l'habitude et certaines conditions facilitant l'adoption du comportement. Les deux premières composantes varient selon que le comportement est nouveau ou déjà produit. Alors que l'habitude est déterminante lorsque le comportement est répété, l'intention comportementale l'est lorsque le comportement est nouveau. L'intention comportementale comprend quatre déterminants qui facilitent son apparition, à savoir, les conséquences perçues, l'affect, l'identité personnelle et les facteurs normatifs.

I.1.2.7. Théorie du comportement planifié

La théorie du comportement planifié d'Ajzen (1991) correspond à une révision de la théorie de l'action raisonnée. Elle stipule que l'adoption des innovations est essentiellement déterminée par deux types de perceptions : l'utilité perçue du système et sa facilité d'usage perçue (Ajzen, 1985). L'utilité perçue est définie comme étant le degré avec lequel une personne pense que l'utilisation d'un système améliore sa performance au travail.

La facilité d'utilisation perçue se rapporte au degré auquel une personne pense que l'utilisation d'un système ne nécessite pas d'efforts. Cette définition suggère qu'une innovation perçue comme étant plus facile à utiliser a plus de chance d'être acceptée par les utilisateurs. La théorie du comportement planifié comprend une nouvelle composante visant à prédire un comportement. Il s'agit du contrôle comportemental perçu, défini comme la facilité ou la difficulté perçue d'exécuter un comportement particulier. Il est supposé que le contrôle comportemental perçu soit déterminé par l'ensemble des croyances de contrôle accessibles (Ajzen, 1985).

Le contrôle comportemental perçu est lié à celui de l'auto-efficacité de Bandura (1977), définie comme la conviction avec laquelle on peut exécuter avec succès le comportement requis.

I.2. Revue empirique

Cette partie passe en revue quelques études similaires sur l'effet d'adaptation aux changements climatiques sur la production agricole. Des travaux empiriques effectués en Afrique et ailleurs vont nous permettre de bien comprendre le sujet.

Ainsi, compte tenu du niveau de dépendance du secteur agricole au climat, plusieurs études (Thomson et al., 2005; Richter et Semenov, 2005; Rosenzweig et al., 1994; Smit et al.,1988 ; Rosenzweig et al., 2013) ont cherché à identifier la direction et l'ampleur des changements dans le développement ou le rendement des cultures et dans les systèmes agroalimentaires qui pourraient résulter des modifications des conditions de production, notamment les conditions climatiques.

Kebede et al., 1990 ont montré une relation positive entre le nombre d'années d'expérience dans l'agriculture et l'adoption de technologies agricoles améliorées en Ethiopie

Maddison (2006) et Nhemachena et Hassan (2007 ont indiqué que l'expérience dans l'agriculture augmente la probabilité d'adopter des mesures d'adaptation au changement climatique.

Boko, 1988 ; Janicot et al. 2004 a évoqué qu'en Afrique tropicale les populations rurales sont particulièrement concernées par les changements climatiques, dans la mesure où les performances de leurs systèmes de production sont étroitement tributaires du climat.

Seck et al. 2005) et (Salack et al., 2006) ont montré que les rendements agricoles ont connu des déficits drastiques dus aux effets néfastes des changements climatiques actuels et les rendements estimés à l'horizon 2050 connaitront des baisses importantes.

Boubacar (2012), Acquah et Kyei (2012), Issahaku (2015) et Adisa et al. (2017) ont montré que de température et d'intensité des précipitations étaient négativement liées à la moyenne des rendements de maïs.

Selon Sarker et al. (2012), les effets de la température étaient plus prononcés que ceux des précipitations.

Selon FAO, 2007, la pauvreté des populations ne leur permet pas d'accéder aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, semences, irrigation, etc.) et aux innovations culturales adéquates et performantes. Cette situation constitue un facteur aggravant des impacts socio-économiques des changements du climat : les sécheresses des années 70 ont provoqué une famine dramatique et les inondations de la décennie 90 ont occasionné des pertes inestimables des rendements culturaux.

Bryan et al. (2013) en Éthiopie, au Kenya et en Afrique du Sud a montré que malgré la perception du changement climatique par les paysans, peu d'entre eux ont adopté des stratégies d'adaptation.

Gentle and Maraseni, 2012 ont montré que de nombreuses populations dans le monde sont exposées à des chocs climatiques et environnementaux, qui nuisent à leur bien-être. Les effets négatifs sont plus graves sur le bien-être des ménages lorsque ceux-ci dépendent principalement de l'agriculture pluviale .L'exposition aux chocs pluviométriques entraıne la détérioration de l'agriculture, qui est la principale ressource des pauvres dans les pays en développement.

Bradshaw et al., 2004; Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008 ; Nhemachena et Hassan, 2007 ont montré que les méthodes d'adaptation courantes en agriculture comprennent l'utilisation de nouvelles variétés de cultures et d'espèces animales mieux adaptées aux conditions plus sèches, l'irrigation, la diversification des cultures, l'adoption de systèmes mixtes de culture et d'élevage et la modification des dates de plantation

Komba et Muchapondwa (2015) ont étudié la perception du changement climatique et les déterminants de l'adaptation en Tanzanie. Leur étude a montré que les paysans perçoivent le changement climatique à travers l'augmentation des températures et la baisse de la

pluviométrie. L'étude révèle que l'éducation et le fait d'avoir vécu une expérience de sécheresse sont des déterminants significatifs de l'adaptation au changement climatique. Enfin, ils indiquent que pour s'adapter au changement climatique les paysans utilisent des variétés résistantes à la sécheresse, des variétés à cycle court, modifient les dates de semis, pratiquent l'irrigation des cultures et font la plantation d'arbres.

Madisson (2007) a analysé la perception et les déterminants de l'adaptation dans 11 pays en Afrique. Les résultats montrent que la perception augmente avec l'expérience et l'éducation, l'accès au marché. Les principales stratégies d'adaptation utilisées sont le changement de variété quand la température augmente et la modification de la date de semis.

Bryan et al. (2009) ont étudié les stratégies d'adaptation adoptées par les paysans en Éthiopie et en Afrique du Sud ainsi que les facteurs qui influencent le choix d'une stratégie d'adaptation. Sur la base d'un échantillon de 1800 ménages, les résultats ont montré que les paysans utilisent généralement les stratégies d'adaptation suivantes : utilisation de diverses variétés ou de cultures, plantation d'arbres, conservation des sols, modification des dates de semis et l'irrigation. Les barrières à l'adoption de ces stratégies d'adaptation sont l'accès au crédit, l'accès au conseil agricole et la pauvreté pour les deux pays. Les agriculteurs en Éthiopie ont indiqué que les contraintes d'accès à la terre et à l'information sur le changement climatique constituent un obstacle à l'adaptation.

Selon FAO, 2007, la pauvreté des populations ne leur permet pas d'accéder aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, semences, irrigation, etc.) et aux innovations culturales adéquates et performantes. Cette situation constitue un facteur aggravant des impacts socio-économiques des changements du climat : les sécheresses des années 70 ont provoqué une famine dramatique et les inondations de la décennie 90 ont occasionné des pertes inestimables des rendements culturaux

Bryan et al. (2013) en Éthiopie, au Kenya et en Afrique du Sud a montré que malgré la perception du changement climatique par les paysans, peu d'entre eux ont adopté des stratégies d'adaptation.

Deressa et al. (2009) ont réalisé une micro-analyse à partir de données des enquêtes transversales auprès de 1000 ménages au cours de la campagne agricole 2004/2005 dans le bassin du Nil en Éthiopie. L'étude porte sur la perception du changement climatique par les paysans, les stratégies d'adaptation adoptées et les déterminants de l'adaptation.

L'étude a montré que 50,3 % des enquêtés ont observé une augmentation des températures au cours de 20 dernières années alors que 53 % d'entre eux ont observé une diminution des précipitations au cours des vingt dernières années.

La perception des paysans a été confirmée par les observations météorologiques des pays. Ainsi, en Éthiopie 89 % des paysans perçoivent le changement climatique, mais 56 % parmi eux n'utilisent pas des stratégies d'adaptation. Parmi ceux qui utilisent et développent l'adaptation, les stratégies utilisées sont la diversification des cultures, l'utilisation de différentes variétés de cultures, l'irrigation, la plantation d'arbres et la modification des dates de semis. Les stratégies les moins utilisées sont l'utilisation de nouvelles technologies et l'exode rural vers les zones urbaines.

Des résultats similaires ont été trouvés en Afrique du Sud. Les déterminants de l'adoption de stratégies d'adaptation sont : les événements climatiques extrêmes, le temps, la fréquence et la durée des précipitations, les caractéristiques des ménages et la distance d'accès au marché, l'accès au conseil agricole. Les barrières à l'adaptation sont l'accès à l'information climatique et les contraintes financières.

D'autres études ont montré que la diversification des sources de revenus et l'agropastoralisme font partie des principales stratégies d'adaptation adoptées par les paysans (Hassan et Nhemachena, 2008 ; Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008a ; Seo et Mendelsohn, 2008).

Sarr et al. (2015) ont analysé les données climatiques de 1950 à 2014 et aussi examiné la perception des paysans sur le changement climatique ainsi que les stratégies d'adaptation adoptées auprès d'un échantillon de 478 chefs de ménages au Burkina Faso, Niger et Tchad.

Les résultats de l'étude ont montré que plus de 90 % des paysans dans les trois pays ont observé une baisse drastique des précipitations et une augmentation des températures au cours des 20 dernières années. L'étude rapporte que pour faire face à la variabilité et au changement climatique, les paysans ont adopté les stratégies d'adaptation suivantes : modification des dates de semis, l'utilisation de variétés plus tolérantes au stress thermique, l'association de l'agroforesterie, la production de plantes fourragères et les brise-vents pour réduire les effets des hautes températures.

Au niveau des systèmes de production pluviale, les principales stratégies d'adaptation sont le ciblage de variétés à cycle court, l'application de l'irrigation complémentaire et l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols, combinée avec l'agroforesterie.

Khanal et al. (2018) ont exploré au Népal, les facteurs quiinfluencent la prise de décision des agriculteurs lors de l'adoption de stratégiesd'adaptation au changement climatique et l'impact de ces adaptations sur les rendements agricoles.

Shrestha et al. (2018) ont analysé les stratégies d'adaptation au changement climatique dans l'agriculture dans quatre villagesdu Myanmar et du Cambodge. Ils concluent que des variétés de cultures, des équipements de culture et des modifications de la superficie cultivée sont les stratégies utilisées par les agriculteurs de la zone d'étude.

Komba et Muchapondwa (2015) ont étudié la perception du changement climatique et les déterminants de l'adaptation en Tanzanie. Leur étude a montré que les paysans perçoivent le changement climatique à travers l'augmentation des températures et la baisse de la pluviométrie. L'étude révèle que l'éducation et le fait d'avoir vécu une expérience de sécheresse sont des déterminants significatifs de l'adaptation au changement climatique

Arimi (2014) a identifié les déterminants des stratégies appropriées d'adaptation au changement climatique utilisées par les riziculteurs du sud-ouest du Nigeria, dans l'espoir d'atténuer les impacts négatifs du changement climatique sur la production de riz. Il arrive à la conclusion que la recherche des informations d'alerte constitue une stratégie d'adaptation utilisée par les riziculteurs de la zone d'étude.

Idoma et al. (2017) en étudiant l'effet des stratégies d'adaptation au changement climatique des riziculteurs sur la production du riz dans la région d'Agatu au Nigéria, ont eu comme principales stratégies d'adaptation utilisées par les riziculteurs la diversification d'activités non agricoles, le paillage de rizières.

Roco et al. (2017) ont analysé l'impact de l'adaptation au changement climatique sur la productivité des cultures annuelles dans les municipalités de Pencahue, Cauquenes, San Clemente, Parral au Chili. Les résultats révèlent l'utilisation de goutte à goutte et arroseurs, le boisement, le zéro labour, l'utilisation de systèmes d'accumulation d'eau, l'utilisation d'engrais vert, l'utilisation de paillage, l'utilisation de cultures de couverture, l'utilisation de tuyaux et de pompes pour l'irrigation, la mise en place de tranchées d'infiltration, le nettoyage de canaux.

Yabi et al. (2017) ont mené une étude dans la commune de Malanville au Bénin afin d'identifier les déterminants du niveau de production du riz en saison pluvieuse et en contre saison. Pour leur étude, ils ont utilisé la gestion des inputs comme une stratégie adaptation aux variations climatiques inter-saisonnières.

Conclusion du premier chapitre

Ce chapitre a montré et clarifié les différents concepts, les approches psychosociales et économétriques de l'analyse de l'adaptation. Nous avons aussi montré également la théorie du comportement adaptatif du producteur en agriculture, ainsi que la théorie de l'évaluation d'impact.

CHAPITRE II. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNEES

Ce chapitre fournit la description des outils analytiques utilisés dans cette étude et l'ensemble de données. Les techniques analytiques consistent à détailler les procédures des modèles logit et la méthode d'appariement par score de propension. Les données sont extraites dans la base de données de l'ISTEEBU dans l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des ménages Burundais.

II.1. Source de données

Cette étude s'est appuyée sur l'enquête intégrée sur les conditions de vie des ménages burundais (EICVMB : 2019/2020). Cette enquête a permis de recueillir des données quantitatives et qualitatives sur les aspects sociaux, démographiques économiques et environnementaux. Pour notre cas, nous avons utilisé les données secondaires de cette enquête.Les autres données sont collectées au sein des différentes sources. Il s'agit des ouvrages généraux, des mémoires et articles publiés sur l'internet, de différents rapports et documents des institutions et organisations dont l'ISABU, l'ISTEEBU, la FAO World Vision et autres pour faire la compréhension approfondie de notre étude.

II.2. Présentation des données d'analyse

L'analyse des effets d'adaptation aux chocs climatiques sur la production de maïs au Burundi est généralement limitée par le manque de données adéquates sur les indicateurs climatiques (fréquences de précipitations, les températures, etc) et /ou économiques des ménages ou des groupes sociaux.

Cette étude a utilisé les données de l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des Ménages au Burundi de 2019-2020 obtenues à partir des enquêtes sur les ménages burundais (EICVMB 2019-2020) menées par l'Institut Nationale de la Statistique du Burundi (INSBU) auprès d'un échantillon aléatoire de 8 490 ménages sélectionnés dans les zones rurales, les villages urbains et les villes. Il est à noter que l'EICVMB s'est déroulée en trois vagues et chacune d'elle a été réalisée auprès de 2 830 ménages (soit 283 ZD par vague).

II.3. Contexte et Justification de l'EICVMB

Le Burundi s'est doté en février 2016 d'une Deuxième Stratégie de Développement de la Statistique (SNDS-II, 2016-2020). Cette stratégie a pour vision : « Un Système statistique national basé sur les Principes fondamentaux de la statistique officielle, capable de produire, de publier et de disséminer, dans les délais, des données statistiques de qualité requise pour le

suivi et la mise en œuvre (i) des politiques, programmes et projets de développement, (ii) des Objectifs de Développement Durable et (iii) de la révolution des données ». C'est dans cette stratégie que les priorités du Gouvernement en matière d'opérations statistiques de grande envergure dont l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des Ménages, sont programmées.

En outre, le Gouvernement a adhéré à l'agenda international sur les Objectifs de Développement Durable (ODD) dont la disponibilité des données conditionne son suivi et son évaluation. Par conséquent, la dernière enquête sur les conditions de vie des ménages au Burundi réalisée en 2013-2014, nécessite une actualisation. Dans cette optique, le Burundi a opté de réaliser l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des Ménages au Burundi (EICVMB, 2019-2020). Pour prendre en compte les effets de saisonnalité, cette enquête a été réalisée en trois vagues de collecte calées sur les trois saisons culturales que compte le Burundi.

II.4. Objectifs de l'enquête

L'objectif principal de l'EICVMB, 2019-2020 est de permettre au pays de disposer des données de base en vue d'évaluer l'efficacité des principaux programmes et politiques mis en œuvre dans le Plan National de Développement (PND, 2018-2027) et de fournir des indicateurs de suivi des Objectifs de Développement Durable.

II.5. Méthodes d'analyse des données

II.5.1. Identification des variables

Tableau 3 : Identification des variables

Variables	Définitions	Mesures	Signe attendu
Y_i= ADAPT	Adaptation au choc de la sécheresse	ADAPT=1si le ménage s'adapte 0 si non	N/A
B_1=SECH	Sécheresse	1 si le ménage a subi la sécheresse 0 sinon	+
B_2=QSEMMAIS	Quantité de semences	En kg	+
B_3=FERTIL	Quantité d'engrais utilisé	En kg	
B_4=MODM	Main-d'oeuvre	Nombre de travailleurs dans un ménage	+
B_5=TMPARC	Temps mis pour se render à la parcelle	En min	-
B_6= AGCM	Age du chef du ménage	En nombre d'années	-
B_7 = NIVETCM	Niveau d'étude du chef du ménage	1 si le producteur a un niveau fundamental;2 Postfondamental;3 superieur	+
B_8 = TAMEN	Taille du ménage	En nombre de personnes	+
B_9 = SUPER	Superficie emblavée	En m^2	+
B_{10} = REVCM	Revenu du chef du ménage	En FBU	+
B_{11}=ACRED	Accès au crédit	1 si l'agriculteur a accès au credit 0 sinon	+
B_{12} =ANIM	Total des animaux	En nombre d'animaux	+

Source : Auteur à partir des données de l'IECVMB-2019/2020

II.5.2. Variable dépendante

Adaptation : Cette variable est une variable binaire. Ici les agriculteurs peuvent s'adapter ou non aux chocs climatique.

II.5.3. Variables indépendantes

Sécheresse: Elle représente une variable qualitative Soit les agriculteurs ont subi la sécheresse soit ils ne l'ont pas subie.

Main-d'œuvre : Elle représente une variable quantitative. C'est la quantité de main -d'œuvre soit familiale ou non familiale.

Semence : C'est une variable quantitative. Elle représente la quantité de semence utilisée dans la production du maïs

Age du chef du ménage : C'est une variable continue mesurée en année .L'Age est un indicateur une meilleure expérience dans l'adaptation aux chocs climatique agricole.

Taille du ménage : La taille du ménage est une variable quantitative. Elle représente le nombre d'individu qui compose une famille.

Niveau d'éducation : Elle représente une variable qualitative du chef du ménage. Elle prend la valeur de 0 si l'agriculteur n'a aucun niveau,1 s'il a un niveau fondamental, 2 s'il a un niveau post fondamental, 3 s'il a un niveau supérieur.

Superficie : La superficie est estimée en mètre carré.

Revenu : Cette variable représente le revenu du chef du ménage. Elle est variable quantitative.

Accès au crédit : C'est une variable binaire. Elle représente la capacité financière du ménage

Animaux : Cette variable représente une variable quantitative.

II.5.4. Outils d'analyse des données

Après la collecte des données l'étape suivante sera la saisie des données qui va s'effectuer dans le tableur Excel, puis elles seront exportés dans STATA version 17 pour l'analyse. L'analyse des données comprendra une analyse descriptive et économétrique. L'analyse descriptive va être utilisée pour décrire les caractéristiques socio-économiques des agriculteurs burundais. L'analyse des contraintes sera faite à partir de tests statistiques appropriées.

L'analyse de régression logit a été utilisée pour estimer les facteurs qui sont indépendamment associés à l'adaptation à la sécheresse.

L'appariement par score de propension sera utilisé pour estimer l'effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs. Comme d'autres procédures d'appariement, le PSM estime uneffet de traitement moyen à partir de données d'observation.

II.5.4.1. Approches économétriques empirique d'analyse d'utilité

Le producteur fonde sa décision de s'adapter à la sécheresse sur la base du principe de rationalité et particulièrement l'hypothèse de maximisation de l'utilité de la théorie néoclassique. Il ne s'adapte pas à la sécheresse que si la profitabilité anticipée est supérieure à celle de la non adaptation (Marenya et Barrett, 2007). Toutefois, il est bien établi que la raison pour laquelle les agriculteurs s'adaptent à une contrainte va au-delà de ces considérations de la théorie néoclassique. Le producteur rationnel préfère de s'adapter du fait qu'il voit une utilité qu'il en tire.

Dans le cadre de la présente étude, la décision de s'adapter fait référence aussi bien à la décision dichotomique (acceptation ou rejet) qu'à la volonté de s'adapter à la sécheresse.

II.5.4.2. Modélisation des déterminants de l'adaptation au choc de la sécheresse

Dans cette étude, un agriculteur a été défini comme un adaptant s'il s'est adapté au choc climatique. La variable d'adaptation a donc été définie comme 1 si un agriculteur est un adaptant et 0 sinon. Cette étude a adopté la régression logistique pour évaluer les facteurs qui déterminent la décision des agriculteurs de s'adapter au choc climatique. Le modèle de régression logistique, ou modèle logit comme on l'appelle souvent, est un cas particulier de modèle linéaire généralisé et analyse les modèles où le résultat est une variable nominale.

Soit Y_i représentant la variable de réponse, x_i représentent les covariables qui sont principalement des facteurs affectant agriculteurs à adopter des stratégies d'adaptation dans les facteurs socio-économiques et institutionnels (Expérience de l'agriculteur, Education, Age, taille de la terre, etc.). Apres l'analyse des forces et faiblesses des différents modèles, le modèle de régression logistique binaire a été choisi pour l'analyse de cette étude porte sur la détermination des facteurs influençant l'adaptation aux changements climatiques. Ainsi la probabilité d'adaptation est représentée par l'équation suivante:

$$P(x)=E\,(Y=\frac{1}{x})=X\frac{\exp(\beta_0+\beta_i\chi_i)}{1+\exp(\beta_0+\beta_i\chi_i)}=\frac{1}{1+e^{-(\beta 0+\beta ixi)}}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\quad(1)$$

Étant donné que Xi représente les variables explicatives/indépendantes, associées au i^{ème} individu, qui déterminent la probabilité d'adaptation (P), P(x) =1 désigne la probabilité pour qu'un ménage s'adapte P(x)= 0 pour un ménage qui ne s'adapte pas ; *e* désigne la base des logarithmes naturels, qui est approximativement égale à 2,718 ; β_i sont des paramètres à estimer. Zi est la fonction de densité cumulée de Pi (probabilité qu'un agriculteur adopte les stratégies d'adaptation.

Suivant Pindyck et Rubinfeld (1998). Ainsi l'équation eut s'écrire:

$$P(x)= \frac{1}{1+e^{-Zi}} \quad \text{(2)}$$

où P(x) est la probabilité d'adaptation et prends les valeurs entre 0 et 1; Zi est la fonction des variables explicatives qui est aussi dans l'équation (1)

L'équation de l'adaptation est exprimée dans l'équation (2) ; dès lors l'équation de la non-adaptation devient :

$$1\text{-}Px = \frac{1}{1+e^{zi}} \quad \text{(3)}$$

Ainsi nous pouvons écrire en introduisant le ratio *odds* :

$$\frac{p(x)}{1-P(x)} = \frac{\frac{1}{1+e^{-Zi}}}{\frac{1}{1+e^{zi}}} = e^{x} \quad \text{(4)}$$

La relation P(x)/ (1 P(x)) est simplement le ratio *odds* C'est la ration de la probabilité qu'un ménage adopte stratégies d'adaptation sur la probabilité qu'il ne participe pas. Finalement en prenant le logarithme de l'équation précédente (4) nous obtenons :

$$Li= \frac{Ln[p(x)]}{1-P(x)} = Zi \quad \text{(5)}$$

Où, Li est le logarithme du ratio *odds* qui est non linéaire en Xi mais aussi linéaire pour les paramètres. La modification d'une variable indépendante, en l'occurrence, était censée modifier la probabilité qu'un individu donné devienne un participant, ce qui permettait de prédire la probabilité de participation

Pour l'équation de la régression, le modèle devient:

$$Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon i, \quad \text{(6)}$$

, où :

Z_i : variable dépendante (Adaptation), X_1 à X_n: variables indépendantes, β_0 à β_n : paramètres à estimer et εi : terme d'erreur.

II.5.4.3. Test appropriés du modèle économétrique

Comme le souligne Maddala (1992), il n'est pas raisonnable de supposer qu'un modèle spécifié au tout début est la meilleure pour une estimation particulière. La partie suivante décrit les tests qui ont été réalisées pour confirmer un modèle approprié pour la présente étude**.**

II.5.4.3.1. Test de multicolinéarité

Avant d'entamer notre modèle d'étude, nous devons vérifier la multicolinéarité possible entre les variables indépendantes de notre recherche afin de garantir la précision de l'estimation des coefficients de régression et donc aboutir à des estimations robustes. Et pour ce faire nous avons élaboré la matrice de corrélation de Pearson qui nous montre les corrélations faibles et fortes entre toutes les variables présentes dans notre modèle.

Mais afin de s'assurer de l'absence de ce problème, un examen complémentaire à travers le test de VIF et son inverse est montré pour conclure l'absence ou la présence d'une multicolinearité. Les conditions d'analyse sont : VIF

II.5.4.3.2. Tests de Hosmer-Lemeshow

Le test de Hosmer-Lemeshow (2000) est un test qui a pour but d'évaluer la qualité d'un modèle. Ce test permet d'avoir un indicateur statistique permettant d'accepter ou de rejeter le modèle. Le modèle estimé permet pour chaque observation d'obtenir la probabilité de survenance de l'événement. La statistique du test est calculée sur un échantillon servant seulement à la validation du modèle. Ce test est soumis à deux hypothèses : l'hypothèse nulle (H0) qui atteste un bon ajustement du modèle et l'hypothèse alternative (H1) qui atteste un mauvais ajustement du modèle. La décision de valider ou de rejeter les hypothèses dépend de la valeur de probabilité associée. L'hypothèse nulle est validée ou acceptée lors que la probabilité est supérieure au seuil de 5% et rejeter au cas contraire. L'hypothèse alternative est acceptée lors que la probabilité est inférieure de 5% et rejeter dans le cas contraire.

II.5.4.3.3. Test de bonnes prédictions avec la Surface ROC

L'aire sous la ROC curve du nom de mesure AUC (area under curve) est une mesure de la performance du modèle dans la prédiction du modèle d'analyse (Neji et Jigorel, 2015). Un modèle parfait aura une mesure AUC de 1.

Ainsi, plus le modèle est précis, plus la courbure de la ROC curve est proche du coin gauche du graphique vers le haut et la mesure AUC est proche de 1. Elle correspond alors à une mesure de la performance d'un classificateur binaire comme c'est le cas avec notre modèle logit. Son axe des abscisses correspond à (1- la mesure de spécificité du modèle). La mesure de sensibilité est reportée sur son axe des ordonnées, soit le pourcentage des adoptants correctement classés comme des adoptants dans le modèle et la spécificité en abscisse. Ces différentes combinaisons permettent ainsi de déterminer dans quelle mesure le modèle est précis pour discriminer ceux qui ne sont pas adaptés et ceux qui se sont adaptés. Cette courbe vient notamment en support au test de HomerLemeshow qui capte la dynamique d'ajustement du modèle aux données. Selon Delacour et al. (2005), l'aire sous la courbe permet d'évaluer l'intérêt du diagnostic d'un test; par conséquent d'un modèle. On distingue les tests d'apport nul (AUC = 0,5), peu informatifs (0,5 ≤ AUC < 0,7), moyennement informatifs (0,7 ≤ AUC < 0,9), très informatifs (0,9 ≤ AUC < 1) et parfaits (AUC = 1). Ainsi, le modèle est parfaitement discriminant, lorsque que l'AUC vaut 1.

II.5.4.4. Spécification du modèle

Ainsi, le modèle spécifique de la probabilité d'adaptation au changement climatique devient :

ADAPT=β0+ $\beta 1SECHi+\beta 2QSEMMAIS+\beta 3TMENi+\beta 4AGCMi +$ $\beta 5NIVETCMi+ \beta 6SUPMAISi+ \beta 7FERTILi+ \beta 8MODMi+ \beta 9TMPARCi+ \beta 10ACREDi+ \beta 11REVCMi+ \beta 12TOTANIMi$ +Ɛi

Où

- ✓ ADAPT : Adaptation aux changements climatiques
- ✓ SECH : Sécheresse
- ✓ QESMAIS : Quantité de maïs
- ✓ FERTIL : Fertilisants
- ✓ MODM : Main -d'œuvre
- ✓ AGCMi : Age du chef de ménage
- ✓ NIVETi : Niveau d'étude du chef du ménage
- ✓ TAMENi : Taille du ménage
- ✓ SUPi : superficie
- ✓ REVCMi : Revenu du chef du ménage
- ✓ ACRED : Accès au crédit
- ✓ ANIMi : Total des animaux
- ✓ Ɛi : terme d'erreur
- ✓ Bi : paramètre à estimer

II.5.4.5. Procédure d'estimation

Le modèle sélectionné pour l'analyse est le modèle logit binaire, la variable dépendante est affectée d'une valeur de 1 ou 0, représentant respectivement le participant ou non-participant. L'estimation des valeurs de B0 et Bi nécessite l'ajustement d'un ensemble de données dans l'équation (6). Les paramètres du modèle seront estimés par la méthode du maximum de vraisemblance (MV).

L'existence de multicollinéarité affecte sérieusement les estimations des paramètres. Ainsi, avant d'utiliser le modèle logit, l'existence d'une multicolinéarité entre les variables continues est vérifiée et l'association entre les variables discrètes va être également vérifiée en contrôlant la covariance.

En bref, les coefficients de l'interaction des variables indiquent si l'une des deux variables associées doit être éliminée de l'analyse du modèle .En conséquence, la technique des facteurs d'inflation de la variance (*VIF*) sera utilisée pour estimer le problème de la multicollinéarité pour les variables explicatives continues.

Chaque variable continue sera sélectionnée et régressée sur les autres variables explicatives continues et une évaluation sera faite sur le coefficient de détermination (R_j^2). Si une relation approximativement linéaire existe entre les variables explicatives, il en résulte une valeur "élevée" pour le R_j^2 dans au moins l'une des régressions de test.

Une mesure populaire de la multicollinéarité est le VIF, défini comme suit :

$$VIF\left(X_J\right) = \frac{1}{1-R_j^2} \quad \text{……………………………………………………………… (7)}$$

Une augmentation de la valeur de R_j^2, qui correspond à une augmentation du degré de colinéarité, conduit effectivement à une augmentation des variances et de l'erreur standard.

Une valeur *VIF* supérieure ou égale à 10 est utilisée comme un signal pour la forte colinéarité. Dans même manière, il est nécessaire de tester s'il existe ou non l'interaction entre les variables discrètes qui peut conduire au problème d'association entre elles en utilisant des coefficients de contingence (CC). Si la valeur de CC est supérieure ou égale à 0,75, elle est utilisée comme un signal pour l'existence d'une forte association entre les variables discrètes.

$$CC= \sqrt{\frac{\chi^2}{n+\chi^2}} \quad \text{……………………………………………………………… (8)}$$

où CC est le coefficient de contingence, χ^2est le test de Khi-carré, et n est la taille totale de l'échantillon.

II.5.4.5.1. Modélisation de l'effet d'adaptation aux chocs climatiques sur la production de maïs

L'approche PSM tente de capturer les effets des différentes covariables observées *X* sur l'adaptation, dans un seul score ou indice de propension. Ensuite, les résultats de ceux qui se sont adaptés et ceux qui ne se sont pas adaptés ayant des scores de propension similaires sont comparés pour obtenir l'effet de l'adoption (Rosenbaum et Rubin, 1983). L'étude utilise la méthode d'appariement des scores de propension pour mesurer l'effet d'adaptation au choc de la sécheresse sur la production de maïs.

La méthode d'appariement par score de propension (*PSM*) est une méthode quasi-expérimentale permettant d'estimer les effets causaux du traitement. Elle apparie les groupes témoins aux groupes de traitement sur la base de caractéristiques observées ou de scores de propension ; plus ce score est proche, meilleure est la correspondance.

En outre, la méthode d'appariement met l'accent sur le problème du soutien commun, évitant ainsi le biais dû à l'extrapolation à la région sans données (Becker et Ichino, 2002 ; Caliendo et Kopeining, 2008).

II.5.4.5.2. Estimation du score de propension

Lors de l'estimation du score de propension, deux choix doivent être faits. Le premier concerne le modèle à utiliser pour l'estimation et le second les variables à inclure dans ce modèle. La stratégie d'appariement exige que la ou les variables de résultat soient indépendantes du traitement conditionnellement au score de propension. Par conséquent, la mise en œuvre de l'appariement nécessite de choisir un ensemble de variables *X*, qui satisfont de manière crédible à cette condition. Heckman *et al.* (1997a) et Dehejia et Wahba (1999) montrent que l'omission de variables importantes peut sérieusement augmenter le biais dans les estimations résultantes. Seules les variables qui influencent simultanément la décision de participation et la variable de résultat devraient être incluses (Sianesi, 2004 ; Smith et Todd, 2005). La technique *PSM* est une procédure en deux étapes. La première étape de l'appariement par score de propension consiste à prédire le score de propension à l'aide d'un modèle logit/probit. Pour cette étude, le modèle logit a été choisi pour estimer les scores de propension, car ce modèle est un modèle extrêmement flexible et facile à utiliser d'un point de vue mathématique et donne lieu à u n e interprétation significative (Hosmer et

Lemeshew, 2000). La formulation mathématique du modèle logit est la suivante :

$Li= \ln(\frac{pi}{1-Pi})= Zi = \beta_0 + \beta_1X_1 +\beta_2X_2 + \beta_3X_3 +\ldots + \beta_nX_n +\mathcal{E}i$……………….....…………..(9)

Où : Li est le logarithme du ratio *odds*, Zi : est une fonction de n variables explicatives, c'est-à-dire $Zi = \beta_0 + \beta_1X_1 +\beta_2X_2 + \beta_3X_3 +\ldots + \beta_nX_n$, Pi : la probabilité d'adaptation de Pi, comprise entre 0 et 1.

II.5.4.5.3. Définition du chevauchement et du support commun

Selon Caliendo et Kopeinig (2008), la région de soutien commun peut être déterminée en comparant les minima et maxima du score de propension dans les groupes traités et témoins. La région de soutien commun est la région comprise entre les scores de propension minimum et maximum des groupes traités (ceux qui ont adopté des stratégies d'adaptation) et des groupes de comparaison (ceux qui ne les ont adoptées), respectivement, et elle sera délimitée en coupant les observations dont les scores de propension sont inférieurs au minimum du groupe traité et supérieurs au maximum des groupes de comparaison.

II.5.4.5.4. Tester l'équilibre des scores de propension et des Co variables

A ce stade, on vérifie si la procédure d'appariement est capable d'équilibrer la distribution des variables pertinentes dans les groupes de contrôle et de traitement. Cette approche consiste à comparer la situation avant et après l'appariement et à vérifier s'il subsiste des différences après conditionnement sur le score de propension. S'il existe des différences, l'appariement sur le score n'a pas été complètement réussi et des mesures correctives doivent être prises, par exemple en incluant des termes d'interaction dans l'estimation du score de propension. Rosenbaum et Rubin (1983) affirment que :

$X \coprod D | \mathrm{P}(\mathrm{D} = 1|\mathrm{X})$…………………………………………………………………….. (10)

Cela signifie qu'après le conditionnement sur P (D=1|X), un conditionnement supplémentaire sur X ne devrait pas fournir de nouvelles informations sur la décision de traitement. Par conséquent, si après le conditionnement du score de propension, il existe toujours une dépendance à X, cela suggère soit une mauvaise spécification du modèle utilisé pour estimer P (D = 1X) (Smith et Todd, 2005), soit un manque fondamental de comparabilité entre les deux groupes (Blundell *et al.* 2005).

✓ **Biais normalisé**

Un indicateur approprié pour évaluer la distance entre les distributions marginales des variables *X* est le biais normalisé ou *Standardized Bias* (SB) suggéré par Rosenbaum et Rubin (1985). Pour chaque covariable *X*, il est défini comme la différence des moyennes d'échantillon dans les sous-échantillons traités et de contrôle appariés, en pourcentage de la racine carrée de la moyenne des variances d'échantillon dans les deux groupes.

Le SB avant appariement est donné par :

$$SB_{before}=100\frac{\bar{X}_1-\bar{X}_0}{\sqrt{0.5V_1(X)+V_0(X)}} \quad \text{..... (11)}$$

Le SB après l'appariement est donné par :

$$SB_{after}=100\frac{\bar{X}_{1M}-\bar{X}_0M}{\sqrt{0.5V_{1M}(X)+V_0(X)M}} \quad \text{.....(12)}$$

Où : *X*1(*V*1) est la moyenne (variance) dans le groupe de traitement avant appariement et *X*0(*V*0) l'analogue pour le groupe de contrôle. *X* 1M (*V* 1M) et *X* 0M (*V* 0M) sont les valeurs correspondantes pour les échantillons appariés. Rosebaum et Rubin (1985) ont suggéré que le biais normalisé inférieur à 20% après l'appariement indique que les covariables sont équilibrées ; il n'existe donc plus de différence de moyenne entre ceux qui se sont adaptés et ceux qui ne sont pas adaptés.

✓ **Test t**

Une approche similaire utilise un *test t* à deux échantillons pour vérifier s'il existe des différences significatives dans les moyennes des covariables pour les deux groupes (Rosenbaum et Rubin, 1985). Avant l'appariement, des différences sont attendues, mais après l'appariement, les covariables devraient être équilibrées dans les deux groupes et donc aucune différence significative ne devrait être trouvée. Le *test t* peut être préféré si l'évaluateurest préoccupé par la signification statistique des résultats.

✓ Signification conjointe et Pseudo-R^2

Sianesi (2004) a suggéré de comparer les participants et les non-participants appariés, en utilisant le pseudo-R^2 avant et après l'appariement. Le pseudo-R2 indique dans quelle mesure les régresseurs *X* expliquent la probabilité de participation. Après l'appariement, il ne devrait pas y avoir de différences systématiques dans la distribution des covariables entre les deux groupes et, par conséquent, le pseudo-R^2 devrait être assez faible.

De plus, un test du rapport de vraisemblance sur la signification conjointe de tous les régresseurs dans le modèle probit ou logit ne devrait pas être rejeté avant et devrait être rejeté après l'appariement.

II.5.4.5.5. L'effet moyen du traitement

L'effet moyen du traitement sur les traités (*ATT*) est donné par la différence entre les résultats moyens (production de maïs) de ceux qui se sont adaptés et de ceux qui ne se sont pas adaptés appariés qui bénéficient d'un soutien commun conditionnel au score de propension. L'effet moyen de l'adaptation aux chocs climatiques.

$$Ti = E(Y_1 \mid Di = 1) - E(Y_0 \mid Di = 0) \quad \text{(13)}$$

Où : Ti, est un effet de traitement, Y est le résultat (production de maïs) et Di est une variable muette indiquant si le ménage *i*, a reçu le traitement ou non. Cependant, il faut noter que Y (Di = 1) et Y (Di = 0) ne peuvent pas être observés pour le même ménage au même moment. De ce fait, l'estimation de l'effet de traitement individuel n'est pas possible et il faut se tourner vers l'estimation de l'effet de traitement moyen de la population plutôt que de l'effet individuel. Par conséquent, en suivant Takahashi et Barrett (2013), l'effet moyen du traitement sur les personnes traitées (*ATT*) peut être défini comme suit :

$$ATT = E\{Y_1 - Y_0 \mid D = 1\} = E(Y_1 \mid D = 1) - E(Y_0 \mid D = 1) \quad \text{(14)}$$

Où : Y1 = le résultat dans la condition traitée, Y0 = le résultat dans la condition de contrôle ; et D = Variable muette dénotant l'adaptation aux chocs climatiques

Nous pouvons observer la variable de résultat de ceux qui se sont adaptés E (Y1| D = 1), mais nous ne pouvons pas observer le résultat de ceux qui se sont adaptés s'ils ne s'étaient pas adapté E (Y0 |D = 1), et l'estimation de l'ATT à l'aide de l'équation (13) peut donc conduire à des estimations biaisées (Takahashi et Barrett, 2013). L'appariement par score de propension repose sur une hypothèse d'indépendance conditionnelle où, en fonction de la probabilité d'adaptation, compte tenu des covariables observables, un résultat d'intérêt en l'absence de traitement Y1 et le statut d'adaptation D sont statistiquement indépendants (Takahashi et Barrett, 2013). Rosenbaum et Rubin (1983) définissent le score de propension ou la probabilité de recevoir un traitement comme suit :

$$p(X) = pr(D = 1) \mid X \quad \text{(15)}$$

Une autre hypothèse importante de la méthode d'appariement du score de propension est la condition de soutien commun, qui exige un chevauchement substantiel des covariables entre les individus qui se sont adaptés et ceux qui ne se sont adaptés, de sorte que les ménages comparés aient une probabilité commune de s'adapter et de ne pas s'adapter de sorte que 0 < p(X) < 1 (Takahashi et Barrett, 2013). Si les deux hypothèses sont respectées, alors l'estimateur *PSM* pour *ATT* peut être spécifié comme la différence moyenne des résultats des individus qui s'adaptent et appariés avec ceux qui ne se sont pas adaptés qui sont équilibrés sur les scores de propension et tombent dans la région de soutien commun, exprimée comme :

$$E(Y_1 \mid Di = 1) - E(Y_0 \mid Di = 0) = T_{ATT} + E(Y_0 \mid Di = 1) - E(Y_0 \mid Di = 0) \ldots (16)$$

La différence entre le côté gauche de l'équation et T_{ATT} est ce qu'on appelle le "biais de sélection".

Le véritable paramètre *ATT* n'est identifié que s'il n'y a pas de biais de sélection : $E(Y0 \mid D = 1) - E(Y0 \mid D = 0) = 0$, ainsi :

$$ATT = E(= E(Y1 \mid D = 1, p(X)) - E(Y0 \mid D = 0, p(X)) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

Bien que le MSP tente de comparer la différence entre les variables de résultat de ceux qui se sont adaptés et ceux qui ne se sont pas adaptés ayant des caractéristiques similaires, elles peuvent ne pas être exactement les mêmes. C'est pourquoi nous allons estimer le *MSP* par les trois méthodes, dont la méthode de l'appariement avec les voisins les plus proches *NNM* (*Nearest Neighbor Matching*) dans le processus d'estimation, la méthode d'Appariement par *Caliper* et la méthode d'appariement basée sur le noyau (*KM*) afin de comparer les résultats.

Conclusion du deuxième chapitre

Ce chapitre a explicité la méthodologie qui a été utilisée pour mener à bien cette étude. L'échantillon était de 2340 agriculteurs après extraction de la base de données de l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des Ménages Burundais(EICVMB). Les modèles économétriques qui seront utilisés, la gamme de tests et autres outils d'analyse ont également été montrés dans ce chapitre. Ainsi le modèle *logit* a été choisi pour l'analyse des facteurs déterminants de l'adaptation des agriculteurs burundais au choc de la sécheresse, et la méthode d'appariement du score de propension *ou propensity score matching (PSM*) a été choisie pour analyser l'impact de l'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs**.**

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre présente les résultats et les discussions de l'étude. L'analyse des données en quatre étapes. La première partie concerne une description des chocs climatiques les plus récurrents qui ont affectés les ménages ainsi que les stratégies d'adaptation, la seconde partie a concerné l'analyse descriptive des variables quantitatives et qualitatives, la troisième partie a concerné l'analyse des déterminants d'adaptation à la sécheresse des ménages burundais. La quatrième partie a concerné l'analyse de l'effet d'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs.

III.1. Analyse Descriptive

La figure suivante montre la répartition des chocs climatiques les plus récurrents selon le niveau ou taux d'affectation.

Tableau 4 : Provinces affectées par la sécheresse

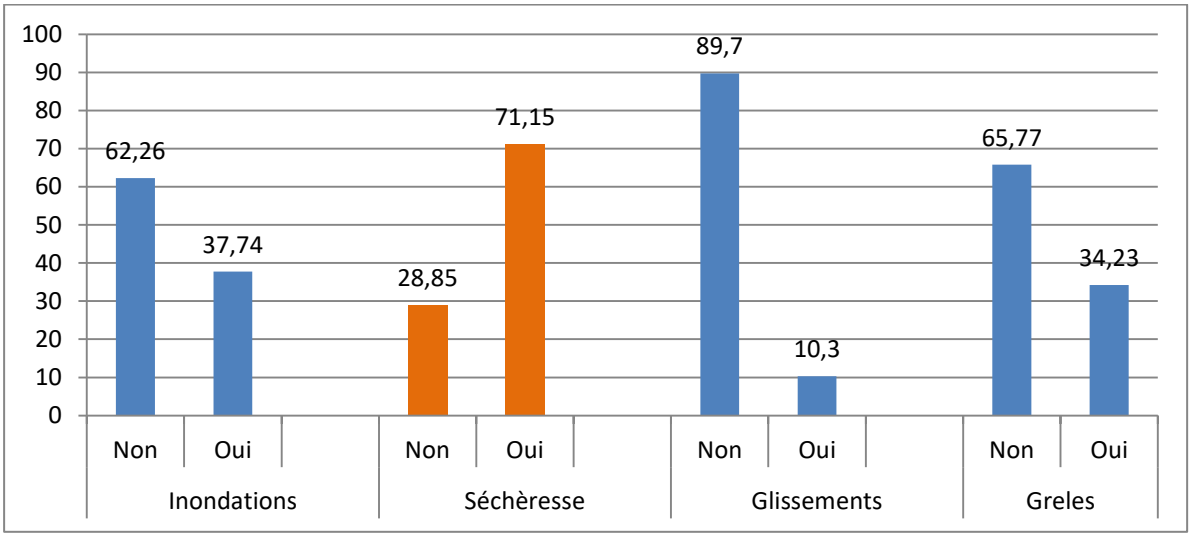
		Chocs climatiques			
Provinces		Glissement de terrains	Grêle	Inondation	Sècheresse
AU NIVEAU NATIONAL	OUI	10.3	34.23	37.74	71.15
	NON	89.7	65.77	62.26	28.85
BUBANZA	OUI	18.55	33.06	62.1	71.77
	NON	81.45	66.94	37.9	28.23
BUJUMBURA	OUI	17.07	36.59	21.14	65.04
	NON	82.93	63.41	78.86	34.96
BURURI	OUI	5.33	22.67	20	26.67
	NON	94.67	77.33	80	73.33
CANKUZO	OUI	2.36	25.98	37.8	89.76
	NON	97.64	74.02	62.2	10.24
CIBITOKE	OUI	24.68	31.82	25.97	80.52
	NON	75.32	68.18	74.03	19.48
Gitega	OUI	9.49	33.22	36.61	77.97
	NON	90.51	66.78	63.39	22.03
KARUZI	OUI	25	32.14	66.07	83.93
	NON	75	67.86	33.93	16.07
KAYANZA	OUI	4.42	36.46	56.91	68.51
	NON	95.58	63.54	43.09	31.49
KIRUNDO	OUI	4.65	37.67	36.28	73.35
	NON	95.35	62.33	63.72	24.65
MAKAMBA	OUI	21.69	28.92	25.51	73.49
	NON	78.31	71.08	73.49	26.51
MURAMVYA	OUI	0	24.53	41.51	69.81

	NON	100	75.47	58.49	30.19
MUYINGA	OUI	8.57	55.24	33.33	73.33
	NON	91.43	44.76	66.67	26.67
MWARO	OUI	0	45.83	12.5	66.67
	NON	100	54.17	87.5	33.33
NGOZI	OUI	10.57	58.15	38.33	59.47
	NON	89.43	41.85	61.67	40.53
RUTANA	OUI	5.71	8.57	8.57	77.14
	NON	94.29	91.43	91.43	22.86
RUYIGI	OUI	2.6	16.88	49.35	75.32
	NON	97.4	83.12	50.65	24.68
BUJUMBURA MAIRIE	OUI	3.85	0	34.62	19.23
	NON	96.15	100	65.38	80.77
RUMONGE	OUI	6.35	20.63	12.7	49.21
	NON	93.65	79.37	87.3	50.79

Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Le tableau ci-dessus montre que les quatre provinces qui ont été plus affectées sont Cankuzo (89.76%), Karusi (83.93%), Bujumbura Mairie (80.77%) et enfin Cibitoke (80.52%).

Figure 1 : Analyse descriptive du taux d'affectation de la sécheresse

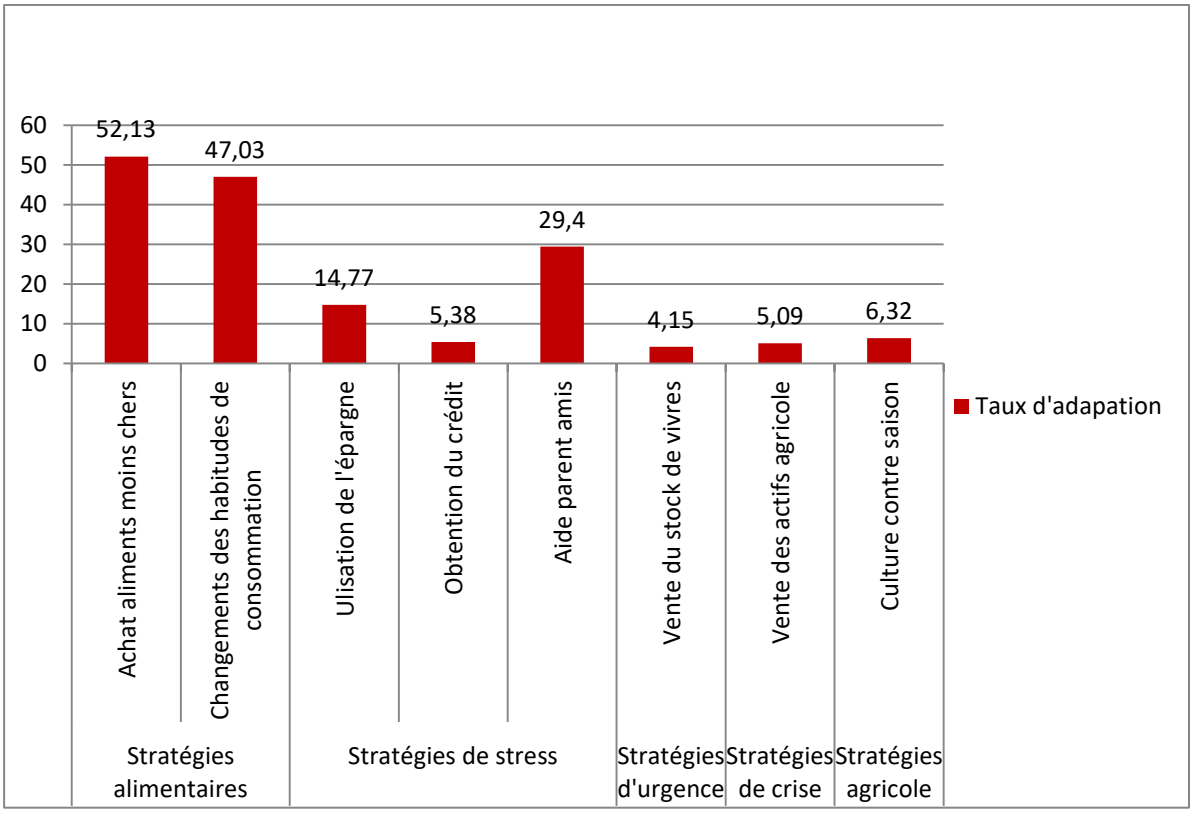


Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

La figure ci –dessus décrit le taux d'affectation des différents chocs climatiques au Burundi. Nous remarquons que le taux d'affectation de la sécheresse est de 71,15% suivi par les inondations (37,74%) ; les grêles (34,23%) ; et enfin les inondations (37,74%).Pour notre étude, nous avons considéré le choc de la sécheresse pour la simple raison que son taux d'affectation est le plus élevé.

Les chocs climatiques comme le glissement de terrain et les inondations leur impact au niveau des parcelles agricoles est très minime en raison qu'ils sont sélectifs comparativement à la sécheresse.

Figure 2: Analyse descriptive des stratégies d'adaptation à la sécheresse



Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

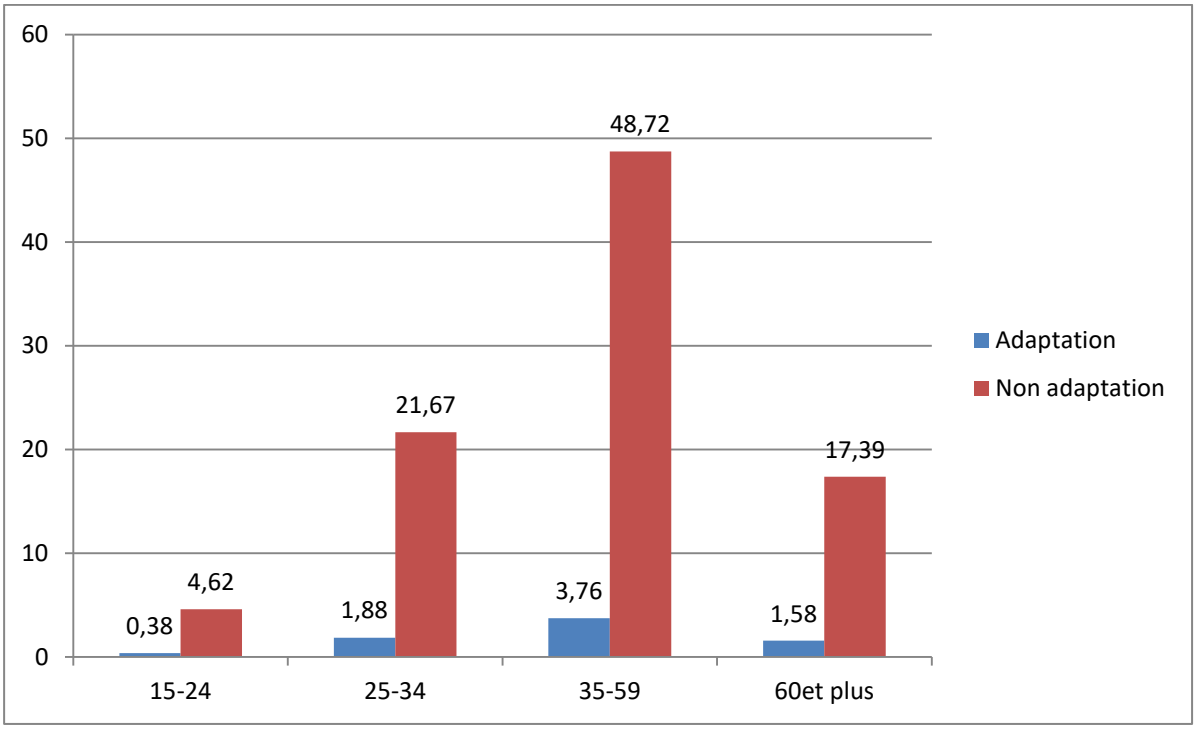
La figure ci-dessus montre les stratégies d'adaptation déployées par les ménages touchés. Quatre groupes de stratégies utilisées ont été identifiées à cet effet : Stratégies alimentaires, stratégies non alimentaires comprenant les stratégies de stress, les stratégies d'urgence, les stratégies de crise. Et enfin la stratégie agricole qui a consisté pour les agriculteurs à pratiquer la culture contre saison. Parmi les stratégies alimentaires, deux types de stratégies ont été mises en place : certains ménages agricoles ont opté d'acheter les aliments moins chers et d'autres ont changé les habitudes de consommation. S'agissant des stratégies de stress, certains ménages ont pu utiliser l'épargne constituée et emprunté du crédit, d'autres ont bénéficié des aides provenant des parents et autres amis .Quant à la stratégie de crise, pour se remettre au choc, certains ménages ont vendu certains de leurs actifs productifs agricoles.

III.1.1 Caractéristiques démographiques et sociodémographiques

III.1.1.1. Tranche d'âge du chef du ménage

Les résultats issus de l'Enquête Intégrée sur les Conditions de Vie des Ménages Burundais montre l'âge de l'agriculteur pour ceux qui se sont adaptés ou le contraire

Figure 3 : Répartitions des ménages selon l'âge du chef du ménage



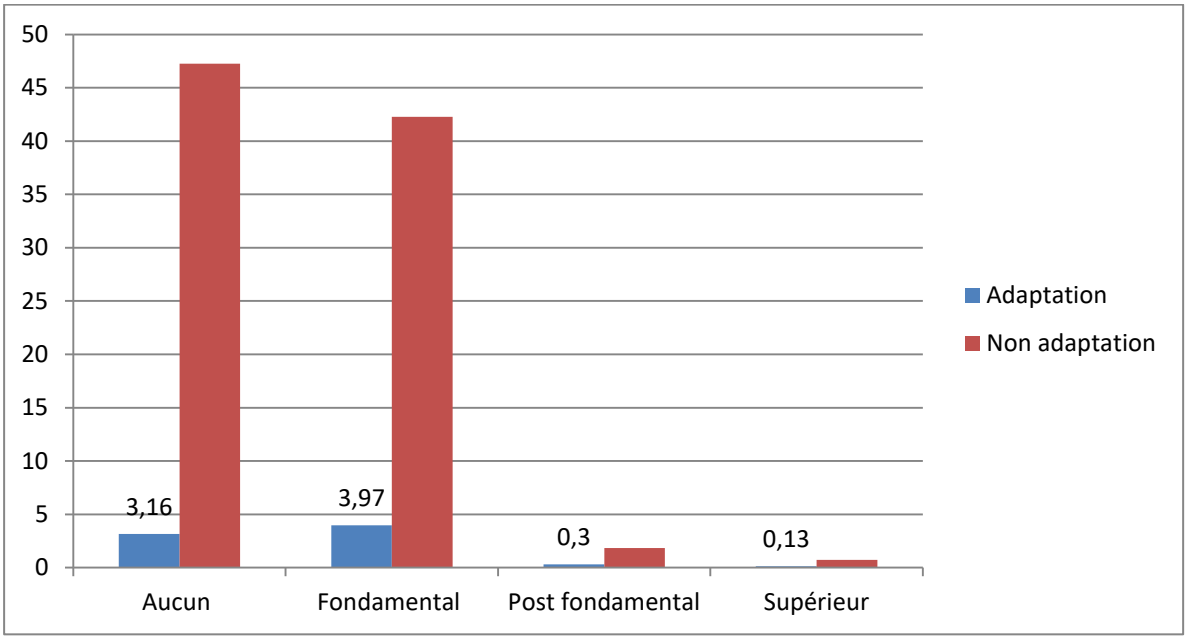
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Selon ces résultats, nous remarquons parmi les répondants et qui se sont adaptés 0,38% des chefs du ménages avaient l'âge compris entre 15-24ans ; 1,88% avaient l'âge comprenant entre 25-34ans : 3,76% avaient l'âge compris entre 35-59ans et 1,58 % avaient l'âge de plus de 60ans.Donc la plupart des ménages qui se sont adaptés à la sécheresse avaient l'âge compris entre 35 ans et 59 ans.

III.1.1.2. Niveau d'éducation du chef du ménage

Les résultats issus de l'Enquête ont illustré le niveau d'éducation du chef du ménage qui s'est adapté à la sécheresse et celui qui ne s'est pas adapté.

Figure 4 : Répartitions des ménages selon le niveau d'éducation du chef du ménage



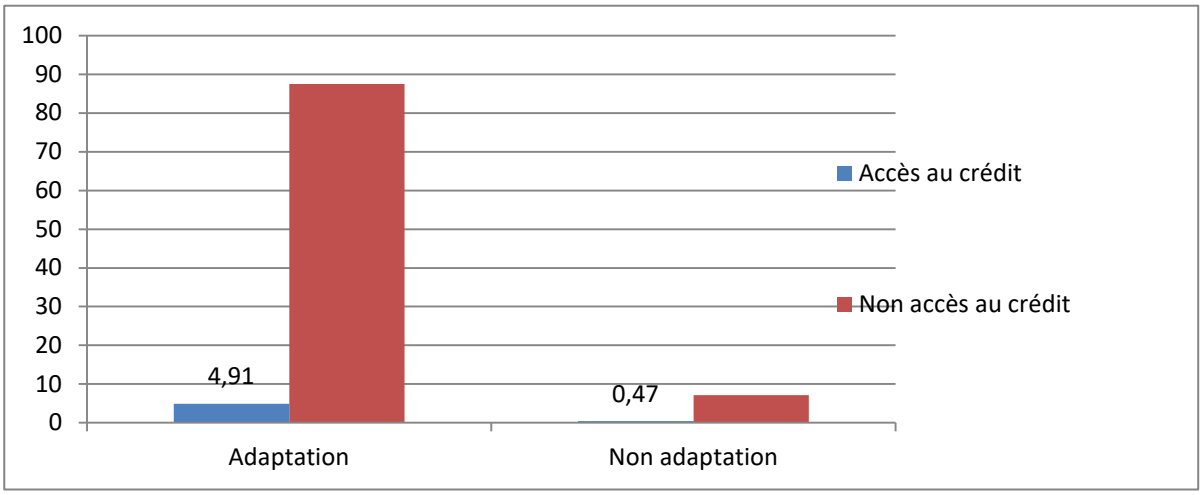
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

L'éducation est un facteur important qui influence la décision d'adaptation dans la plupart de cas. Sur cette figure, nous remarquons que parmi les répondant et qui se sont adaptés 3,16% n'avaient aucun niveau ; 3,97% avaient un niveau fondamental ; 0,3%avaient un niveau post fondamental. Parmi les répondants beaucoup d'entre eux n'avaient aucun niveau, d'autre avaient un niveau fondamental.

III.1.2. Caractéristiques institutionnelles

Les résultats de l'enquête intégrée sur les conditions de vie des ménages burundais ont illustré les ménages agricoles soit qu'ils se sont adaptés à la sécheresse, soit qu'ils ne se sont pas adaptés.

Figure 5 : Répartition des ménages selon l'accès au crédit



Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

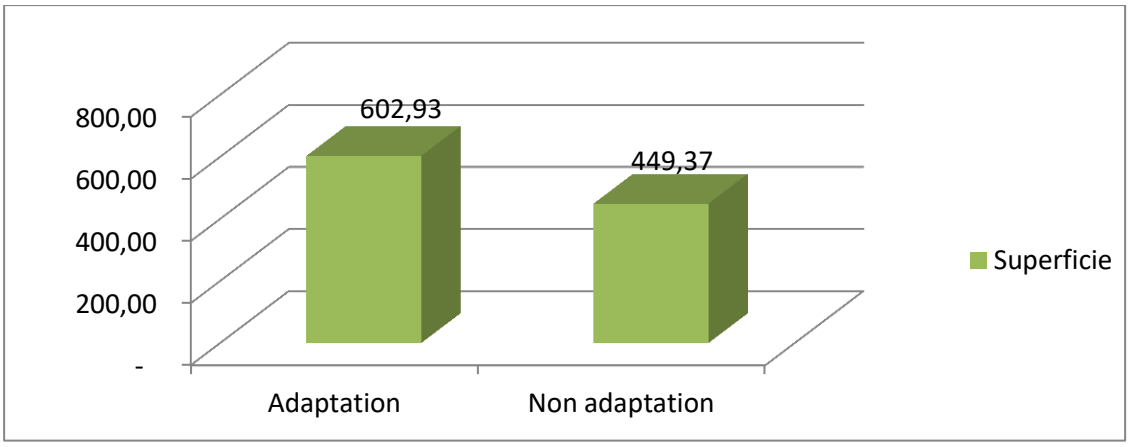
La figure ci-dessus montre que 4,91% des ménages burundais qui sont adaptés avaient l'accès au crédit et 87,48% des ménages burundais qui se sont adaptés n'avaient pas accès au crédit.

III.1.3 Analyse descriptive des variables quantitatives

III.1.3.1. Taille du ménage

Les résultats de l'enquête sur les conditions de vie des ménages burundais ont montré la répartition des ménages agricoles selon la superficie de chaque ménage en tenant compte de l'adaptation ou non des ménages.

Figure 6: Répartition des ménages selon la superficie



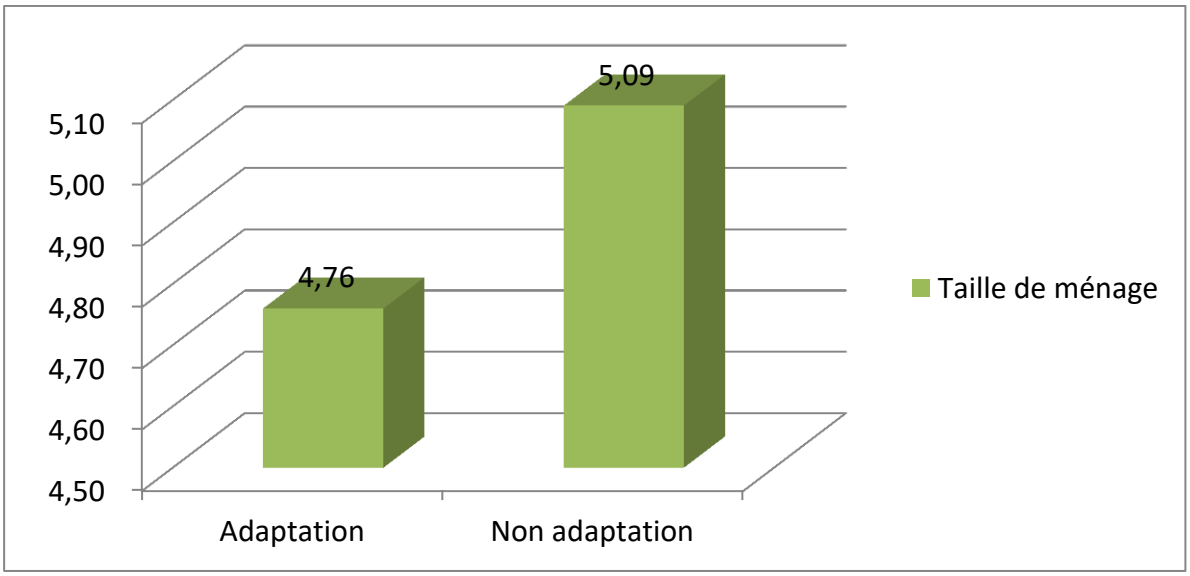
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

La figure ci-dessus illustre la superficie moyenne pour les deux groupes : ceux qui se sont adaptés et ceux qui ne se sont pas adaptés. La superficie en moyenne pour les ménages qui se sont adaptés est de 602 m^2 et de 449 m^2 pour les ménages qui ne se sont pas adaptés.

III.1.3.2. Taille du ménage

Selon les résultats de l'enquête sur les conditions de vie des ménages du Burundi, la figure suivante illustre la répartition des ménages burundais selon la taille de chaque ménage

Figure 7 : Répartition des ménages selon les membres du ménages



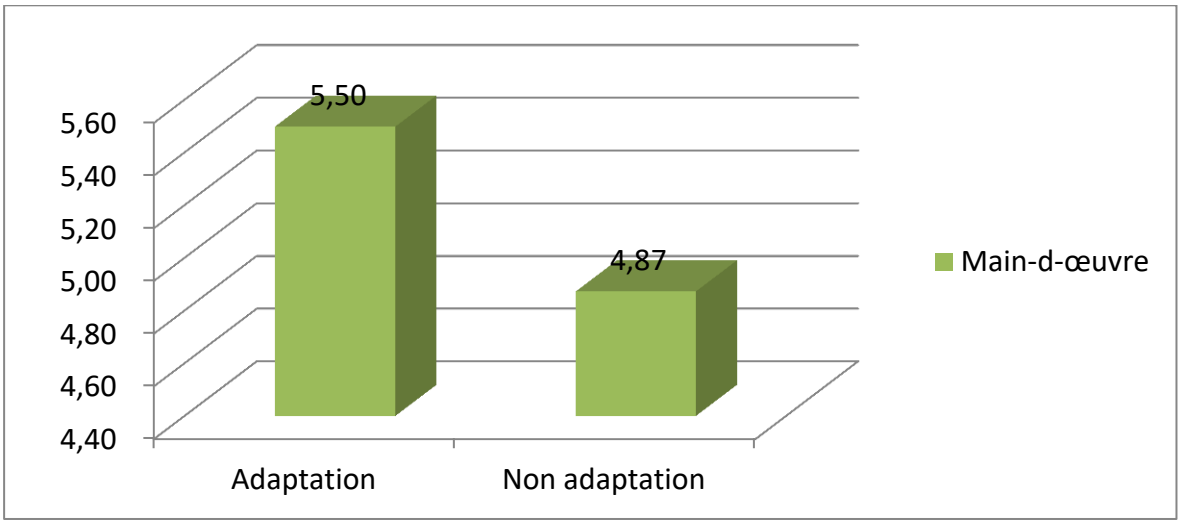
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Cette figure ci-dessus montre la taille du ménage pour les ménages qui se sont adaptés et ceux qui n'ont pas mis en place les stratégies d'adaptation. Il ressort de cette analyse que la taille du ménage était de 4,76 et 5,09 pour les ménages qui se sont adaptés et ceux qui ne se sont pas adaptés respectivement.

III.1.3.3. Main-d'œuvre

La figure suivante illustre la répartition des ménages suivant la main –d'œuvre utilisée dans la parcelle sur base de l'enquête sur les conditions de vie des ménages.

Figure 8 : Répartition des ménages selon la main-d'œuvre



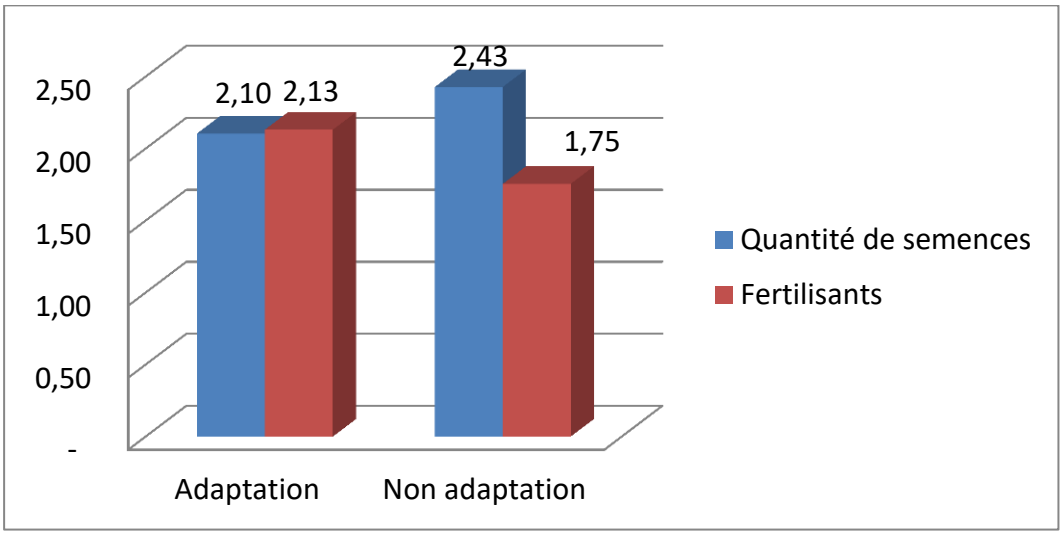
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

La figure ci-dessus illustre le nombre de travailleurs utilisés dans chaque parcelle agricole. Au cas où les ménages se sont adaptés le nombre de travailleurs utilisé est de 5,50 et de 4,87 en cas de non adaptation.

III.1.3.4. Quantité des intrants utilisés

Les résultats de l'enquête sur les conditions de vie des ménages burundais montrent les quantités des intrants (fertilisants et semences) utilisés dans les parcelles agricoles selon qu'ils se sont adaptés ou qu'ils ne se sont pas adaptés.

Figure 9 : Répartition des ménages selon les semences et fertilisants



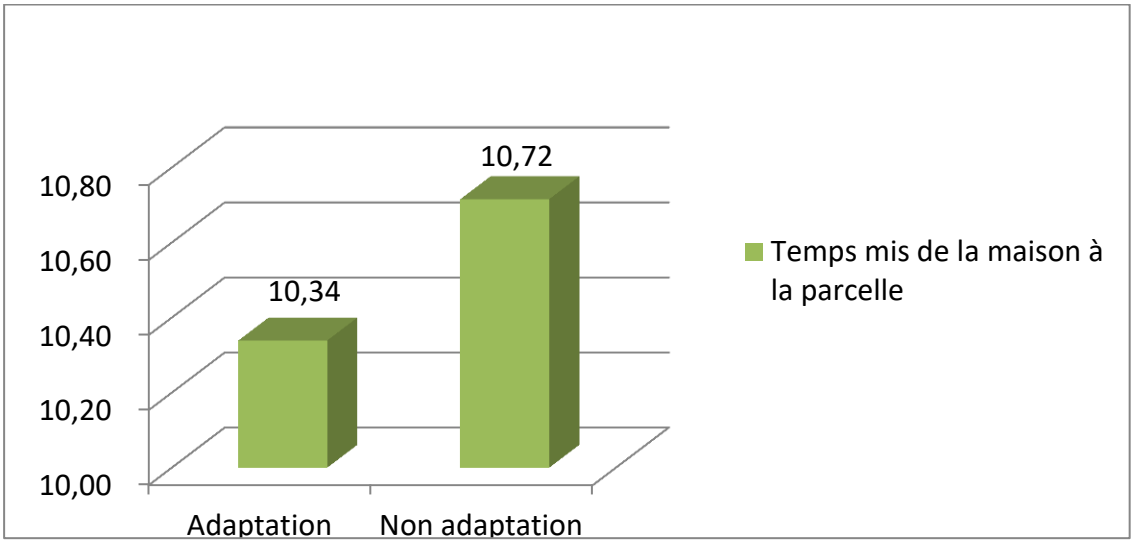
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

La figure ci-dessus illustre la quantité des semences et la quantité de main d'œuvre utilisé pour les deux groupes en cas d'adaptation ou non adaptation. La quantité de maïs utilisée est de 2,10 et 2,43 kg en d'adaptation et de non adaptation tandis que la quantité de fertilisants utilisée est 2,13kg et 1,75kg en cas d'adaptation et de non adaptation respectivement.

III.1.3.5. Temps utilisé de la maison à la parcelle

Les résultats de l'enquête illustrent le temps utilisé par les agriculteurs pour se rendre à la maison depuis la maison.

Figure 10 : Répartition des ménages agricoles par rapport au temps utilisé



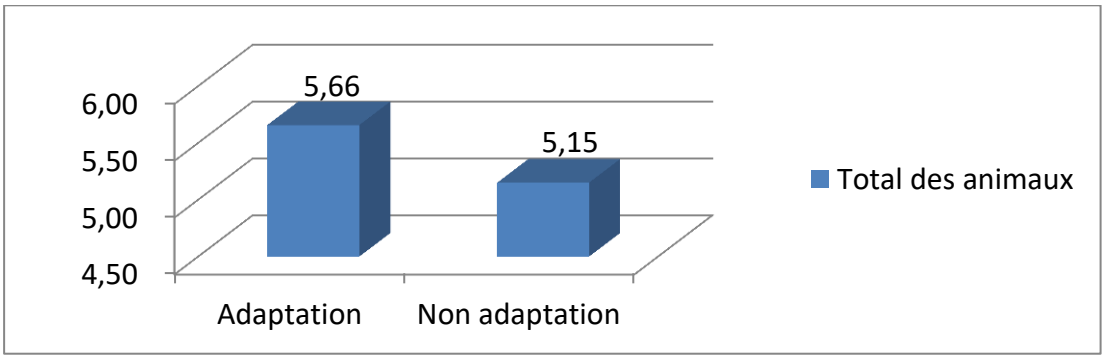
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Le temps nécessaire pour se rendre à la parcelle depuis la maison est de 10min pour les groupes. Enfin chaque ménage avait cinq têtes d'animaux pour les deux groupes.

III.1.4. Total des animaux

La figure ci-dessous illustre le nombre d'animaux détenus par les agriculteurs selon qu'ils se sont adaptés ou non.

Figure 11 : Répartition des ménages selon le nombre d'animaux



Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Pour les agriculteurs qui se sont adaptés ou non à la sécheresse, le nombre d'animaux pour chaque ménage était de cinq têtes.

III.2. Déterminants d'adaptation au choc de sécheresse

Nous avons pu identifier les déterminants d'adaptation à la sécheresse en utilisant le modèle logit. Des tests de validation du modèle ont été effectués afin de confirmer la fiabilité de nos résultats. Pour rendre les variables indépendantes explicables. Pour la multicolinéalité, nous avons trouvé une valeur de 1,21 qui est inférieure à 10 ce qui nous pousse à confirmer qu'il n'y a pas un problème de multicolinéalité.

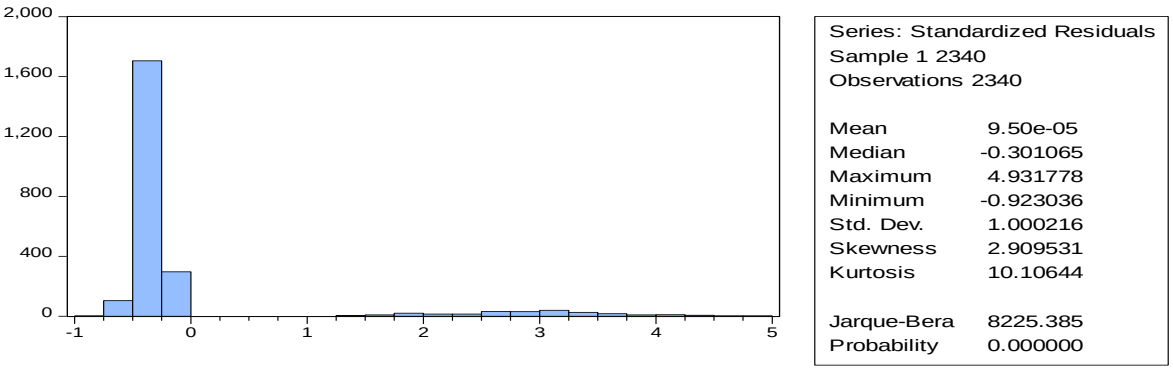
Le résultat du test d'ajustement de Hosmer et Lemeshow montre la probabilité (Prob > chi2= 0.2518) qui est supérieur à 5% et cela nous permet le rejet de l'hypothèse alternative selon qui stipule que le modèle n'est pas bien ajusté. Le test de bonne prédiction(ROC) nous montré une valeur de 0,6368. Cette valeur montré que la prédiction du modèle est à 63%.De cette valeur, nous pouvons confirmer que le modèle est acceptable.

III.2.1. Résumé des résultats des tests de spécification du modèle

Type de tests	Résultats des tests	Conclusion
Test de multi colinéarité	Moyenne VIF : 1.21	Absence de multi colinéarité
Test de Hosmer et Lemeshow	Test de Hosmer et Lemeshow : Prob > F = 0.2260>5%	Bon ajustement du modèle
Test de bonnes prédictions avec surface ROC	Coefficient de bonne prédiction : (0,5 ≤ 0.6368 < 0,7).	Peu informatif et acceptable

Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'IECVMB-2019/2020

III.2.2. Test de normalité des erreurs



Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Le graphique ci-dessus illustre la normalité des erreurs. Les résultats de ce graphique montrent que les erreurs ne suivent pas une loi normale. De ce qui précède l'estimation par le modèle logit dans ce modèle est approprié et nous remarquons que la probabilité de statistique de Jarque-Berra est inférieure à 5%.

III.2.3. Estimation des déterminants d'adaptation à la sécheresse

Sur base des résultats que nous avons trouvés, nous remarquons que le modèle est globalement significatif au seuil de 1%. Pour cela, nous pouvons admettre qu'il y a une relation significative entre toutes les variables considérées pour le cas de notre étude. En plus de cela nous nous rendons compte que le p value associé au test de chi 2 est significatif (Prob> chi2=0.0000), nous pouvons dire que les paramètres de régression sont statistiquement significatifs.

Tableau 5 : Estimation Logit des déterminants d'adaptation à la sécheresse

ADAPTy	Odds Ratio	Robust Std. Err.	z	P>z	dy/dx
QSEMMAIS	.9899855	.0122006	-0.82	0.414	-.0003233
1.SECH	1.577106	.2619233	2.74	0.006***	.0365733
TMEN	.9031805	.0343375	-2.68	0.007***	-.0084933
AGCM					
[25-34]	1.138694	.4093775	0.36	0.718	.0096718
[35-59]	1.352365	.4863159	0.84	0.401	.0248366
[60 et Plus]	1.43174	.5308834	0.97	0.333	.0295989
NIVETCM					
Fondamentale	1.379543	.2184317	2.03	0.042**	.0259614
Post fondamentale	2.221516	.8452359	2.10	0.036**	.0822163
Supérieur	2.390022	.9464832	2.20	0.028**	.0895435
SUPMAIS	1.000034	.0000368	0.93	0.351	3.57e-06
FERTIL	1.00348	.01195	0.29	0.770	.0002276
MODM	1.00823	.0073197	1.13	0.259	.0006552
TMPARC	.9973616	.0026166	-1.01	0.314	-.0002045
1. ACRED	2.556278	.5178433	4.63	0.000***	.1094634
RECM	1	1.68e-07	1.48	0.138	3.97e-08
TOTANIM	1.013672	.0087781	1.57	0.117	.0011639
_cons	.065076	.0253804	-7.01	0.000***	

Number of obs	=	2,340
Wald chi2(17)	=	58.17
Prob > chi2	=	0.0000***
Pseudo R2	=	0.0363
Log pseudolikelihood	=	0.0363

*** significative à 1% (p<0.1) ; **significative à 5% (p<0.05); *significative à 10% (p<0.1)

Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

III.2.4. Interprétation des rapports de chances

La survenance de la sécheresse a un odds ration de 1.577106 au seuil de 1%. Cela veut dire que les ménages agricoles qui ont subi la sécheresse ont 1.577106 fois de chances de s'adapter.

La taille du ménage a un odds ratio de 0.9031805avec une probabilité significative au seuil de 1% (P>|z|= 0.001).Cela Signifie que un nombre important dans un ménage a moins de chance à s'adapter à la sécheresse.

Ensuite, l'éducation fondamentale du chef de ménage, post fondamentale et supérieure ont respectivement des odds ratio 1.379543; 2.221516; 2.390022, avec des probabilités significatives pour un seuil de 5% (P>|z|= 0.042) pour les agriculteurs de niveau fondamental et significatives pour un seuil de 5% (P>|z|= 0.036) pour les agriculteurs de niveau post fondamental et significative pour un seuil de 5% (P>|z|= 0.028) pour les agriculteurs de niveau supérieur. Cela signifie que ceux qui ont des niveaux : fondamental, post fondamental et supérieur ont respectivement 1.379543; 2.221516; 2.390022, fois plus de chances de s'adapter à la sécheresse par rapport aux agriculteurs n'ayant aucun niveau d'étude. On peut considérer que les exploitants les plus éduqués disposent de plus d'informations leur permettant de mieux évaluer l'innovation et ainsi de limiter leur niveau d'incertitude.

En fin l'accès au crédit a un odds ration de 2.556278 avec une probabilité significative au seuil de 1%(P>|z|= 0.000). Cela signifie qu'un agriculteur de maïs bénéficiant un crédit a plus de chance de s'adapter à la sécheresse.

III.2.5. Interprétation des effets marginaux

Selon la théorie existante, les effets marginaux sont utilisés pour le cas présent pour que nos coefficients estimés soient facilement interprétables. Ils mesurent l'effet de la variation d'une variable indépendante sur la probabilité d'adaptation à la sécheresse.

Pour le cas de notre étude, les résultats trouvés nous ont montré que pour les producteurs de maïs qui ont été affectés par la sécheresse au cours des trois années passées, la probabilité de s'adapter à la sécheresse augmente de 0.0365733 soit 3% en maintenant les autres variables constantes. Ceci peut s'expliquer également par ce que la sécheresse affecte négativement la production agricole et plus spécifiquement le maïs qui est une culture saisonnière et qui est sensible aux faibles pluviométries (Mémento de l'agronome). Son taux d'affectation qui est expliqué par sa récurrence et qui est ici de 71,15% engendre le taux de prolifération de certains raveurs ce qui oblige les ménages agricole de s'adapter par l'achat des aliments moins chers, utilisation de l'épargne, changement d'habitude de consommation.

Alors que pour la variable taille du ménage, lorsqu'elle augmente d'une unité la probabilité de s'adapter à la sécheresse diminue de -0.0084933soit 0.8%. Cela peut se justifier par le fait qu'un en enfant supplémentaire représente pour beaucoup de ménages burundais un coût car les dépenses peuvent éventuellement augmenter suite à un nouveau-né. En effet, les ménages plus nombreux devraient développer des stratégies adaptatives précises pour couvrir les dépenses alimentaires et monétaires.

S'agissant du niveau d'éducation, d'une manière globale et sur base des résultats trouvés, toutes les probabilités trouvées sont statistiquement significatives et leur influence et positive.

Pour notre cas, les producteurs qui ont le niveau d'étude fondamental s'adaptent à la sécheresse par rapport à ceux qui n'ont aucun niveau d'étude et leur probabilité augmente de 0.0259614 soit 2% toutes choses restant égales par ailleurs. Il en est de même pour les producteurs qui ont un niveau post fondamental, leur probabilité de s'adapter à la sécheresse augmente de 0.0822163 soit 8% par rapport toujours à ceux qui n'ont aucun niveau d'étude.

Mêmement pour les producteurs de maïs qui ont un niveau universitaire, la probabilité de s'adapter à la sécheresse augmente de 0.0895435 soit 8 % en maintenant toutes les variables constantes.

En fin, pour les agriculteurs ayant accès au crédit, la probabilité de s'adapter à la sécheresse augment positivement et significativement de 0.1094634 soit 10 % par rapport à ceux n'ayant pas accès au crédit toutes choses restant égales par ailleurs.

III.2.6. Effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs

Pour estimer l'effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs nous sommes appuyés de la variable du résultat (la production de maïs) et de la variable de sélection (adaptation**).** Nous nous sommes servis également des autres variables que nous avons considérées dans notre modèle. Pour notre cas la méthode d'appariement des scores de propension a été utilisée pour étudier l'effet d'adaptation au choc de la sécheresse sur la production de maïs. A cet effet, l'évaluation de la qualité d'appariement entre les agriculteurs qui se sont adaptés et ceux qui ne sont pas adaptés a été effectuée.

Tableau 6 : Test de propension et test d'équilibrage des covariances

	Unmatched	Mean		% reduct bias		t-test	
Variable	Matched	Treated	Control	% reduct bias	% bias	t	p>t
QSEMMAIS	U	2.103	2.4278	-3.3		-0.38	0.707
	M	2.103	2.1513	-0.5	85.1	-0.12	0.905
SECH	U	.77682	.69103	19.5		2.71	0.007
	M	.77682	.7382	8.8	55.0	0.97	0.332
TMEN	U	4.7597	5.0907	-14.8		-2.15	0.031
	M	4.7597	4.8498	-4.0	72.8	-0.44	0.657
AGCM	U	1.8841	1.851	4.2		0.62	0.537
	M	1.8841	1.897	-1.6	61.2	-0.17	0.862
NIVETCM	U	.82833	.62506	23.7		3.72	0.000
	M	.82833	.81116	2.0	91.6	0.19	0.847
SUPMAIS	U	602.93	449.37	7.1		1.22	0.223
	M	602.93	971.8	-17.0	-140.2	-1.23	0.219
FERTIL	U	2.1309	1.7549	5.6		0.85	0.394
	M	2.1309	2.8991	-11.5	-104.3	-1.01	0.311
MODM	U	5.4979	4.8272	5.8		0.83	0.407
	M	5.4979	6.2747	-6.8	-15.8	-0.61	0.545
TMPARC	U	10.339	10.716	-1.2		-0.16	0.872
	M	10.339	8.0258	7.6	-514.2	1.03	0.301
ACRED	U	.16309	.07072	29.0		4.96	0.000
	M	.16309	.15451	2.7	90.7	0.25	0.800
RECM	U	91540	48786	11.0		2.28	0.023
	M	91540	1.0e+05	-3.1	71.6	-0.27	0.786
TOTANIM	U	5.6567	5.1505	6.5		0.97	0.331
	M	5.6567	5.9614	-3.9	39.8	-0.40	0.691

Le niveau des biais standardisés avant et après l'appariement. Avant appariement, le niveau des biais standardisés des covariables était compris 1,2 % et 29% en valeur absolue. Après appariement, le niveau de biais standardisés des covariables était compris entre 17% et 0,7% en valeur absolue ce qui est inférieur au niveau critique de 20 % suggéré par Rosenbaum e Rubin (1985). Ce qui justifie que les biais restants n'empêchent pas l'estimation des résultats fiables.

Tableau 7 : Indicateur de la qualité avant et après appariement

Sample	Ps R2	LR chi2	p>chi2	MeanBias	MedBias	B	R	%Var
Unmatched	0.036	54.3	0.000	11	6.8	49.4*	1.38	50
Matched	0.011	7.14	0.848	5.8	4	24.6	0.94	30

Source **:** Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

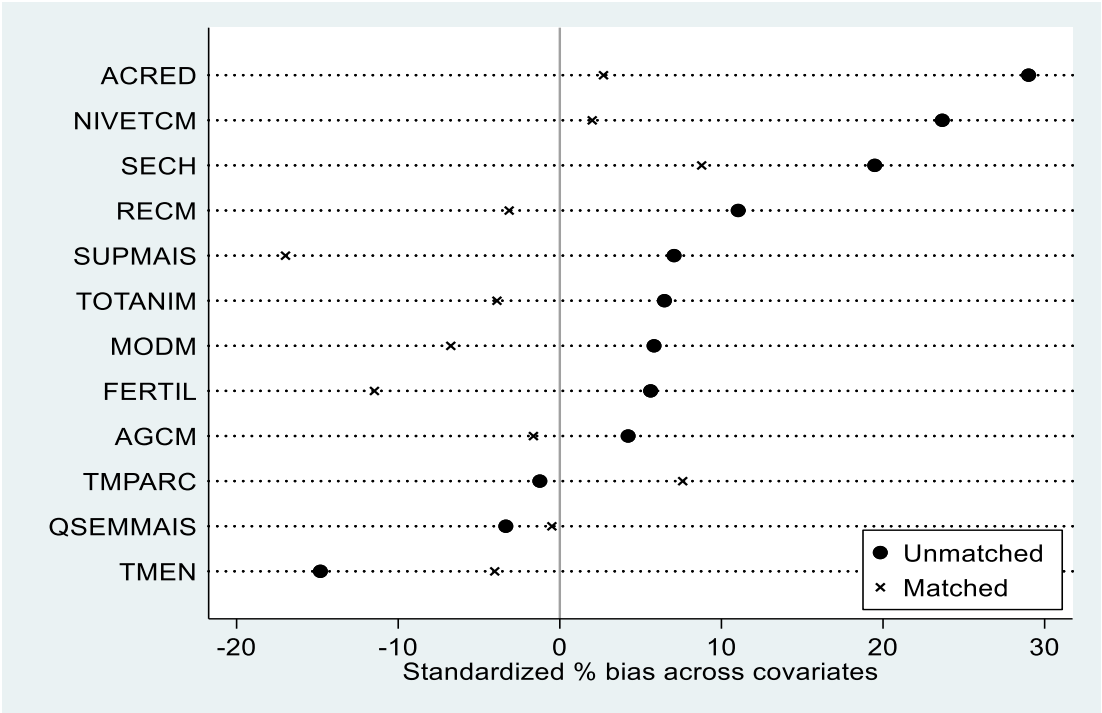
Les résultats indiquent une bonne qualité de l'appariement des agriculteurs de la population enquêtée. En effet le pseudo-R 2 est faible après appariement (7.14%) contre (54.3%) avant appariement. En outre, le biais moyen est aussi très réduit par rapport à l'échantillon des non appariés. La moyenne des biais après appariement est devenue 5.8% contre 11% avant appariement. De plus, le test du rapport de vraisemblance indique que l'hypothèse nulle de la signification conjointe de toutes les covariables pourrait être rejeté avant appariement p>chi2= 0.000. Inversement, après l'appariement, avec le même test, la signification conjointe de toutes les covariables n'a pas pu être rejetée p>chi2= 0.848 Ces résultats indiquent que la propriété d'équilibrage requise de la distribution des scores de propension est satisfaite.

Test de propension et test d'équilibrage des covariances

Les résultats de ce test montre qu'il n'y a aucune différence significative n'est signalée en ce qui concerne les moyennes avant l'appariement .Après appariement aucune des covariablesk n'est significatives. Les résultats sont présentés en annexe.

Figure 12 : Biais standardisé avant et après appariement

Cette figure suivante montre le niveau de biais standardisé avant et après appariement.



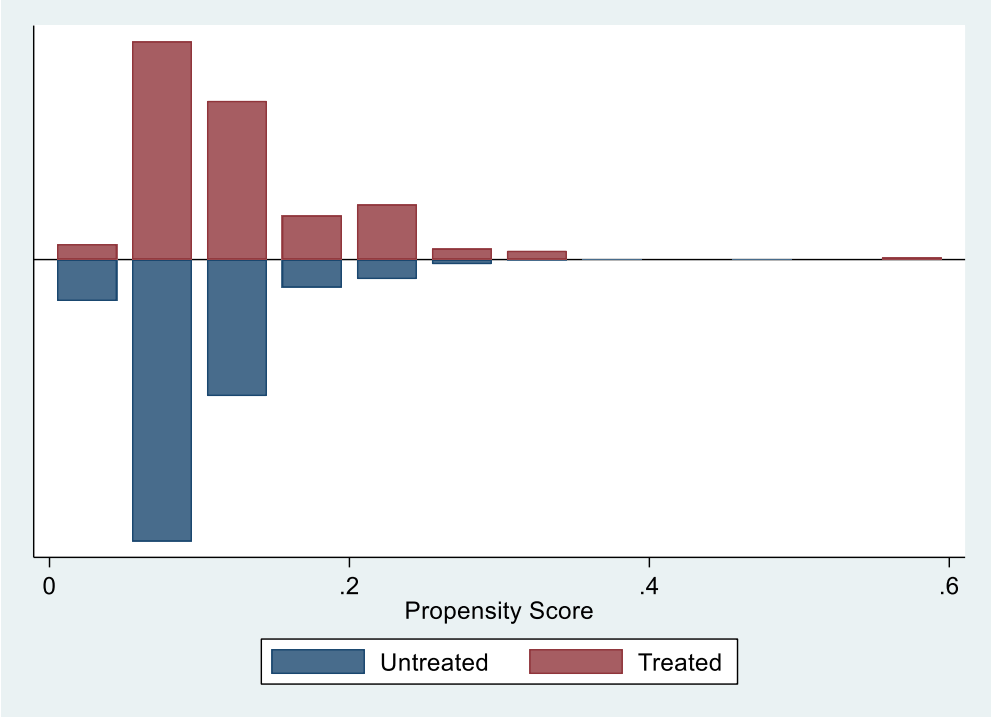
Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Les petits points ronds en noir représentent les biais avant appariement tandis que les astérix représentent les biais après l'appariement. Avant appariement nous remarquons que certaines variables ont des valeurs qui tendent à s'éloigner de zéro. Les variables comme revenu, sécheresse, niveau d'étude, tendent à avoir un biais supérieur à 10% jusqu' à atteindre même 30%.

Après appariement nous remarquons qu'il y a eu une réduction des biais standardisés. Ce sont les variables revenu, main-d'œuvre, fertilisants, âge. Cela montre les bons résultats obtenus sur notre échantillon.

III.2.7. Délimitation du chevauchement et du support commun

Figure 13 : Distribution des scores de propension et support commun



Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Note :

- Treeted indique les observations pour les agriculteurs qui se sont adaptés
- Untreated indique les observations pour les ménages qui se ne sont pas adaptés

Au-dessus de la ligne horizontale au milieu se trouvent les ménages qui se sont adaptés et en dessous de cette ligne se situent des ménages qui ne sont pas adaptés. Cette figure montre la superposition des traités et des non traités. Ce qui montre que le support commun est satisfait.

III.2.8. Résultats de l'effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs

Tableau 8 : Résultats de l'effet de l'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs

Variable	Sample	Treated	Controls	Difference	T-stat
PRODMA	ATT	82.602662kg	40.3487745kg	**42.2538875 kg**	2.20
	ATU	33.9715707 kg	65.831526kg	31.8599553kg	.

Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

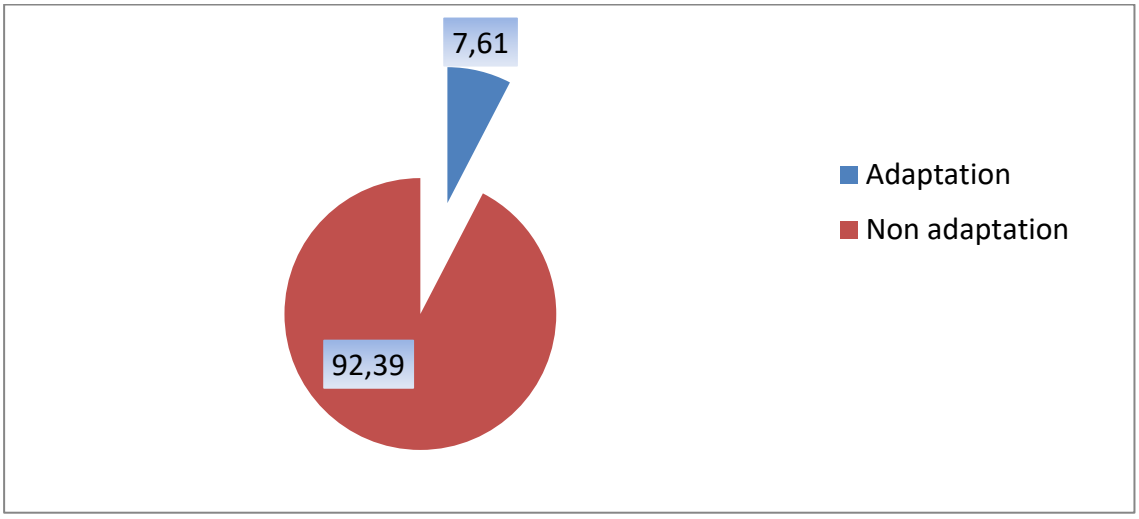
En considérant les résultats que nous avons pu trouver, nous remarquons que la production de maïs obtenue par le groupe de traitement(ATT) est supérieure à celle du groupe témoin.

Les ménages du groupe de traitement ont eu en moyenne une production de 82.602662kg et ils auraient la production de 40.3487745kg s'ils ne s'adapteraient pas. Le t- test obtenu de 5.43 est supérieur à 1,96 signifie que les résultats sont statistiquement significatifs. La différence (42.2538875kg) signifie l'effet moyen de traitement. Autrement dit cette différence signifie la production que les ménages ont gagnée sous l'effet de l'adaptation. Elle signifie également la production que les ménages agricoles qu'ils auraient perdue s'ils ne s'adaptaient pas.

Par contre si nous regardons les résultats de la ligne ATU à la colonne une, la quantité 33.9715707kg est une production obtenue par les ménages agricoles qui ne se sont pas adaptés. Alors que la quantité de 65, 831526 kg est la production que les ménages agricoles obtiendraient s'ils mettaient en place les stratégies d'adaptation. La différence de 31.8599533 kg signifie la production supplémentaire qu'ils auraient gagnée s'ils s'adaptaient.

III.2.9. Taux d'adaptation à la sécheresse

Figure 14 : Taux d'adaptation des agriculteurs à la sécheresse



Source : Calcul de l'auteur à partir des données de l'EICVMB-2019/2020

Au Burundi, sur 2340 individus faisant objet d'étude, et face à la survenance de la sécheresse, seulement 7,61% ont pu s'adapter. Nous nous rendons compte que ce taux semble faible.

III.2.10. Discussions des résultats

III.2.10.1. Déterminants d'adaptation à la sécheresse

La taille du ménage influence négativement la probabilité d'adaptation à la sécheresse de 9%. Les résultats trouvés montrent qu'il existe une relation négative entre l'adaptation à la sécheresse et la taille du ménage D'après ces résultats nous remarquons que L'influence de la taille du ménage sur l'utilisation des méthodes d'adaptation peut être vue sous deux angles. La première hypothèse est que les ménages avec des familles nombreuses peuvent être contraints de détourner une partie de la main-d'œuvre vers des activités non agricoles dans le but de gagner un revenu afin d'alléger la pression de consommation imposée par une famille nombreuse (Yirga, 2007). L'autre hypothèse est qu'une grande taille de famille est normalement associée à une plus grande dotation en main-d'œuvre, ce qui permettrait à un ménage d'accomplir diverses tâches agricoles. Par exemple, Croppenstedt et al., 2003 affirment que les ménages disposant d'un plus grand bassin de main-d'œuvre sont plus susceptibles d'adopter la technologie agricole et de l'utiliser plus intensivement car ils ont moins de pénuries de main-d'œuvre aux heures de pointe. Ici, on s'attend à ce que les ménages avec des familles nombreuses soient plus susceptibles de s'adapter au changement climatique.

L'éducation du chef du ménage influence positivement et significativement la probabilité d'adaptation à la sécheresse. Des preuves provenant de diverses sources indiquent qu'il existe une relation positive entre le niveau d'éducation du chef de ménage et l'adoption de technologies améliorées (Igoden et al., 1990 ; Lin, 1991) et l'adaptation au changement climatique (Maddison, 2006). Par conséquent, les agriculteurs ayant des niveaux d'éducation plus élevés sont plus susceptibles de mieux s'adapter au changement climatique.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de Anley et al. (2007) qui ont affirmé que l'amélioration de l'éducation et de l'emploi est essentielle pour stimuler la participation locale dans diverses mesures d'adaptation. Les agriculteurs qui ont un niveau d'étude sont susceptibles de s'adapter car grâce aux informations et diverses formations ils parviennent à comprendre que des stratégies d'adaptations aident à amortir l'ampleur du choc. Selon Maddison (2007), les agriculteurs éduqués et expérimentés ont plus de connaissances et d'informations sur le changement climatique et les mesures d'adaptation à mettre en œuvre pour répondre aux défis climatiques.

L'accès au crédit augmente la probabilité de s'adapter à la sécheresse de 0.02 %.

En effet, L'accès au crédit atténue les contraintes de trésorerie et permet aux agriculteurs d'acheter des intrants tels que des engrais, des variétés de cultures améliorées et des installations d'irrigation. Ces résultats corrèlent également avec ceux trouvés par Yirga, 2007 ; Pattanayak et al., 2003 qui montré qu'il existe une relation positive entre le niveau d'adoption et la disponibilité du crédit.

III.2.10.2. Effet d'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs

Sur base des résultats que nous avons trouvés, il est clair que l'adaptation à la sécheresse reste impérative et indiscutable. Nous avons estimé que les ménages qui, grâce à l'adaptation à la sécheresse, disposent **42.2538875 kg** supplémentaires. Par contre les ménages qui ne sont pas adaptés ont perdu une production de **31.8599553kg** qui représente un manque à gagner. En effet, la mise en place des stratégies d'adaptation amortissent les conséquences des chocs climatiques sur le bien être des communautés vulnérables et à capacité d'adaptation faible. Même si au Burundi existent certains ménages qui se sont adaptés, nous avons remarqué qu'il est encore loin pour que l'adaptation soit effective.

Par ailleurs, sachant que les exploitants agricoles sont financièrement pauvres et l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi n'est pas à mesure de relever ce défis.

Les résultats de cette étude nous permettront de conclure qu'un département indépendant chargé d'intervenir d'une manière urgente en cas de la survenance des chocs pareils s'avère impératif afin d'atténuer les effets néfastes des changements climatiques sur la production agricole et en général sur le bien être des communautés rurales dépendantes de l'agriculture. Ainsi pour le cas du Burundi où la majeure partie de la population est soumises aux effets des variabilités climatiques, il est essentiel de comprendre la réaction des agriculteurs aux variations des paramètres climatiques afin de concevoir des stratégies d'adaptations appropriées.

III.2.10.3. Taux d'adaptation à la sécheresse

Le taux d'adaptation à la sécheresse est de 7,61%. Sur base des résultats trouvés, il n'est pas surprenant de voir 92,39% qui ne se sont pas adaptés. Selon Selon Vogel et Reid (2005), la chose la plus importante à adapter face au changement climatique est de renforcer la résilience sociale, économique et environnementale des communautés les plus vulnérables.

Conclusion du troisième chapitre

Cette partie du travail avait pour objectif d'analyser l'effet d'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs. Au terme de ce chapitre. Nous avons constaté que les ménages burundais sont beaucoup touchés par la sécheresse avec un taux d'affectation de 71,15%. S'agissant des stratégies d'adaptation déployées pour faire à la sécheresse nous avons inventorié quatre groupes de stratégies utilisées. Il s'agissait entre autres les stratégies alimentaires, les stratégies de crise, les stratégies d'urgence. Pour les stratégies alimentaires, trois sous composantes ont été retenues : la stratégie d'achat des aliments moins chers a été utilisée avec un taux de 52,13% ; changements d'habitude de consommation (47,03%) . Quant aux stratégies de stress, deux stratégies ont été utilisées : utilisation de l'épargne (14,55%) ; obtention du crédit (5,38%) ; S'agissant des stratégies de stress et de crise, la vente de stock de vivres et la vente des actifs agricoles ont été utilisées avec un taux de 4,15% et 5,09% respectivement. Enfin la stratégie agricole pour se remettre à la sécheresse a été utilisée avec un taux de 6,32%.

L'estimation économétrique nous a montré que la sécheresse, la taille du ménage, le niveau d'éducation et l'accès au crédit sont des facteurs déterminants de l'adaptation à la sécheresse.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous avons constaté que l'adaptation à la sécheresse est une nécessité pour promouvoir la résilience face au climat en perpétuel changement étant donné que l'agriculture burundaise est tributaire du climat et fait vivre tout le monde sans exception. La contribution du secteur agricole à l'économie de notre pays est colossale tant au niveau de son apport en produit intérieur brut tant au niveau de l'emploi. La contribution du mais sur volet économique et alimentaire reste également impérative d'où une nécessité de promouvoir cette culture. Notre étude avait comme objectif de décrire les chocs climatiques et les stratégies d'adaptation dans un premier temps, d'analyser les déterminants d'adaptation à la sécheresse des ménages burundais dans un second temps et enfin de déterminer l'effet d'adaptation à la sécheresse sur la production de maïs. Nos résultats sur les chocs climatiques ont montré que la sécheresse est le premier risque climatique auquel les agriculteurs burundais sont confronté avec un taux d'affectation de 71,17% alors que les aléas comme inondations, glissement de terrain, grêle avaient un taux d'affectation très réduit d'où une non nécessité de les considérer dans notre étude. Quant aux déterminants de l'adaptation à la sécheresse des ménages burundais les résultats ont montré que les facteurs comme la sécheresse, taille du ménage, le niveau d'éducation, l'accès au crédit étaient des facteurs explicatifs d'adaptation à la sécheresse.

Plus d'années d'éducation, plus d'expérience du chef de ménage augmentent la possibilité de la sélection d'une ou plusieurs options d'adaptation à la variabilité climatique de la production de maïs. Des conclusions similaires concernant l'effet de l'éducation, de l'expérience agricole et du niveau de revenu ont été rapportées par Ashraf et al. (2014); Abid et al. (2016), et Trinhet al.

D'autres conclusions du modèle MNL étaient que la participation à des cours de formation avait l'effet le plus significatif sur l'application de l'adaptation au changement climatique par les producteurs du maïs. Cela indique l'importance des cours de formation dans l'amélioration de la sensibilisation des agriculteurs à l'application des potentiels d'adaptation au changement climatique perçus des ménages. Ceci est cohérent avec les conclusions de Mehar et al. (2016); Asfaw et al. (2018), et Trinh et al. (2018).

L'adaptation à la sécheresse s'est avérée importante elle a suscité l'augmentation de la quantité produite du maïs par rapport à non adaptation. Nos résultats trouvés ont révélé que les ménages qui ont mis en place des stratégies d'adaptation ont eu 82.602662 kg et s'ils ne s'adaptaient pas c'est –à-dire s'ils s'abstiendraient ils auraient eu 40.3487745 kg . De ce qui précède notre étude nous a montré un gain d'adaptation réel ou l'effet moyen de traitement de 42.2538875 kg.

Quant aux ménages réticents, qui n'ont pas accepté de mettre en place les stratégies ils ont obtenu une production moyenne de 33.9715707 kg de maïs et le résultat conditionnel (hypothétique) serait de 65.831526kg de maïs. La différence de 31.8599553 est le gain que ceux qui ne sont pas adaptés auraient obtenu.

Tenant compte des résultats trouvés des recommandations par rapport à notre étude sont les suivantes:

Recommandations

- Aux décideurs politiques

- Promouvoir programme national de diffusion des jardins de case (« Kitchengarden ») une mesure d'adaptation au changement climatique dans le but d'assurer la sécurité alimentaire et la nutrition dans le cadre du Plan stratégique multisectoriel de sécurité alimentaire et de nutrition.
- De mettre l'accent sur facteurs importants qui peuvent être traités dans le cadre des programmes de développement rural, tels que l'alphabétisation, l'accès au crédit formel et la fourniture d'informations sur les variables climatiques et les options d'adaptation.
- Intégrer les facteurs climatiques dans la planification et la mise en œuvre des projets de développement.

- Aux maïsiculteurs burundais
- Promouvoir la gestion intégrée des eaux et des sols et permettre ainsi une amélioration de la production agricole de maïs pendant la saison sèche, par la micro-irrigation.
- De résilier en diversifiant les ressources de revenus et les actifs de base.
- A l'institut de Recherche des Sciences agronomiques
- Favoriser l'innovation agricole à travers la promotion et la vulgarisation des variétés de maïs résilientes à la sécheresse afin d'assurer la souveraineté et la sécurité alimentaire des ménages burundais.

Limites de l'étude

L'étude présente avait comme objectif d'analyser l'effet d'adaptation à la sécheresse sur la production du maïs.

Cependant, cette étude n'a pas touché l'impact d'adaptation à la sécheresse sur les revenus des ménages agricoles. En plus cette étude a concerné la seule production de maïs.

S'agissant des données utilisées, elles ont été extraites dans la base de données portant sur l'Enquête intégrées sur les Conditions de vie de Ménages Burundais(EICVMB). Cette base de données soufre quelques manquements par rapport aux données environnementales et surtout les données climatiques comme les indicateurs des changements climatiques dont la variabilité des températures et la précipitation afin de capter l'effet immédiat de cet indicateur sur une autre variable considérée le cas échéant. De plus, comme l'étude a utilisé l'appariement de score de propension, l'enquête n'a pas touché les aspects inobservés ou caractéristiques inobservables et ces dimensions peuvent causer les différents biais dans le résultat. De ce qui précède, cela causerait une estimation qui est biaisée.

De ce que nous venons d'évoquer ci –dessus, la présente étude ouvre les portes autres chercheurs de combler le vide scientifique susmentionné afin d'enrichir ce travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Arslan, A., Belotti, F., Asfaw, S., Karfakis, P., and Lipper, L. (2016).** Welfare impacts of climate shocks : evidence from Tanzania.
2. **Amare, M., Jensen, N. D., Shiferaw, B., and Ciss´e, J. D. (2018).** Rainfall shocks and agricultural productivity : Implication for rural household consumption. Agricultural Systems, 166 :79–89.
3. **Admassie A, Adenew B, Abebe T (2007**) Perceptions of stakeholders on climate change and adaptation strategies in Ethiopia. EEA Research Report. Addis Ababa
4. **Amthor JS (2001)** Effects of atmospheric CO2 concentration on wheat yield: review of results from experiments using various approaches to control CO2 concentration. Field Crops Res 73:1–34
5. **Angrist JD, Krueger AB (2001)** Instrumental variables and the search for identification: from supply and demand to natural experiments. J Econ Perspect 15(4):69–85
6. **Deressa T (2006)** Measuring the economic impact of climate change on Ethiopian agriculture: Ricardian approach. Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA) Discussion Paper No. 25. University of Pretoria, South Africa
7. **Deressa T, Hassen R, Alemu T, Yesuf M, Ringler C (2008)** 'Analyzing the determinants of farmers' choice of adaptation measures and perceptions of climate change in the Nile Basin of Ethiopia. International Food Policy Research Institute (IFPRI) Discussion Paper No. 00798, Washington
8. **Deschenes O, Greenstone M (2007)** The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. Am Econ Rev 97(1):354–385
9. **Di Falco S, Veronesi M, Yesuf M (2011)** Does adaptation to climate change provide food secuity? micro perspective from Ethiopia. Am J Agric Econ 93(3):829–846
10. **Dinar A, Hassan R, Mendelsohn R, Benhin J et al. (2008)** Climate change and agriculture in Africa: impact assessment and adaptation strategies. EarthScan, London
11. **Fuhrer J (2003)** Agroecosystem responses to combinations of elevated CO2, ozone, and global climate change. Agric Ecosyst Environ 97:1–20
12. **Giorgis K, Tadege A, Tibebe D (2006)** Estimating crop water use and simulating yield reductions for maize and sorghum in Adama and Miesso districts using the CROPWAT model. CEEPA Discussion Paper, University of Pretoria, South Africa

13. **Gregory PJ et al (2002)** Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production. Agric Ecosyst Environ 88:279–290
14. **Hong Y, Nix HA, Hutchinson MF, Booth TH (2005)** Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. Int J Climatol 25:1369–1379
15. **Hurni H (1998)** Soil conservation research programme Ethiopia: research report on agroecological belts of Ethiopia. Addis Ababa
16. **Hutchinson M (1998)** Spatial interpolation of the parameters of rainfall model from ground-based data. J Hydrol 213:335–347
17. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007)** Summary for policymakers. Climate change 2007: the physical science basis, Working Group I contribution to IPCC fourth assessment report: climate change 2007. Geneva
18. **Kurukulasuriya P, Mendelsohn R (2008a)** Crop switching as an adaptation strategy to climate change. Afr J Agric Resour Econ 2:105–126
19. **Kurukulasuriya P, Mendelsohn R (2008b)** A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland. Afr J Agric Resour Econ 2:1–23
20. **Kurukulasuriya P, Mendelsohn R, Hassan R, Benhin J, Diop M, Eid HM, Fosu KY, Gbetibouo G, Jain S, Mahamadou** A, El-Marsafawy S, Ouda S, Ouedraogo M, Sène I, Seo N, Maddison D, Dinar A (2006) Will African agriculture survive climate change?. World Bank Econ Rev 20(3):367–388
21. **Lobell DB, Burke MB, Tebaldi C, Mastrandrea MD, Falcon WP, Naylor RL (2008)** Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science 319:607–610
22. **McCarthy J, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White C (eds) (2001)** Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability, contribution of Working Group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge
23. **Mckenney D, Nalder I, Hutchinson M, Kesteven J (2000)** A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly climate data. Agric For Meteorol 101(2–3):81–94
24. **Mendelsohn R (2000)** Measuring the effect of climate change on developing country agriculture. Two essays on climate change and agriculture: a developing country perspective. FAO Economic and Social Development Paper 145, Rom

25. **Mendelsohn R, Dinar A (1999)** Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter?. World Bank Res Obs 14:2
26. **Mendelsohn R, Dinar A (2003)** Climate, water, and agriculture. Land Econ 79:328–341
27. **Mendelsohn R, Dinar A, Sanghi A (2001)** The effect of development on the climate sensitivity of agriculture. Environ Dev Econ 6:85–101
28. **Mendelsohn R, Nordhaus W, Shaw D (1994)** The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. Am Econ Rev 84:753
29. **Mendelsohn R, Nordhaus W, Shaw D (1996)** Climate impacts on aggregate farm value: accounting for adaptation. J Agric For Meteorol 80
30. **Ministry of Finance and Economic Development (2006)** Survey of the Ethiopian economy. MoFED, Addis Ababa
31. **Mundlak Y (1978)** On the pooling of time series and cross-section data. Econometrica 46:69–85
32. **Orindi V, Ochieng A., Otiende B, Bhadwal S, Anantram K, Nair S, Kumar V, Kelkar U (2006)** Mapping climate vulnerability and poverty in Africa. In: Thornton PK, Jones PG, Owiyo T, Kruska RL, Herrero M, Kristjanson P, Notenbaert A, Bekele N, Omolo A (eds) Climate change and poverty in Africa. Report to the Department for International Development, ILRI, Nairobi
33. **Parry M, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, Fisher G (2004)** Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Glob Environ Change 14:53–67
34. **Pearce D, Cline W, Achanta A, Fankhauser S, Pachauri R, Tol R, Vellinga P (1996)** The social costs of climate change: greenhouse damage and benefits of control. In: Bruce J, Lee H, Haites E (eds) Climate change 1995: economic and social dimensions of climate change. Cambridge University Press, Cambridge
35. **Reilly J et al (1996)** Agriculture in a changing climate: impacts and adaptations. In: Watson R, Zinyowera M, Moss R, Dokken D (eds) Climate change 1995: impacts, adaptations, and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge
36. **Roncoli C, Ingram K, Kirshen P (2002)** Reading the rains: local knowledge and rainfall forecasting among farmers of Burkina Faso. Soc Nat Resour 15:411–430
37. **Rosenzweig C, Parry ML (1994)** Potential impact of climate change on world food supply. Nature 367:133– 138

38. **Schlenker W, Hanemann WM, Fisher AC (2006)** The impact of global warming on U.S. agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions. Rev Econ Stat 88(1):113–125
39. **Seo N, Mendelsohn R (2008a)** Climate change impacts and adaptations on animal husbandry in Africa. Afr J Agric Resour Econ 2:65–82
40. **Seo SN, Mendelsohn R (2008b)** A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. Chil J Agric Res 68(1):69–79
41. **Smithers J, Smit B (1997)** Human adaptation to climatic variability and change. Glob Environ Change 7(3):129–146
42. **Stern N (2007)** The economics of climate change: the stern review. Cambridge University Press, Cambridge
43. **Stige LC, Stave J, Chan K (2006)** The effect of climate variation on agro-pastoral production in Africa. Proc Natl Acad Sci 103:3049–3053
44. **Vogel C, O'Brien K (2006)** Who can eat information? Examining the effectiveness of seasonal climate forecasts and regional climate-risk management strategies. Clim Res 33:111–1
45. **Wahba G. (1990)** Spline models for observational data. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia
46. **Wang J, Mendelsohn R, Dinar A, Huang J, Rozelle S, Zhang L (2008)** Can China continue feeding itself?: the impact of climate change on agriculture. World Bank Policy Research Working Paper 4470. Washington
47. **Wooldridge JM (2002)** Econometric analysis of cross section and panel data. MIT Press, Cambridge
48. **World Bank (2009)** World development report 2010: development and climate change. The World Bank, Washington
49. **You GJ-Y, Ringler C (2010)** Hydro-economic modeling of climate change impacts in Ethiopia. IFPRI Discussion Paper No. 960. IFPRI, Washi

ANNEXES

Annexe1 : Résultat de l'estimation du modèle logit

Logistic regression — Number of obs = 2,340; Wald chi2(17) = 58.17; Prob > chi2 = 0.0000; Log pseudolikelihood = -730.935; Pseudo R2 = 0.0363

ADAPTy	Odds Ratio	Robust Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf.	Interval]
QSEMMAIS	.9899855	.0122006	-0.82	0.414	.9663593	1.014189
1.SECH	1.577106	.2619233	2.74	0.006	1.138924	2.183872
TMEN	.9031805	.0343375	-2.68	0.007	.8383266	.9730516
AGCM						
1	1.138694	.4093775	0.36	0.718	.5628432	2.303704
2	1.352365	.4863159	0.84	0.401	.6683419	2.736462
3	1.43174	.5308834	0.97	0.333	.6922164	2.961326
NIVETCM						
1	1.379543	.2184317	2.03	0.042	1.011484	1.88153
2	2.221516	.8452359	2.10	0.036	1.053869	4.68287
3	2.390022	.9464832	2.20	0.028	1.0998	5.193857
4	2.642326	1.084251	2.37	0.018	1.182238	5.905654
SUPMAIS	1.000034	.0000368	0.93	0.351	.9999622	1.000106
FERTIL	1.00348	.01195	0.29	0.770	.98033	1.027177
MODM	1.00823	.0073197	1.13	0.259	.993985	1.022679
TMPARC	.9973616	.0026166	-1.01	0.314	.9922463	1.002503
1.ACRED	2.556278	.5178433	4.63	0.000	1.718598	3.802262
RECM	1	1.68e-07	1.48	0.138	.9999999	1.000001
TOTANIM	1.013672	.0087781	1.57	0.117	.9966129	1.031024
_cons	.065076	.0253804	-7.01	0.000	.0303	.1397651

Note: _cons estimates baseline odds.

Annexe 2 : Effets marginaux

	dy/dx	Delta-method std. err.	t	P>|t|	[95% conf.	interval]
QSEMMAIS	-.0003233	.0001635	-1.98	0.048	-.000644	-2.65e-06
1.SECH	.0365733	.0124817	2.93	0.003	.0120968	.0610498
TMEN	-.0084933	.0030639	-2.77	0.006	-.0145015	-.0024851
AGCM						
1	.0096718	.0318231	0.30	0.761	-.0527328	.0720765
2	.0248366	.0321443	0.77	0.440	-.038198	.0878712
3	.0295989	.0335054	0.88	0.377	-.0361048	.0953026
NIVETCM						
1	.0259614	.0132256	1.96	0.050	.0000261	.0518966
2	.0822163	.0541324	1.52	0.129	-.0239365	.1883692
3	.0895435	.0534255	1.68	0.094	-.0152233	.1943102
4	.0995058	.0571932	1.74	0.082	-.0126492	.2116609
SUPMAIS	3.57e-06	5.16e-06	0.69	0.488	-6.54e-06	.0000137
FERTIL	.0002276	.0012897	0.18	0.860	-.0023016	.0027567
MODM	.0006552	.0007233	0.91	0.365	-.0007632	.0020737
TMPARC	-.0002045	.0001813	-1.13	0.259	-.00056	.000151
1.ACRED	.1094634	.0299627	3.65	0.000	.0507069	.1682198
RECM	3.97e-08	3.26e-08	1.22	0.223	-2.42e-08	1.04e-07
TOTANIM	.0011639	.0008778	1.33	0.185	-.0005574	.0028853

Note: dy/dx for factor levels is the discrete change from the base level.

Annexe 3 : Test vif de multicolinéalité

```
. vif
```

Variable	VIF	1/VIF
MODM	1.93	0.519397
FERTIL	1.53	0.651870
TMPARC	1.49	0.669461
SUPMAIS	1.31	0.765453
TOTANIM	1.07	0.937214
TMEN	1.06	0.941614
NIVETCM	1.06	0.946862
AGCM	1.04	0.959297
RECM	1.04	0.966034
QSEMMAIS	1.03	0.968761
ACRED	1.01	0.989008
SECH	1.01	0.993375
Mean VIF	1.21	

Annexe4 : Corrélation entre les variables indépendantes

```
. corr QSEMMAIS SECH TMEN AGCM NIVETCM SUPMAIS FERTIL MODM TMPARC ACRED RECM TOTANIM
(obs=2,340)
```

	QSEMMAIS	SECH	TMEN	AGCM	NIVETCM	SUPMAIS	FERTIL	MODM	TMPARC	ACRED
QSEMMAIS	1.0000									
SECH	0.0211	1.0000								
TMEN	0.0123	-0.0014	1.0000							
AGCM	0.0109	-0.0029	0.0851	1.0000						
NIVETCM	0.0036	-0.0474	0.0019	-0.1585	1.0000					
SUPMAIS	0.1490	0.0231	0.0085	0.0489	-0.0067	1.0000				
FERTIL	0.1254	0.0092	0.0047	0.0111	0.0045	0.4141	1.0000			
MODM	0.1353	0.0030	0.0483	0.0316	0.0026	0.4178	0.5484	1.0000		
TMPARC	0.0923	0.0170	0.0201	-0.0048	0.0308	0.2946	0.3634	0.5664	1.0000	
ACRED	-0.0149	0.0419	0.0433	-0.0259	0.0542	-0.0214	-0.0279	-0.0332	-0.0311	1.0000
RECM	0.0031	-0.0349	0.0497	0.0255	0.1459	-0.0128	0.0044	-0.0213	0.0037	0.0076
TOTANIM	0.0308	0.0082	0.2161	0.0735	-0.0006	0.0203	0.0519	0.0235	-0.0195	-0.0354

Annexe5 : Test de Homer-Lemeshow

```
. estat gof

Goodness-of-fit test after logistic model
Variable: ADAPTy

      Number of observations =   2,340
Number of covariate patterns =   2,011
          Pearson chi2(1998) = 2039.90
                Prob > chi2 =  0.2518
```

Annexe 7 : Test de propension et test d'équilibrage des covariances

Variable	Unmatched / Matched	Mean Treated	Mean Control	%bias	%reduct |bias|	t-test t	t-test p>|t|	V(T)/ V(C)
QSEMMAIS	U	2.103	2.4278	-3.3		-0.38	0.707	0.10*
	M	2.103	2.1513	-0.5	85.1	-0.12	0.905	0.80
SECH	U	.77682	.69103	19.5		2.71	0.007	.
	M	.77682	.7382	8.8	55.0	0.97	0.332	.
TMEN	U	4.7597	5.0907	-14.8		-2.15	0.031	1.02
	M	4.7597	4.8498	-4.0	72.8	-0.44	0.657	1.10
AGCM	U	1.8841	1.851	4.2		0.62	0.537	1.04
	M	1.8841	1.897	-1.6	61.2	-0.17	0.862	0.96
NIVET CM	U	.82833	.62506	23.7		3.72	0.000	1.46*
	M	.82833	.81116	2.0	91.6	0.19	0.847	0.90
SUPMAIS	U	602.93	449.37	7.1		1.22	0.223	2.16*
	M	602.93	971.8	-17.0	-140.2	-1.23	0.219	0.45*
FERTIL	U	2.1309	1.7549	5.6		0.85	0.394	1.25
	M	2.1309	2.8991	-11.5	-104.3	-1.01	0.311	0.60*
MODM	U	5.4979	4.8272	5.8		0.83	0.407	0.92
	M	5.4979	6.2747	-6.8	-15.8	-0.61	0.545	0.49*
TMPARC	U	10.339	10.716	-1.2		-0.16	0.872	0.54*
	M	10.339	8.0258	7.6	-514.2	1.03	0.301	1.26
ACRED	U	.16309	.07072	29.0		4.96	0.000	.
	M	.16309	.15451	2.7	90.7	0.25	0.800	.
RECM	U	91540	48786	11.0		2.28	0.023	4.49*
	M	91540	1.0e+05	-3.1	71.6	-0.27	0.786	1.10
TOTANIM	U	5.6567	5.1505	6.5		0.97	0.331	1.19
	M	5.6567	5.9614	-3.9	39.8	-0.40	0.691	0.94

Annexe 8 : Carte de vulnérabilité à la sécheresse du Burundi

