

UNIVERSITÉ DE THIÈS



École Doctorale Développement Durable et Société (ED2DS)

Année académique : 2017/2018

Numéro d'ordre : 009/ED2DS/2018

THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agronomie

Spécialité : Économie Agricole et Sociologie

Présentée par :

M. Saboury NDIAYE

Sur le thème :

Impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages pastoraux dans la zone du Ferlo au Sénégal

Soutenue publiquement le 23 Novembre 2018, pour obtention du

DOCTORAT EN AGRONOMIE, Spécialité : Économie Agricole et Sociologie

devant le Jury composé de :

- Président :** Papa Ibra SAMB, Professeur titulaire, FST UCAD de Dakar
- Rapporteurs :** Saliou NDIAYE, Maître de Conférences, ENSA, Université de Thiès
Germain Jérôme SAWADOGO, Professeur titulaire, EISMV de UCAD
- Examineurs :** Adama DIAW, Professeur titulaire, UGB de Saint Louis
Aliou DIAGNE, Professeur associé et Directeur de recherche, UGB de Saint Louis
- Directeur de thèse :** Abdoulaye DIENG, Professeur titulaire, ENSA, Université de Thiès

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	viii
DEDICACES	x
REMERCIEMENTS	xi
RÉSUMÉ	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 Contexte du changement climatique et ses impacts.....	1
1.1.1 Changement climatique à l'échelle mondiale	1
1.1.2. Vulnérabilité au changement climatique des pays en développement	2
1.2. Problématique de la recherche.....	3
1.3. Objectifs de la recherche	7
1.4. Questions de recherche	7
1.5. Hypothèses de recherche	9
1.6. Organisation du document.....	9
PREMIÈRE PARTIE : L'ÉLEVAGE PASTORAL AU SAHEL : ENTRE CONTROVERSES, VULNÉRABILITÉ AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET OPTIONS D'ADAPTATION	10
Introduction	10
Chapitre 1 : Définition des concepts	10
1.1. Systèmes d'élevage, biens communs et unités pastorales	10
1.1.1. Systèmes d'élevage	10
1.1.2. Unité Pastorale	11
1.2. Changement climatique et adaptation	12
1.2.1. Changement climatique.....	12
1.2.2. Adaptation au changement climatique	13
1.3. Adoption, attitude et comportement	14
1.4. Théorie du changement	16
1.5. Projet	16
1.6. Évaluation et impact	17
Chapitre 2 : Débats sur l'élevage pastoral et son lien avec le changement climatique dans les pays sahéliens	18
2.1. Enjeux et défis de l'élevage pastoral	18
2.2. Débats sur le mode d'élevage pastoral face au changement climatique	19

2.2.1. Point de vue des partisans d'une modernisation du système d'élevage pastoral.....	19
2.2.2. Apport des défenseurs de la conservation du système d'élevage pastoral	20
2.3. Vulnérabilité de l'élevage pastoral dans les pays sahéliens.....	21
2.3.1. Sahel, un milieu aride et semi-aride hostile	21
2.3.2. Changement climatique au Sahel et vulnérabilité des moyens d'existence	24
2.3.3. Cas du Sénégal, un pays sahélien d'Afrique de l'Ouest.....	25
2.4. Impact du changement climatique sur l'élevage pastoral	26
2.5. Contribution de l'élevage pastoral au changement climatique	27
Chapitre 3 : Revue de la littérature théorique et empirique sur des approches utilisées pour l'analyse de l'adoption.....	28
3.1. Approches psychosociales d'analyse de l'adoption.....	28
3.1.1. Théorie de l'action raisonnée	28
3.1.2. Théorie du comportement planifié	29
3.1.3. Théorie de l'essai	30
3.1.4. Théorie de l'autorégulation	31
3.1.5. Modèle prototype/obligeance.....	32
3.1.6. Théorie des comportements interpersonnels	33
3.1.7. Théorie de la diffusion et de l'adoption de l'innovation de Rogers	34
3.1.8. Approche de l'appropriation de l'innovation de Millerand.....	39
3.2. Approches économétriques d'analyse de l'adoption	40
3.2.1. Théorie de l'utilité de McFadden : fondement économique de l'adoption.....	40
3.2.2. Modélisation économétrique.	40
3.2.3. Approche d'évaluation contingente	42
3.3. Quelques résultats d'études empiriques sur la perception sur le changement climatique et les stratégies d'adaptation par les éleveurs et agriculteurs.....	43
Chapitre 4 : Problématique de l'évaluation d'impacts et méthodes proposées dans la littérature	50
4.1. Problème fondamental de l'évaluation d'impact et modèle causal de Rubin	50
4.1.1. Concepts utilisés	50
4.1.2. Modèle causal de Rubin et biais de sélection.....	51
4.2. Revue des principales méthodes d'évaluations d'impacts.....	54
4.1.1. Méthode expérimentale randomisée.....	54
4.1.2. Méthodes non expérimentales ou quasi expérimentales	55
4.1.2.2. Méthodes basées sur les caractéristiques inobservées	60
Conclusion partielle	62

DEUXIÈME PARTIE : MÉTHODES D'ÉVALUATION DES TAUX D'ADOPTION ET DE L'IMPACT DE L'ADOPTION DES STRATÉGIES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET LE REVENU DES MÉNAGES 63

Introduction	63
Chapitre 1 : Description de la zone d'étude et de l'intervention du PRODAM	64
1.1. Présentation de la zone d'étude : zone sylvopastorale du Ferlo	64
1.1.1. Situation géographique et démographique	64
1.1.2. Climat, sol et végétation.....	65
1.1.3. Ressources hydrogéologiques	66
1.1.4. Système de production à dominance élevage pastoral	67
1.1.5. Aperçu du Ferlo de la région de Matam.....	68
1.2. Description de l'intervention du PRODAM dans le Ferlo de Matam.....	70
1.2.1. Contexte et justification	70
1.2.2. Approche conceptuelle et stratégique d'adaptation au changement climatique	71
1.2.3. Stratégies d'adaptation au changement climatique diffusées	72
1.2.4. Quelques réalisations du PRODAM dans le Ferlo	74
1.3. Description de la théorie du changement de l'intervention du PRODAM	74
Chapitre 2 : Méthode d'estimation des taux d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et de leurs déterminants	78
2.1. Problème de l'évaluation de l'adoption : biais de non-exposition et de sélection	78
2.2. Méthode ATE d'estimation des taux d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et leurs déterminants.....	81
2.2.1. Présentation de la Méthode ATE	81
Chapitre 3 : Méthode d'estimation de l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages.....	87
3.1. Choix de la méthode de la variable instrumentale	87
3.1.2. Spécification du modèle de la variable instrumentale locale	88
3.1.2.1. Choix de l'instrument	88
3.1.2.2. Choix des variables et paramètre et estimateur.....	90
3.2. Choix des variables de résultats et méthodes de calcul	91
Chapitre 4 : Méthode d'échantillonnage, collecte et traitement des données	93
4.1. Plan de sondage et calcul de l'échantillon.....	93
4.1.2. Organisation de la collecte et conduite des enquêtes sur le terrain	95
4.1.3. Méthode et outils d'analyse des données	97
Conclusion partielle.....	98

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION	99
Chapitre 1 : Analyse descriptive des villages et des ménages	99
Introduction	99
1.1. Accès aux infrastructures sociales de base au niveau village	99
1.1.1. Accès aux routes, écoles et structures de santé	99
1.1.2. Accès aux infrastructures hydrauliques, magasins et parcs à vaccination.....	100
1.2. Caractérisation socio-démographique et économique des ménages.....	101
1.2.1. Situation socio-démographique des ménages.....	101
1.2.2. Source approvisionnement, mode de stockage et traitement de l'eau	103
1.2.3. Types d'habitats, sources d'éclairage et de cuisson des ménages	104
1.2.4. Niveau d'équipements des ménages	105
1.3. Activités économiques des ménages	106
1.3.1. Activités agricoles.....	106
1.3.2. Activité d'élevage pastoral.....	107
Conclusion partielle.....	109
Chapitre 2 : Impact de la sensibilisation sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique	110
Introduction	110
2.1. Impact de la sensibilisation sur l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles	111
2.1.1. Analyse statistique descriptive des taux de diffusion et d'adoption des règles de gestion des ressources naturelles	111
2.1.2. Estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle des règles de gestion des ressources naturelles	113
2.1.3. Analyse des déterminants de la connaissance des règles de gestion des ressources naturelles	115
2.1.4. Analyse des facteurs déterminant l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles	117
2.2. Impact de la sensibilisation des éleveurs sur l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant	119
2.2.1. Analyse statistique descriptive des taux de diffusion et de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant	119
2.2.2. Estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant	120
2.2.3. Analyse des facteurs déterminants de la connaissance de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant	122
2.2.4. Analyse des déterminants de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant	123
2.3. Impact de la sensibilisation des éleveurs sur l'adoption de l'eau des forages pastoraux	124
2.3.1. Analyse statistique descriptive des taux de diffusion et d'adoption de l'eau des forages pastoraux	124

2.3.2. Estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle de l'eau des forages pastoraux.....	125
2.3.3. Analyse des facteurs déterminant l'adoption de l'eau des forages pastoraux	127
Chapitre 3 : Impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages.....	130
Introduction.....	130
3.1. Impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages.....	130
3.1.1. Analyse descriptive de l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire.....	130
3.1.2. Impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire	132
3.2. Impact de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages.....	135
3.2.1. Analyse descriptive de l'impact de l'adoption de la vaccination sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages	135
3.2.2. Impact de l'adoption de la vaccination du cheptel sur la sécurité alimentaire et le revenu.....	136
3.3. Impact de l'adoption de l'eau des forages pastoraux sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages	138
3.3.1. Analyse descriptive de l'impact de l'adoption de l'eau des forages pastoraux sur le revenu et la sécurité alimentaire	138
3.3.2. Analyse économétrique de l'impact de l'adoption eau forage des forages pastoraux sur la sécurité alimentaire et le revenu	139
CONCLUSION, IMPLICATIONS POLITIQUES ET PERSPECTIVE.....	142
BIBLIOGRAPHIE.....	i
LISTES DES ANNEXES.....	xxiv
Articles publiés.....	xxiv
Communication Scientifique.....	xxvi

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Catégorie d'aliments et pondération.....	92
Tableau 2 : Répartition de l'échantillon selon les communes	95
Tableau 3 : Disponibilité et accessibilité aux routes et infrastructures.	100
Tableau 4 : Accessibilité aux infrastructures hydrauliques, stockage et santé animale.....	101
Tableau 5 : Caractéristiques socioéconomiques et démographiques des ménages.	102
Tableau 6 : Source approvisionnement, moyen stockage et traitement de l'eau.....	103
Tableau 7 : Caractéristiques de l'habitat des ménages.	104
Tableau 8 : Caractéristiques des équipements des ménages.....	105
Tableau 9 : Caractérisations des activités agricoles des ménages.	106
Tableau 10 : Caractéristiques des bovins	107
Tableau 11 : Caractéristiques des Ovins.	108
Tableau 12 : Caractéristiques des Caprins.	108
Tableau 13 : Diffusion et adoption des règles de gestion des ressources naturelles	111
Tableau 14 : Taux d'adoption des règles de gestion des ressources naturelles.	113
Tableau 15 : Déterminants de la connaissance des règles de gestion.....	115
Tableau 16 : Déterminants de l'adoption des règles de gestion ressources naturelles.	117
Tableau 17 : analyse descriptive de la diffusion et de l'adoption de la vaccination.....	120
Tableau 18 : Taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant.....	120
Tableau 19 : Déterminant de la connaissance de la vaccination par la méthode ATE.....	122
Tableau 20 : Déterminants de l'adoption de la vaccination du cheptel.....	124
Tableau 21 : Diffusion et adoption de l'eau des forages.	125
Tableau 22 : Taux adoption de l'eau des forages pastoraux.....	126
Tableau 23 : Déterminants de l'adoption de l'eau des forages pastoraux.	127
Tableau 24 : Analyse l'adoption des règles sur la sécurité alimentaire et de revenu.	131
Tableau 25 : Impact des règles de gestion ressources naturelles sur la sécurité alimentaire.....	132
Tableau 26 : Déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu des ménages.....	134
Tableau 27: Analyse de la sécurité alimentaire et du revenu selon la vaccination.....	135
Tableau 28 : Impact de l'adoption de la vaccination sur la sécurité alimentaire et le revenu	136
Tableau 29 : Déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu.	137
Tableau 30 : Analyse descriptive de l'impact de l'adoption de l'eau des forages.....	139
Tableau 31: Impact de l'eau des forages sur le revenu et la sécurité alimentaire.....	139
Tableau 32 : Déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu.....	140

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Modèle de l'action raisonnée.....	28
Figure 2 : Modèle du comportement planifié.....	30
Figure 3 : Théorie de l'essai.....	31
Figure 4 : Modèle de la théorie de l'autorégulation.....	32
Figure 5 : Modèle de la théorie des comportements interpersonnels.....	33
Figure 6 : Zone agroécologique Ferlo.....	64
Figure 7 : Zone sylvopastorale du Ferlo de Matam et communes enquêtées.....	69
Figure 8 : Adaptation du schéma de la théorie du changement du PRODAM.....	77
Figure 9 : Analyse de la Sécurité alimentaire selon l'adoption des règles de gestion.....	131
Figure 10 : Analyse de la sécurité alimentaire selon l'adoption de la vaccination.....	135
Figure 11 : Analyse de la sécurité alimentaire selon l'adoption de l'eau des forages.....	139

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
ATE	Average Treatment Effect
ATT	Average Treatment Effect on Treated
ATU	Average Treatment Effect on Untreated
BOAD	Banque Ouest-Africaine de Développement
CSE	Centre de Suivi Écologique
DPEE	Direction de la Prévision et des Études Économiques
DSW	Deutsche Stiftung Weltbevölkerung
ENSA	École Nationale Supérieure d'Agriculture
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
FCFA	Franc de la Communauté Financière Africaine
FIDA	Fonds International de Développement Agricole
FSC	Food Score Consumption
GES	Gaz à Effet de Serre
GIE	Groupement d'Intérêt Économique
GIEC	Groupe d'Expert International sur l'Évolution du Climat
IFPRI	International Food Policy Research Institute
ILRI	International Livestock Research Institute
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPSW	Inverse Propensity Score Weighting
IRIN	Integrated Regional Information Networks
LOASP	Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale
LARF	Locale Average Response Function
LATE	Locale Average Treatment Effect
LIV	Locale Instrumental Variable
MAE	Millenium Assessment Ecosystem
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MEPA	Ministère de l'Élevage et des Productions Animales
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économique
ODD	Objectif de Développement Durable
ONU	Organisation des Nations Unies
PIB	Produit intérieur brut
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRODAM	Projet de Développement Agricole de Matam
PSE	Plan Sénégal Émergent

PSB	Positive Selection Bias
PVV	Pharmacie Vétérinaire Villageoise
STATA	Statistical Analysis Software
UA	Union Africaine
UGP	Unité de Gestion du Projet
UNCCD	United Nation Convention to Combat Desertification
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNDESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
UP	Unité Pastorale
USDA	United States Department of Agriculture
WRI	World Resources Institute
ZSP	Zone Sylvopastorale

DEDICACES

Je rends grâce au Bon Dieu et dédie cette thèse, enfin finalisée, à tous ceux qui m'ont soutenu, particulièrement :

- Mes parents, mon épouse, mes frères et sœurs (Elhadj, Diallo, Lamine, Latsouck, Djimby, Saly) et leurs épouses et époux ;
- Mes amis d'enfance du village de Ndioulbeth ;
- Le Directeur du Projet PRODAM ;
- Tout le personnel du Projet PRODAM ;
- Mes voisins et voisines de la cité PRODAM ;
- Mes amis de la 23^e promotion de l'ENSA.

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 Directeur du Projet de Développement Agricole de Matam (PRODAM), Monsieur Mamadou Thierno BA, d'avoir autorisé mon inscription en thèse. Si ce travail de Thèse a pu être réalisé, c'est grâce au soutien financier du PRODAM. Nous remercions également tous mes collègues du PRODAM pour leur encouragement et leur soutien.

Le Directeur de L'École Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) de Thiès, le Professeur Abdoulaye DIENG, qui a dirigé ce travail de Thèse. Sa rigueur scientifique, ses qualités pédagogiques, ont été d'une très grande utilité.

Le Docteur Aliou DIAGNE qui a encadré cette thèse de doctorat par sa rigueur scientifique, ses qualités pédagogiques et sa maîtrise des méthodes modernes d'évaluations d'impact, nous ont permis d'améliorer la qualité de cette recherche.

Le Professeur Papa Ibra SAMB, pour avoir accepté de présider le Jury de cette Thèse, malgré ses nombreuses occupations.

Le Professeur Saliou NDIAYE et le Professeur Germain Jérôme SAWADOGO, pour avoir consacré du temps à la lecture de cette thèse en tant que rapporteurs. Leurs commentaires et remarques pertinents m'ont permis d'améliorer ce document.

Le Professeur Adama DIAW et le Docteur Aliou DIAGNE, le Docteur Amadou Abdoulaye FALL et tous les membres de l'équipe d'évaluation d'impact de l'Université Gaston Berger de Saint Louis, qui nous ont donné l'opportunité de faire cette recherche.

La Banque Ouest Africaine de Développement et International Initiative for Impact Evaluation (3IE) qui ont initié et financé cette évaluation d'impact.

L'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine pour son soutien financier en m'accordant une bourse de soutien à la formation et à la recherche de l'excellence.

Tous ceux qui ont corrigé et amendé ce document de Thèse, particulièrement, Monsieur Waly NDIAYE, Monsieur Pape Leyti NDIAYE, Dr Momar MBAYE, Dr Amadou Makhourédia DIOP et Dr Daouda DIOUF.

RÉSUMÉ

Dans les zones arides et semi-arides d'Afrique Subsaharienne, où la sécurité alimentaire et le bien-être des ménages pastoraux sont menacés par le changement climatique, les communautés locales, les chercheurs, les gouvernements et les bailleurs de fonds, etc., sont à la recherche de solutions pour renforcer les capacités d'adaptation de ces communautés vulnérables. Pour contribuer à relever ce défi, cette étude se focalise sur l'évaluation de l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages dans la zone semi-aride du Ferlo au Sénégal. Parmi les stratégies d'adaptation diffusées, l'étude s'est intéressée à l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant et de l'eau des forages pastoraux. La méthode employée consiste à collecter des données sur un échantillon aléatoire stratifié de 339 ménages dans 32 villages. L'étude a utilisé le modèle de l'Effet Moyen du Traitement pour estimer les taux d'adoption actuelle et potentielle des stratégies d'adaptation au changement climatique et leurs déterminants. La méthode de la Variable Instrumentale a été utilisée pour identifier et estimer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. Les résultats de l'étude révèlent que la connaissance des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel et l'eau des forages, suite à la sensibilisation menée par le PRODAM, a un impact positif et significatif sur leur adoption. Elle a permis d'atteindre des taux d'adoption actuelle, respectifs de 53 %, 55 % et de 35 %. Cependant, si toute la population de l'échantillon avait été sensibilisée, les taux d'adoption potentielle pourraient atteindre, respectivement 85 % ; 58 % et 38 %. Soit, un gap d'adoption estimé respectivement à -32 %, -3 % et -3 %, dû à une diffusion incomplète. Aussi, l'étude nous renseigne qu'en dehors de la sensibilisation, il existe d'autres déterminants qui influencent significativement l'adoption de ces stratégies d'adaptation. Il s'agit de l'âge du chef de ménage, son niveau d'alphabétisation, la taille de son cheptel et son accès aux technologies de l'information et de la communication. En plus, l'étude a montré une amélioration de la sécurité alimentaire et du revenu des ménages qui ont adopté les règles de gestion des ressources naturelles, la vaccination du cheptel et l'eau des forages, après avoir été sensibilisés par le PRODAM. En effet, elle révèle que l'adoption a un impact positif et significatif sur le revenu annuel moyen des ménages, respectivement de 606 927 FCFA ; 561 037 FCFA et 701 926 FCFA. Egalement, l'adoption augmente le score de consommation alimentaire moyen des ménages, respectivement de 8 ; 19 et 37 points. La première implication politique des résultats de l'étude est que pour une gestion durable des ressources naturelles dans la zone du Ferlo, il est primordial de poursuivre les activités de sensibilisation des ménages sur les règles de gestion des ressources naturelles, qui présentent le gap d'adoption le plus élevé. Deuxièmement, pour renforcer la résilience des ménages du Ferlo à la pauvreté monétaire, à l'insécurité alimentaire au changement climatique, il faut investir dans la gestion durable des ressources naturelles, la vaccination du cheptel et l'hydraulique pastorale.

Mots clés : Adaptation, Changement climatique, Impact, Sécurité alimentaire, Revenu, Ménages pastoraux, Ferlo, PRODAM, Matam, Sénégal.

ABSTRACT

In arid et semi-arid areas of Subsaharan African countries where household food security and well-being are faced with several threats related climate change, local communities, researchers, governments and donors are looking for solutions to strengthening adaptation capacities of vulnerable communities. To contribute to this challenge, the interesting topic of the study is an evaluation of the impact of adoption climate change adaptation strategies on household food security and incomes in semi-arid area of Ferlo in Senegal. Among the adaptation strategies, the study focused on adoption of natural resource management rules, vaccination of cattle and small ruminant, and water boreholes. The data was gathered from a random sampling of 339 households in 32 villages. This study used the Average Treatment Effect model to estimate the actual and potential adoption rates of theses strategies adaptation and their determinants. Instrumental Variable was used to estimate the impact of adoption climate change adaptation strategies on household food security and incomes. The results reveal that awareness of natural resources management rules, livestock vaccination and water boreholes, due to sensitization conducted by PRODAM have a positive and significant impact on their adoption. It increases the actual adoption rates respectively by 53%, 55% and 35%. However, if the full population of sample have been aware, the potential adoption rate could be increased respectively by 85%, 58% and 38%. Therefore, the adoption gap is respectively estimated to -32%, -3% and -3% due to lower diffusion. Furthuer, results reveal that without awareness, there are other determinants that influence significantly adoption of natural resources management rules, livestock vaccination and water boreholes. It is age of household head, those who are literaced, have high livestock size and who have access to Information Communication and Technlogies. Furthermore, the results show that households food security and income have been increased for those who have adopted natural resources management rules, livestock vaccination and water boreholes, after having been sensitized by PRODAM. Further, it reveals that adoption has a positive and significant impact on household's annual income respectively by 606,927 FCFA; 561,037 FCFA and 701,926 FCFA. In the same veine, adoption increase the households Food Security Score Consumption respectively by 8 ; 19 and 37 points. The first policy implications of the results of this study is that to ensure sustainable management of natural resources in Ferlo Zone, it is important to further support the dissemination of natural resource management rules, which present high adoption gap. Secondly, to support the resilience of households in Ferlo zone to food insecurity and poverty monetary, it is important to investe in natural resource management, livestock vaccination and water access.

Key words: Adaptation, Climate Change, Impact, Food Security, Income, Household, Pastoral, Ferlo, PRODAM, Matam, Senegal.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le changement climatique est une réalité et son impact est de plus en plus visible au niveau mondial. Cette partie met l'accent sur l'évolution du changement climatique et ses conséquences à l'échelle mondiale. Elle démontre la forte vulnérabilité des pays en développement, à cause de leur dépendance à l'agriculture, l'élevage, pêche, etc. Elle se termine par une description de la problématique de recherche, des questions de recherche, hypothèses, des objectifs.

1.1 Contexte du changement climatique et ses impacts

1.1.1 Changement climatique à l'échelle mondiale

Le rapport de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) a confirmé que le changement de l'atmosphère et de l'océan, la diminution de la glace et de neige, l'augmentation du niveau des mers et des gaz à effet de serre (GES) ne faisaient aucun doute. Plusieurs études ont montré que le changement climatique est en cours et devrait s'accroître 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 XXI^e 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 Affairs, 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).

1.1.2. 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).

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.

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 ; Kabubo-Mariara et Karanja, 2007 ; Aydinalp et Cresser, 2008 ; Hisali et Kasirye, 2008 ; Lobell *et al.*, 2008 ; McIntyre *et al.*, 2009; Thornton *et al.*, 2009 ; Fonds International pour le Développement Agricole, 2010, Nardone *et al.*, 2010 ; Reynolds *et al.*, 2010 ; Schlenker et Lobell, 2010 ; Rowhani *et al.*, 2011 ; Thornton *et al.*, 2010 ; Henry *et al.*, 2012 ; Jarvis *et al.*, 2012; Lybbert et Sumner, 2012 ; Waha *et al.*, 2012 ; Polley *et al.*, 2013). Selon Kurukulasuriya *et al.* (2006), les hausses de température et la diminution des précipitations ont un impact négatif sur le revenu net avec une baisse de 27 \$/ha sur les terres agricoles et de 379 \$/ha sur les terres d'élevage. Des résultats similaires ont été trouvés par Deressa et Hassan (2010) et Kabubo-Mariara et Karanja (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).

1.2. Problématique de la recherche

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). Parmi les populations les pauvres au monde, 70 % dépendent exclusivement de l'élevage pastoral pour

survivre (Thornton, *et al.*, 2002). À l'instar des pays d'Afrique Subsaharienne, au Sénégal, l'insécurité alimentaire et la pauvreté frappent encore une part importante de la population. Selon le Secrétariat Exécutif du Conseil National de Sécurité alimentaire (SECNSA, 2017), 16,9 % des ménages souffraient de l'insécurité alimentaire en 2016. En 2014, le rapport sur le développement humain du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD, 2014) classait le Sénégal à la 163^{ème} avec un Produit intérieur brut (PIB) de 1 047 USD par habitant.

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 Desertification, 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. Ce même rapport indique que dans les pays africains, l'accès à l'alimentation sera sévèrement affecté, car les rendements des cultures pluviales peuvent être réduits de 50 % d'ici 2020. 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 Paris² 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).

Au Sénégal, la dimension adaptation au changement climatique a longtemps été prise en compte dans les politiques de lutte contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire. C'est également le cas dans l'axe 2 « Capital humain, protection sociale et développement durable » du Plan Sénégal Émergent (PSE), qui est le cadre de référence des programmes et stratégies de développement en vigueur et, visant à atteindre l'émergence en 2035. En référence, plusieurs documents d'adaptation au changement climatique ont été élaborés, tels que les Communications nationales sur le Changement climatique, le Plan d'Action National d'Adaptation, la Contribution Prévue Déterminée Nationale et le Plan National d'Adaptation (ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2015). Ces programmes d'adaptation au changement climatique sont communément appelés « *adaptation planifiée* » parce qu'elle est décidée par les Gouvernements nationaux. À côté de « *l'adaptation planifiée* », il est distingué, « *l'adaptation autonome* » qui se déroule au niveau local où le processus d'adaptation est mis en œuvre de façon indépendante par les communautés locales (agriculteurs, éleveurs, pêcheurs) avec l'appui de l'État à travers la mise en œuvre des projets. C'est le cas du Projet de Développement Agricole de Matam (PRODAM), qui a appuyé les communautés pastorales de la zone du Ferlo de Matam, qui est fortement vulnérable au changement climatique, dans la mise en œuvre de stratégies d'adaptation au changement climatique à travers l'approche par les « Unités Pastorales³ » (UP), entre 1993-2000 et 2004-2011. Dans le cadre d'une démarche participative et inclusive, l'action du PRODAM s'est focalisée sur l'information et la sensibilisation des communautés pastorales, le renforcement

¹ Les ODD ont été adoptés en Septembre 2015 lors du Sommet des Nations Unies et sont entrés en vigueur en Janvier 2016. Ils s'appuient sur les progrès accomplis par les OMD et visent à aller plus loin pour mettre fin à toutes les formes de pauvreté. A ce titre, 17 ODD ont été fixés dont l'ODD 1 : « *éliminer l'extrême pauvreté et la faim* » ; ODD 2 : « *éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable* » et l'ODD 13 : « *prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions* ».

² L'accord de Paris sur le climat a été adopté, le 12 décembre 2015, lors de la Conférence des Parties (COP 21) sur les changements climatiques qui a réuni les 196 Parties de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. L'Accord a été signé par 175 pays le 22 avril 2016 au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York. Dans le cadre de cet accord, les Parties se sont engagées à prendre des mesures ambitieuses pour maintenir l'élévation de la température mondiale en dessous de 2 °C d'ici à la fin du siècle.

³ L'Unité Pastorale est un groupement d'éleveurs résidant dans les villages exploitant le même forage, unis par une solidarité résultant du voisinage, exploitant les mêmes ressources naturelles et surtout ayant opté pour s'unir librement » (Fall, 2006)

des capacités, la mise en place d'infrastructures pastorales, l'accompagnement dans la gestion durable des ressources naturelles et de l'environnement ainsi que la gestion du cheptel.

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; United States Department of Agriculture, 2013; Dickie *et al.*, 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.

Ainsi, l'adaptation au changement climatique a fait l'objet d'une intense recherche bibliographique. Plusieurs chercheurs ont utilisé des modèles agronomiques et ricardien pour évaluer l'impact du changement climatique sur l'agriculture et l'élevage et recommander des stratégies d'adaptation (Kurukulasuriya *et al.*, 2006 ; Kabubo-Mariara et Karanja, 2007 ; Deressa et Hassan, 2010). D'autres études se sont intéressées à la perception des agriculteurs et des éleveurs sur le changement climatique et les stratégies d'adaptation apportées (Dick *et al.*, 2008 ; Henry *et al.*, 2012 ; Singh *et al.*, 2012 ; Feleke *et al.*, 2016 ; Berhe *et al.*, 2017). Alors que certaines études ont analysé les facteurs qui influencent la décision des agriculteurs et des éleveurs à choisir ou non des options d'adaptation données (Kurukulasuriya *et al.*, 2006 ; Seo and Mendelsohn, 2008 ; Di Falco *et al.*, 2011 ; Di Falco *et al.*, 2012 ; Herrero *et al.*, 2012 ; Bryan *et al.*, 2013 ; Gerber *et al.*, 2013 ; Havlik *et al.*, 2013 ; Kgosikoma et Batisani, 2014 ; Henderson *et al.*, 2015). Cependant, peu d'études se sont intéressées sur l'impact de l'adaptation au changement climatique sur le bien-être des populations rurales (exemple : Asfaw *et al.*, 2015 ; Gebrehiwot et Anne Van Der, 2015 ; Ali et Erenstein, 2017 ; Amar et Simane, 2018). Par ailleurs, ces études se sont le plus focalisées sur l'impact des stratégies d'adaptation au changement climatique adoptées par les agriculteurs. En revanche, très peu d'études se sont intéressées à l'évaluation de l'impact des stratégies d'adaptation au

changement climatique adoptées par les éleveurs, en particulier les communautés pastorales (exemple : Berhe *et al.*, 2017). Cela pose un gap important de connaissance dans la littérature, en dépit de la forte vulnérabilité de l'élevage pastoral au changement climatique et de sa réelle capacité de résistance aux phénomènes climatiques extrêmes, notamment, par la valorisation économique, sociale et culturelle des milieux arides et semi-arides. La présente étude essaie de contribuer à combler ce gap et vise à évaluer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages pastoraux dans la zone du Ferlo de la région de Matam au Sénégal. Elle utilise des données d'enquêtes en milieu rural sur un échantillon aléatoire de 339 ménages répartis dans 32 villages dans le Ferlo.

1.3. Objectifs de la recherche

L'objectif général de l'étude est d'évaluer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages dans la zone du Ferlo.

Les objectifs spécifiques sont :

- Évaluer l'impact de la sensibilisation menée par le PRODAM sur la décision des éleveurs d'adopter des stratégies d'adaptation au changement climatique dans la zone du Ferlo ;
- Évaluer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique par les éleveurs sur la sécurité alimentaire des ménages dans la zone du Ferlo ;
- Évaluer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique par les éleveurs sur le revenu des ménages dans la zone du Ferlo.

1.4. Questions de recherche

Notre question de recherche est une adaptation de la question d'évaluation d'impact numéro 1.4 formulée dans le proposal de l'équipe de recherche de l'UGB, chargée de faire d'évaluation d'impact du projet PRODAM II Extension. Cette question d'évaluation d'impact a été proposée par les agents du projet PRODAM II Extension, discutée et validée par l'équipe de recherche de l'UGB. L'adaptation de la question d'évaluation d'impact du proposal à celle que nous avons posé dans cette recherche a permis de détaillée notre question de recherche en la subdivisant en trois questions de recherche, correspondant chacune à une sous composante du volet développement pastoral mis en œuvre par le projet PRODAM II Extension.

Question générale : Quel est l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique par les éleveurs pastoraux du Ferlo de Matam sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages ?

Question de recherche spécifique 1

Quel est l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages du Ferlo ?

- **Sous question 1.1 :** Dans quelle mesure la sensibilisation des éleveurs menée par le PRODAM a-t-elle influencé la décision des éleveurs d'adopter les règles de gestion des ressources naturelles ?
- **Sous question 1.2 :** Quels sont les autres facteurs outre que la sensibilisation, qui ont été déterminants sur la décision des éleveurs d'adopter les règles de gestion des ressources naturelles ?
- **Sous question 1.3 :** Quels sont les autres facteurs outre que l'adoption des règles de gestion qui ont été déterminants sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages ?

Question de recherche spécifique 2

Quel est l'impact de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages du Ferlo ?

- **Sous question 2.1 :** Dans quelle mesure la sensibilisation des éleveurs menée par le PRODAM a-t-elle influencé la décision des éleveurs de vacciner le cheptel bovin et petit ruminant ?
- **Sous question 2.2 :** Quels sont les autres facteurs outre que la sensibilisation, qui ont été déterminants sur la décision des éleveurs de vacciner le cheptel bovin et petit ruminant ?
- **Sous question 2.3 :** Quels sont les autres facteurs outre l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant qui ont été déterminants sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages du Ferlo ?

Question de recherche spécifique 3

Quel est l'impact de l'utilisation de l'eau des forages pastoraux par les éleveurs sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages du Ferlo ?

- **Sous question 3.1 :** Dans quelle mesure la sensibilisation menée par le PRODAM a-t-elle influencé la décision des éleveurs d'utiliser l'eau des forages pastoraux ?

- **Sous question 3.2 :** Quels sont les autres facteurs outre que la sensibilisation, qui ont été déterminants sur la décision des éleveurs d'utiliser l'eau des forages pastoraux ?
- **Sous question 3.3 :** Quels sont les autres facteurs outre que l'utilisation de l'eau des forages pastoraux qui ont été déterminants sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages du Ferlo ?

Cependant, il est important de rappeler qu'en dehors de la collaboration avec l'équipe de recherche de l'UGB, nous avons collecté nos données de manière indépendante, une année avant le démarrage de la mission d'évaluation d'impact conduite par l'équipe de l'UGB.

1.5. Hypothèses de recherche

Les hypothèses de la recherche posées sont :

- Hypothèse 1 : La sensibilisation menée par le PRODAM influence la décision des éleveurs d'adopter les règles de gestion des ressources naturelles, la vaccination du cheptel et l'eau des forages ;
- Hypothèse 2 : L'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel et de l'eau des forages a un impact sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages.

1.6. Organisation du document

Le document est structuré en trois (3) parties et onze (11) chapitres. La première partie porte sur la revue de la littérature sur le changement climatique, l'élevage pastoral et la théorie psychosociale et économique de l'adoption et de l'évaluation d'impact. La deuxième partie porte sur la méthodologie de la recherche, qui décrit l'intervention du projet PRODAM et la démarche utilisée pour identifier et estimer l'impact. La troisième partie présente les résultats obtenus et la discussion.

PREMIÈRE PARTIE : L'ÉLEVAGE PASTORAL AU SAHEL : ENTRE CONTROVERSES, VULNÉRABILITÉ AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET OPTIONS D'ADAPTATION

Introduction

De plus en plus, la problématique du changement climatique fait l'objet d'une attention particulière au sein de la communauté internationale et dans les milieux académiques. Plusieurs études ont été réalisées sur l'impact du changement climatique dans les pays en développement, sur la perception des communautés locales sur le changement climatique et sur les options d'adaptation utilisées. Cette première partie du document se propose de faire une revue de la littérature théorique et empirique sur la problématique du changement climatique et de l'élevage pastoral. Elle est subdivisée en quatre chapitres. Le premier chapitre porte la définition de quelques concepts. Le second chapitre décrit le changement climatique et son lien avec l'élevage pastoral, ainsi que ses manifestations et son impact sur les pays en développement, en particulier dans le Sahel africain et au Sénégal. Le troisième chapitre traite de la question de l'adoption des stratégies d'adaptation, en faisant d'abord une revue de la littérature théorique sur l'adoption en mobilisant les approches sociales et économiques, et, ensuite, en présentant quelques résultats d'études empiriques. Le quatrième et dernier chapitre aborde la problématique de l'évaluation des politiques de développement et les différentes approches proposées dans la littérature pour y apporter une solution.

Chapitre 1 : Définition des concepts

Ce chapitre définit les principaux concepts mobilisés dans l'étude afin de faciliter leur compréhension.

1.1. Systèmes d'élevage, biens communs et unités pastorales

Les concepts de système d'élevage, de biens communs et d'unités pastorales sont définis ci-dessous.

1.1.1. Systèmes d'élevage

Les systèmes d'élevage font l'objet de plusieurs définitions dans la littérature. Celle qui est la plus connue et considérée comme la plus complète par Pacaud et Cournot (2007), est la définition proposée par Lhoste (1984) et complétée par Landais (1997). Pour eux, le système d'élevage est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées ou pour répondre à d'autres objectifs (Landais et Bonnemaire, 1996). Plusieurs classifications ont été proposées dans la littérature (Wilson, 1988 ; Dixon *et al.* 2001 ; Manyong, 2002 ; Thornton *et al.* 2002). On retient ici la classification établie par Wilson (1988)

selon laquelle les systèmes d'élevage peuvent être regroupés en systèmes modernes (avec des besoins en capitaux élevés) et traditionnels (reposant essentiellement sur la disponibilité en terre et en main d'œuvre). Ces derniers peuvent, à leur tour, être déclinés en systèmes pastoraux, agropastoraux et sédentaires. Dans le système pastoral, plus de 50 % des revenus totaux (y compris non monétaires comme les échanges de fumure) ou plus de 20 % de l'énergie alimentaire du ménage proviennent directement des animaux (Wilson, 1988). Ce système est caractéristique des zones arides et semi-arides. Dans le système agropastoral, 10 à 50 % des revenus totaux des ménages proviennent des animaux ou de leurs produits. On le rencontre dans les zones agroécologiques semi-arides et subhumides. Dans le système sédentaire dominé par les productions végétales vivrières ou de rente, la contribution des animaux aux revenus des ménages est faible (moins de 10 %). Il est pratiqué dans les zones agroécologiques de type humide et se caractérise par un élevage en totale divagation. Les systèmes de type urbain ou périurbain (développés en ville ou à sa périphérie) constituent la principale composante des systèmes modernes.

1.1.2. Unité Pastorale

La définition du concept d'Unité Pastorale varie en fonction des zones climatiques et des ressources naturelles du milieu. Dans les zones climatiques tempérées, comme en France par exemple, l'Unité Pastorale est définie comme une portion de territoire toujours en herbe, d'au moins 10 hectares, exploitée par pâturage extensif (Wade, 2017). Dans la zone tropicale sahélienne, le Projet de Développement de l'Élevage au Sénégal Oriental (1979) définit l'Unité Pastorale comme : « *un groupement de producteurs ruraux constitués par les habitants d'un certain nombre de villages appartenant au même terroir, unis par une solidarité résultant du voisinage, possédant des intérêts communs, exploitant les mêmes parcours pastoraux, les mêmes zones de culture, les mêmes forêts et surtout ayant opté librement de s'unir* ». Cette définition met en exergue les notions de groupements d'individus, de terroirs villageois, d'intérêts communs et de ressources communes. Ces notions peuvent être placées dans le contexte des politiques développées avec la promotion des approches de « développement rural intégré » dans les années 70 et « gestion des terroirs villageois » des années 80. Cependant, il faut rappeler qu'à cette époque, la gestion des ressources naturelles était encore entre les mains des autorités centrales, le processus de décentralisation restait encore timide. Pour le projet PRODAM : « *l'Unité Pastorale est un groupement d'éleveurs résidant dans les villages exploitant le même forage, unis par une solidarité résultant du voisinage, exploitant les mêmes ressources naturelles et surtout ayant opté pour s'unir librement* » (Fall, 2006). C'est aussi

constitué de « l'espace et de l'ensemble des ressources polarisées par un forage pastoral » (Faye, 2001). De façon globale, ces définitions ont ceci de commun : la nécessité d'une gestion concertée des ressources naturelles exploitées en commun par plusieurs individus. Cependant, la difficulté réside sur l'organisation de la gestion de l'espace pastoral qui est très vaste et faiblement peuplé, mais aussi souvent à cheval entre plusieurs collectivités locales ou regroupe plusieurs clans et fractions. Pour résoudre ce problème, certains projets ont proposé de délimiter l'Unité Pastorale alors que pour d'autres, les limites extérieures de l'Unité Pastorale n'ont pas de sens. Ainsi, pour le PRODAM, l'Unité Pastorale est découpée en terroirs pastoraux regroupant les villages et campements les plus proches et qui exploitent traditionnellement les mêmes ressources naturelles pastorales en vue d'assurer une meilleure implication des populations dans la mise en œuvre d'un plan de gestion. Ainsi, l'administration de l'Unité Pastorale est assurée par les éleveurs organisés en groupements dont le statut varie en fonction des projets. Pour le PRODAM, l'UP est administrée par un GIE inter villageois avec un bureau du GIE et des comités de gestion. Dans chaque terroir pastoral, dirigé par une équipe issue des villages polarisés par le terroir pastoral, un comité de vigilance est mis en place. Ce comité de vigilance est responsable de l'application de toutes les dispositions du plan de gestion à l'intérieur du terroir pastoral. L'option de GIE proposée par le PRODAM pour administrer l'UP s'explique entre autres par la volonté de permettre à l'UP de bénéficier d'une reconnaissance juridique auprès des institutions financières dans une perspective de bénéficier de prêts bancaires afin de mener des activités génératrices de revenus.

1.2. Changement climatique et adaptation

Plusieurs définitions du changement climatique sont décrites dans la littérature, de même que l'adaptation au changement climatique. Une synthèse de ces définitions est présentée ci-dessous.

1.2.1. Changement climatique

Plusieurs points de vue ont été exprimés sur la définition du changement climatique. En 1992, l'UNFCCC définissait le changement climatique comme des changements du climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. Pour d'autres, le changement climatique se manifeste par des variations des conditions météorologiques, notamment la température, les précipitations et le vent (Tompkins et Adger, 2004 ; Cruz *et al.*, 2007 ; FAO 2008 ; Ali et Erenstein, 2017). Pour Nicholls *et al.* (2007), le changement climatique peut être le résultat de changements de

processus internes ou de forces externes. Plusieurs causes du changement climatique sont indexées. Le changement climatique était probablement dû à des activités humaines, car les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté depuis 1750 à cause de la consommation des combustibles fossiles, des nouvelles formes d'utilisation des terres et de l'agriculture (IPCC, 2007 et 2013). De l'avis de la FAO (2008), le changement climatique est le résultat des actions humaines qui entraînent une émission croissante et continue de gaz à effet de serre, une perte du couvert végétal et d'autres puits à carbone. Pour O'Brien *et al.* (2006), le changement climatique est un phénomène naturel qui est accéléré par les actions anthropiques de l'homme.

1.2.2. Adaptation au changement climatique

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.

La 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).

1.3. Adoption, attitude et comportement

Selon Juste et Zilberman (1985), l'adoption correspond à l'aboutissement d'un processus de prise de décision dynamique qui inclut l'apprentissage grâce à la collecte d'informations ou l'expérimentation. Pour Rogers (1995), une innovation ne sera adoptée que lorsque les individus concernés seront convaincus, compte tenu des informations dont ils disposent, de l'intérêt ou des gains qu'ils peuvent en tirer. Alors que Van den Bulte (2001), l'adoption est l'acceptation ou l'utilisation d'une innovation, technologie, méthode donnée. Dans un autre sens, Steyer et Zimmermann (2004) considèrent que l'adoption n'est plus le résultat d'un processus social, mais une conséquence des caractéristiques propres et intrinsèques des individus. Ceci renvoie aux concepts d'attitude, d'intention et de comportement des individus. Rosenberg et Hovland, 1960 ; Giger, 2005) distinguent un modèle tricomponentiel de l'attitude. Dans ce modèle, l'attitude est définie comme une disposition positive ou négative dont l'expression résulte de trois composantes : une composante cognitive, une composante affective et une composante comportementale. Par exemple, un éleveur peut savoir que les émissions de gaz à effet de serre provoquent le réchauffement climatique et augmentent le risque de sécheresse (composante cognitive) ; il peut être frustré et triste de voir la disparition de certaines espèces végétales (composante affective) ; et il peut prendre la décision de participer au reboisement et éviter la déforestation pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (composante comportementale). Certains psychologues sociaux définissent l'attitude comme un objet stocké en mémoire et qui perdure dans le temps (Allport, 1935 ; Petty, *et al.*, 1994). Pour d'autres, l'attitude est une évaluation sommaire d'un objet de pensée (Eagly et Chaiken, 1993 ; Petty *et al.*, 1997). À l'inverse, d'autres théoriciens conçoivent l'attitude comme une construction temporaire que les individus construisent en même temps qu'ils évaluent l'objet (Tesser, 1978 ; Tourangeau et Rasinski, 1988 ; Wilson et Hodges, 1992). Dans cette logique, les individus n'extraient aucune attitude stockée préalablement dans leur mémoire, mais

gènèrent un jugement évaluatif basé sur les informations qui leur viennent à l'esprit dans une situation donnée.

La notion de comportement a été beaucoup étudiée dans le domaine de la santé, notamment l'intention comportementale. Les théoriciens stipulent que le meilleur prédicateur d'un comportement est son intention de s'y comporter (Fishbein et Ajzen, 1975 ; Triandis, 1977 ; Bagozzi et Warshaw, 1990 ; Ajzen, 1991 ; Bagozzi, 1992 ; Gerrard et Gibbons, 1995). Dans ce cas l'intention comportementale est incluse comme un antécédent immédiat du comportement. Autrement dit, si une personne a l'intention d'exécuter un comportement, alors il y a de très fortes chances qu'elle le produise (D'Onghia, 2009). L'intention comportementale est définie comme l'effort qu'un individu est prêt à exercer pour parvenir à son but (Ajzen, 1991), ou comme un plan comportemental qui permet d'atteindre un but comportemental (Ajzen, 1996), ou plus simplement, comme un but proximal (Bandura, 1997). Selon les différentes conceptions théoriques de la psychologie sociale, l'intention comportementale est basée sur l'attitude envers le comportement (Fishbein et Ajzen, 1975 ; Triandis, 1977 ; Bagozzi et Warshaw, 1990 ; Ajzen, 1991), sur les normes subjectives (Fishbein et Ajzen, 1975 ; Triandis, 1977 ; Ajzen, 1991 ; Bagozzi, 1992), sur le contrôle comportemental perçu (Ajzen, 1991), sur la fréquence des comportements antérieurs (Bagozzi et Warshaw, 1990), sur le désir d'agir (Bagozzi, 1992), sur les conséquences perçues, les conditions de facilitation d'adoption, l'identité personnelle et sur les normes morales (Triandis, 1977).

La naissance du béhaviorisme à partir du 20^e siècle a donné un poids important au concept de comportement dans la psychologie sociale. Selon Watson (1913), un des pionniers du béhaviorisme, le comportement constitue l'ensemble des réactions objectivement observables qu'un organisme généralement pourvu d'un système nerveux exécute en réponse aux stimulations du milieu, elles-mêmes objectivement observables. Dans sa théorie du comportement planifié, Ajzen (1991) le définit comme la réponse observable d'un individu dans une situation donnée à l'égard d'une cible donnée. Le comportement d'un individu est facilité par son intention (Ajzen, 1991 ; Fishbein et Ajzen, 1975), par son contrôle perçu (Ajzen, 1991), par sa fréquence et sa récurrence d'apparition (Bagozzi, 1992), par son caractère d'obligance et de réaction sociale (Gerrard et Gibbons, 1995) et par l'habitude des gens (Triandis, 1977).

1.4. Théorie du changement

Établir le lien de cause à effet entre une intervention et ses impacts est le point clé en terme méthodologique de l'évaluation d'impact : il s'agit de la validité interne de l'évaluation d'impact telle que la définit Weiss (1998) : « *the extent to which the effects found in a study can unambiguously be attributed to the presumed causal variables, such as program activities.* ». La théorie du changement a été développée par Weiss (1995) dans la tradition de l'évaluation axée sur la théorie. Plusieurs définitions de la théorie du changement existent, mais nous suivons celle de Vogel (2012) qui donne plus de détails :

La théorie du changement est une approche qui décrit comment un projet apporte des résultats spécifiques à long terme à travers une séquence logique de résultats intermédiaires. Elle est souvent développée à l'aide d'une approche de cartographie inversée qui commence par les résultats à long terme, puis représente le processus de changement requis et les résultats à court et à moyen terme requis pour y parvenir. Au cours de ce processus, les hypothèses sur ce qui doit être en place pour que la théorie du changement se produise sont explicitées ainsi que les facteurs contextuels qui l'influencent. Les éléments supplémentaires peuvent inclure les bénéficiaires, les acteurs dans le contexte, la sphère d'influence, les choix stratégiques et les interventions, les échéanciers et les indicateurs. Ces éléments sont habituellement présentés dans un schéma et/ou un résumé narratif.

La théorie du changement est largement utilisée pour l'élaboration et l'évaluation des projets par les bailleurs de fonds (James, 2011). Breuer *et al.* (2016) en se basant sur les travaux de Vogel (2012), ont élaboré une checklist couvrant cinq domaines pour montrer les indications sur les aspects qu'une théorie du changement doit éclaircir : (1) définition de la théorie du changement ; (2) description du processus de développement de la théorie du changement ; (3) diagramme de la théorie du changement ; (4) processus de développement d'intervention et (5) utilisation de la théorie du changement dans l'évaluation. Les méthodes d'élaboration d'une théorie du changement peuvent être des consultations avec les parties prenantes par le biais d'ateliers ou d'entretiens (Andersen, 2004 ; Hernandez *et al.*, 2006 ; Breuer *et al.*, 2014) et par l'analyse de la documentation du projet (Weitzman *et al.*, 2002). À côté de la théorie du changement, il existe plusieurs types de stratégies d'évaluation axées sur la théorie, notamment les modèles logiques, les cadres logiques, les hiérarchies des résultats, l'évaluation réaliste (Breuer *et al.*, 2016).

1.5. Projet

Le concept de projet fait l'objet de plusieurs définitions. Selon la norme ISO 21500 (2012) : « *un projet est un ensemble unique de processus, constitués d'activités coordonnées et maîtrisées, ayant des dates de début et de fin et entreprises pour atteindre les objectifs du projet* ». D'après Gittinger (1985), « *Il s'agit d'une activité qui entraînera une dépense d'argent avec l'espoir d'en tirer des avantages et qu'il semble logique de considérer comme un tout en*

ce qui concerne sa planification, son financement et son exécution. C'est le plus petit élément opérationnel d'un plan ou d'un projet de développement agricole national que l'on puisse concevoir et mettre en valeur en tant qu'entité distincte. C'est une activité déterminée avec un point de départ et un point final précis, visant à atteindre un objectif particulier ». Delarue (2007) souligne le terme de « projet » est tout aussi communément employé pour désigner la structure *ad hoc* parfois créée pour accomplir « l'activité » en question : structure autonome, indépendante de l'administration du pays, focalisée sur les objectifs qui lui sont assignés et sur le budget dont elle dispose pour les accomplir. Dans le cadre de cette thèse, nous empruntons la définition de Breuer *et al.* (2016) : *un projet est un ensemble d'activités organisées ou d'interventions soutenues par des ressources conçues pour obtenir un résultat spécifique*.

1.6. Évaluation et impact

L'évaluation de projet peut être définie comme « la collecte systématique d'informations concernant les activités, les caractéristiques, et les produits d'un projet pour porter un jugement sur celui-ci, améliorer son efficacité et/ou aider à la décision pour un futur projet » (Patton, 1997). Cette définition convient aux trois types d'évaluation : l'évaluation *ex ante*, l'évaluation à mi-parcours et l'évaluation *ex post* (achèvement). L'évaluation à mi-parcours de projet s'adresse en priorité au personnel de celui-ci, en vue d'améliorer la conduite des activités et l'atteinte des objectifs. C'est actuellement la forme d'évaluation qui prédomine (Mackay et Horton, 2003). Les évaluations *ex ante* et *ex post* (ou *d'achèvement*) sont au contraire destinées à un public externe, de décideurs ou de bailleurs de fonds, pour justifier de l'efficacité (dans quelle mesure les objectifs ont été atteints), de l'efficience (dans quelle mesure les résultats ont été atteints au meilleur coût) et des impacts des actions programmées dans le futur, ou au contraire achevées (Dufumier, 1996 ; Mackay et Horton, 2003).

Le terme « impact » est rarement défini isolément, mais il ressort de la littérature qu'il s'agit le plus souvent de la variation d'un indicateur choisi pour refléter l'atteinte des objectifs du projet (Delarue, 2007). L'impact peut toutefois faire référence à des conséquences éventuellement non souhaitées ou indirectes de l'intervention. Dans ce sens Baker (2002) souligne que : « *L'évaluation d'impact est destinée à mesurer (...) si le projet a eu l'impact désiré sur des individus, des ménages et des institutions et si ces effets sont attribuables à l'intervention du projet. Les évaluations d'impact peuvent aussi explorer des conséquences imprévues, soit positives, soit négatives sur les bénéficiaires* ».

Chapitre 2 : Débats sur l'élevage pastoral et son lien avec le changement climatique dans les pays sahéliens

La viabilité de l'élevage pastoral fait l'objet d'un débat divergeant dans les milieux académiques et politiques. Ce chapitre fait le point sur les enjeux et un état des lieux sur les points de vue des opposants et des partisans de l'élevage pastoral.

2.1. Enjeux et défis de l'élevage pastoral

En 2050, les prévisions indiquent que la population mondiale passera de 7,2 milliards de personnes à 9,6 milliards (UN, 2013), soit une augmentation de 30 %. Cependant, avec l'amélioration des conditions de vie, la demande en produits agricoles atteindra 70 % pour la même période (FAO, 2009 b), alors que les superficies totales des terres cultivées au niveau mondial n'ont pas évolué depuis 1991 (O'mara, 2012). Cela indique les progrès à réaliser en termes d'intensification et d'amélioration de la productivité agricole. Les produits d'origine animale jouent également un rôle important dans la sécurité alimentaire mondiale, car ils fournissent respectivement 17 % et 33 % de la consommation mondiale de kilocalories et de protéines (Rosegrant *et al.*, 2009). Le sous-secteur de l'élevage contribue aux moyens d'existence de plus d'un milliard de pauvres dans le monde et emploie près de 1,1 milliard de personnes (Hurst *et al.*, 2005). Il existe une forte demande des produits agricoles et la hausse de la demande dans les pays en développement incitent certains auteurs à parler de la « révolution de l'élevage » (Thornton, 2010 ; Wright *et al.*, 2012). Il est projeté une augmentation de la production mondiale de lait de 664 millions de tonnes en 2006 à 1077 millions de tonnes en 2050, et la production de viande va doubler passant de 258 à 455 millions de tonnes (Alexandratos et Bruinsma, 2012).

L'élevage en général et l'élevage pastoral en particulier est alors appelé à jouer un rôle important pour satisfaire la demande en lait et viande. En effet, il est également considéré comme le seul système de production agricole capable de valoriser économiquement, culturellement et socialement les terres arides et semi-arides du monde (Behnke *et al.*, 1993 ; Scoones, 1994 ; International Livestock Research Institute, 2006 ; Programme des Nations Unies pour le Développement, 2006). Pour rappel, ces terres représentent 41 % de la surface terrestre mondiale et 43 % des terres d'Afrique ; elles concentrent également plus de 2 milliards de personnes, dont 90 % vivent dans les pays en développement (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; PNUE, 2007 ; Reynolds *et al.*, 2007 ; Union Africaine, 2012). L'élevage pastoral se pratique sur un quart de la superficie terrestre mondiale, sur deux tiers des terres arides et sur 40 % des terres en Afrique (Clay, 2004 ; Integrated Regional Information Networks, 2007). L'élevage pastoral constitue un moyen de subsistance et une source de

revenus de plus d'un milliard de personnes dans le monde et 250 millions de personnes en Afrique (Livestock in Development, 1999).

Cependant, il est largement admis que sa forte vulnérabilité au changement climatique est susceptible d'affecter négativement la production animale et les moyens d'existence des communautés pastorales (Thornton, 2010). En même temps, le sous-secteur de l'élevage contribue aux émissions de GES (Garnett, 2009). Par conséquent, le défi consiste à maintenir un équilibre entre la productivité, la sécurité alimentaire des ménages et la préservation de l'environnement et des ressources naturelles en mettant en œuvre des mesures d'adaptation et de mitigations (Wright *et al.*, 2012).

2.2. Débats sur le mode d'élevage pastoral face au changement climatique

Il existe dans la littérature un vif débat entre les universitaires, les praticiens du développement, les décideurs politiques et les grandes communautés sur la viabilité des modes de vie des communautés pastorales en tant que stratégie d'adaptation au changement climatique dans les zones arides et semi-arides, particulièrement au Sahel.

2.2.1. Point de vue des partisans d'une modernisation du système d'élevage pastoral

Les partisans de la modernisation de l'élevage pastoral ont un point de vue pessimiste de l'élevage basé sur la mobilité du cheptel. Les partisans de cette idée considèrent le pastoralisme comme un vieux système de vie économiquement irrationnel, destructeur de l'environnement et des ressources naturelles (Gonin et Gautier, 2015), grand émetteur de GES (Gerber *et al.*, 2014) et précaire (Sandford, 2006), car les communautés pastorales vivent dans des zones arides caractérisées par la répétition des sécheresses, la dégradation des terres, le manque d'accès au marché, de gouvernance et d'accès à la technologie (Bradburd, 1982 ; Hogg, 1992). Pour éviter cette situation, Sandford (2006) propose la modernisation de l'élevage pastoral à travers la sédentarisation des communautés pastorales, la gestion améliorée du bétail, l'introduction de l'irrigation pour la production de cultures fourragères, la production mixte bétail-céréales et la mise en place de projet de subventions de l'aliment bétail. Il repose son argumentation sur le fait que la sédentarisation des communautés pastorales conduit à la fourniture d'infrastructures de base, y compris les écoles, les services de santé, les routes et les services vétérinaires.

Dans le même sens, d'autres ont souligné des avantages de la sédentarisation comme l'accès aux marchés (Ensminger, 1992 ; Sato, 1997, Zaal et Dietz, 1999), y compris pour les femmes qui vendent du lait et des produits agricoles (Waters-Bayer, 1988 ; Little, 1994 ; Fratkin

et Smith, 1995 ; Smith, 1998 et 1999). Dans le même sens, des bailleurs de fonds internationaux telle que la Banque mondiale ont encouragé la privatisation des anciennes terres de parcours communautaires et la création de ranchs individuels (Galaty, 1994 ; Hodgson, 1999). Les partisans de la modernisation de l'élevage pastoral soutiennent que la mobilité du cheptel, qui est la principale stratégie d'adaptation des pasteurs, a déjà été limitée par de nombreux facteurs tels que la privatisation des terres pour les fermes commerciales et les ranchs, l'expansion des parcs nationaux, les stress environnementaux de la sécheresse et de la famine, des razzias de bétail et des conflits ethniques (Dalle, 1998 ; FAO, 2001 ; Rota et Sperandini, 2009). Par ailleurs, ils soutiennent que le pastoralisme a évolué sous la pression des influences très distinctives du 20^e siècle comme la médecine vétérinaire moderne, l'enclavement, la pression internationale pour l'hygiène dans l'abattage et la production laitière, le déclin du prestige des produits laitiers, le marché mondial des produits de l'élevage et l'ingérence idéologique des États. En outre, pour eux, le pastoralisme perd sa pertinence en raison des appels alternatifs au travail pastoral, de l'introduction de technologies d'intrants/extrants élevés, des projets de repeuplement et de réhabilitation, du lobby de la conservation et de l'empiétement sur les pâturages.

2.2.2. Apport des défenseurs de la conservation du système d'élevage pastoral

Le deuxième volet de la littérature plaide fortement en faveur de l'importance du style de vie de l'élevage pastoral pour maintenir les moyens de subsistance par le biais des systèmes traditionnels (Moritz *et al.*, 2009, Nassef *et al.*, 2009). Les communautés pastorales ont une longue histoire de mise en œuvre de diverses stratégies d'adaptation basées sur leurs propres connaissances indigènes (African Technology Policy Studies Network, 2013). De plus, Hatfield et Davies (2006) soutiennent que le pastoralisme surpasse les autres systèmes d'utilisation des terres dans la valorisation des terres arides et qu'il s'agit du système d'élevage le plus économique et le plus rationnel pour gérer durablement celles-ci. Les résultats de la recherche (Moritz *et al.*, 2009) montrent que le système pastoral est un moyen facile d'adaptation au changement climatique, en raison de son adaptation aux environnements arides et semi-arides grâce à des stratégies d'établissement d'un fort capital social, de coopération économique entre les membres de la communauté et des réseaux de lignage clanique, de diversification du cheptel et de méthodes de reproduction du cheptel. Dutilly-Diane (2006) a fait valoir que le pastoralisme est un important moyen de subsistance dans le maintien de la diversité génétique du bétail. Elle aussi affirme que les communautés autochtones jouent un rôle dans la conservation de la diversité des animaux domestiques, car elles ne font pas partie de la

promotion générale du croisement ou de la substitution des races indigènes aux races exotiques. Selon elle, cela se fait soit par choix pour résister à l'intégration dans la « mondialisation », soit parce qu'elles vivent dans des zones reculées qui ne sont pas touchées par des projets de développement. Dans un tel contexte, Berth *et al.* (2017) soutiennent que la vie pastorale permet à la communauté de conserver ses systèmes culturels et ses connaissances tout en répondant aux effets négatifs du changement climatique. Dans ce cadre, ils suggèrent qu'au lieu de changer le mode de vie indigène par le nouveau style de vie proposé, une plus grande attention devrait être accordée à la nécessité d'améliorer les stratégies de mobilité d'une manière qui soutient la capacité d'adaptation en introduisant des services modernes de vulgarisation et des installations vétérinaires.

Il ressort clairement de ces débats qu'il existe une divergence d'opinions sur la durabilité du mode de vie pastoral et sa contribution à l'adaptation climatique dans les régions arides d'Afrique. Cela est rendu compliqué par la nature multiforme des stratégies d'adaptation qui dépendent fortement de divers facteurs tels que l'accessibilité au marché et les institutions (Smit *et al.*, 2000), la disponibilité des ressources (Sandford, 2006), la forte pression de la demande humaine et de population animale sur les terres, la taille (Tsegaye *et al.*, 2013) et la disponibilité d'options de moyens de subsistance en dehors des revenus du bétail (Adger *et al.*, 2005 ; Berhanu *et al.*, 2007 ; Galvin, 2009).

2.3. Vulnérabilité de l'élevage pastoral dans les pays sahéliens

Cette partie traite des effets du changement climatique dans les zones sahéliennes arides et semi-arides de l'Afrique Subsaharienne. Un accent particulier est mis sur la partie sahélienne du Sénégal. L'élevage pastoral, qui fait partie de système de valorisation des milieux sahéliens est abordé, en termes de vulnérabilité au changement climatique et de contribution aux émissions des gaz à effet de serre.

2.3.1. Sahel, un milieu aride et semi-aride hostile

Le Sahel s'étend sur 400 à 600 km de large et près de 6 000 km de long, soit approximativement, une superficie de 3 millions de km² (Le Houérou, 1989). Il s'étend d'est en ouest à travers l'Afrique entre le désert du Sahara au Nord et la savane humide au sud. Le Sahel est une zone climatique arides et semi-arides est l'une des plus grandes zones du monde bordant le désert du Sahara au nord. Les traits caractéristiques les plus illustratifs des pays du Sahel sont la fréquence des sécheresses, l'avancée de la désertification et le faible niveau d'indice de développement humain (UNDP, 2015). Cette région fait partie des zones ayant le plus grand taux de croissance de la population (UNICEF, 2014 ; DSW, 2017) et est fortement

touchée par le terrorisme et les activités illicites telles que la vente d'armes, de drogues et le trafic d'êtres humains qui génèrent annuellement plus de 3,8 milliards USD (ICG, 2015). Les moyens d'existence de la population sahélienne dépendent principalement de l'économie de subsistance (pastoralisme et agriculture) (Krings, 1982 ; Krings, 2006). Parmi les ressources naturelles vitales, la végétation ligneuse assure plusieurs fonctions de base aux populations sahéliennes dont la fourniture d'énergie, la construction, l'alimentation en fourrage, la médecine, etc. Selon plusieurs études, plus de 90 % de la population totale sahélienne, qui est estimée autour de 120 millions de personnes (DSW, 2017), pour la satisfaction de leurs besoins en énergie domestique, dépendent du bois et du charbon (Krings, 2006 ; IEA, 2014 ; Mortimore, 2016).

Du point de vue écologique et climatique, la pluviométrie et la végétation sont les deux critères qui caractérisent le Sahel (Kusserow, 2017). La zone sahélienne est située entre les isohyètes $100 \pm 100 \text{ mm}$ au nord et 600 mm au sud (Lebel *et al.*, 2009). Les précipitations sont largement déterminées par la progression de la zone de convergence intertropicale au cours de la mousson ouest-africaine (Nicholson et Palao, 1993). La pluviométrie est connue par sa forte variabilité interannuelle (Lebel et Ali, 2009). Le Sahel a été désigné comme la région présentant les plus grandes anomalies pluviométriques au monde au cours du siècle dernier (Nicholson, 2000), souffrant de sécheresses récurrentes et de fortes variations interannuelles des précipitations et par conséquent de la productivité végétale. Les précipitations saisonnières varient significativement à des échelles de quelques dizaines de km (Nicholson, 2000) et la variabilité spatiale aux échelles journalières est également élevée en raison de la nature essentiellement convective des précipitations pendant la saison des pluies (Lebel *et al.*, 2003). Le Sahel a connu une forte diminution des précipitations caractérisée par les grandes sécheresses des années 1970 et 1980 (OCDE, 2008). Une rupture nette des séries pluviométriques est ainsi observée à partir des années 1968 jusqu'au début des années 1990 (Le Barbé *et al.*, 2002 ; Bell et Lamb, 2006). Les précipitations annuelles ont subi en moyenne une diminution de 20 à 40 % entre 1931-1960 et 1968-1990 avec 1973 comme année charnière contre 15 % dans les régions des forêts tropicales humides (Lebel et Le Barbé, 1997). Pour le cas des zones soudano-sahéliennes, cette tendance s'est traduite par un glissement des isohyètes de l'ordre de 150 à 200 km vers le sud (Diouf *et al.*, 2000 ; Mainguet, 1999 ; Lebel et Ali, 2009). Ces déficits pluviométriques ont pour corollaire la variabilité des caractéristiques de la saison des pluies, dont les dates de début et de fin ainsi que l'occurrence des poches de sécheresse (Balme *et al.*, 2005).

Cependant, depuis le milieu des années 1990, on assiste à un certain retour à de meilleures conditions pluviométriques au Sahel, avec toutefois une variabilité interannuelle et intra-saisonnière accrue des précipitations par rapport à celles des décennies précédentes (1970 et 1980), notamment sur les parties centrales et de l'est (Lebel et Ali, 2009). Les mêmes tendances ont été observées par Salack *et al.* (2011) au Sénégal et par Lodoun *et al.* (2013) au Burkina Faso. Toutefois, ce retour apparent des conditions humides coïncide avec l'accélération du réchauffement climatique dans le monde (IPCC, 2007). Ces conditions favorables sont le plus souvent associées à des pluies intenses et de plus en plus fréquentes occasionnant des inondations et de nombreux dégâts (Sene et Ozer, 2002).

La végétation du Sahel est caractérisée par la répartition, composition par la diversité des espèces entre la partie nord et sud. Le Houérou (1989) a répertorié des arbres, arbustes et des graminées pérennes dans plusieurs zones éco climatiques entre le Sahara et l'Équateur. Le nord du Sahel est principalement composé de prairies étendues avec des arbres épineux isolés et des arbustes (Von Maydell, 1986). Des découvertes scientifiques récentes ont montré dans le Nord sahélien un déclin de la biodiversité et un passage à des espèces plus arides et résilientes à la sécheresse (Gonzalez, 2001 ; Gonzalez *et al.*, 2012, Herrmann et Tappan, 2013). Au sud du Sahel, le niveau des précipitations permet le développement d'une mosaïque de végétation de savane et de forêt avec des arbres à feuilles caduques, des forêts sempervirentes bordant des plans d'eau pérennes. De même que dans la zone sahélienne Nord, un déclin général de la diversité des espèces et une diminution des forêts-galeries sont considérés comme des signes de dégradation des terres. Contrairement au nord du Sahel, une couverture dense de graminées et d'arbres vivaces reflète une structure moins perturbée par rapport aux zones plus arides (Hiernaux *et al.*, 2009A).

Les grandes étendues de plaines sahéliennes sont principalement utilisées pour le pâturage et les cultures de subsistance dominée par les céréales sèches, les tubercules et les légumineuses et les zones restantes de la végétation naturelle sont utilisées pour l'extraction des produits et le pâturage (Hiernaux *et al.*, 2009B ; Kandji, 2006). La région est occupée par les pasteurs transhumants, nomades et sédentaires qui subsistent grâce à l'élevage et à l'agriculture à petite échelle (Von Maydell, 1986 ; Le Houérou, 1989 ; Schulz et Pommel, 1992 ; Breman et Kessler, 1995 ; Krings, 2006).

2.3.2. Changement climatique au Sahel et vulnérabilité des moyens d'existence

La zone du Sahel est considérée comme particulièrement vulnérable au changement climatique (Le Houérou, 1989 ; Bégué, 2011). C'est l'un des environnements les plus limités en eau au monde. Les agriculteurs et les éleveurs de la zone du Sahel ont longtemps reconnu l'importance de la variabilité à court et moyen terme de la pluviométrie sur la production agricole et animale, avec la sécheresse comme la principale cause de l'insécurité alimentaire (Pedersen et Benjaminsen, 2008). Déjà les grandes sécheresses successives des années 1970 et 1980 au Sahel avaient provoqué la famine dramatique et la pauvreté rurale (Caldwell, 1975 ; Dilley *et al.*, 2005). La mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviométrie est très préjudiciable à la production agricole et animale et, par ricochet, à la sécurité alimentaire dans la région sahélienne. À titre illustratif, l'irrégularité des pluies suivie d'un arrêt précoce de la campagne agricole 2011-2012 au Niger, au Tchad, dans le nord-est du Mali, le nord du Burkina Faso et l'extrême nord du Nigeria, a provoqué un important déficit vivrier engendrant une crise alimentaire pour plus de 10 millions de personnes (FAO, 2011). Ailleurs, dans la corne de l'Afrique, la sécheresse de 2011 a provoqué une crise alimentaire qui a affecté plus de 12 millions de personnes⁴. Selon les projections de plusieurs études, le changement climatique devrait entraîner une réduction structurelle de la pluviosité dès le milieu du XXI^e siècle (Milly *et al.*, 2005 ; Held *et al.*, 2005). Nelson *et al.*, (2009) prédisent, d'ici, 2050 que les rendements des cultures pluviales pourraient chuter de 2 à 35 % dans les pays sahéliens. Au Sénégal, dans le bassin arachidier et la zone sylvopastorale, l'impact potentiel de ce changement climatique devrait se manifester par une baisse des rendements d'arachide de 5 à 25 % et des rendements de maïs et de riz pluvial de 25 %, une réduction de la densité du peuplement optimale de 0,1 à 0,08 UBT/ha (Hein *et al.*, 2008), une baisse des revenus des éleveurs de 33 dollars (Kurukulasuriya *et al.*, 2006).

En raison de la croissance rapide de la population, de l'évolution du marché mondial, de l'environnement changeant et de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations, la plupart des écosystèmes du Sahel ne peuvent plus soutenir une agriculture pluviale à petite échelle ; ceci a enfermé les gens dans une spirale négative de pauvreté et de dégradation des écosystèmes naturels (Enfors *et al.*, 2008 ; Ickowicz *et al.*, 2012). Il est alors noté, de plus en plus, d'importantes migrations internes vers le sud, d'agriculteurs/d'animaux à la recherche de

⁴ Source : site Internet du Projet Alimentaire Mondial. Horn of Africa Crisis, publié en 2011 : <https://www.wfp.org/crisis/horn-of-africa>, consulté en Mars 2018.

terres arables et de pâturages (Ouedraogo *et al.*, 2010). Par ailleurs, la croissance démographique, la déforestation, l'expansion des cultures, le surpâturage, le changement climatique et les politiques inappropriées ont accentué la dégradation des terres (Oldeman *et al.*, 1990 ; Niemeijer et Mazzucato, 2002 ; Kandji *et al.*, 2006).

2.3.3. Cas du Sénégal, un pays sahélien d'Afrique de l'Ouest

Le Sénégal fait partie des pays sahéliens avec une superficie de 196 712 km², une population estimée à 13 000 000 d'habitants en 2013. Cette population est à dominante rurale (64 %), à majorité féminine (52 %) et relativement jeune (71,2 % de la population a moins de 19 ans). Selon UNDESA (2010), le Sénégal fait partie des pays ayant les taux de croissance démographique les plus élevés au monde (2,56 %, 26^e dans le monde). L'économie sénégalaise est largement tirée par l'agriculture et l'élevage, qui représentent environ 17 % du produit intérieur brut (World Bank, 2016), et qui emploient 70 % de la population (FAO, 2016). Le Sénégal dispose (i) d'une superficie considérable de terres arables (3,8 millions d'hectares), (ii) d'un potentiel de terres irrigables de 350 000 hectares (iii) d'un cheptel important (3,5 millions de bovins, 11,5 de petits ruminants) et 64,5 millions de volailles (MEPA, 2016), (iv) des ressources considérables en eau de surface et souterraine renouvelables, etc. Malgré ce potentiel, la production agricole et animale ne permet de couvrir les besoins des populations. Pour combler ce gap, le Sénégal est obligé d'avoir recours aux importations de produits alimentaires. Par exemple en 2012-2013, les importations de fruits et légumes se sont élevées à près de 900 000 T et ont coûté 22 milliards de F CFA (Direction de la Prévision et des Études économiques, 2015). Le pays reste aussi importateur net (i) de viande (près de 10 000 T en 2014), (ii) de moutons sur pied (près de 377 744 têtes et (iii) de lait (28 155 T). Par ailleurs, une large partie de la population souffre de l'insécurité alimentaire et de la pauvreté, notamment en milieu rural. Les résultats de l'Enquête Nationale Sécurité alimentaire au Sénégal de 2016 révèlent qu'au plan national, 16,9 % des ménages souffrent encore d'insécurité alimentaire (5 % d'insécurité sévère, soit 756 890 personnes et 11,9 % d'insécurité modérée, soit 1 813 480 personnes). Les ménages ruraux sont les plus affectés par l'insécurité alimentaire (23,8 %) contre 10,2 % pour les ménages urbains. En 2014, le Sénégal avec un PIB de 1 047 USD par habitant est parmi les pays les plus pauvres au monde, 163^e rang sur 187 pays (UNDP, 2015). En 2011, les résultats de la dernière Enquête de Suivi de la Pauvreté au Sénégal ont révélé que la pauvreté n'a baissé que très légèrement au cours des six dernières années, passant de 48,3 % en 2005 à 46,7 % des ménages vivant en dessous du seuil de pauvreté en 2011. Les zones rurales

sont les plus pauvres (57,1 %) et environ 11 % des ménages dépensent plus de 75 % de leur budget pour se nourrir, signe de leur grande vulnérabilité économique (PAM, 2014).

Le changement climatique constitue une préoccupation majeure au Sénégal, du fait de la dépendance de son économie au sous-secteur agricole, qui est très sensible à la variabilité et au changement climatique. Des études ont montré que le changement climatique est en cours et des projections révèlent qu'il devrait s'accroître au cours des prochaines années. Dans un rapport du Centre de Suivi Ecologique (CSE, 2010), il est noté une baisse des précipitations de 30 % entre 1950 et 2000, une augmentation de la température moyenne annuelle jusqu'à 1,6 °C et 3 °C, entre 1960 et 2010, des sécheresses successives durant les décennies 1970 et 1980. Dans le même sens Funk *et al.* (2012) indiquent que les températures ont augmenté de 0,9 °C depuis 1975, contribuant ainsi à une aggravation des effets de la sécheresse. Une étude de Diagne (2000) a montré que les quantités de pluies ont baissé de 35 % avec une diminution de la durée de la période pluvieuse et une baisse de la fréquence des jours de pluie entre les périodes 1950-1965 et 1970-1995. Les projections laissent apparaître une diminution tendancielle de la pluviométrie et une augmentation significative des températures. Le CSE (2010) prédit une augmentation des températures de 1,1 à 1,8 °C en 2035 et de 3 °C en 2060, une élévation du niveau de la mer de 1 m en 2100, des sécheresses prolongées ; des inondations plus fréquentes et une salinisation plus accentuée des terres agricoles. L'étude de Gaye *et al.* (2009) a montré qu'il y'aurait une hausse des températures allant jusqu'à 3 °C en 2031-2050 et à 8,5 °C en 2081-2100, une diminution des journées pluvieuses de -50 % et des fortes précipitations de plus de -100 %.

2.4. Impact du changement climatique sur l'élevage pastoral

L'impact du changement climatique sur l'élevage est principalement dû à une augmentation de la température et de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO₂), aux variations des précipitations et à une combinaison de ces facteurs (Aydinalp et Cresser, 2008 ; FIDA, 2010 ; Thornton *et al.*, 2009 ; Nardone *et al.*, 2010 ; Reynolds *et al.*, 2010 ; Henry *et al.*, 2012 ; Polley *et al.*, 2013). Les impacts négatifs potentiels du changement climatique sur le cheptel comprennent des changements dans la production et la qualité des cultures fourragères et la biomasse (Thornton *et al.*, 2009 ; FIDA 2010 ; Chapman *et al.*, 2012 ; Polley *et al.*, 2013), la disponibilité de l'eau (Thornton *et al.*, 2009 ; Nardone *et al.*, 2010 ; Henry *et al.*, 2012), la croissance animale et la production de lait (Nardone *et al.*, 2010 ; Thornton *et al.*, 2009 ; Henry *et al.*, 2012), les maladies (Thornton *et al.*, 2009 ; Nardone *et al.*, 2010), la reproduction (Nardone *et al.*, 2010) et la biodiversité (Reynolds *et al.*, 2010). La

hausse des températures affecte la plupart des facteurs critiques pour la production animale, tels que la disponibilité de l'eau, la production de lait et de viande, la reproduction et la santé. La quantité et la qualité du fourrage sont affectées par la combinaison de l'augmentation de température, de CO₂ et de la variation des précipitations. Les maladies du bétail sont principalement affectées par une augmentation des variations de températures et de précipitations.

2.5. Contribution de l'élevage pastoral au changement climatique

L'élevage contribue directement et indirectement aux émissions de GES, notamment par la physiologie animale, le parcage des animaux, le stockage du fumier, les traitements du fumier, l'épandage et les engrais chimiques (Monteny *et al.*, 2001 ; Casey *et al.*, 2006). Les émissions directes provenant de déjections animales comprennent la fermentation entérique, la respiration et les excréments (Jungbluth *et al.*, 2001). Les émissions indirectes sont les émissions provenant des cultures fourragères, du fumier, des exploitations agricoles, du traitement des produits de l'élevage, du transport et de l'affectation des terres pour la production animale (par exemple, déforestation, désertification, carbone rejeté des sols cultivés) (IPCC, 1997 ; Mosier *et al.*, 1998). Selon Gerber *et al.* (2013), l'élevage contribue pour 14,5 % aux émissions mondiales de GES d'origine anthropique. La fermentation entérique est le principal contributeur des émissions du sous-secteur avec 39,1 %, suivie par la gestion du fumier, l'épandage et le dépôt direct avec 25,9 %, la production fourragère avec 21,1 %, le changement d'utilisation des terres avec 9,2 % et l'exploitation directe avec 2,9 % et l'énergie directe et indirecte avec 1,8 % (Gerber *et al.*, 2013). Les principaux GES émis par le cheptel sont le CO₂, le CH₄ et le N₂O. Globalement, le bétail contribue pour 44 % des émissions anthropiques de CH₄, 53 % de N₂O et à 5 % des émissions de CO₂ (Gerber *et al.*, 2013).

Chapitre 3 : Revue de la littérature théorique et empirique sur des approches utilisées pour l'analyse de l'adoption

La littérature sur l'adoption des nouvelles technologies ou innovations est abondante. Cette partie présente une revue de cette littérature théorique et empirique afin d'avoir une meilleure compréhension.

3.1. Approches psychosociales d'analyse de l'adoption

Plusieurs théories psychosociales ont été développées pour analyser l'adoption au niveau des individus. La synthèse est présentée ci-dessous.

3.1.1. Théorie de l'action raisonnée

La théorie de l'action raisonnée (figure 1) 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.

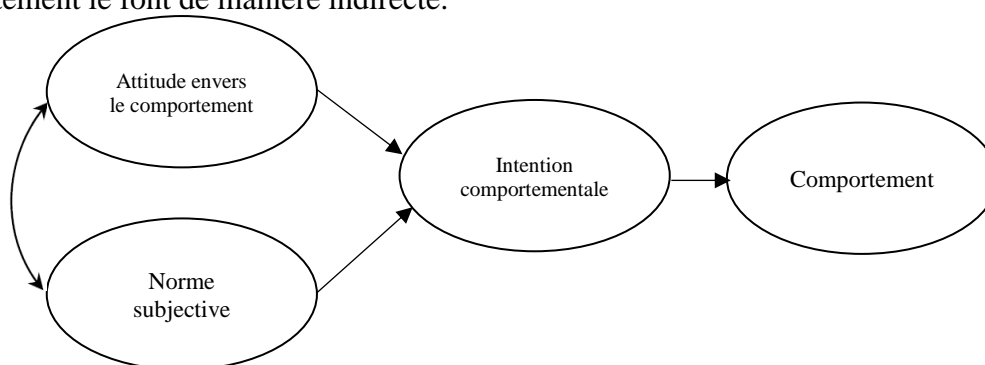


Figure 1 : Modèle de l'action raisonnée.
Source : Fishbein et Ajzen, 1975

La théorie de l'action raisonnée a largement été appliquée dans la prédiction de comportements dans différents domaines, notamment dans la prise de décision de jeux de société (Ajzen, 1971), dans l'incitation à utiliser des préservatifs (Albarracin *et al.*, 1998), dans l'encouragement à faire don de son sang (Pomazal et Jaccard, 1976), dans la prise de décision liée à l'avortement (Smetana et Adler, 1980). Cependant, dans le domaine de l'agriculture et de l'élevage, son succès a été très limité pour l'analyse des facteurs d'adoption et de diffusion des innovations agricoles. La raison est liée au fait qu'elle ne tient pas compte des facteurs qui se trouvent en dehors des possibilités de contrôle de l'adoptant (Ajzen, 1991). Or, certains types de comportements sociaux ne peuvent être perçus comme ayant un caractère volontaire. C'est ce qui a mené Ajzen (1991) à revoir la théorie de l'action raisonnée en proposant la théorie du comportement planifié.

3.1.2. Théorie du comportement planifié

La figure 2 illustre la théorie du comportement planifié d'Ajzen (1991) qui 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. Cette nouvelle composante semblerait affecter le comportement soit directement, soit indirectement, via l'intention comportementale (voir figure 2). Selon la théorie du comportement planifié, pour être effectif, le comportement humain doit être planifié selon trois types de facteurs : 1) les jugements sur la désirabilité du comportement et de ses conséquences (attitudes par rapport au comportement), 2) les considérations sur l'influence et l'opinion des

proches sur le comportement (normes sociales), et 3) les croyances en ses capacités à réussir le comportement visé (auto-efficacité).

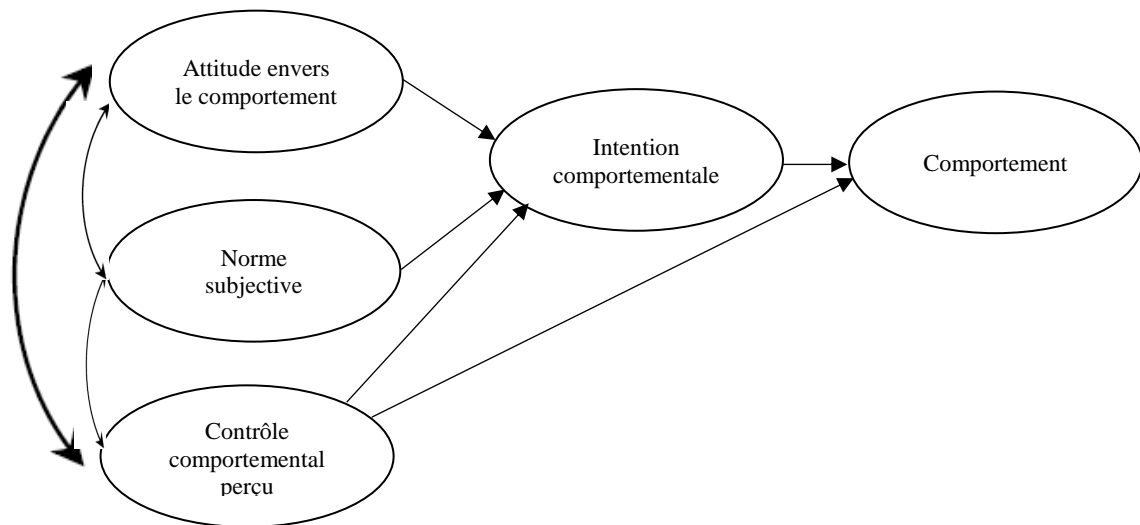


Figure 2 : Modèle du comportement planifié.
Source : Ajzen (1991)

La théorie du comportement planifié a été appliquée au domaine de la sécurité routière dans une étude de Parker *et al.* (1992) visant à étudier le comportement des usagers de la route. Elle a été employée dans plusieurs autres domaines pour prédire et analyser les facteurs des innovations (Amoako-Gyampah et Salam, 2004 ; Rezaei-moghaddam et Salehi, 2010).

3.1.3. Théorie de l'essai

La théorie de l'essai (figure 3) a été développée par Bagozzi et Warshaw (1990) qui se sont basés sur la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1991). Elle est destinée à expliquer comment les individus s'efforcent d'effectuer un comportement afin d'atteindre un but. Pour eux, la décision adoptée envers un comportement est prise en tenant compte de l'accomplissement d'un comportement cible (behavioral goal). Les comportements deviennent alors des essais devant permettre d'atteindre ce but. Contrairement aux théories de l'action raisonnée et du comportement planifié qui considèrent le comportement comme une variable dépendante, la théorie de l'essai le conçoit comme un processus visant à atteindre un objectif (Bagozzi, 1992). La variable dépendante de cette dernière théorie devient l'essai. Onghe (2009) identifie trois différences notables entre la théorie de l'essai et les théories de l'action raisonnée et du comportement planifié. La première concerne la conceptualisation de l'attitude. Lorsqu'un individu essaie de produire un comportement problématique, il peut être confronté à trois possibilités : essayer et réussir, essayer et échouer et enfin mettre en œuvre un processus afin de parvenir au but fixé. Si les deux premières possibilités se réfèrent à un résultat final, la dernière concerne les conséquences du résultat. Par exemple, dans une de leurs études, Bagozzi et Warshaw (1990) ont montré que les gens qui veulent perdre du poids développent des

attitudes différentes envers le succès, l'échec et le processus d'essai visant à perdre du poids. Ces différentes attitudes conduisent effectivement à des comportements différents. La deuxième différence concerne la manière dont les attitudes influencent les intentions. Bagozzi et Warshaw (1990) supposent que les attitudes envers le succès et l'échec conduisent à des attitudes envers l'essai, pour lesquelles on peut s'attendre à une probabilité élevée de réussir et une probabilité faible d'échouer. Ces attitudes envers l'essai influencent les intentions d'essayer et, par là, les comportements d'essai. La troisième différence entre la théorie de l'essai et les théories de l'action raisonnée et du comportement planifié concerne l'incorporation des résultats relatifs aux comportements antérieurs. Selon Bagozzi et Warshaw (1990), il faut subdiviser les comportements antérieurs en fonction de leur fréquence et de leur récence. En effet, les individus peuvent avoir une certaine habitude à effectuer un certain comportement, sans pour autant l'avoir exécuté récemment. Le cas contraire est aussi vrai, à savoir faire récemment un comportement peu fréquent.

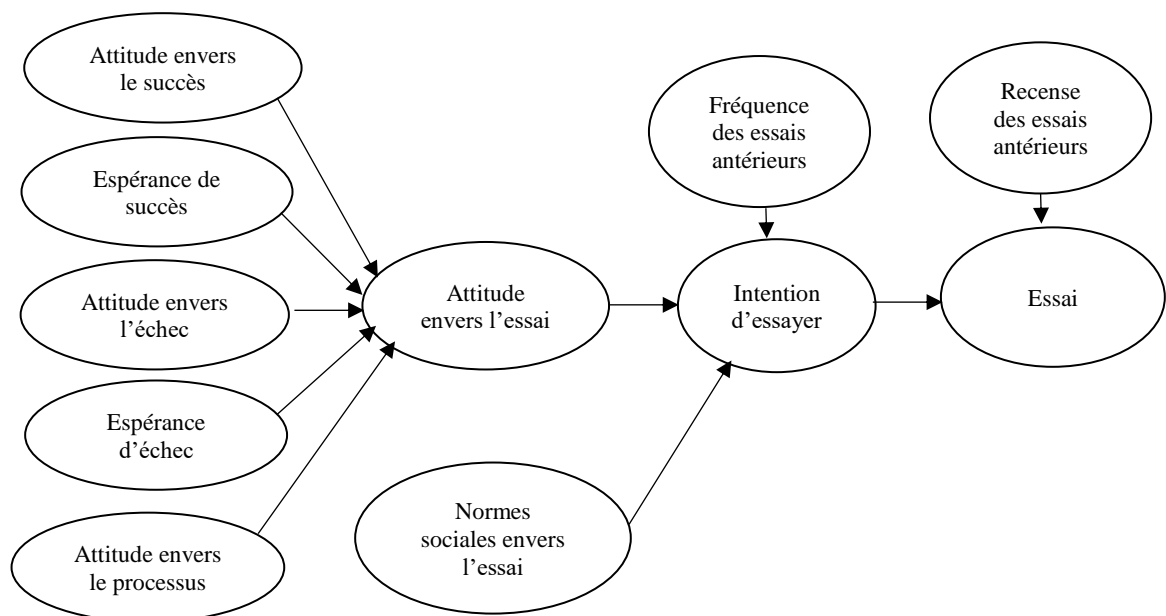


Figure 3 : Théorie de l'essai
Source Bagozzi et Warshaw (1990)

3.1.4. Théorie de l'autorégulation

Dans sa théorie de l'autorégulation schématisée dans la figure 4, Bagozzi (1992) critique les théories de l'action raisonnée et du comportement planifié, dans la mesure où elles ne prennent pas en compte le facteur « désir ». Le désir est une cause directe de l'intention comportementale, alors que l'attitude est considérée comme une cause indirecte, modulée par le désir. Bagozzi retient aussi que les normes subjectives ont un effet sur l'intention comportementale et que celle-ci influence le comportement final. Bagozzi (1992) distingue les

intentions comportementales des attitudes envers le comportement et des désirs, contrairement à certains chercheurs (Fishbein et Stasson, 1990).

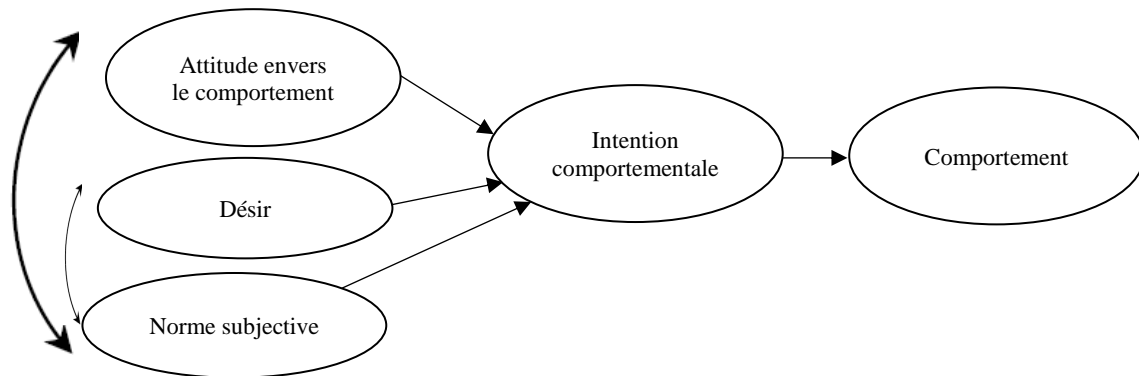


Figure 4 : Modèle de la théorie de l'autorégulation
Source : Bagozzi (1992)

3.1.5. Modèle prototype/obligeance

Le modèle prototype/obligeance (Gerrard et Gibbons, 1995) peut être considéré comme une extension de la théorie de l'action raisonnée, dans la mesure où il partage des composantes telles que les normes sociales et les intentions comportementales. Par contre, ce modèle essaie d'expliquer les comportements non intentionnels en introduisant le concept d'obligeance. Le modèle prototype/obligeance est un modèle duel basé sur le postulat qu'il existe deux processus distincts qui mènent vers un comportement à risque, le prototype et la réaction sociale. Les prototypes sont tantôt des images de pairs qui prennent des risques (ou évitent d'en prendre), tantôt des images de soi, qui motivent nos comportements journaliers. Par exemple, les adolescents ont des images concrètes relatives à ce qu'est un fumeur ou une personne qui boit de l'alcool. Ces images et les représentations qu'ils s'en font ont des conséquences sociales sur l'engagement de ce type de comportement. Ainsi, plus l'image d'un fumeur est positive et appréciée, plus l'adolescent risque d'imiter ce fumeur lorsqu'il en aura l'occasion.

La réaction sociale est basée sur l'idée que les comportements à risque ne sont pas toujours intentionnels. En effet, les adolescents se trouvent souvent dans des situations sociales qui facilitent des comportements à risque tels que boire de l'alcool, fumer ou encore avoir des rapports sexuels non protégés. Lorsqu'un adolescent se trouve dans une telle situation, il arrive fréquemment qu'il s'engage dans un comportement à risque de manière involontaire, mais par obligeance. L'obligeance comportementale est définie ici comme l'ouverture aux opportunités risquées. Dans ces circonstances, l'obligeance est une réaction à une situation plutôt qu'une action planifiée ou raisonnée. L'obligeance peut amener à s'engager dans un comportement qui n'était ni prévu ni même envisagé auparavant.

3.1.6. 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. Comme le montre la figure 5, 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.

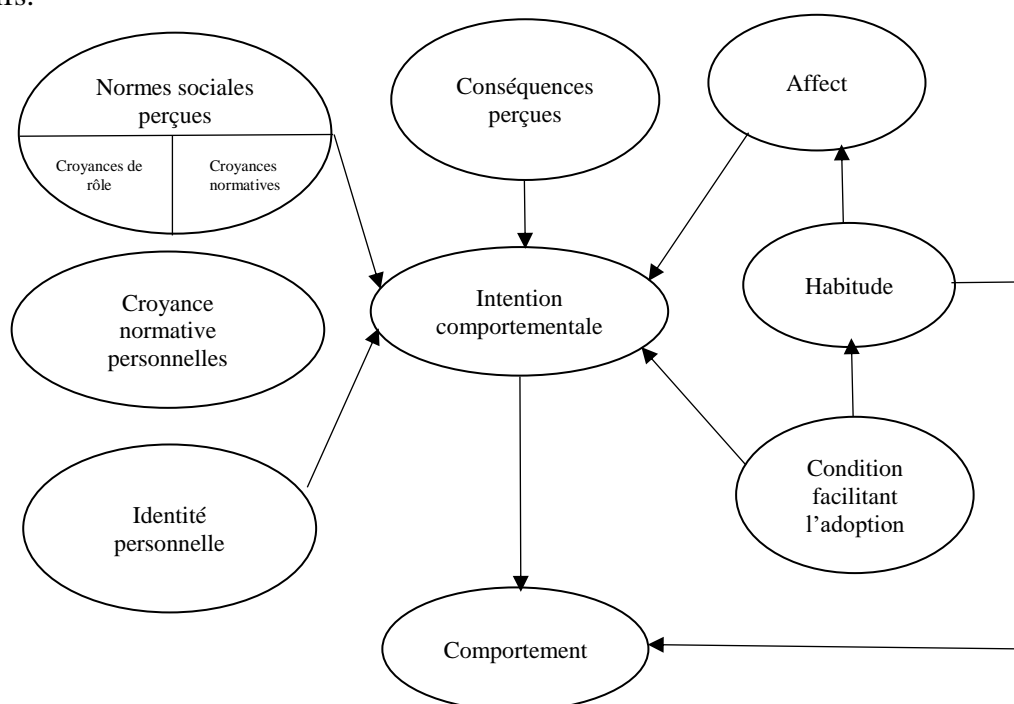


Figure 5 : Modèle de la théorie des comportements interpersonnels.
Source : Triandis (1977).

Les conséquences perçues constituent la composante cognitive de l'attitude et font référence à l'évaluation subjective des avantages et inconvénients envers un comportement donné. L'affect représente la dimension affective de l'attitude, définie comme la réponse émotionnelle qu'un individu associe à l'idée de réaliser le comportement en question. Les normes sociales sont composées d'une part, des croyances normatives, c'est-à-dire, de la perception qu'un individu a du degré d'approbation des personnes significatives pour lui quant au comportement qu'il adopte, et d'autres parts, des croyances de rôles, c'est-à-dire, de la perception qu'a un individu de ce que doit faire une personne qui occupe une position sociale

similaire à la sienne par rapport au comportement visé. La croyance normative personnelle (la norme morale de l'individu) constitue l'autre composante normative de la théorie des comportements interpersonnels. Elle correspond au sentiment d'obligation personnelle par rapport à l'adoption du comportement cible, c'est-à-dire à l'évaluation par l'individu de la relation entre le comportement même et ses valeurs et principes moraux. Enfin, la dernière composante qui facilite l'apparition de l'intention comportementale est l'identité personnelle. Elle fait référence au degré de congruence entre la perception que l'individu a de lui-même et les caractéristiques qu'il associe à la réalisation du comportement.

3.1.7. Théorie de la diffusion et de l'adoption de l'innovation de Rogers

La théorie de la diffusion de l'innovation a été proposée par Rogers en 1962 à la suite de son étude cherchant à connaître les raisons qui incitent les agriculteurs à adopter les innovations. Rogers (1962) définit la diffusion comme étant le processus par lequel une innovation est communiquée par le biais des différents canaux à travers le temps aux différents membres de la société. Selon Rogers, l'attitude des consommateurs envers une nouvelle technologie est l'élément clé de sa diffusion. Pour lui, l'adoption d'une innovation est un processus qui suppose 5 phases : **connaissance, persuasion, décision, implantation et confirmation**. Ainsi, le processus de décision d'adoption d'une innovation est le processus au cours duquel le décideur passe de la 1^{ère} phase de connaissance de l'innovation et de son principe de fonctionnement à la 2^e phase de formation d'une attitude favorable ou défavorable sur l'innovation, puis à la 3^e d'adoption ou de non-adoption de l'innovation, ensuite à la 4^e de mise en place de l'innovation et, enfin, à la 5^e de confirmation de sa décision, donc d'évaluation des résultats d'une innovation déjà mise en place.

La vitesse de diffusion et d'adoption d'une innovation est influencée par l'environnement dans lequel l'innovation est introduite (facteurs exogènes) ou par les caractéristiques intrinsèques de l'innovation (facteurs endogènes). La première catégorie de facteurs influençant la diffusion et l'adoption d'une innovation sont les facteurs dits « exogènes », qui ne sont pas liés à l'innovation elle-même, mais à l'environnement auquel elle appartiendra. L'adoption peut être influencée par des facteurs comme : la disponibilité de l'information de la part des autres utilisateurs concernant la technologie en question ; les utilisateurs éduqués ; l'assistance technique et l'entretien ; les innovations complémentaires aussi bien technologiques qu'organisationnelles. L'absence d'un de ces facteurs ralentit l'adoption et au contraire un nombre élevé de ces facteurs accélère l'adoption. Nous distinguons deux types de facteurs exogènes appelés aussi « externalités de réseaux » expression liée au

concept de « masse critique » : les externalités directes, c'est-à-dire le fait que le nombre d'utilisateurs d'un bien ou service augmente la valeur de celui-ci pour les utilisateurs potentiels, impliquant le concept de « seuil », qui représente le niveau des individus engagés dans une activité avant que d'autres rejoignent l'activité, un individu adoptant plus facilement une innovation si d'autres individus de son réseau l'ont déjà adoptée.

S'agissant des facteurs endogènes, Rogers (2003) a identifié cinq qualités qui déterminent le succès de la diffusion d'une innovation et qui expliquent entre 49 et 87 % de la variation de l'adoption de l'innovation :

- **L'avantage relatif** fait référence à la perception des utilisateurs sur une performance meilleure de l'innovation par rapport aux solutions existantes, mais aussi par rapport aux besoins de chaque groupe de consommateurs. Cette performance est mesurée à l'aide du gain financier ou du prestige social apporté par l'innovation, des éléments très importants pour les consommateurs. Plus l'avantage perçu est grand, plus le degré d'adoption est rapide.
- **La compatibilité de l'innovation** avec les valeurs et les pratiques existantes des utilisateurs potentiels influence également la rapidité d'adoption d'une innovation. Elle fait référence au degré d'adéquation entre les valeurs existantes, les expériences passées, les pratiques sociales, les normes des consommateurs potentiels, leurs croyances et leurs besoins et l'utilisation de l'innovation. Cette compatibilité est traitée à deux niveaux : aptitudes et pratiques actuelles - l'importance accordée à la correspondance entre l'innovation et les critères de l'utilisateur potentiel, en termes d'aptitudes, équipements, procédures et performance ; valeurs et normes - l'incompatibilité d'une innovation avec les valeurs et les normes actuelles conduit à un temps d'adoption plus long qu'une innovation compatible - parfois l'adoption d'une innovation compatible implique l'adoption au préalable d'un nouveau système de valeurs, ceci peut prendre un temps considérable.
- **La simplicité et la facilité d'utilisation** de l'innovation perçue par les utilisateurs potentiels représentent un avantage pour la diffusion, la complexité représente le degré auquel une innovation est perçue comme étant difficile à comprendre et à utiliser : la diffusion d'une innovation nécessitant un apprentissage sera plus longue que si l'innovation ne requiert pas le développement de compétences spécifiques.
- **L'essayabilité** est cette possibilité de tester une innovation et de la modifier avant de s'engager à l'utiliser, facilitant ainsi son appropriation par les usagers et favorisant le

bouche-à-oreille, en diminuant l'incertitude et le risque qui l'entoure ; le risque perçu dépend de l'incertitude de l'utilisateur et de l'importance des conséquences de l'adoption ; ces risques peuvent être associés à la réponse que l'innovation apporte aux attentes - risque lié à la performance, mais aussi à la réaction d'autres membres par rapport à l'adoption - risque psychologique.

- **L'observabilité** est le degré auquel les résultats et les bénéfices d'une innovation sont clairs : plus les résultats de l'adoption de l'innovation seront clairs, plus les individus l'adopteront facilement. L'observabilité des résultats, permettant de prouver plus facilement les avantages de l'innovation, représente aussi un facteur important dans la diffusion des innovations ; des résultats visibles par les utilisateurs potentiels réduisent l'incertitude perçue et facilite le bouche-à-oreille.

Chacun de ces facteurs endogènes pris seul n'est pas suffisant pour prédire l'adoption d'une innovation ; mais, une combinaison de ces caractéristiques offre plus de chances d'adoption de l'innovation que si les caractéristiques sont inversées (Rogers, 2003). Par ailleurs, Tornatzky et Klein (1982) ont réalisé une analyse vaste de la littérature, en s'intéressant à la théorie de la diffusion de l'innovation (75 publications) : ils ont découvert que trois de ces cinq caractéristiques influençaient davantage l'adoption d'une innovation - la compatibilité et les avantages relatifs sont positivement liés à l'adoption et la complexité y est négativement liée.

Selon Rogers (1995), une innovation se propage parmi les individus en suivant un processus touchant différentes catégories de consommateurs : des plus enthousiastes jusqu'aux plus réticents à la technologie. Rogers (1995) considère ce processus comme une courbe de diffusion (dite courbe en S ou courbe en cloche) en y intégrant différents profils de personnes correspondant aux différentes phases du processus d'adoption : la courbe d'adoption devient une courbe en S en cumulant l'adoption des différentes personnes. Pour Rogers, le défi est d'arriver à passer d'une diffusion confidentielle (les innovants et les adopteurs précoces) à une diffusion de masse (majorité avancée et retardée).

À l'aide de ce modèle, Rogers montre que l'adoption d'une innovation commence avec une augmentation lente, suivie d'un changement plus rapide et finit par un changement moins accéléré, du fait de l'apparition de nouveaux produits ou technologies. En tenant compte de l'esprit novateur d'un individu, qui représente la mesure dont un individu adopte plus vite une innovation que le reste de la société, Rogers (1995) a identifié 5 catégories d'adopteurs d'une innovation :

Les innovants (« Innovators ») représentent les premiers 2,5 %. Ils sont aventureux, entreprenants, éduqués ; ils ont plusieurs sources d'informations et une tendance à prendre des risques. Ils disposent des ressources financières importantes. Ils comprennent et savent appliquer une technologie complexe. Ils savent gérer un pourcentage élevé d'incertitude. Ils apprécient la technologie pour eux-mêmes et ils veulent être un acteur du changement dans leur groupe de référence. Ils sont prêts à accepter les différents soucis qui pourraient accompagner les produits ou services nouveaux et à trouver des solutions à ces problèmes.

Les adopteurs précoces (« Early Adopters ») représentent 13,5 % des adopteurs. Ils sont des leaders sociaux, populaires et éduqués. Leur réseau social est concentré localement ; ils sont respectés par leur groupe. Ils sont des visionnaires du marché et cherchent à adopter et à utiliser les nouvelles technologies afin de réaliser une découverte révolutionnaire qui conduira à un avantage considérable pour eux. Ils sont souvent recherchés par les acteurs. Ils sont attirés par un degré élevé du risque, par des projets conduisant à un bénéfice élevé et ils ne sont pas sensibles au prix parce qu'ils prévoient des gains substantiels sous la forme d'un avantage compétitif issu de l'adoption de la nouvelle technologie. En général, ils désirent avoir des solutions personnalisées et des réponses rapides. Ils utilisent les diverses informations issues des phases de mise en place et de confirmation des innovants pour prendre leurs propres décisions. Si l'innovation a été efficace pour les innovants ils sont encouragés pour l'adopter eux aussi. La décision des adopteurs précoces en tant que leaders d'opinion influencera la décision de la plupart des membres du groupe qui forment la majorité précoce et tardive.

La majorité précoce (« Early Majority ») représente les prochains 34 % des adopteurs. Ils sont volontaires et ils ont beaucoup de contacts informels. Ils doivent délibérer avant d'adopter une innovation. Ils cherchent plutôt un changement qui mène au développement de leurs projets qu'un changement révolutionnaire qui conduira à une augmentation des résultats de leurs projets. Ils ont trois principes dans leurs processus d'adoption d'une innovation : « quand il faut changer, nous allons changer tous ensemble » : ce principe montre comment le processus de diffusion d'une innovation évolue rapidement et provoque une accélération de la demande ; « quand nous choisissons un vendeur pour nous conduire à la nouvelle technologie, il faut choisir le même vendeur » : ce principe explique la manière dont une entreprise devient le leader de marché ; « une fois la transaction commencée, il faut en finir très rapidement » : ce principe montre pourquoi la phase de transaction se passe rapidement.

Les retardataires : c'est la dernière catégorie d'adopteurs qui regroupe 16 % des adopteurs. Ils sont sceptiques à la technologie et désirent seulement maintenir la place déjà obtenue. Ils ne sont pas persuadés qu'une innovation peut améliorer la productivité et peuvent

cesser d'investir dans les nouvelles technologies. Ils se méfient des innovations et des différents acteurs impliqués. Ils perçoivent la résistance à l'innovation comme rationnelle et le passé est leur point de référence. Ils peuvent être très traditionnels ou isolés dans leur groupe : traditionnels – ils se méfient de l'innovation et ils interagissent souvent avec d'autres membres du groupe qui ont aussi des valeurs traditionnelles ; isolés - le manque d'interactions sociales diminue leur connaissance des bénéfices possibles d'une innovation. L'adoption d'une innovation par les retardataires prend plus de temps que la moyenne.

Ce mécanisme de diffusion de Rogers a donné lieu à la mise en place d'approches verticales et descendantes de transfert technologique, visant à transmettre directement aux agriculteurs des techniques nouvelles élaborées en stations expérimentales et l'expression la plus aboutie est la méthode Formation et Visites (*Training and Visits ou T&V*). Dans cette méthode, mise au point pendant les années de la révolution verte et appuyée par la Banque mondiale au tournant des années 1970-1980, et expérimentée par le Programme National de Vulgarisation Agricole (PNVA) au Sénégal (1990-1993), les agents de vulgarisation sur le terrain sont responsables d'un groupe d'agriculteurs auxquels ils enseignent les techniques de production préconisées par la recherche agricole. Ces groupes d'agriculteurs, appelés agriculteurs contacts (*Contact Groups*), sont sensibilisés et formés à la nouvelle technique dans le cadre d'une série de visites régulières au champ (*Farmer Field School*) organisées par les agents de vulgarisation. Une fois la technique introduite auprès de ces agriculteurs contacts, elle est censée se diffuser selon le modèle épidémiologique. En principe, les visites doivent aussi permettre aux techniciens d'évaluer les besoins des paysans, afin d'en informer les institutions de recherche qui mettront au point de nouvelles techniques adaptées de production agricole.

En somme, l'approche *T&V* est basée sur l'établissement d'un dialogue permanent entre les populations et les agents techniques, le respect mutuel et le principe de partenariat ainsi que la reconnaissance du savoir-faire local. Un accent particulier est mis sur la valorisation des connaissances et savoirs des populations locales et leur combinaison avec la connaissance scientifique moderne (Gueye et Freudenberg, 1991). La courbe rend assez bien compte des catégories d'agriculteurs en fonction de la diffusion des innovations agricoles. Néanmoins, elle a été remise en cause, car elle exclut les non-adoptants dans la catégorisation des agriculteurs. Si la distribution des différents types d'innovateurs en fonction du temps est construite en incluant les non-adoptants, la courbe ne suit pas une courbe en « S » (Sibelet, 1995), ce modèle ne s'applique donc pas à l'ensemble de la société. De plus, le modèle ne tient pas compte de la

diversité des situations dans lesquelles se trouvent les différentes catégories d'agriculteurs. Les caractéristiques socio-économiques, institutionnelles et géographiques ne sont pas prises en compte dans la catégorisation des innovations agricoles (Bentz et GRET, 2002). Par ailleurs, la théorie de la diffusion ne permet pas d'examiner les corrélations entre les caractéristiques des agriculteurs et leurs décisions d'adoption ou rejet des innovations agricoles (Bodiguel, 1970).

3.1.8. Approche de l'appropriation de l'innovation de Millerand

L'approche de l'appropriation de l'innovation est une composante de la sociologie qui s'intéresse à l'usage de l'innovation dans la vie quotidienne des usagers. Contrairement à l'approche de la diffusion qui s'attarde à constater et à expliquer les disparités en différenciant des profils des adoptants (usagers), l'approche de l'appropriation met en évidence la disparité des usages et des usagers en montrant la construction sociale de l'usage, notamment à travers les significations qu'il revêt pour l'utilisateur (Millerand, 1998). L'approche de l'appropriation met en relief les écarts entre les usages prescrits et les usages effectifs, entre les usages prévus et les usages réels d'une innovation donnée (Perriault, 1989). Elle se distingue ainsi en analysant la formation des usages du point de vue des usagers et non à travers l'évolution d'un taux d'adoption d'une innovation. Selon Chambat (1994), les différences des taux d'adoption des innovations agricoles ne sont que le révélateur des disparités de signification que revêtent les pratiques concernées pour les différents groupes sociaux. Ces disparités sont plutôt liées à l'origine socioculturelle de l'utilisateur ainsi qu'aux contextes d'usages (Jouet, 1993).

Toutefois, l'approche de l'appropriation révèle plusieurs lacunes. Du point de vue de la démarche, elle assimile l'utilisateur à un acteur et cherche à analyser les motivations des usages qu'il développe à partir de l'innovation de départ et la manière dont il se définit par rapport à cette dernière (Millerand, 1998). Pourtant, l'utilisateur n'est pas que simple utilisateur de l'innovation ; il ne fait pas exactement ce que l'on attend de lui. Selon Certeau (1980), l'utilisateur est actif, rusé et capable de créer ses propres usages. Il y a une réinterprétation de la part de l'utilisateur, qui peut conduire à une adoption sélective, un rejet partiel et/ou une transformation partielle de l'innovation. Ainsi, les effets d'une innovation ne prennent véritablement sens qu'à travers l'utilisation que les usagers en font. Sur le plan méthodologique, l'approche de l'appropriation emploie les méthodes qualitatives empruntées à l'ethnographie dont notamment l'observation participante et les entretiens en profondeur (Lacroix, 1994). Elle utilise également les méthodes quantitatives ainsi que l'analyse du discours (Proulx et Laberge, 1995). L'ensemble de ces méthodes a également fait l'objet de maintes critiques. Ces méthodes font glisser l'approche de l'appropriation vers une problématique psychologisante qui se réduirait à

l'unique prise en compte des facteurs personnels des usagers, sans aborder les dimensions économiques (Millerand, 1999). Ces limites ont incité ainsi les sociologues et les économistes à s'orienter vers de nouvelles approches pour analyser des déterminants d'adoption des innovations agricoles.

3.2. Approches économétriques d'analyse de l'adoption

Les approches économétriques théoriques et empiriques d'analyse de l'adoption sont présentées dans les parties ci-dessous.

3.2.1. Théorie de l'utilité de McFadden : fondement économique de l'adoption

La théorie économique prédit que, face à un problème de choix, l'agent économique rationnel opte pour l'option qui maximise son utilité (McFadden 1975 ; Gourieroux 1989). L'utilité est une mesure du bien-être ou de la satisfaction obtenue par l'obtention d'un bien, d'un service ou d'argent (Mosnier, 2009). Bien qu'elle soit généralement économique, cette rationalité peut être écologique ou socioculturelle (Rasmussen et Reenberg, 2012).

Conformément à cette théorie, les producteurs agricoles sont supposés prendre des décisions rationnelles d'adoption ou non des innovations basées sur une maximisation de l'utilité (Nkamleu et Adesina, 2000). La théorie de maximisation de l'utilité est employée pour expliquer le comportement d'adoption des innovations agricoles par les agriculteurs. Dans la littérature, les déterminants des décisions d'adoption ou rejet sont souvent analysés à travers différentes approches économétriques.

3.2.2. Modélisation économétrique.

Divers modèles économétriques sont utilisés pour analyser les facteurs d'adoption et de diffusion des innovations agricoles. Parmi ceux-ci, les modèles Logit, Probit, Tobit et Heckman sont les plus couramment employés dans la littérature.

Les modèles Logit ou Probit binaires sont employés lorsqu'il s'agit d'analyser les facteurs d'adoption ou rejet des innovations par les agriculteurs. Ils assimilent les décisions des agriculteurs à une variable dichotomique prenant la valeur 1 s'il y a adoption et 0 sinon. De nombreux auteurs ont utilisé ces modèles dans leurs travaux. Le modèle Probit binaire a été utilisé pour déterminer les facteurs d'adoption de l'irrigation des céréales en Tunisie (Khaldi *et al.*, 2010), du paillage au Nigéria (Akinola et Owombo, 2012), des engrais au Cameroun (Nkamleu et Adesina, 2000), de la variété du riz NERICA en Gambie (Dibba *et al.*, 2012), de la patate en Éthiopie (Abebe *et al.*, 2013), des techniques de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso (Sidibé, 2005), en Éthiopie (Asrat *et al.*, 2004 ; Tadesse et Belay, 2004) et de

nouvelles technologies agricoles (semences améliorées, tracteurs, animaux de trait) au Mozambique (Cunguara et Darnhofer, 2011). Quant au modèle Logit, il a servi à analyser les déterminants d'adoption du semis direct en Tunisie (Ben-Salem *et al.*, 2006), des techniques de conservation des eaux et des sols (Ouédraogo *et al.*, 2010), du compostage au Burkina Faso (Somda *et al.*, 2002), de l'irrigation goutte à goutte en Algérie (Salhi *et al.*, 2012), des semences améliorées de maïs en Zambie (Khonje *et al.*, 2015), des innovations en riziculture aux Philippines (Mariano *et al.*, 2012). La différence entre les modèles binaires Logit et Probit réside dans la spécification de la fonction de répartition. Le modèle Probit est régi par la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite de moyenne 0 et variance 1. Quant au modèle Logit, il dérive de la fonction de répartition de la loi logistique de moyenne 0 et variance $\pi^2/3$.

Les modèles multinomiaux Logit et Probit sont respectivement des extensions des modèles Logit et Probit binaires. Ils sont utilisés pour analyser les décisions d'adoption ou de rejet des agriculteurs lorsqu'ils font face à plusieurs innovations. Dans ce cas, les décisions des agriculteurs sont assimilées à une variable polytomique dont les modalités représentent le choix des différentes innovations agricoles. L'application de ces modèles a permis de déterminer les facteurs d'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols en Éthiopie (Amsalu et Graaff, 2007 ; Teklewold et Kohlin, 2010), au Chili (Jara-Rojas *et al.*, 2012), des semences améliorées en Géorgie (Mcbride et Daberkow, 2003), en Inde (Krishna et Qaim, 2007). Ils ont été également employés pour analyser les déterminants de la diffusion de l'utilisation de la fumure organique en Irlande (Läpple et Rensburg, 2011), de la variété de semence de riz NERICA en Uganda (Kijima *et al.*, 2011), des techniques améliorées d'irrigation à l'île de la Réunion (Richefort et Fusillier, 2010), des choix des méthodes de lutte contre les pestes dans les plantations de cacao et de café au Cameroun (Nkamleu et Coulibaly, 2000), de l'utilisation de la biotechnologie en agriculture aux États-Unis (Barham *et al.*, 2001), des innovations pour la production de banane (Blazy *et al.*, 2011).

L'utilisation du modèle Tobit est recommandée pour l'analyse des facteurs explicatifs de l'intensité (taux) d'adoption des innovations agricoles. Ce modèle a permis d'analyser les déterminants de l'intensité de l'adoption des variétés améliorées de maïs et niébé au Nigéria (Oladele, 2005), de sorgho et de riz au Burkina Faso et en Guinée (Adesina et Baidu-Forson, 1995). Ils sont également employés pour déterminer les facteurs explicatifs de l'intensité d'adoption des techniques de conservation des sols en Sierra-Léone (Adesina et Zinnah, 1993), au Burkina Faso (Kazianga et Masters, 2002), au Malawi (Ngwira *et al.*, 2014), au Niger

(Baidu-Forson, 1999), au Zimbabwe (Mazvimavi et Twomlow, 2009), en Éthiopie (Anley *et al.*, 2007).

Le modèle de sélection d'Heckman permet d'identifier non seulement les facteurs d'adoption des innovations agricoles, mais aussi d'expliquer l'intensité d'utilisation (taux d'adoption) de celles-ci. De nombreux auteurs l'ont utilisé dans leurs études. Par exemple Mcbride et Daberkow (2003) ont analysé les facteurs d'adoption des innovations agricoles et l'évolution des superficies allouées à celles-ci aux États-Unis. Tizale (2007) et Kaliba *et al.* (2000) ont identifié les facteurs explicatifs des décisions paysannes d'adoption des intrants agricoles et de leurs doses appliquées à l'hectare. Ngwira *et al.* (2014) ont analysé les déterminants de l'adoption et de l'extension des superficies sur lesquelles les agriculteurs appliquent les techniques de conservation des eaux et des sols au Malawi.

3.2.3. 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 ; Desaignes 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 cadre familial ou communautaire sous forme d'entraide ou d'obligation sociale. Dans un tel cadre, 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).

3.3. Quelques résultats d'études empiriques sur la perception sur le changement climatique et les stratégies d'adaptation par les éleveurs et agriculteurs

Berhe *et al.* (2017) ont mené une étude auprès de 2 336 ménages dans la zone d'Afar en Éthiopie pour identifier la perception des pasteurs sur le changement climatique, les stratégies d'adaptation adoptées et leurs impacts sur le revenu des ménages. L'étude montre que 99,8 % des pasteurs perçoivent les effets néfastes du changement climatique. Les sécheresses prolongées sont considérées par 88 % parmi eux comme le principal défi qui a principalement dégradé leurs ressources naturelles, et a été suivi par le manque d'eau et d'aliment pour les personnes et le bétail. Pour faire face aux effets néfastes du changement climatique, plusieurs stratégies d'adaptation sont utilisées à savoir la mobilité du bétail, la pratique du zéro pâturage, l'augmentation de la taille du cheptel, la culture de céréales, le stockage de fourrage pour le cheptel. L'irrigation a également été perçue comme une stratégie d'adaptation au changement climatique par les communautés pastorales (12,9 %), semi-pastorales (79 %), agropastorales (81,8 %) et mixtes (94,7 %). Enfin l'étude montre que les stratégies d'adaptation au

changement climatique qui ont un impact positif et significatif sur le revenu des ménages sont : l'accès à l'eau, la mobilité du cheptel, la diversification du cheptel (bovin, ovin, caprin), l'accès à l'aliment bétail. Feleke *et al.* (2016) ont analysé des données issues d'un échantillon de 318 ménages en Éthiopie pour estimer la perception des éleveurs sur le changement climatique, les stratégies d'adaptation et leurs impacts sur le revenu. Les résultats révèlent que la plupart des répondants (98,6 %) ont noté que le climat change. La perception des répondants est que le changement climatique s'exprime par l'augmentation de la température (88 %) et la baisse des précipitations (73 %) au cours des 10 dernières années. La stratégie d'adaptation la plus couramment utilisée était la commercialisation du fourrage (96,5 %) pendant le choc, suivie de l'alimentation à domicile (89,6 %). Les facteurs qui influencent le choix d'une stratégie d'adaptation sont l'accès à l'information, l'expérience agricole, le nombre de ménages dans un village, la distance par rapport au marché principal, le revenu du ménage et les paramètres agroécologiques. De plus, les moindres carrés ordinaires ont révélé que l'aliment à domicile du bétail et le croisement du cheptel augmentent respectivement de 47 567 F CFA et 29 954 FCFA le revenu issu de la vente des petits ruminants à un seuil significatif de 1 %. L'étude de Berhanu et Beyene (2015) dans l'espace pastoral du Borana au sud de l'Éthiopie révèle que près de 95 % des répondants ont observé une augmentation de la température moyenne de la zone, alors que les précipitations ont diminué au cours de dernières décennies. Pour faire face au changement climatique, l'étude rapporte que les pasteurs utilisent deux principales stratégies d'adaptation : l'ajustement des pratiques pastorales (augmentation de la mobilité du cheptel, l'adoption d'espèce animale plus tolérante à la sécheresse (Chèvres, chameau), l'achat de foin et de paille ainsi que la production fourragère) et l'orientation vers des moyens de subsistance non pastoraux (la culture céréalière, la vente de bois mort, la fabrication de charbon de bois et le travail d'ouvrier occasionnel). L'étude montre que l'âge, le sexe du chef de ménage, la taille du ménage, la taille du cheptel, la pluviométrie sont des déterminants de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique dans la zone. Par ailleurs, l'étude a montré qu'à l'exception de l'adoption de culture céréalière, toutes les autres stratégies d'adaptation adoptées ont un impact significatif et positif sur le revenu des ménages.

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. Une autre étude conduite par 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.

Dans le sous-secteur de l'élevage, plusieurs mesures d'adaptation au changement climatique ont été recommandées dans la littérature. Elles peuvent être classées en deux catégories : la modification du système de production et de gestion et l'introduction de races animales améliorées. Kgosikoma et Batisani (2014) ont montré que les communautés pastorales du Botswana ont adopté comme stratégie d'adaptation au changement climatique le déstockage du cheptel, l'embouche et la mobilité du cheptel. L'étude montre également que la population du cheptel caprin est significativement corrélée avec la variation annuelle de la pluviométrie. La diversification du cheptel et de la production agricole est considérée comme une stratégie efficace d'adaptation au changement climatique (Kurukulasuriya et Rosenthal, 2003 ; Batima *et al.*, 2005 ; FIDA, 2010). Elle peut augmenter la tolérance à la sécheresse et aux vagues de chaleur, améliorer la production du cheptel lorsque les animaux sont exposés à des contraintes de température et de précipitations et constitue un moyen efficace de lutte contre les maladies liées au changement climatique et les épidémies de ravageurs. Selon Havlík *et al.* (2013), l'amélioration des pratiques d'alimentation du cheptel en tant que mesure d'adaptation pourrait indirectement améliorer l'efficacité de la production animale. Parmi les pratiques d'alimentation suggérées figurent la modification de la composition des régimes, la modification du temps d'alimentation et/ou de la fréquence (Renaudeau *et al.*, 2012),

l'incorporation d'espèces agroforestières dans l'alimentation animale (Thornton et Herrero, 2010 a ; Thornton et Herrero, 2010 b), la production et la conservation d'aliments pour différentes zones agroécologiques (FIDA, 2010). Ces auteurs soulignent que ces pratiques d'alimentation peuvent réduire les risques liés au changement climatique en favorisant une consommation plus élevée ou en compensant la faible consommation d'aliments, en réduisant la charge thermique excessive, en diminuant l'insécurité alimentaire en saison sèche, en réduisant la malnutrition et la mortalité animales. Le déplacement des lieux de production du bétail et des cultures pourrait réduire l'érosion du sol et améliorer la rétention d'eau et de nutriments (Kurukulasuriya et Rosenthal, 2003). Une autre mesure adaptative pourrait être l'ajustement des rotations des cultures et le changement du calendrier des opérations de gestion (exemple pâturage, plantation, pulvérisation, irrigation). Cette mesure peut être adaptée aux changements de la durée des saisons de croissance, des vagues de chaleur et de la variabilité des précipitations (Kurukulasuriya et Rosenthal, 2003 ; Batima *et al.*, 2005 ; FIDA, 2010). L'introduction de races animales améliorées peut aider le cheptel à accroître sa tolérance au stress thermique et aux maladies et à améliorer leur reproduction et le développement de leur croissance (Rowlinson, 2008 ; Henry *et al.*, 2012). Le sous-secteur de l'élevage peut contribuer à la réduction des émissions de GES à travers l'adoption de bonnes pratiques et de technologies innovantes. Cependant, elles sont peu utilisées (Gerber *et al.*, 2013) et nécessitent un soutien des politiques publiques pour être efficaces (Dickie *et al.*, 2014). Parmi les mesures d'atténuation des émissions de GES dans le sous-secteur de l'élevage figurent la séquestration du carbone, l'amélioration des régimes alimentaires du cheptel pour réduire la fermentation entérique, l'amélioration de la gestion du fumier et une utilisation plus efficace des engrais (Steinfeld *et al.*, 2006 ; Thornton et Gerber, 2010). Le sous-secteur de l'élevage peut contribuer à l'augmentation de la séquestration du carbone en réduisant le taux de déforestation et en reboisant les zones dégradées (Carvalho *et al.*, 2004), en ciblant les cultures à haut rendement avec de meilleures variétés adaptées au changement climatique et en améliorant la gestion des terres et de l'eau (Steinfeld *et al.*, 2006). Une étude menée par Gerber *et al.* (2013) sur les bovins au Brésil a estimé une réduction de 25 % des émissions de GES liées à l'utilisation des terres et au changement d'utilisation des terres, en améliorant l'efficacité des animaux et des troupeaux. Selon Conant *et al.* (2001) l'amélioration de la gestion des pâturages peut également conduire à la séquestration du carbone en incorporant des arbres, en améliorant les espèces végétales, la plantation d'espèces légumineuses, l'introduction des vers du sol et la fertilisation. En outre, la productivité des graminées et la séquestration du carbone dans le sol pourraient être améliorées en respectant la capacité de charge du bétail (Holland *et al.*, 1992). Selon les

estimations d'Henderson *et al.* (2015) l'amélioration de la gestion des pâturages pourrait séquestrer environ 0,15 gigatonne de CO₂ par an dans le monde. La contribution de la fermentation entérique des animaux sur les émissions de méthane peut être réduite grâce à des pratiques telles que l'amélioration de la nutrition et de la génétique animales (US-EPA, 1999). Parmi elles, on note l'augmentation de la teneur en graisses alimentaires, car il est démontré qu'une augmentation de 1 % des graisses alimentaires peut réduire les émissions de méthane entérique de 4 à 5 % (Beauchemin *et al.*, 2008, Martin *et al.*, 2010). La fourniture d'aliments fourragers de meilleure qualité peut également contribuer à réduire les émissions de méthanes dues à la fermentation entérique, car ils augmentent la digestibilité (Hristov *et al.*, 2013). Une augmentation de la teneur en protéines peut également améliorer la digestibilité et, par conséquent réduire les émissions globales de méthane par unité de produit (ICF International, 2013). La fourniture au cheptel de suppléments, tels que des antibiotiques alimentaires, qui tendent à augmenter le gain de poids et à réduire la consommation alimentaire par tonne métrique de viande produite, peut réduire la fermentation entérique (Boadi *et al.*, 2004). La Gestion des déjections animales peut également jouer un rôle important sur la réduction des émissions de GES. En effet, la plupart des émissions de méthane provenant de la gestion du fumier sont liées au stockage et au traitement anaérobie (Rojas-Downing, 2017). Bien que le fumier déposé au pâturage puisse produire des émissions d'oxyde nitreux, les mesures d'atténuation sont souvent difficiles à appliquer en raison de la dispersion du fumier dans les pâturages (Dickie *et al.*, 2014). Par conséquent, la plupart des pratiques d'atténuation consistent à raccourcir la durée d'entreposage, améliorer la durée et l'épandage du fumier, utiliser des digesteurs anaérobies, couvrir les fosses de compostages, utiliser un séparateur de solides et modifier les régimes alimentaires des animaux (ICF International, 2013). La digestion anaérobie peut réduire les émissions de méthane tout en produisant du biogaz (Gerber *et al.*, 2008). Les digesteurs anaérobies sont des réservoirs qui maintiennent le fumier dans des conditions anaérobies pour capter le biogaz et le brûler pour produire de l'énergie. Ce processus réduit le potentiel des émissions de GES en convertissant le méthane en CO₂ (ICF International, 2013). Malheureusement, les digesteurs anaérobies sont coûteux pour les producteurs, par conséquent, la meilleure approche pour la mise en place de digesteurs est d'introduire des politiques suffisamment incitatives pour l'adaptation (Dickie *et al.*, 2014). À l'image de digesteurs, les fosses de compostage fermées réduisent les émissions de GES en capturant et en détruisant le méthane (ICF International, 2013). D'autres pratiques de stockage et de gestion peuvent également réduire les émissions de GES. De telles pratiques comprennent la réduction du temps de stockage, l'amélioration du stockage et le système de gestion des déchets pour

traiter le fumier et l'élimination de la litière du fumier en utilisant un séparateur de solides (Dickie *et al.*, 2014). Ces pratiques, comparées aux digesteurs anaérobies, sont généralement à faible coût et à faible technologie. Cependant, ils nécessitent plus de temps et d'effort de la part du producteur (Dickie *et al.*, 2014). L'application d'engrais sur les cultures fourragères augmente les émissions d'oxyde nitreux (Bouwman, 1996). Par conséquent, des mesures d'atténuation telles que l'amélioration de l'utilisation de l'azote, la sélection végétale et les modifications génétiques (Dickie *et al.*, 2014), l'utilisation d'engrais organique (Denef *et al.*, 2011), les herbes dans les pâturages peuvent réduire les émissions de GES dans la production d'aliments pour animaux (Dickie *et al.*, 2014).

L'agroforesterie est aussi considérée comme une stratégie d'adaptation qui permet une gestion durable des terres pouvant aider à maintenir l'équilibre entre la production agricole, la protection de l'environnement et la séquestration du carbone. Elle peut également contribuer à augmenter la productivité et améliorer la qualité de l'air, du sol et de l'eau, la biodiversité, limiter la propagation des ravageurs et des maladies, et améliorer le cycle des éléments nutritifs (Jose, 2009 ; Smith *et al.*, 2012). Les changements dans les systèmes mixtes culture-élevage sont une mesure d'adaptation qui peut améliorer l'efficacité en produisant plus de nourriture sur moins de terres en utilisant moins de ressources, comme l'eau, et par conséquent améliorer la sécurité alimentaire (Steinfeld *et al.*, 2006 ; Wani *et al.*, 2009 ; Herrero *et al.*, 2010 ; Herrero *et al.*, 2012). Ce type de système agricole est déjà pratiqué dans les deux tiers du monde, produisant plus de la moitié du lait, de la viande et des cultures telles que les céréales (Herrero *et al.*, 2012).

Chapitre 4 : Problématique de l'évaluation d'impacts et méthodes proposées dans la littérature

L'évaluation d'impact utilise des techniques empiriques pour identifier ou modéliser un scénario contrefactuel (sans la politique ou le programme) pour la comparer aux résultats obtenus avec la situation réelle (avec la politique ou le programme). Le principal défi de l'évaluation d'impact est d'identifier et de mesurer des estimations de résultats contrefactuels valides. Pour relever ce défi, le cadre des résultats contrefactuels de Rubin (1974) est considéré comme la référence à partir de laquelle plusieurs méthodes d'évaluations d'impacts se réfèrent. Ces méthodes peuvent être classées en deux groupes : méthodes expérimentales et non expérimentales ou quasi expérimentales. Dans ce chapitre, nous allons d'abord poser le problème fondamental de toute évaluation d'impact tel que présenté dans le cadre de résultat contrefactuel de Rubin (1974), ensuite passer en revue les principales méthodes d'évaluations d'impacts existantes dans la littérature en mettant l'accent sur les hypothèses posées pour résoudre le problème fondamental de l'évaluation d'impact.

4.1. Problème fondamental de l'évaluation d'impact et modèle causal de Rubin

4.1.1. Concepts utilisés

En suivant les notes de lecture et le guide méthodologique d'évaluation d'impact de Diagne (2015), une évaluation d'impact cherche généralement à répondre à la question suivante, à savoir :

Impact de Quoi sur Quoi et de Qui ?

- De Quoi ? : Traitement(s) c'est-à-dire facteur(s) d'impact, impactant (s)
- Sur Qui ? : Résultat(s) impacté(s)
- De Qui ? : Individu(s) impacté(s), c'est-à-dire la population impactée.

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*.

4.1.2. Modèle causal de Rubin et biais de sélection

Le modèle causal de Rubin (1974) est considéré comme le modèle pionnier de l'approche de l'évaluation d'impact moderne. Son objectif est de recréer, autant que faire se peut, des situations expérimentales à partir de données non expérimentales en déterminant un groupe de comparaison à partir d'un échantillon d'individus non traités qui « ressemblent » aux traités, sur la base des caractéristiques observables.

Rubin (1974) définit les variables i , T_i et Y_i , correspondant respectivement à l'individu, le traitement et les résultats. Il définit pour chaque individu i , deux variables latentes Y_{1i} et Y_{0i} , correspondant respectivement aux potentiels de l'individu i , lorsqu'il est exposé au traitement $T_i = 1$ ou $T_i = 0$, s'il n'est pas exposé au traitement. Rubin (1974) définit l'effet causal d'un traitement pour un individu comme la différence entre ce que serait son résultat s'il était exposé au traitement et ce que serait son résultat s'il n'était pas exposé au traitement. Ainsi, pour l'individu i , l'effet causal du traitement T_i se définit de la façon suivante :

$$\Delta Y_i = Y_{1i} - Y_{0i} \dots\dots(1) ; \Delta Y_i: \text{Représente l'effet du traitement.}$$

Cependant, force est de noter pour un même i , qu'il est impossible d'observer en même temps son résultat s'il est exposé au traitement et son résultat s'il n'est pas exposé au traitement, car l'une des composantes est toujours manquante (Rubin, 1974 ; Rubin, 1977 ; Hollande, 1986 ; Heckman et Vytlacil, 2007a, 2007 b). En effet, si l'individu i est exposé au traitement, $T_i = 1$, alors, $Y_i = 1$ est observé et $Y_i = 0$ ne sera pas observé. Inversement si l'individu i n'est pas exposé au traitement, $T_i = 0$, alors $Y_i = 0$ est observé et $Y_i = 1$ ne sera pas observé.

Puisque les individus sont observés dans une seule des deux situations (exposé au traitement ou non exposé au traitement), il faut nécessairement reconstruire une situation hypothétique (dite contrefactuelle) pour les individus exposés au traitement à partir de la situation observée pour les individus non exposés au traitement. Pour surmonter ce problème, Rubin (1974), Rubin (1977), Rubin (1978), Rusabaum et Rubin (1984) et Heckman et Robb (1985) s'intéressent à l'identification de l'effet causal moyen du traitement dans la population. Ainsi, ils sont parvenus à démontrer qu'on peut observer l'effet moyen causal du traitement dans la population en estimant les paramètres suivants :

- L'effet moyen causal dans la population, plus connu sous le nom de *Average Treatment Effect (ATE)* dans la littérature :

$$ATE = E(Y_{1i} - Y_{0i}) = E(Y_{1i}) - E(Y_{0i}) \dots \dots (2)$$

$E(.)$: désigne l'opérateur de l'espérance mathématique.

- L'effet moyen du traitement sur les traités, plus connu dans la littérature sous le nom de *Average Treatment Effect on Treated (ATT)* :

$$ATT = E(Y_{1i} - Y_{0i} | T_i = 1) = E(Y_{1i} | T_i = 1) - E(Y_{0i} | T_i = 1) \dots \dots (3)$$

$(Y|T)$: signifie que le résultat Y est conditionnel à T

- L'effet moyen du traitement sur les non-traités, plus connu sous le nom de *Average Treatment Effect on Untreated (ATU)* :

$$ATU = E(Y_{1i} - Y_{0i} | T_i = 0) = E(Y_{1i} | T_i = 0) - E(Y_{0i} | T_i = 0) \dots \dots (4)$$

Les paramètres $E(Y_{1i} | T_i = 1) - E(Y_{0i} | T_i = 1)$ ne sont égaux que si les variables de résultat sont indépendantes de la variable d'exposition au traitement $(Y_0, Y_1) | T$. Si c'est le cas, l'effet du traitement peut alors être estimé comme la différence des moyennes des variables de résultat observées pour le groupe exposé au traitement et pour le groupe des non exposés au traitement. Cette quantité $E(Y_{1i} | T_i = 1) - E(Y_{0i} | T_i = 1)$, correspond à ce que les économètres appellent : l'estimateur « naïf ». Sa dénomination vient du fait qu'il s'agit de l'estimateur qu'il faut employer sur des données expérimentales parce que l'on dispose alors d'un échantillon de comparaison pur. Dans le cas où, l'on dispose de données non expérimentales, utiliser l'estimateur naïf pour déterminer l'impact causal du traitement sur les traités n'est pas une très bonne idée parce que la condition d'indépendance entre le traitement et les résultats potentiels est très improbable. En effet, généralement, sur des données non expérimentales, on fait souvent face à deux populations (traitées et non-traitées) qui diffèrent de par leurs caractéristiques individuelles observables et inobservables même en l'absence de traitement. Cette différence de

caractéristiques individuelles donne naissance à un biais de sélection, comme on peut le voir à partir des trois équations suivantes :

$$E(Y_{1i}|T_i = 1) - E(Y_{0i}|T_i = 0) + E(Y_{0i}|T_i = 1) - E(Y_{0i}|T_i = 0) \dots\dots (5)$$

$$= E(Y_{1i} - Y_{0i}|T_i = 1) + E(Y_{0i}|T_i = 1) - E(Y_{0i}|T_i = 0) \dots\dots\dots (6)$$

$$= ATT + Biais$$

On voit bien que lorsque les individus traités sont différents des non-traités dans leurs caractéristiques, le groupe de traitement et le groupe de contrôle ne représentent pas des sous-groupes aléatoires de la population étudiée et par conséquent, il apparaît un biais de sélection.

Le biais de sélection peut provenir de deux sources. La première source peut être liée à l'assignation traitement (appelé *biais de placement ou overt bias*), en raison, par exemple, du fait que les programmes de développement interviennent dans une zone spécifique et ciblent une population donnée pour des raisons particulières. La seconde source est liée à l'autosélection des individus au traitement (appelé *unobservable bias ou hidden bias*), qui font par exemple que les individus qui choisissent d'être exposés au traitement (c'est-à-dire ceux qui participent au programme) sont d'habitude différents de ceux qui ne sont pas exposés. En général, ceux qui sont exposés sont mieux informés sur le programme, mieux éduqués, sont plus proactifs, plus disposés à prendre des risques ou possèdent d'autres comportements que ceux qui ne sont pas exposés ne possèdent pas (Imbens, 2014 ; Basu *et al.*, 2007 ; Diagne et Demont, 2007 ; Pariénté, 2008 ; White et Raitzer, 2017).

En outre, à côté du biais de sélection, d'autres facteurs peuvent biaiser l'estimation de l'effet causal. Il s'agit des effets de *contamination* ou de *contagion* et les effets *spillovers* ou de *débordements*. Les effets de *contamination* ou de *contagion* interviennent lorsque les non exposés au programme ont été exposés à un autre programme similaire. Les effets de *spillovers* ou de *débordements*, le traitement affecte indirectement les non exposés au traitement. Par exemple en agronomie, un effet de *spillover* a lieu si un traitement phytosanitaire sur une parcelle affecte le rendement sur une parcelle proche non traitée.

Si l'on ne tient pas compte des biais de sélection observés et inobservés ainsi que les autres facteurs de confusions, il existe un risque majeur de produire des estimations biaisées de l'effet du traitement, en comparant directement les situations des deux groupes exposés et non exposés au traitement. Dans la littérature de l'évaluation d'impact, plusieurs méthodes ont été proposées pour éliminer ou réduire l'effet des biais de sélection et des facteurs de confusions. Les approches utilisées par ces méthodes pour traiter ces biais de sélection sont appelées

« stratégie d'identification » dans la littérature de l'évaluation d'impact (White et Raitser, 2017). Les différentes méthodes sont présentées ci-dessous.

4.2. Revue des principales méthodes d'évaluations d'impacts

Les principales méthodes d'évaluation d'impact utilisées dans les littératures peuvent être classées en deux groupes : les méthodes expérimentales randomisées et les méthodes non expérimentales ou quasi expérimentales.

4.1.1. Méthode expérimentale randomisée

La méthode expérimentale randomisée est considérée comme la plus robuste de toutes les méthodes d'évaluations (Imbens et Wooldridg, 2009). Elle a été utilisée pour la première fois par Fisher (1926) et Neyman (1923, 1935). Elle a été traditionnellement appliquée dans le domaine des sciences agronomiques et biologiques, mais ces dernières années, Duflo et al. (2006) et Miguel et Kremer (2004) l'ont appliquée dans le domaine des sciences économiques et sociales. Elle repose sur l'assignation aléatoire au traitement des unités d'observation, qui consiste d'abord à répartir de manière aléatoire les individus éligibles au traitement en deux groupes. Ensuite, l'un des groupes est exposé au traitement et l'autre groupe n'est pas exposé au traitement. Sur la base de l'assignation aléatoire au traitement, cette méthode élimine directement les biais de sélection observés et inobservés ; par conséquent, elle garantit que le traitement est indépendant des résultats potentiels. De ce fait, le résultat moyen des « traités » est égal au résultat potentiel moyen en présence du traitement et le résultat moyen des « non-traités » est égal au résultat potentiel moyen en l'absence de traitement.

Formellement, on définit les conditions expérimentales de la manière suivante :

- Hypothèse : Lorsque l'assignation aléatoire du traitement est réalisée, les résultats potentiels sont indépendants du statut de bénéficiaire du traitement. On note :

$$(Y_{1i}, Y_{0i}) \perp T_i \dots \dots \dots (7)$$

\perp : Signifie que la variable de traitement est indépendante des résultats potentiels.

Dans le cas où l'assignation aléatoire est réalisée, on a les égalités suivantes :

$$E(Y_{1i}|T_i = t) = E(Y_{1i}) \dots \dots \dots (8)$$

$$E(Y_{0i}|T_i = t) = E(Y_{0i}) \dots \dots \dots (9)$$

L'avantage de la stratégie d'identification basée sur les expériences randomisées est qu'elle élimine directement le biais de sélection. En plus, elle garantit que tous les individus éligibles au traitement ont les mêmes chances de bénéficier du traitement. Par exemple, en situation de rareté de ressources financières qui fait que toute la population nécessiteuse ne peut

pas être enrôlée dans un programme de bourse de sécurité familiale, la randomisation constitue un moyen de transparence et d'équité dans le choix des futures bénéficiaires.

Cependant, son application peut s'avérer être difficile dans les sciences sociales ou les individus (ménages, personnes, etc.) peuvent modifier leurs comportements par rapport à leur statut de traitement. Ainsi, elle fait l'objet de plusieurs critiques. Les principales critiques émanent des travaux de Heckman (Heckman 1992, Heckman et Smith 1995). Elles sont centrées sur l'effet de l'expérimentation sur la nature du programme offert, sur la composition des participants et sur le comportement des non-participants. L'une des leçons des critiques de Heckman est que l'identification de l'effet causal moyen par les méthodes expérimentales repose sur des hypothèses d'identification dont certaines ne sont pas testables et dont la crédibilité doit être discutée a priori sur le plan de la possibilité des phénomènes économiques qui les justifient. Imbens et Wooldridge (2009) soulignent que les méthodes expérimentales aléatoires sont difficiles à appliquer dans la pratique, car posant des problèmes d'éthique dans le cas des programmes sociaux (Imbens et Wooldridge, 2009).

4.1.2. Méthodes non expérimentales ou quasi expérimentales

Les méthodes non expérimentales ou quasi expérimentales ont été introduites dans les conditions où l'assignation aléatoire au traitement est difficile, voire impossible à faire. Elles s'appliquent en général, lorsque les unités d'observation sont des agents actifs (individus, ménages, entreprises, etc.) qui peuvent influencer leur statut de traitement. On distingue d'une part les méthodes non expérimentales qui traitent le biais de sélection induit par les caractéristiques observées, appelées méthodes de sélection basées sur les caractéristiques observables, et d'autre part les méthodes de sélection qui traitent à la fois le biais de sélection induit par les caractéristiques observées et inobservées, appelées méthodes de sélection basées sur les inobservables.

4.1.2.1. Méthodes basées sur les caractéristiques observables

- **Méthode d'appariement ou Matching**

Dans le cas où le traitement n'est pas distribué de manière aléatoire dans la population, Rubin (1974, 1977, 1978) et Rosenbaum et Rubin (1983) ont proposé la méthode d'appariement ou matching method pour identifier et estimer sans biais l'effet causal du traitement. Le *matching* repose sur l'hypothèse selon laquelle les seules différences entre les individus traités et les individus non traités proviennent de leurs caractéristiques individuelles et de l'exposition au traitement. Par conséquent, si l'on neutralise les différences selon les caractéristiques

individuelles, alors il ne reste plus que l'effet causal moyen du traitement à estimer. Dans la littérature deux méthodes de matching sont utilisées pour estimer l'effet causal du traitement. La première est appelée le « matching aux caractéristiques » qui consiste à associer pour chaque individu i dans la sous-population des traités, un individu j dans la sous-population des non traités ayant les mêmes caractéristiques que l'individu i . En procédant ainsi, l'on suppose que l'individu i traité, ayant les mêmes caractéristiques que l'individu j non traité aurait eu le même score s'il n'avait pas été traité. Cependant, il est important de noter que, le recours à ce type de matching direct dépend du nombre de caractéristiques observées que l'on prend en compte pour effectuer le matching. Plus elles sont nombreuses et plus il devient difficile de trouver, dans la sous-population des non-traités, des individus ayant exactement les mêmes caractéristiques que chacun des individus dans la sous population des traités. Ce qui pose un problème de dimensionnalité des critères de matching. La deuxième méthode de matching a été proposée par Rosenbaum et Rubin (1983) pour surmonter le problème de dimensionnalité rencontrée dans la méthode de matching par les caractéristiques. Il s'agit de la méthode de Propensity Score Matching (PSM) ou propension d'appariement par le score. Le PSM consiste à estimer pour chaque individu (traité et non-traité), une probabilité d'être traité en fonction de ses caractéristiques initiales observables X : le score de propension. Sur cette base, ces deux chercheurs ont montré que si on peut appairer sur les caractéristiques, on peut aussi appairer sur le score de propension. Pour identifier et estimer de façon consistante l'effet causal moyen du traitement non aléatoire avec la méthode de Matching, Rosenbaum et Rubin (1983) ont posé trois hypothèses fondamentales :

- Hypothèse 1 : Hypothèse d'indépendance conditionnelle ou d'ignorabilité ou de sélection sur les observables : *on dit que le bénéfice du traitement est ignorable, qu'il y a sélection sur les observables ou exogénéité si les résultats potentiels Y_i sont indépendants de la réception du traitement T_i pour des individus ayant les mêmes caractéristiques observées X_i . Cette hypothèse d'ignorabilité est aussi qualifiée d'ignorabilité forte, car supposant qu'il n'existe pas de caractéristiques inobservées qui puissent influencer le traitement et les résultats potentiels. Formellement, l'hypothèse s'écrit de la façon suivante :*

$$(Y_{1i}, Y_{0i}) \perp T_i \mid X_i \dots \dots \dots (10)$$

De la même façon, relativement aux caractéristiques observables, Rosenbaum et Rubin (1983) ont démontré que si l'hypothèse 1 est valable, plutôt que de conditionner sur les caractéristiques observables de l'individu i , il est possible de conditionner sur le score de

propension $P(X)$ défini comme la probabilité que l'individu i soit traité, ceci conditionné par ses caractéristiques. Cela revient à poser l'équation suivante :

$$(Y_{1i}, Y_{0i}) \perp T_i | P(X) \dots \dots \dots (11)$$

- Hypothèse 2 : Hypothèse d'existence de zone de support commun : c'est-à-dire que pour toutes les valeurs des observables on puisse comparer des traités et des non traités. Avec la méthode PSM, l'hypothèse de support commun s'écrit formellement :

$$0 < P(T_i = 1|X) = P(X) < 1 \dots \dots \dots (12)$$

À noter aussi, qu'en plus de ces hypothèses, les méthodes de matching respectent aussi l'hypothèse SUTVA selon laquelle, il n'y a pas d'effet de diffusion ou de contagion. Sur la base de ces hypothèses susmentionnées, l'effet causal moyen du traitement dans la population (ATE) est identifié :

$$\Delta^{ATE} Y = E[E(Y_i|T_i = 1, X_i) - E(Y_i|T_i = 0, X_i)] \dots \dots \dots (13)$$

Si les différentes hypothèses sont vérifiées, diverses méthodes de régressions paramétriques et non paramétriques permettent de garantir l'identification et l'estimation des paramètres ATE, ATT et ATU. Il s'agit, notamment des : (i) estimateurs matching (nearest neighborhood covariates matching, propensity score matching, genetic matching and coarsened exact matching, etc.), (ii) estimateurs basés sur la régression à la fois paramétrique (Ordinary Linear Square/Non Ordinary Linear Square) et non paramétrique (kernel, polynomial series, etc.), (iii) estimateurs inverse probability score weighting (ISPW) et (iv) estimateurs hybrides qui combinent matching et régression ou ISPW et régression (the doubly robust estimator).

L'exemple de l'estimateur inverse propensity score weighing pour estimer ATE, ATT et ATU, s'écrit formellement comme suit, selon Imbens (2004) et Lee (2005) :

$$A\hat{T}E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(T_i - \hat{p}(x_i)Y_i)}{\hat{p}(X_i)(1 - \hat{p}(x_i))} \dots \dots \dots (14)$$

$$A\hat{T}T = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n \frac{(T_i - \hat{p}(x_i)Y_i)}{(1 - \hat{p}(x_i))} \dots \dots \dots (15)$$

$$A\hat{T}U = \frac{1}{1 - n_1} \sum_{i=1}^n \frac{(T_i - \hat{p}(x_i)Y_i)}{(1 - \hat{p}(x_i))} \dots \dots \dots (16)$$

L'avantage de la stratégie d'identification basée sur les méthodes de *matching* est qu'il est possible de les réaliser si le traitement est binaire en présence de données suffisantes, mais

aussi, l'évaluation peut être réalisée *ex post* même en l'absence de données de situation de référence. L'inconvénient majeur est que le matching dépend uniquement des caractéristiques observées. Par conséquent si la sélection (participation) dépend des caractéristiques inobservées, l'utilisation du matching entraîne une estimation biaisée de l'impact (King and Nielsen 2016).

- **Méthode de la double différence**

La méthode de la double différence consiste à évaluer l'effet causal d'un traitement en comparant les résultats potentiels avant et après l'intervention des individus traités et ceux non traités. Elle nécessite d'abord à identifier avant le traitement, les individus à traiter et qui ne seront pas traités et de collecter des données sur leur situation de référence et ensuite à collecter des données sur les mêmes individus après le traitement. L'impact est ensuite identifié en calculant la différence dans la différence moyenne de résultats entre les deux groupes avant et après le traitement.

Si nous notons Y_i^1 et Y_i^0 comme les résultats potentiels des participants après le traitement avec Y_i^1 le résultat des traités et Y_i^0 , le résultat des non-traités (contrôle), et Y_i^1 et Y_i^0 Comme le résultat potentiel de ces mêmes individus avant le traitement avec Y_i^1 , le résultat potentiel des individus à traiter et Y_i^0 , le résultat potentiel des individus à ne pas traiter, alors la même double différence identifie l'impact comme suit :

$$\text{Double Différence} = E(Y_2^1 - Y_1^1|T) - E(Y_2^0 - Y_1^0|C) \dots \dots (17).$$

La méthode de la double différence repose sur deux hypothèses de base :

- Hypothèse 1 : Les variables inobservées qui affectant le traitement et les résultats potentiels ne diffèrent pas entre les groupes traités et les groupes témoins au fil du temps.
- Hypothèse 2 : S'il y a des chocs après le traitement, les individus traités et non traités seront affectés de la même manière.

L'avantage de la double différence est qu'elle est facile à mettre en œuvre et à comprendre. L'inconvénient résulte sur le fait que les hypothèses sur lesquelles elles reposent sont rarement vérifiées dans le monde réel.

- **Méthode de la régression discontinue**

Cette approche de l'évaluation de l'impact identifie les groupes de traitement et de contrôle en fonction des critères d'éligibilité. Par exemple, un programme qui vise à améliorer le revenu des pauvres peut sélectionner des ménages dont le revenu par habitant est inférieur à

un dollar par jour. Dans ce cas, les ménages dont le revenu par habitant est légèrement supérieur à un dollar peuvent être sélectionnés comme groupe témoin pour représenter le contrefactuel du groupe de traitement. La variable déterminant la participation n'est pas continue : elle a un point de coupure. D'où le nom de motifs de discontinuité de régression (Dibba, 2015). L'idée derrière cette approche est qu'en l'absence de l'intervention, les ménages qui se situent juste un peu au-dessus des critères d'éligibilité observeraient un résultat similaire au groupe de traitement en l'absence du programme. Si les groupes de traitement et de contrôle sont suffisamment proches des critères d'éligibilité, l'impact peut être évalué de manière non paramétrique en prenant la différence de résultat moyen entre les groupes de traitement et de contrôle (Banque mondiale 2010). Pour estimer l'impact d'un programme utilisant le modèle de discontinuité de la régression, il faut identifier une variable, choisissons t_i une variable qui détermine l'éligibilité et définir une variable t^* qui détermine le seuil d'éligibilité. Les personnes avec $t_i < t^*$ sont éligibles pour participer au programme, contrairement aux personnes avec $t_i > t^*$. Si nous identifions une petite plage (s) dans laquelle les groupes de traitement et de contrôle sont sélectionnés et en utilisant $y_i = \beta T + s$, alors l'estimateur d'impact basé sur le modèle de discontinuité de régression peut être écrit comme suit :

$$E[y_i|t^* - s] - E[t^* + s] = E[\beta D_i|t^* - s] - E[\beta T_i|t^* + s] \dots (18)$$

À partir de cette équation, les individus sélectionnés dans le (s) même (s) intervalle (s) sont susceptibles d'avoir des caractéristiques similaires influençant la participation au programme et la variable d'intérêt des résultats. Par conséquent, le biais de sélection dans cette plage est égal à zéro. Ceci identifie des effets de traitement non biaisés en utilisant l'approche de conception de discontinuité de régression.

L'avantage de la méthode de la régression discontinue est qu'elle peut utiliser des données nationales existantes et par conséquent, réduire le coût de la collecte de données secondaires. Cependant, elle présente des limites liées au fait qu'elle doit y avoir des critères d'assignation clairs et des échantillons suffisants pour l'analyse. Un des défis de cette méthode est souvent le fait d'avoir des données suffisantes de chaque côté du seuil. Une autre limite est le fait que l'impact est estimé uniquement pour les individus proches du seuil, ce qui réduit la validité externe de la méthode.

4.1.2.2. Méthodes basées sur les caractéristiques inobservées

- **Méthode de la variable instrumentale**

La méthode de la variable instrumentale est recommandée lorsque que l'assignation aléatoire du traitement n'est pas pertinente, mais aussi quand l'indépendance conditionnelle entre les variables observables et les résultats potentiels n'est pas aussi plausible (Imbens, 2014). La méthode de variable instrumentale qui reconnaît le choix fait par les unités d'observation et qui détermine le statut de traitement (Heckman et Vytlacil, 2007 ; Heckman *et al.*, 2006 ; Heckman, 2010 ; Angrist, 1990 ; Imbens et Angrist, 1994 ; Angrist *et al.*, 1996). Elle repose sur l'identification d'une variable instrumentale (Z_i) qui modifie le statut de traitement des individus de manière indépendante de leurs résultats potentiels. La méthode de la variable instrumentale permet d'estimer le paramètre appelé Effet Moyen Local du Traitement, plus connu sous le nom de Local Average Treatment Effect (LATE), qui mesure l'impact moyen sur un résultat donné de la sous-population d'individus induits à changer leurs comportements par le changement d'état de l'instrument considéré (Imbens et Angrist, 1994 ; Angrist *et al.*, 1996).

Pour que l'instrument Z_i soit valable, il doit remplir les quatre hypothèses suivantes Imbens et Angrist (1994) et Angrist *et al.* (1997):

Hypothèse 1 : indépendance conditionnelle : l'instrument Z_i est aléatoire et indépendant des résultats potentiels Y_i conditionnellement aux vecteurs de covariables X_i . Formellement, il est écrit :

$$Y_{1i}, Y_{0i} \perp Z_i | X_i \dots (19)$$

Hypothèse 2 : la restriction d'exclusion : l'instrument Z_i n'affecte les résultats potentiels Y_i qu'à travers le changement d'état du statut de traitement T_i .

$$Y_i(0, T_i) = Y_i(1, T_i), \text{ pour } T_i = 0, 1 \text{ pour tous } i.$$

Hypothèse 3 : la monotonicité : signifie qu'il n'existe pas de défiants au niveau des individus et requiert que :

$$T_i(1) \geq T_i(0) \dots (20) \text{ pour tout individu } i.$$

Hypothèse 4 : la pertinence de l'instrument par rapport au traitement. C'est-à-dire l'instrument Z_i a un effet causal non nul sur le traitement T_i .

Sur la base de ces quatre hypothèses, Imbens et Angrist (1994) et Angrist *et al.* (1997) identifient quatre groupes d'individus par rapport aux différents types de réponses au traitement : (i) Never takers ou jamais preneurs : ce sont les individus qu'ils soient traités ou

non, ne participent pas au programme ; (ii) Compliers ou obéissants : ce sont les individus qui acceptent toujours leur statut de traitement ; (iii) Difiers ou défiants : ce sont les individus qui font le contraire selon leur statut de traitement : s'ils sont traités, ils ne participent pas au programme, alors s'ils ne sont pas traités, ils participent au programme ; (iv) Always-takers ou toujours preneurs : ce sont les individus qu'ils soient traités ou non, participent au programme.

À partir de ce classement et sous les hypothèses de restriction exclusion, de monotonie et de pertinence Imbens et Angrist (1994) et Angrist *et al.* (1997) proposent l'estimateur Wald pour estimer le paramètre LATE. L'estimateur Wald nécessite seulement les résultats potentiels observés Y_i , le statut de traitement T_i et un instrument aléatoirement distribué Z_i , et est donné par l'équation suivante :

$$E(Y_1 - Y_0 | T_1 = 1) = \frac{E(Y|Z=1) - E(Y|Z=0)}{E(T|Z=1) - E(T|Z=0)} \dots\dots\dots(21)$$

Si l'instrument est indépendant des résultats potentiels ($Y_1 - Y_0$), mais corrélés au statut de traitement T_i , alors l'estimation Wald est consistante pour identifier le paramètre LATE.

Contrairement à Imbens et Angrist (1994) et Angrist *et al.* (1997), Abadie (2003) postule qu'un instrument exogène inconditionnel n'existe pas. De plus, il pose l'hypothèse selon laquelle l'instrument est non aléatoire et est indépendant des résultats potentiels ($Y_1 - Y_0$), conditionnellement aux vecteurs de covariables X_i qui influencent les résultats potentiels ($Y_1 - Y_0$). Ainsi, Abadie (2003) propose la Fonction de Réponse Moyenne Locale plus connue sous le nom de LARF (Locale Average Response Function) pour identifier et estimer le paramètre LATE d'Imbens et Angrist (1994) et Angrist *et al.* (1997). Avec ces hypothèses, les résultats suivants peuvent être montrés comme valables pour la fonction de réponse aux résultats moyenne conditionnelle pour les adoptants potentiels $f(X, T) \equiv E(Y|X, T_1 = 1)$ et pour toute fonction $g(Y, X, T)$:

$$f(X, 1) \equiv E(y_1 - y_0 | X, T_1 = 1) \dots\dots\dots(22)$$

$$E(g(Y, T, X) | T_1 = 1) = \frac{1}{P(T_1 = 1)} E(k \cdot g(Y, T, X)) \dots\dots\dots(23)$$

Où $k = 1 - \frac{Z}{p(Z=1|x)}(1 - T)$ est une fonction de poids qui prend la valeur de 1 pour les adoptants potentiels et une valeur négative pour les non adoptants potentiels, et T_1 et T_0 sont les résultats potentiels d'adoption pour chaque individu avec ou sans l'influence de l'instrument exogène Z_i . La fonction $f(x, t)$ est le Locale Average Response Function (LARF). L'avantage de la méthode de la variable instrumentale est que si l'instrument est valide, elle permet de

contrôler à la fois le biais de sélection observé et non observé. L'inconvénient est qu'elle ne permet d'estimer l'impact que pour la sous-population des obéissants.

Conclusion partielle

La première partie de l'étude a permis de faire un état des lieux sur la problématique du changement climatique et des impacts sur l'élevage pastoral dans les pays sahéliens en général et au Sénégal en particulier. Face à cette problématique, le changement de comportement des groupes vulnérables à travers l'adoption de stratégies d'adaptation au changement climatique fait partie des objectifs des acteurs du développement. Ceci est traité dans cette partie en commençant par une revue de la littérature sur la théorie sociale et économique du comportement et ensuite une présentation de quelques résultats d'études de cas sur les facteurs qui influencent le comportement d'adoption ainsi que les contraintes à l'adoption, dans le sous secteur de l'agriculture en général, et de l'élevage en particulier. L'adoption est supposée avec un impact sur le bien-être des communautés locales. Mais la question de fiabilité de la mesure de cet impact reste posée. Ce point est abordé dans cette partie, d'une part, en faisant ressortir le problème fondamental de l'évaluation d'impact des politiques et des programmes de développement, et d'autre part, en présentant et discutant les principales méthodes proposées de la littérature pour y apporter une solution.

DEUXIÈME PARTIE : MÉTHODES D'ÉVALUATION DES TAUX D'ADOPTION ET DE L'IMPACT DE L'ADOPTION DES STRATÉGIES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET LE REVENU DES MÉNAGES

Introduction

Face à la persistance de la pauvreté, de la faim et de l'insécurité alimentaire dans le monde, en particulier dans les pays en développement, malgré, le volume des financements mobilisés, la question qui est généralement posée est de comprendre si et comment les politiques de développement améliorent le bien-être de la population (OCDE, 2011 ; Parkhurst, 2017). La réponse à cette question ne peut être fournie que par des évaluations d'impacts des politiques ou programmes de développement (White et Raitzer, 2017). D'où l'intérêt grandissant que suscitent les évaluations d'impact au niveau des décideurs politiques, bailleurs de fonds, chercheurs, etc., qui veulent promouvoir un développement fondé sur des preuves évidentes (Cameron *et al.*, 2016). L'évaluation d'impact a deux objectifs principaux. Le premier est la *recevabilité*, qui permet de garantir que les actions de développement mènent actuellement vers des résultats de développement. Le second est l'*apprentissage*, qui contribue à fournir une base de preuves pour la sélection et la conception des politiques ou programmes efficaces pour favoriser l'atteinte des objectifs de développement.

Cette partie de la thèse comprend quatre chapitres. Le premier chapitre présente une description de la zone d'étude, de l'intervention du PRODAM et de sa théorie du changement. Le second chapitre présente la démarche méthodologique utilisée pour évaluer les taux d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et leurs déterminants. Le troisième chapitre présente la méthode utilisée pour identifier et estimer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages. Le dernier chapitre présente la méthode d'échantillonnage, de collecte et d'analyse des données.

Chapitre 1 : Description de la zone d'étude et de l'intervention du PRODAM

Cette partie est dédiée à la caractérisation de la zone de l'étude et à la description des actions que le projet PRODAM a mené dans la zone du Ferlo pour renforcer la résilience des ménages pastoraux au changement climatique, à l'insécurité alimentaire et à la pauvreté monétaire.

1.1. Présentation de la zone d'étude : zone sylvopastorale du Ferlo

Ici nous mettons l'accent sur les caractéristiques physiques, environnementales et socio-économiques de la zone agro-écologique du Ferlo, dans son ensemble. Un focus est aussi mis sur la partie Ferlo de la région de Matam, objet de cette étude.

1.1.1. Situation géographique et démographique

Notre zone d'étude se trouve dans la zone agroécologique sylvopastorale (ZSP), communément appelée « Ferlo⁵ ». L'étendue de la ZSP (figure 6) est estimée à 30 000 km² par Le Houerou 1988, à 75 000 km² par Ndione (1982) et à 78 600 km² par l'ATLAS du Ferlo. Il couvre environ 40 % du territoire national et comprend 93 communes, 15 départements et 5 régions administratives (Matam, Louga, Saint Louis, Tambacounda et Kaffrine). Malgré son étendue, la ZSP est faiblement peuplée avec une population estimée à 2 086 000 habitants (ANSD, 2012). La majorité de la population (66 %) est concentrée dans l'ouest de la zone, en bordure de l'axe Saint Louis/Louga/Kébémér. Les trois (3) ethnies dominantes sont les Peuls, les Ouolofs (Sud Ferlo) et les Maures. Cependant les Peuls constituent l'essentiel de la population.

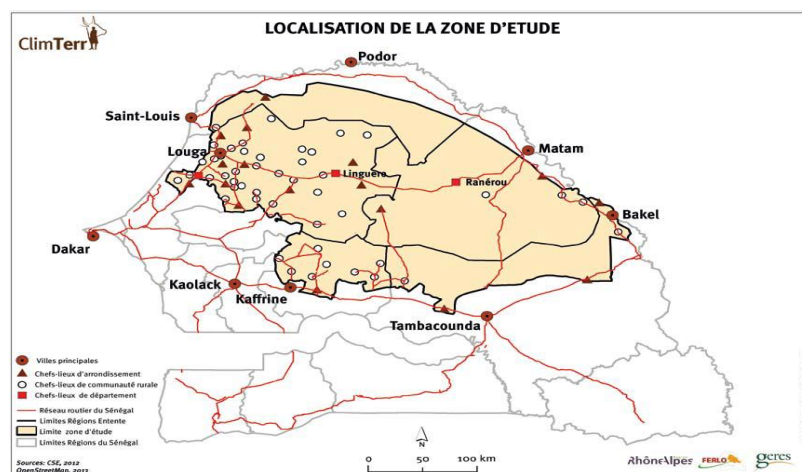


Figure 6 : Zone agroécologique Ferlo
Source : Atlas zone sylvopastorale Ferlo, 2013.

⁵ Pour Fall (2006) le terme Ferlo proviendrait pour certains du mot Peul « ferlade » qui signifie « s'asseoir comme un tailleur », illustrant son côté tranquille et sûr. Pour d'autres, le mot Ferlo veut dire partir, émigrer, une signification qui traduit le mode d'exploitation du milieu, marqué par la mobilité des populations.

1.1.2. Climat, sol et végétation

La ZSP appartient au domaine climatique sahélien, semi-aride, caractérisé par de fortes chaleurs et un faible régime pluviométrique. Ce climat sahélien est divisé en 3 sous zones: (i) la sous-zone nord-sahélienne, dont les précipitations sont comprises entre 150 et 300 mm par an, qui correspond à l'extrême nord de la zone ; (ii) la sous-zone sahélienne typique, dont les précipitations sont comprises entre 300 et 450 mm par an, qui inclut les régions de Louga et le nord de Matam ; (iii) la sous-zone sud-sahélienne, relativement plus arrosée, qui inclut le nord de Kaffrine et de Tambacounda. Les précipitations, dans la zone, sont concentrées entre juillet et septembre. La ZSP est caractérisée par sa forte vulnérabilité au changement climatique. L'étude réalisée par Sarr (2012) a permis d'identifier cinq (5) grands risques climatiques majeurs pour le développement des activités agropastorales dans la zone : (i) une variabilité accrue des précipitations et de ses caractéristiques (nombre de jours de pluie, date début, longueur saison) qui s'est traduite par une brusque alternance d'années humides et sèches au cours des 20 dernières années. Cependant, on assiste depuis le milieu des années 1990, à de meilleures situations pluviométriques au Sahel ; (ii) une saison des pluies écourtées dans la zone de 40 à 50 jours dans le nord de la zone, de 60 jours dans le centre et de 90 jours environ dans le sud, corrélativement au retard constaté dans la période d'installation de la saison des pluies de 10 à 20 jours ; (iii) une augmentation des occurrences des séquences sèches pouvant survenir à tout moment dans l'espace et le temps ; (iv) une tendance à la hausse des pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs ; (v) une hausse actuelle sans équivoque des températures observées (hausse qui dépasse +1 °C sur les séries chronologiques non normalisées), l'augmentation significative du pourcentage de nuits et de jours chauds : ainsi la hausse prédite des températures à l'horizon 2020 - 2029 (de 1 à 1,5 °C) et de 3 à 4,5 °C à l'horizon 2090 - 2099 engendrerait des situations de stress thermiques sévères pouvant handicaper sérieusement la productivité végétale (évapotranspiration accrue) et animale.

Au plan pédologique, la ZSP est essentiellement composée de sols ferrugineux tropicaux, rouges bruns et latéritiques (Atlas Ferlo, 2013). Le Ferlo latéritique correspond à l'actuel département de Ranérou avec un ensemble de plateaux ferrugineux, laissant apparaître des lithosols, devenant isohumiques brun rouge subarides caractérisés par une texture sableuse sur tout le profil. Dans les vallées sèches, les sols sont hydromorphes argilo-sableux à ferrugineux gravillonnaires sur cuirasse latéritique au sommet des dunes. Le Ferlo sableux est principalement formé du système ogolien et ses limites septentrionales concernent la vallée et le delta du Sénégal. Cette partie du Ferlo est dominée par les sols isohumiques brun rouge sub-

arides. Le Ferlo sablo-argileux porte des sols minéraux des dunes rouges et des sols ferrugineux lessivés et non lessivés.

La végétation est essentiellement formée de parcours naturels qui constituent la principale source d'alimentation du cheptel dans la ZSP. Cependant, leur disponibilité est fortement conditionnée par la variabilité de la pluviométrie. Les ressources végétales comprennent la biomasse herbacée et ligneuse et sont réparties en fonction des différents types de sols. Ainsi, une étude menée par le Centre de Suivi Écologique (1998) montre que cette zone est caractérisée par une pseudo-steppe dominée par *Aristida Mutabilis* (Trin. et Rupr.) et *Cenchrus biflorus* (Roxb.) pour le tapis herbacé et une formation ligneuse caractérisée par l'espèce *Acacia* associée à d'autres épineux rabougris. Le Ferlo sableux est une pseudo-steppe dominée par *Balanites aegyptiaca* (L.), associée à *Acacia senegal* (L.), *Boscia senegalensis* (Pers.), *Zizyphus mauritiana* (Lam.), *Combretum glutinosum* (Perr.). Le taux de recouvrement varie de 3 à 6 % avec une moyenne de 5 % ; la production primaire des ligneux varie de 115 à 238 kg/ha avec une moyenne de 185 kg/ha. La densité varie de 64 à 798 pieds/ha avec une moyenne de 376 pieds/ha. Le Ferlo ferrugineux situé à l'est du département de Podor (sur toute la partie exondée de la région de Matam) se caractérise par la présence de *Pterocarpus lucens* (Lepr.), associé ou non à *Combretum glutinosum* (Perr.), *Combretum nigricans* (Lepr.), *Acacia seyal* (Del.). Le taux de recouvrement du Ferlo ferrugineux varie de 25 à 33 %, la production primaire des ligneux de 980 à 1 100 kg/ha, le nombre d'espèces est de 9 à 11 et la densité est de 2 200 à 3 980 pieds/ha. Sur le plan foncier, une grande partie, environ 39 % de la superficie de la zone sylvopastorale se trouve dans les aires protégées avec respectivement 19,7 % pour la réserve sylvopastorale, 15,2 % pour la réserve et 3,8 % pour les forêts classées. Par ailleurs la zone est traversée par le tracé de la grande muraille verte qui, à terme, va du Sénégal à l'ouest de Djibouti, à l'est du continent, sur une distance de 7 675 km dont 450 km se trouvent dans la zone sylvopastorale du Ferlo.

1.1.3. Ressources hydrogéologiques

La ZSP, dans le sens large, comprend des affleurements du Secondaire et du Tertiaire. L'axe Saint Louis-Louga-Linguère et le sud du Lac de Guiers laissent apparaître des calcaires et des marnes de l'Éocène moyen. Ces formations sont visibles sous formes de bandes minces orientées nord-ouest/sud-est, à l'ouest de Matam, entre les formations du Quaternaire à l'est et celles du grès argileux du Continental terminal à l'ouest. Excepté les pourtours du Lac de Guiers et la principale vallée du Ferlo jusqu'à Linguère où on retrouve les calcaires et les marnes de l'Éocène inférieur, tout le reste du Ferlo est largement occupé par une couverture dunaire

discontinue sur fond de cuirasse du plateau du Continental terminal, constitué de sédiments de grès argileux bariolés avec des niveaux d'argiles (Bosc et Dolle, 1992 dans Sy, 2008). Le modelé du Ferlo est rattaché aux plateaux monotones du bassin sédimentaire du Secondaire et du Tertiaire. Les plateaux dépassent rarement 100 m à l'est ; leur altitude est de l'ordre de 20 m dans le Ferlo occidental. Le Ferlo oriental se termine par une petite cuesta au-dessus des bordures de la vallée du Sénégal et des plaines de la basse vallée de la Falémé. Ce modelé de bas plateaux, de 30 à 60 m d'altitude, est entaillé par de larges vallées sèches (Michel et Sall, 2000). Dans les secteurs septentrionaux, les plateaux ont des largeurs de l'ordre de 15 à 20 km ; ils sont cuirassés et bien individualisés. Ces milieux cuirassés sur grès argileux du Continental terminal, d'âge mio-pliocène, couvrent une superficie considérable au Sénégal (Sy, 2008).

Le réseau hydrographique de surface est constitué par ce qui est communément appelé la vallée du Ferlo. Les eaux souterraines sont principalement constituées par les systèmes aquifères Maestrichtien et le système aquifère du continental terminal. La nappe maestrichtienne d'une superficie de 150 000 km² est située à une profondeur d'environ 100 à 300 m (Barral, 1982 ; Michel, 1973). Les nappes sont exploitées par les forages et les puits traditionnels. Dans le but d'une exploitation optimale des ressources fourragères du Ferlo, une politique d'hydraulique pastorale hardie a été initiée depuis l'époque coloniale dans l'objectif aussi de sédentariser les pasteurs.

1.1.4. Système de production à dominance élevage pastoral

L'élevage pastoral constitue le système de production dominant dans la ZSP. Ce système de production est basé sur un élevage de type extensif qui est favorisé par les conditions du milieu, la disponibilité de pâturages naturels et de l'eau d'abreuvement pour le cheptel. Il est presque exclusivement basé sur la transhumance avec d'importants troupeaux de bovins et de petits ruminants. Le cheptel de la ZSP représente plus de la moitié du cheptel sénégalais. De 2003 à 2011, l'effectif du cheptel est passé de 6,8 millions de tête à 8 millions de têtes, soit une croissance de +18 %. La ZSP est la principale zone pourvoyeuse de viande des grands centres urbains. Elle assure 40 % de l'approvisionnement en viande de la ville de Dakar.

1.1.5. Aperçu du Ferlo de la région de Matam

La ZSP du Ferlo de la région de Matam (figure 7), objet de cette étude, est la plus grande zone agroécologique de la région, couvrant 2/3 du territoire régional (Fall, 2006). Avec une population estimée à moins de 100 000 habitants avec une densité de moins de 10 habitants au km² (Fall, 2006 ; ANSD, 2013 et 2012). Le Ferlo de Matam est partagé entre huit communes et trois départements. Il est subdivisé en trois sous zones : Ferlo nord, Ferlo centre et Ferlo sud. Plus de 80 % du territoire du Ferlo de Matam se trouve dans le domaine classé, soit dans la réserve sylvopastorale, soit dans la réserve de faune. Seul 20 % se trouvent dans les zones de terroirs. Le relief est relativement plat avec des sols latéritiques dans la majeure partie de son espace, et sableux dans sa partie occidentale. Le Ferlo de Matam appartient à la sous-zone sahélienne typique, dont les précipitations sont comprises entre 300 et 450 mm par an (Sarr, 2012). Le climat y est marqué par deux saisons : une saison sèche qui va de novembre à juin et une saison pluvieuse qui va de juillet à octobre. Ces variations conditionnent en grande partie la disponibilité des principales ressources nécessaires à l'élevage : l'eau et la biomasse végétale. Les températures moyennes varient entre environ 20 °C (janvier/février) et 38 °C au cœur de la saison chaude, avec, également de fortes variations selon les années. Les vagues de chaleur, tout comme les vagues de froid en contre-saison, sont fréquentes (Aghrymet, 2012). Le couvert végétal est essentiellement constitué d'épineux (*Balanites aegyptiaca* (L.), *Acacia senegalensis* (L.), *Zysiphys mauritiana* (Lam.) et d'un important tapis herbacé dominé par des graminées annuelles riches et variées.

Le réseau hydrographique comprend des ressources en eau de surface (mares) et en eau souterraine (forages, puits) situées entre 200-300 m de profondeur. En 2015, la zone comptait 42 forages pastoraux, d'une profondeur moyenne de 301 m avec un débit moyen de 60 m³/heure. La disponibilité des ressources en eau conditionne la mobilité du cheptel en hivernage et en saison sèche. Les ressources hydriques et fourragères attirent de nombreux transhumants venant des diverses régions du Pays et des pays frontaliers (Mauritanie), notamment en saison des pluies. Cette cohabitation circonstancielle se fait sur la base du principe de réciprocité, et l'accès aux ressources ne peut donc pas être refusé par les autochtones. La transhumance se fait sur deux saisons : (i) en saison hivernale, les troupeaux viennent brouter l'herbe fraîche des parcours naturels du Ferlo et s'abreuver au niveau des mares et marigots bien remplis ; (ii) en saison sèche, le troupeau se déplace vers le centre et le sud-est du pays à la recherche des résidus de récoltes et d'eaux des forages.

L'élevage extensif constitue l'activité économique dominante et représente 80 % du revenu des ménages (Programme Alimentaire Mondial, 2013). Le cheptel bovin et petit ruminant de région de Matam est évalué à 1 013 327 têtes en 2017 (MEPA, 2017). Le cheptel bovin est estimé à 193 384 têtes, celui des ovins à 557 882 têtes et enfin celui des caprins à 226 061 têtes. L'évolution du cheptel montre une progression de l'effectif du cheptel de 24 % entre 2003 et 2012 avec respectivement un effectif de 792 856 et 986 533. Cette hausse concerne principalement l'élevage des petits ruminants (au moins +25 %) qui est devenu une activité majeure chez les pasteurs en raison du marché du bétail en pleine expansion pendant les fêtes de Tabaski. À côté du cheptel ruminant, on note un effectif de 27 717 équins, 29 652 asins et 79 596 pour la volaille. Le cheptel camelin est faiblement représenté avec 223 têtes. Dans la zone, l'agriculture vivrière sous pluie est pratiquée sur de petites superficies. Les principales cultures sont le mil, le sorgho et le maïs. L'exploitation des produits forestiers (gomme arabique, jujube, pain de singe, bois de chauffe) constitue aussi une source de revenus des ménages de la zone. Les produits céréaliers et le lait constituent les aliments de base des ménages de la zone sylvopastorale du Ferlo de la région de Matam.



Figure 7 : Zone sylvopastorale du Ferlo de Matam et communes enquêtées.
Source : Centre de Suivi Écologique (2018)

1.2. Description de l'intervention du PRODAM dans le Ferlo de Matam

1.2.1. Contexte et justification

Le conflit frontalier qui a opposé le Sénégal et la Mauritanie en 1989 a entraîné un afflux massif de populations sénégalaises (plus de 7000 agriculteurs et éleveurs) qui vivaient habituellement sur la rive droite du fleuve Sénégal. Ces ménages ont été dépossédés de leurs biens (pertes de terre de culture, habitats, matériels et équipements, etc.) et rapatriés sur la rive gauche du fleuve Sénégal. Dans la zone du Ferlo, ce rapatriement des ménages pastoraux a été accompagné par l'arrivée massive de troupeaux estimé entre 100 000 à 200 000 bovins. Cette situation a provoqué une surexploitation et une dégradation avancée des pâturages autour des rares forages pastoraux existant dans la zone d'accueil. En même temps, ces ménages démunis subissaient de plein fouet les effets négatifs du changement climatique, marqué par la faiblesse et l'irrégularité des pluies. D'autant plus que les sécheresses récurrentes dans les années 1970 et 1980 ont été fortement ressenties dans le Ferlo, car l'élevage pastoral qui y est pratiqué dépendait exclusivement de l'exploitation des parcours naturels. Les effets négatifs du changement climatique ont alors largement contribué à la fragilisation des moyens d'existence des ménages pastoraux qui étaient déjà vulnérables en raison des conséquences du conflit frontalier. Face à cette situation, les communautés pastorales du Ferlo ont tenté de mettre en œuvre des stratégies d'adaptations au changement climatique comme la mobilité du cheptel (transhumance, nomadisme, etc.). Cependant, cette pratique a très tôt montré ses limites à cause de l'avancée du front agricole au sud du Ferlo, de l'avènement des aménagements hydro-agricoles dans la vallée du fleuve Sénégal et de l'urbanisation galopante. Donc il a fallu trouver des stratégies innovantes d'adaptation au changement climatique pour renforcer la résilience de ces communautés pastorales. Cela a justifié l'avènement de projets d'appui au développement de l'élevage pastoral qui intègrent la dimension adaptation au changement climatique à travers la gestion durable des ressources naturelles dans un contexte de décentralisation, de désengagement de l'État suite aux plans d'ajustements structurels à partir des années 1990. Parmi ces projets de développement, on peut citer le Projet de Développement Agricole de Matam (PRODAM), dont l'objectif est de contribuer à la résolution de la problématique locale de l'insécurité alimentaire et de la pauvreté rurale tout en préservant l'environnement et les ressources naturelles. Le PRODAM est cofinancé par des prêts du Fonds International et de Développement Agricole (FIDA) et de la Banque Ouest-Africaine de Développement (BOAD)

et par une contribution du Gouvernement du Sénégal. Dans la zone du Ferlo, le PRODAM⁶ a été mis en œuvre en deux phases. La première phase dénommée PRODAM I a démarré en 1993 et s'est achevée en 2000. Elle a ciblé 3000 familles d'éleveurs victimes du conflit frontalier. Après une pause de trois années, une seconde phase dénommée PRODAM II, a été mise en œuvre entre 2004 et 2011 afin de bénéficier aux ménages pastoraux qui n'étaient pas touchés durant la première phase. Ces deux projets s'inscrivaient respectivement dans les stratégies nationales de développement définies dans la Nouvelle Politique Agricole (NPA) de 1984 et les Documents de Stratégie et de Réduction de la Pauvreté (DSRP 1 : 2003-2005 et DSRP 2 : 2006 et 2010), notamment : (i) la lutte contre la pauvreté, la recherche de l'autosuffisance alimentaire ; (ii) la professionnalisation des organisations paysannes ; (iii) la restauration et la préservation de l'environnement.

1.2.2. Approche conceptuelle et stratégique d'adaptation au changement climatique

Pour renforcer de façon durable les capacités d'adaptations au changement climatique des communautés pastorales du Ferlo, le PRODAM a mis œuvre une approche conceptuelle et stratégique innovante en cohérence avec les réformes institutionnelles en vigueur (décentralisation, désengagement de l'État, responsabilisation des communautés locales, etc.). De par son approche conceptuelle, le PRODAM a retenu le « village » comme base d'ancrage et de diffusion des stratégies de développement. De ce fait, bien que certaines interventions structurantes aient été définies à la formulation du projet, il a été procédé à une déclinaison thématique des activités avec les villageois bénéficiaires dans une double optique de reformulation et d'appropriation interne, traduites par des engagements contractuels entre le PRODAM et les populations locales. Ainsi, de l'avis des agents du PRODAM, l'idée majeure qui a été développée a été qu'une intervention majeure ne pouvait démarrer que lorsqu'un consensus dynamique a été trouvé avec toutes les couches de la population sans créer des tensions sociales dont la méconnaissance remet généralement en cause la pérennité des acquis. Par ailleurs, il faut rappeler que malgré le caractère urgent des interventions destinées à renforcer les capacités d'adaptations au changement climatique des populations démunies, le PRODAM s'est démarqué de l'idée d'être un projet d'aide alimentaire tant dans sa démarche que dans sa finalité.

⁶ Le PRODAM est intervenu sur deux zones agroécologiques de la région de Matam à savoir la zone du Ferlo (qui est l'objet de notre étude) et la zone du Walo où se pratique l'agriculture irriguée (cette partie n'est pas développée ici).

Dans sa stratégie d'intervention, le PRODAM a mis l'accent sur le renforcement des capacités techniques, organisationnelles et managériales des pasteurs et de leurs organisations comme un levier capable d'affecter de manière positive et durable le développement pastoral de la zone dans un contexte de changement climatique. Cette stratégie s'appuie sur la conviction que les communautés locales doivent être les principaux acteurs de la lutte contre la pauvreté rurale, l'insécurité alimentaire et la dégradation de l'environnement et des ressources naturelles. Pour mettre en œuvre cette stratégie, le PRODAM s'est appuyé sur deux leviers de base : le partenariat et l'intervention ciblée. La dimension partenariale privilégiée par le PRODAM fait intervenir deux acteurs majeurs : les populations bénéficiaires et les agences d'exécution. Les premiers partenaires du PRODAM sont les populations bénéficiaires. Dans ce partenariat avec les populations bénéficiaires, le PRODAM a d'abord procédé à un diagnostic participatif avant toute intervention qui a ciblé les communautés paysannes, les collectivités locales et les structures de développement. L'idée centrale derrière cette approche est que les communautés pastorales ont une bonne connaissance des problèmes de leur environnement et que si l'on favorise l'ouverture à la concertation et surtout le partage des connaissances, elles vont proposer les remèdes adaptés à leurs problèmes. Le deuxième partenaire du projet est constitué des agences d'exécution chargées de la mise en œuvre, de la supervision et de l'évaluation des activités du projet dans le Ferlo. Parmi elles, on peut citer : la Direction de l'Élevage, Direction de l'Hydraulique Rurale, Direction des Eaux et forêts, Centre de Suivi Ecologique et les entreprises et cabinets privés.

1.2.3. Stratégies d'adaptation au changement climatique diffusées

Sous l'effet du changement climatique actuel et futur dans l'espace pastoral du Ferlo, la vie des pasteurs reste marquée par des incertitudes et des risques, à cause de la forte variabilité et de l'imprévisibilité de l'état des ressources naturelles (eau et pâturage naturel) dont dépend le système d'élevage. À ces phénomènes naturels, viennent s'ajouter le comportement des éleveurs qui se caractérise par un individualisme prononcé, essentiel à sa réussite personnelle, mais pouvant occasionner une surexploitation des ressources naturelles et des conflits entre les différents usagers (The Tragedy of the « *Commons* » d'Hardin qui voudrait que les gains soient individuels et les pertes partagées : « je gagne seul, on perd ensemble ! ».). Face à cette situation, le PRODAM a orienté son intervention sur la promotion de la gestion communautaire des ressources naturelles et de l'environnement, de la santé animale et de l'hydraulique pastorale afin de renforcer les capacités d'adaptation au changement climatique des pasteurs à la fois de manière collective (exploitation rationnelle des ressources naturelles » et individuelle

« gestion du troupeau ». Ainsi, le PRODAM a adopté et introduit dans le Ferlo de Matam, l'approche par les « Unités Pastorales (UP) » comme une stratégie innovante d'adaptation au changement climatique. Pour rappel, l'UP est « un groupement d'éleveurs résidant dans les villages, unis par une solidarité résultant du voisinage, exploitant le même forage, les mêmes ressources naturelles et surtout ayant opté pour s'unir librement ».

L'approche UP agit sur trois (3) principaux leviers pour renforcer les stratégies d'adaptation au changement climatique des communautés pastorales. Il s'agit de : (i) l'accès aux infrastructures pastorales de base telles que les forages pastoraux, les parcs à vaccination et pharmacies vétérinaires et les magasins de stockage d'aliments de bétail afin de contribuer à l'amélioration de l'accès à l'eau, aux services vétérinaires et à l'aliment de bétail pour les populations et le cheptel ; (ii) la gestion communautaire des ressources naturelles et de l'environnement par les populations locales à travers l'élaboration et la mise en œuvre de plans de gestion de l'espace pastoral à travers la définition de règles de gestion des ressources naturelles telles que : l'organisation de l'exploitation des pâturages dans l'espace et dans le temps ; l'organisation de la transhumance dans le terroir pastoral ; l'exploitation et la gestion efficace des infrastructures mises en place ; la participation à la préservation et à la conservation des ressources naturelles et l'environnement à travers la lutte contre les feux de brousse, les coupes abusives de bois et le braconnage, mais aussi promouvoir des actions de mise en défens et de reboisement des zones dégradées ; la mise en œuvre d'actions génératrices de revenus ; (iii) l'amélioration de la gestion du cheptel et la diversification des sources de revenus à travers des actions d'information, de sensibilisation, de formation des éleveurs sur les thèmes liés à la vaccination du cheptel contre les maladies, le déstockage des petits ruminants et des bovins âgés, l'embouche bovine et ovine, la sédentarisation, l'insémination artificielle, l'utilisation de variétés améliorées de mil pour la production céréalière, la pratique du maraichage et la valorisation des fruits forestiers non ligneux et la transformation de produits artisanaux. La mise en place et la diffusion de ces stratégies d'adaptations au changement climatique dans le Ferlo ont été précédées, d'une part, par la mise en œuvre d'un important programme d'alphabétisation des populations locales (hommes et femmes) pour qu'elles sachent lire et écrire et d'autre part, par un programme de réhabilitation institutionnelle des organisations d'éleveurs. Également, des actions de renforcement des capacités sur la gestion administrative et financière ont été réalisées au profit des membres des organisations d'éleveurs.

1.2.4. Quelques réalisations du PRODAM dans le Ferlo

L'intervention du PRODAM dans le Ferlo a permis : (i) la mise en place de 12 UP couvrant une superficie de 900 000 ha. Chaque UP est répartie en 3-5 terroirs pastoraux et est administrée par un groupement d'intérêt économique inter villageois. Chaque UP dispose d'un plan de gestion pour la préservation et la conservation des ressources naturelles et de l'environnement ; (ii) la construction de 12 forages pastoraux avec abreuvoirs et bornes-fontaines, 10 parcs à vaccination, 8 magasins aliment bétail, 8 pharmacies vétérinaires villageoises, 629 km de pare-feu, 3 cases de santé, 8 centres d'alphabétisation ; (iii) le renforcement des capacités des éleveurs et de leurs groupements sur l'alphabétisation, la gestion administrative et financière et la vulgarisation sur les thèmes relatifs à la santé animale, à l'alimentation du cheptel et aux activités génératrices de revenus, etc.

1.3. Description de la théorie du changement de l'intervention du PRODAM

Nous avons suivi l'approche conceptuelle de la théorie du changement décrit dans le proposal de l'équipe de recherche d'évaluation d'impact de l'UGP. Dans cette approche pour qu'un changement dans un résultat de bien-être se produise, il doit y avoir des changements de comportement de la population cible de façon individuelle ou collective. Ce principe fait référence à la démarche d'identification de l'impact des projets sociaux, qui reconnaît explicitement les choix faits par les individus en tant que facteurs déterminants des états factuels et contrefactuels d'une intervention (Heckman *et al.*, 2006 ; Heckman et Vytlačil, 2007a et 2007b et Heckman, 2010). Selon cette approche, les changements de comportement sont déclenchés par les motivations et les incitations créées par les bénéfices attendus sur les ressources, biens et services qui sont mis à la disposition des populations par les projets sociaux à travers les activités qu'ils réalisent.

L'application de la théorie du changement à l'intervention du projet PRODAM a été faite de manière participative au cours d'un atelier de formation à laquelle nous avons participé. Cet atelier a été facilité par l'équipe de recherche de l'UGB qui a guidé les participants à élaborer la théorie du changement du projet PRODAM. En dehors du travail d'équipe, nous avons suivi la même démarche, en consultant de manière plus approfondue l'équipe du PRODAM, les populations bénéficiaires et certains partenaires du projet, ce qui nous a permis d'adapter notre théorie du changement à l'intervention du projet dans la zone sylvopastorale, objet de notre recherche. Ainsi, notre théorie du changement est décrite d'une manière générique est illustrée schématiquement dans la figure 8. Sur la figure, les boites ovales de couleurs dorées représentent des résultats de bien-être, les boites de couleur vert foncé représentent les

changements de comportement, les cercles de couleur verte et claire représentent les instruments et les boîtes carrées représentent l'Unité de Gestion Projet du PRODAM et les partenaires publics et privés agissant pour le compte du projet afin d'induire les changements de comportement individuel et communautaire souhaités. L'objectif global du PRODAM est de contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus des ménages dans la zone du Ferlo à travers l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique. Dans la figure 8, ces objectifs ultimes sont situés à la fin de la chaîne causale, à l'intérieur des boîtes ovales dorées étiquetées « résultats de bien-être au niveau individuel » et « résultats de bien-être au niveau de la communauté ». Pour que ces résultats individuels et communautaires de bien-être soient réalisés, la population cible doit adopter (utiliser) les stratégies d'adaptation au changement climatique mises à leur disposition par le PRODAM et ses partenaires. L'adoption de ces stratégies d'adaptation au changement climatique par les populations cibles dépend des incitations créées par les partenaires du PRODAM à travers (i) l'information et la sensibilisation sur l'existence des stratégies d'adaptation et la formation sur les caractéristiques des stratégies d'adaptation et (ii) l'information sur les critères d'accès à ces stratégies d'adaptation. Ainsi, les incitations ou motivations créées à travers les activités menées par le PRODAM vont amener les populations cibles à changer de comportements en adoptant les stratégies d'adaptation au changement climatique. Mais cette utilisation des ressources n'est que potentielle, comme l'indique la boîte ovale avec une ligne pointillée verte intitulée « Utilisation potentielle des stratégies d'adaptation » qui se trouve au-dessus de la boîte « utilisation actuelle des stratégies d'adaptation » et qui est directement liée à elle. En d'autres termes, il s'agit d'une demande latente des stratégies d'adaptation. C'est la combinaison de l'utilisation potentielle des stratégies d'adaptation et de leurs connaissances (après avoir été informé de leur existence) qui donne lieu à son utilisation actuelle. Cependant, la population cible ne peut pas utiliser les stratégies d'adaptation si elle n'est pas informée de leur existence ou si elle n'a pas accès à elle. D'où les boîtes ovales avec les lignes doubles vert clair intitulées « connaissance de l'existence stratégies d'adaptation » et « Accès physique aux stratégies d'adaptation ». Ces deux boîtes ovales avec des lignes doubles vertes et claires sont directement liées à la boîte ovale verte foncée « utilisation actuelle des stratégies d'adaptation » pour montrer le fait qu'elles sont des conditions de causalité nécessaires à l'utilisation actuelle des stratégies d'adaptation. La population cible est sélectionnée selon des critères sociodémographiques ou socio-économiques et est informée et sensibilisée sur l'existence des stratégies d'adaptation diffusées (ou à diffuser) par les partenaires du PRODAM grâce aux réunions, visites d'échanges, aux formations organisées au niveau village. Ces informations sont transmises par la ligne qui relie la boîte

ovale avec la ligne unique vert clair intitulée « information » à la boîte ovale double ligne vert clair « connaissance de l'existence ». L'accès de la population cible aux ressources, biens et services créés par les partenaires du projet se fait sur la base de certains critères qu'ils ont convenu d'adopter et d'intégrer dans les droits d'accès et d'utilisation des ressources communes pour chaque individu. Les informations sur les critères d'accès aux stratégies d'adaptation sont fournies aux populations cibles par les partenaires du projet à travers deux liens de causalité : le premier quitte les deux boîtes carrées intitulées « services publics » et « opérateurs privés, ONG » et arrive directement sur la boîte ovale double ligne vert clair « accès physique aux stratégies d'adaptation », le deuxième lien arrive indirectement sur la même boîte à travers la boîte ovale vert foncé intitulée « règles de comportement et droits d'accès aux stratégies d'adaptation ». Le point de départ de la chaîne causale dans la théorie du changement du PRODAM est l'ensemble des incitations créées par le PRODAM au profit de ses partenaires publics et privés sous la forme d'information et paiements monétaires en échange à la fourniture des ressources, biens et services. L'information des partenaires publics et privés sur les stratégies d'adaptation que le PRODAM a prévu de réaliser se fait à travers les avis d'appels d'offres, les appels à manifestation d'intérêts, l'atelier de lancement du projet, etc. Ce lien entre le PRODAM et ses partenaires publics et privés est matérialisé par les deux cercles vert clair « modes de paiement » et « informations ». Enfin, la réalisation des différents liens de causalité, des résultats de changements de comportements et des résultats de bien-être dans la théorie du changement du PRODAM, dépend de l'environnement extérieur qui peut influencer la mise en œuvre du PRODAM. On suppose que cet environnement extérieur, représenté par les deux cases en carré dans la partie supérieure droite du diagramme « disponibilité de ressources externes » et « conditions environnementales et socio-économiques externes », est suffisamment favorable.

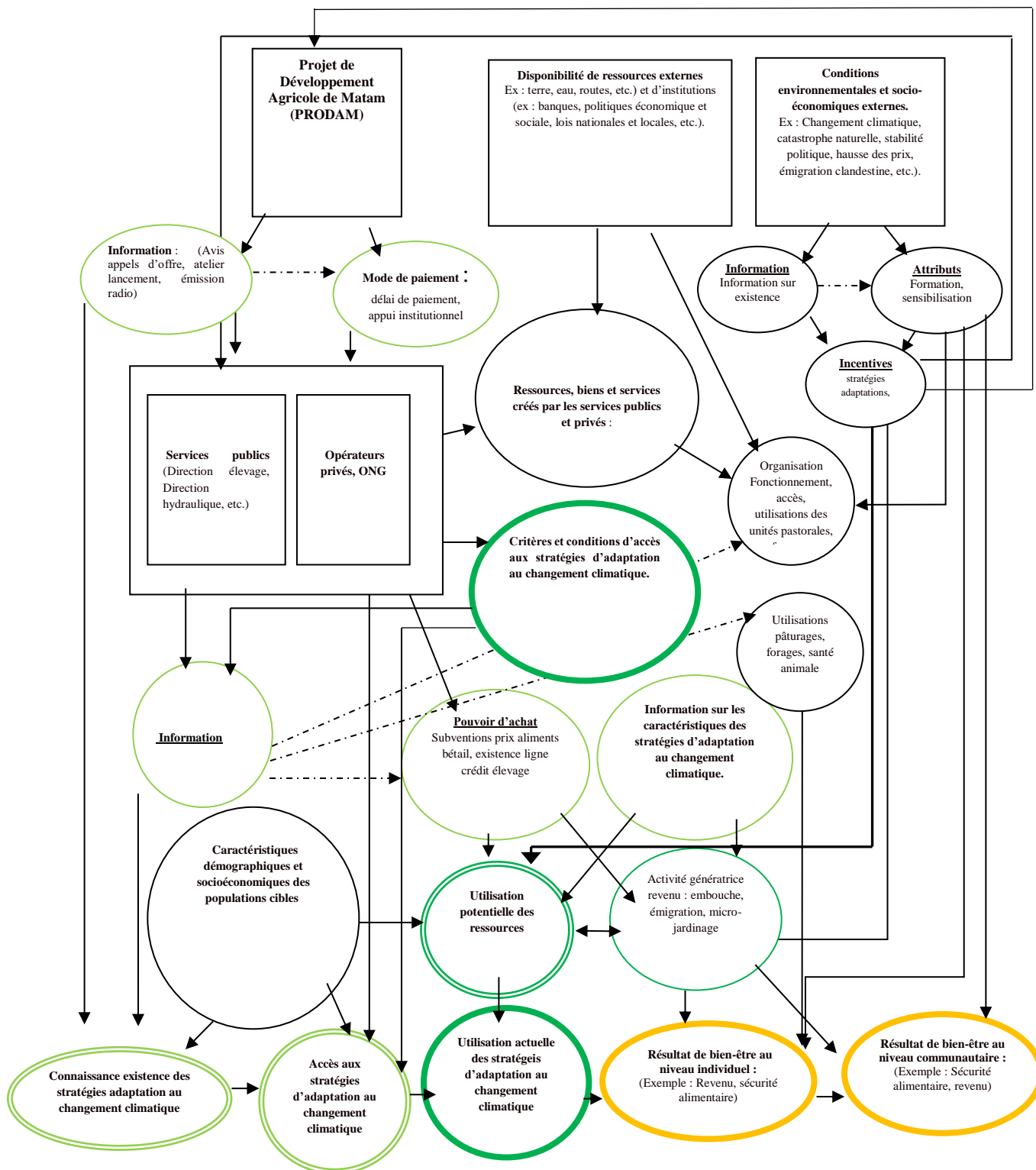


Figure 8 : Adaptation du schéma de la théorie du changement du PRODAM.

Source : Proposal de l'équipe de recherche de l'UGB

Chapitre 2 : Méthode d'estimation des taux d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et de leurs déterminants

L'évaluation d'impact est une approche particulièrement pertinente lorsque les effets des programmes de développement dépendent du comportement et des réactions humaines, qui ne peuvent être prévus mécaniquement. Pour cette raison, le premier élément important de l'évaluation d'impact d'un programme de développement est de vérifier si le changement de comportement attendu des populations bénéficiaires se produit comme prévu par le programme. De façon très simple, un changement de comportement peut correspondre à une simple utilisation par les populations bénéficiaires des ressources, biens et services mis à leurs dispositions par le programme de développement à travers ses activités de formations, sensibilisations, de construction et de fournitures des infrastructures et des équipements. Comme décrit dans la théorie du changement présenté ci-dessous, le PRODAM a mis en œuvre un ensemble d'instruments (information, sensibilisation, formation, accès aux ressources, biens et services) pour inciter et motiver les populations bénéficiaires du Ferlo à changer leur comportement, c'est-à-dire à adopter les stratégies d'adaptation au changement climatique dans le but d'améliorer leur sécurité alimentaire et leur revenu.

Ce chapitre décrit la méthode utilisée pour évaluer l'impact de la sensibilisation menée par le PRODAM sur la décision des éleveurs d'adopter les stratégies d'adaptation au changement climatique. Il commence par une description du problème de l'évaluation individuelle et des biais de sélection inhérents aux méthodes d'estimation. Ensuite, il présente la méthode d'estimation de l'effet moyen du traitement qui est utilisée ainsi que les paramètres d'estimations.

2.1. Problème de l'évaluation de l'adoption : biais de non-exposition et de sélection

L'adoption des technologies agricoles a suscité beaucoup d'intérêt dans les milieux académiques au cours de ces dernières années. Feder *et al.* (1985) définissent l'adoption au niveau individuel, comme le degré d'utilisation d'une nouvelle technologie quand l'individu dispose de toute l'information sur la nouvelle technologie et sur ses potentialités. Dimara et Skura (2003) ajoutent que le degré d'utilisation d'une nouvelle technologie peut fournir une mesure quantitative de l'étendue de l'adoption lorsque la nouvelle technologie est divisible, c'est-à-dire lorsqu'elle peut être divisée en unités mesurables. Par contre pour les technologies non divisibles, l'étendue de l'adoption individuelle est nécessairement une mesure dichotomique (utilisation ou non-utilisation ; 1 ou 0 terme quantitatif). La définition de l'adoption ci-dessus suppose que, premièrement, tous les individus de l'étude sont informés sur la nouvelle technologie et de ses potentialités, et deuxièmement, l'étude sur le taux d'adoption

est réalisée une fois que l'équilibre à long terme est atteint. Dans de telles circonstances, Dimara et Skura (2003) indiquent que le processus générateur de non-usage pour les technologies divisibles et non divisibles est un rejet manifeste de la nouvelle technologie pour tout individu disposant de toute l'information nécessaire sur la technologie dans le long terme. Sur la base de ces hypothèses susmentionnées, dans la littérature, plusieurs études utilisent des modèles de régressions Probit, Tobit ou Logit pour identifier et estimer les facteurs qui peuvent influencer la probabilité pour qu'un individu pris au hasard dans la population décide d'adopter ou non la nouvelle technologie. D'autres études calculent le taux d'adoption de la nouvelle technologie dans la population par un simple comptage de la proportion des adoptants dans la population ou par comptage de la proportion des adoptants dans la sous-population exposée (c'est-à-dire informée) à la nouvelle technologie.

Cependant, ces modèles d'estimation des déterminants et des taux d'adoption présentent des limites, car dans la pratique les hypothèses qui les sous-tendent sont très restrictives et rarement vérifiées (Dimara et Skura, 2003). La première hypothèse qui suppose que toute la population a l'information sur la nouvelle technologie est rarement vérifiée. En effet, plusieurs études empiriques ont montré qu'une bonne partie de la population ne dispose pas de l'information et le niveau de connaissance nécessaire sur les nouvelles technologies. Également, le manque d'information sur l'existence et la non-connaissance des caractéristiques des nouvelles technologies ont été cités comme les principaux obstacles à l'adoption des nouvelles technologies par les agriculteurs (Feather et Amacher, 1994 ; Saha *et al.*, 1994 ; Lohr et Salomonsson, 2000 ; Dimara et Skura, 2003 ; Lee, 2005).

La seconde hypothèse relative à l'atteinte de l'équilibre dans le long terme du processus d'adoption d'une nouvelle technologie est également rarement vérifiée. Ainsi, Dimara et Skura (2003) soulignent que l'équilibre à long terme ne peut jamais être atteint à cause du fait que les innovations se chevauchent et que la plupart des études d'adoption sont réalisées dans une période relativement courte depuis la première apparition de l'innovation, et certainement pas, une fois que l'équilibre à long terme a été atteint. De plus, à cause du fait que l'équilibre à long terme n'est pas atteint, la non-adoption peut être expliquée par le fait qu'il existe des individus qui même s'ils connaissent la nouvelle technologie, n'ont pas encore fait leur choix d'adopter ou non. Dans ce sens, la non-adoption de la nouvelle technologie peut être provoquée par le fait que les individus qui disposent d'une forte aversion au risque ou que les individus intègrent dans leur évaluation personnelle de la nouvelle technologie des anticipations futures de coûts

d'adoption plus faibles ou de profits plus élevés et donc retardent la possibilité d'exercer l'adoption (Dimara et Skura, 2003).

De plus, Diagne et Demont (2007) indiquent que lorsqu'une technologie est nouvelle et que toute la population cible n'est pas exposée à elle (c'est-à-dire n'ont pas l'information sur la nouvelle technologie), l'estimation du taux d'adoption dans la proportion par simple comptage de la proportion des adoptants dans l'échantillon donne des résultats biaisés du vrai taux d'adoption, à cause de l'existence d'un biais de non-exposition. Le biais de non-exposition résulte du fait que les individus qui ne sont exposés à la nouvelle technologie ne peuvent pas l'adopter. Cela entraîne une sous-estimation du vrai taux d'adoption dans la population. Dans le même sens, Diagne et Demont (2007) notent que le taux d'adoption parmi la sous-population exposée à la nouvelle technologie est aussi une estimation biaisée et non consistante du vrai taux d'adoption, à cause de l'existence d'un biais de sélection, dû au fait que la population la plus susceptible d'adopter la nouvelle technologie est exposée en premier. La présence du biais de sélection positive est due à deux sources. La première est liée à l'autosélection des individus à l'exposition, et justifie le fait que l'exposition est une partie du choix individuel. La seconde source résulte du fait que les individus les plus progressistes sont ciblés en premier par les services de vulgarisation des nouvelles technologiques. Il est généralement admis que les individus ciblés pour la diffusion d'une nouvelle technologie sont précisément ceux qui sont les plus engagés et les plus motivés à l'adopter (Parienté, 2008). Par conséquent, le taux d'adoption parmi la population exposée à la nouvelle technologie pourrait surestimer le vrai taux d'adoption dans la population. Pour les mêmes raisons que les biais de non-exposition et de sélection de la population, l'effet causal des déterminants de l'adoption ne peut pas être estimé de façon rigoureuse en utilisant de simples modèles d'adoption Probit, Logit ou Tobit, qui ne contrôlent pas l'exposition (Saha *et al.*, 1994 ; Dimara et Skura, 2003 ; Diagne et Demont, 2007). Pour résoudre ce problème causé par les biais de non-exposition et de sélection positive, Saha *et al.* (1994) et de Dimara et Skura (2003) ont utilisé le modèle classique de la variable latente et de correction du biais de sélection. Cependant ce modèle présente des limites comme l'ont démontré Diagne et Demont (2007), car selon eux, il ne permet pas d'estimer le taux d'adoption de la population totale, mais uniquement le taux d'adoption dans la sous-population exposée, malgré l'incorporation dans le modèle de la forme fonctionnelle plus restrictive et les hypothèses de distribution.

2.2. Méthode ATE d'estimation des taux d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et leurs déterminants

La description de l'intervention du PRODAM ci-dessus a montré que le projet a ciblé la population selon des critères pour diffuser les stratégies d'adaptation au changement climatique. Cela implique que l'information sur les stratégies d'adaptation au changement climatique n'a pas été universelle et que toute la population n'a pas été exposée à elle. Cela soulève de facto la présence de biais de non-exposition et de sélection positive qui peuvent biaiser l'estimation des vrais taux d'adoption. C'est pourquoi, pour éliminer ou réduire ces biais, nous utilisons la méthode de l'Effet Moyen du Traitement, appelée ATE : *Average Treatment Effect* dans la littérature. La méthode ATE a été développée par Diagne et Demont (2007) pour estimer sans biais et de façon consistante les taux d'adoption actuelle et potentielle ainsi que les déterminants de l'adoption des variétés du riz NERICA (New Rice of Africa) en Côte d'Ivoire. La méthode ATE de Diagne et Demont (2007) a été utilisée avec succès dans d'autres études pour estimer les taux d'adoption des innovations agricoles, notamment les variétés améliorées de riz au Sénégal (Basse, 2015 ; Diouf, 2017) ; au Nigéria (Dontsop *et al.*, 2010 ; Ojehomon *et al.*, 2012), en Gambie (Dibba *et al.*, 2012 ; Dibba *et al.*, 2015), au Bénin (Adekambi *et al.*, 2009 ; Adegbola *et al.*, 2005 ;), au Burkina Faso (Ouédraogo *et al.*, 2017) et les variétés améliorées de Niébé au Niger (Issoufou *et al.*, 2017).

2.2.1. Présentation de la Méthode ATE

- **Définition des paramètres utilisés**

Pour la définition des paramètres mobilisés, nous suivons Wooldridge (2002). Le premier paramètre est l'effet moyen du traitement, plus connu sous le nom de ATE (*Average Treatment Effect*). ATE mesure l'impact moyen d'un traitement sur une personne sélectionnée au hasard dans la population (Wooldridge, 2002). Dans le contexte de l'adoption, le traitement correspond à l'exposition à une technologie et le paramètre ATE est la mesure de la demande potentielle de la technologie dans la population si toute la population est exposée à la technologie. Le Taux d'adoption actuelle mesure la proportion des adoptants dans la population. La différence entre le taux moyen d'adoption potentielle dans la population avec le taux d'adoption actuelle (observé) correspond au biais de non-exposition, plus connu sous le nom de gap d'adoption, qui existe à cause d'une diffusion incomplète de la technologie dans la population. Un autre paramètre utilisé est l'effet moyen du traitement sur les traités, appelé ATT (*Average Treatment on Treated*). ATT mesure le taux d'adoption moyen dans la sous-population exposée à la technologie (Wooldridge, 2002). La différence entre le ATE et ATT est le biais de sélection

positive de la population, appelé PSB. Aussi, l'effet moyen du traitement dans la sous-population non traitée, est appelé ATU. ATU correspond au taux moyen d'adoption potentielle dans la sous-population non exposée à la technologie.

Dans le cas de notre étude, nous définissons le traitement comme la « connaissance de l'existence » (exposition) des stratégies d'adaptation au changement climatique. Plus précisément, nous avons les variables suivantes de traitement selon les trois stratégies d'adaptation étudiées :

- Connaissance de l'existence d'au moins d'une règle de gestion des ressources naturelles ;
- Connaissance de l'existence de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant ;
- Connaissance de l'existence de l'eau des forages pastoraux.

La variable d'adoption correspond à l'utilisation d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée. Plus précisément, nous avons les variables d'adoption suivantes selon les trois stratégies d'adaptation au changement climatique étudiées :

- Application d'au moins d'une règle de gestion des ressources naturelles ;
- Adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant ;
- Utilisation de l'eau des forages pastoraux.

La variable de traitement et la variable d'adoption sont toutes des variables binaires correspondant respectivement au statut des éleveurs (1=connaissance ; 0=non connaissance) et au statut d'adoption (1=adoption ; 0=non adoption). Dans ce cas, le traitement signifie par exemple la connaissance d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles, et l'adoption signifie l'utilisation d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles. Dans ce cas, l'effet du traitement correspond par exemple à l'estimation de l'effet ou de l'impact de la connaissance de l'existence d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles sur l'utilisation d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles ou l'effet de la connaissance de l'existence de l'eau des forages pastoraux sur l'utilisation de l'eau des forages pastoraux. Ainsi, les résultats d'adoption mesurés par les paramètres ATE, ATT et ATU, seraient respectivement, par exemple, le taux moyen d'adoption potentielle de la vaccination du cheptel dans la population totale, le taux moyen d'adoption de la vaccination parmi les éleveurs connaissant la vaccination, et le taux moyen d'adoption potentielle parmi les éleveurs qui ne connaissent pas la vaccination du cheptel.

- **Formalisation du modèle ATE**

Pour être concret, prenons l'exemple d'une stratégie d'adaptation au changement climatique, nous définissons T_i comme une variable binaire déterminant le statut de traitement, c'est-à-dire la connaissance d'une stratégie d'adaptation⁷ au changement climatique donnée. Alors $T_i = 1$ signifie que l'élèveur connaît au moins l'existence d'une stratégie d'adaptation au changement climatique, et $T_i = 0$ signifie qu'il ne connaît pas l'existence d'une stratégie d'adaptation. Soit Y_i , une variable de résultat potentielle, correspondant aux résultats d'adoption d'au moins d'une stratégie d'adaptation au changement climatique. Alors, Y_{i1} correspond au résultat d'adoption potentielle de l'élèveur i , s'il connaît au moins l'existence d'une stratégie d'adaptation au changement climatique ($T_i = 1$), et Y_{i0} correspond au résultat d'adoption au moins une stratégie d'adaptation de l'élèveur i , s'il ne connaît pas l'existence d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée ($T_i = 0$). Sur cette base, l'effet du traitement pour l'élèveur i peut être mesuré par la différence $Y_{i1} - Y_{i0}$.

Ainsi, l'impact ou l'effet de la connaissance d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée sur l'adoption d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée dans la population est donné par la valeur moyenne de $E(Y_{i1} - Y_{i0})$, qui est par définition le paramètre ATE. Malheureusement, il est impossible d'observer simultanément pour un même élèveur i , son résultat d'adoption s'il est sensibilisé sur les stratégies d'adaptation et son résultat d'adoption s'il n'est pas sensibilisé sur les stratégies d'adaptation. Si on observe son résultat d'adoption s'il est sensibilisé, alors on ne peut pas observer son résultat s'il n'est pas sensibilisé. Inversement, si on observe son résultat d'adoption s'il est sensibilisé, alors qu'en réalité, on ne peut pas observer son résultat s'il est sensibilisé.

Pour traiter ce problème, et estimer de façon consistante les paramètres de l'effet moyen du traitement, nous utilisons la stratégie d'identification développée par Diagne et Demont (2007), qui tient compte de la validité de l'hypothèse d'indépendance conditionnelle. L'hypothèse d'indépendance conditionnelle postule que le statut de traitement T est indépendant des résultats potentiels Y_{i1} et Y_{i0} conditionnellement aux vecteurs de covariables X qui influencent la connaissance de l'existence d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée T . Formellement, l'hypothèse d'indépendance conditionnelle s'écrit comme suit :

⁷ Nous utilisons le terme une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée pour faire référence aux trois stratégies d'adaptation au changement climatique sur lesquelles portent l'étude, notamment, l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du chepté bovin et petit ruminant et de l'eau des forages pastoraux.

$Y_0, Y_1 \perp T_i | X_i$ où \perp dénote l'indépendance.

En nous basant sur le modèle ATE développé par Diagne et Demont (2007), nous utilisons les estimateurs semi paramétriques et paramétriques pour estimer les paramètres ATE, ATE ET ATU.

- **Estimation semi-paramétrique**

Les équations ci-dessous sont utilisées pour donner une estimation semi-paramétrique ATE, ATT et ATU des taux d'adoption d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée dans la population, en utilisant le statut d'adoption (par exemple : $Y = 1$ ou 0 , est une variable binaire indiquant l'adoption d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée), le statut de traitement (par exemple : $T = 1$ ou 0 , est une variable binaire indiquant la connaissance d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée), et un vecteur de covariables (par exemple : $X = 1, \dots, K$, est un ensemble de variables qui influencent la connaissance d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée). En suivant Diagne et Demont (2007), les paramètres sont estimés par les équations suivantes :

$$A\hat{T}E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\hat{p}(X_i)} \dots \dots \dots (24)$$

$$A\hat{T}T = \frac{1}{n_e} \sum_{i=1}^{n_e} y_i \dots \dots \dots (25)$$

$$A\hat{T}U = \frac{1}{n - n_e} \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \hat{p}(X_i))}{\hat{p}(X_i)} y_i \dots \dots \dots (26)$$

Où $\hat{p}(X_i)$ est une estimation consistante du score de propension évaluée à X , c'est-à-dire la probabilité pour un individu de connaître une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée, conditionnellement à un ensemble de ses caractéristiques X et $n_e = \sum_{i=1}^n T_i$ est la population de l'échantillon qui connaît une stratégie d'adaptation donnée.

- **Estimation paramétrique**

L'estimation paramétrique utilise les observations de la sous-population traitée pour estimer le taux d'adoption de la population à l'aide d'un modèle paramétrique, qui peut être spécifié comme suit (Diagne et Demont, 2007) :

$$ATE(x) = E(Y|X = x, T = 1) = g(x, \beta) \dots \dots (27)$$

Où T est le statut de connaissance g une fonction non linéaire avec les covariables x et, β un paramètre inconnu qui peut être estimé par l'Estimateur de Maximum de Vraisemblance ou les Moindres Carrés Ordinaires en utilisant les données (y_i, x_i) de la sous-population des exposés uniquement avec X le vecteur des variables explicatives et Y comme variable dépendante. Lorsque les paramètres d'intérêt $\hat{\beta}$ sont estimés, les valeurs prédites sont calculées pour toutes les unités d'observations de l'échantillon (y compris les observations dans la sous-population des non-exposés). ATE est calculé en prenant la moyenne, sur l'ensemble de l'échantillon, des résultats prédits $g(x, \beta) i = 1, \dots, n$ des sous populations respectives pour ATE, ATT et ATU dans les équations suivantes par Diagne et Demont (2007).

$$A\hat{T}E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g(X_i, \hat{\beta}) \dots \dots \dots (28)$$

$$A\hat{T}T = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n T_i g(X_i, \hat{\beta}) \dots \dots \dots (29)$$

$$A\hat{T}U = \frac{1}{n-n_1} \sum_{i=1}^n (1 - T_i) g(X_i, \hat{\beta}) \dots \dots \dots (30)$$

Où n est la taille totale de l'échantillon et n_1 est le nombre d'élèves connaissant une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée.

- **Choix des vecteurs de covariables à inclure dans le modèle**

Il s'agit des variables X_i qui peuvent influencer la connaissance et l'adoption d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée. Selon Heckman et Vytlacil (2005), les vecteurs de covariables X_i qui influencent la connaissance et l'adoption peuvent contenir les mêmes variables et qu'ils peuvent être tous endogènes pour identifier l'effet causal de la connaissance d'une stratégie d'adaptation sur l'adoption d'une stratégie d'adaptation donnée. Ils ajoutent que l'unique exigence des variables à inclure dans les vecteurs de covariables X_i est que leurs valeurs doivent rester inchangées pour n'importe quel individu si son statut de connaissance change de la connaissance à la non-connaissance d'une stratégie d'adaptation au changement climatique donnée. Ce qui vaut dire que $X_1 = X_0$ si T_i change de $T_i = 0$ à $T_i = 1$. Selon Diagne et Demont (2007), les variables explicatives qui satisfont à cette condition sont les variables dont les valeurs sont déterminées préalablement à l'adoption et restent constantes avec l'adoption, et c'est pour cette raison qu'elles sont appelées variables de prétraitement dans la littérature. Les caractéristiques socio-économiques et démographiques des ménages satisfont à cette condition. C'est pour cette raison que nous utilisons les variables explicatives suivantes

à la fois pour les vecteurs de covariables X_i : l'âge du chef de ménage, la taille du ménage, l'alphabétisation du chef de ménage, l'habitat du chef de ménage, la possession d'un téléphone portable, la taille du cheptel, la superficie agricole, l'accès aux boutiques, l'accès aux marchés.

L'âge peut influencer positivement ou négativement l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique. Les personnes plus âgées ont des méthodes traditionnelles, ce qui peut influencer négativement l'adoption des nouvelles méthodes d'adaptation au changement climatique. Contrairement, les jeunes sont plus ouverts aux nouvelles innovations, ce qui peut influencer positivement l'adoption. Par conséquent, l'effet de l'âge sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique peut être positif ou négatif. La taille du ménage peut servir d'indicateur proxy sur la disponibilité de la main-d'œuvre, mais aussi la demande en consommation en produits alimentaires du ménage. Dans la plupart des ménages pastoraux sénégalais, le lait est une source de protéine. Dans ce sens, la taille du ménage peut affecter positivement l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique pour améliorer la production agricole et animale. Dans un autre sens, plus la taille du ménage est grande, plus le ménage a la possibilité d'adopter des stratégies d'adaptation pour diversifier ses sources de revenus et, par conséquent, il est moins exposé aux risques, ce qui peut affecter positivement, sa décision d'adopter une stratégie d'adaptation. Ainsi, l'effet attendu de la taille du ménage sur l'adoption des stratégies d'adaptation est positif. L'alphabétisation du chef de ménage permet d'augmenter l'habileté d'une personne à acquérir, analyser et utiliser une information, une technologie. Par conséquent, l'alphabétisation peut augmenter les chances d'adopter des stratégies d'adaptation au changement climatique. Ainsi, il est attendu un signe positif de l'alphabétisation sur l'adoption. La variable téléphone portable est un indicateur proxy de l'accès à l'information avec lequel il est attendu une influence positive sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique. Car on ne peut pas adopter ce que l'on ne connaît pas. L'habitat en béton est utilisé comme indicateur proxy de la pratique de l'élevage sédentaire. En effet, l'éleveur sédentaire a plus de chance d'être sensibilisé sur les stratégies d'adaptation. Par conséquent, il est attendu de cette variable qu'elle influence positivement l'adoption. L'accès à une boutique est un indicateur proxy du contact avec les autres éleveurs et les partenaires au développement. En effet, dans la zone sylvopastorale du Ferlo, les rares boutiques existantes sont implantées à côté des forages pastoraux, parcs à vaccination. Ces derniers constituent le point de rencontre des éleveurs pour l'abreuvement et la vaccination ainsi que les lieux de réunions avec les agents de vulgarisation. Par conséquent, il est attendu qu'un éleveur qui a accès aux boutiques aura plus de chance de

participer aux réunions et par conséquent, d'être sensibilisé sur les stratégies d'adaptation et ainsi de les adopter. Le marché peut influencer négativement l'adoption des stratégies d'adaptation, car dans la zone les éleveurs qui participent le plus aux marchés ont moins de chance pour participer aux réunions d'information et de sensibilisation sur les stratégies d'adaptation. La taille du cheptel et la taille de la superficie peuvent influencer positivement l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique, car plus l'éleveur est exposé au risque climatique, plus il est motivé à adopter des stratégies d'adaptation pour faire face au risque.

Chapitre 3 : Méthode d'estimation de l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages

Cette partie présente la stratégie utilisée pour identifier et estimer l'impact des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages pastoraux de la zone du Ferlo.

3.1. Choix de la méthode de la variable instrumentale

Le choix est porté sur la méthode de la variable instrumentale, comme stratégie d'identification et d'estimation de l'impact. Le choix de cette méthode est justifié par le fait que l'intervention du projet PRODAM dans la zone du Ferlo est type non aléatoire (ciblage des villages et des ménages selon des critères) et endogène (les ménages choisissent librement de participer ou non au projet). Cette stratégie d'intervention du PRODAM a été mentionnée dans le document d'identification du projet et les rapports d'activités et confirmée par les agents du projet et les populations bénéficiaires au cours des rencontres d'échanges. L'endogénéité de l'intervention traduit une auto-sélection des ménages bénéficiaires de l'intervention du projet et implique la présence de facteurs à la fois observables et non observables qui justifient le choix fait par ces ménages, qui se basent sur les bénéfices escomptés, les risques potentiels et les informations dont ils disposent. En présence d'auto-sélection (facteurs non observables), qualifiée d'hétérogénéité essentielle, Heckman *et al.* (2006) et Heckman (2010) préconise l'utilisation de la méthode de la variable instrumentale qui permet de contrôler le biais de sélection, d'identifier et d'estimer de façon consistante l'impact. La pertinence de la méthode de la variable instrumentale est qu'à partir d'instruments exogènes mis en œuvre par une intervention de développement, elle permet d'isoler et d'estimer de manière rigoureuse l'impact d'un projet ou d'une politique ou d'un programme donné.

La méthode de la variable instrumentale permet d'identifier et d'estimer le paramètre LATE qui mesure l'impact moyen sur un résultat donné dans la sous-population d'individus

induits à changer leurs comportements par le changement d'état des instruments mis en œuvre par un projet ou une politique de développement (Abadie, 2003 ; Imbens, 2014).

3.1.2. Spécification du modèle de la variable instrumentale locale

La spécification du modèle de la variable instrumentale est basée sur : (i) le choix des variables d'instruments et la vérification de la validité des hypothèses qui les sous-tendent ; (ii) le choix des variables traitement ; (iii) le choix et la justification des variables explicatives du modèle ; (iv) le choix des estimateurs du modèle et des paramètres à estimer pour identifier l'impact ; (v) la justification de la validité interne et externe de l'impact.

3.1.2.1. Choix de l'instrument

La description de la théorie du changement de l'intervention a montré que le PRODAM a principalement utilisé la sensibilisation sur les stratégies d'adaptation au changement climatique comme instrument pour induire un changement de comportement des populations. C'est pourquoi nous choisissons comme variable instrumentale la « **connaissance de l'existence** » des stratégies d'adaptation au changement climatique. En plus, dans la littérature, la connaissance c'est-à-dire, l'information est largement préconisée comme un préalable à tous processus de diffusion et d'adoption d'une innovation, car sans la connaissance de l'existence d'une innovation, il est impossible de l'utiliser. Le manque de connaissance de l'existence des innovations est un obstacle majeur à l'adoption des innovations (Feather et Amacher, 1994 ; Saha *et al.*, 1994 ; Lohr et Salomonsson, 2000 ; Dimara et Skura, 2003 ; Lee, 2005 ; Diagne, 2006).

De façon pratique, pour les trois stratégies d'adaptation au changement climatique évaluées, nous avons défini pour chacune une variable instrumentale : (i) connaissance d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles ; (ii) Connaissance de l'existence de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant ; (iii) Connaissance de l'existence de l'eau des forages. Ainsi, pour chacune des trois stratégies d'adaptation au changement climatique donnée, nous définissons Z_i comme variable instrumentale binaire pour chaque éleveur. $Z_i = 1$, si l'éleveur connaît l'existence des stratégies d'adaptation et $Z_i = 0$ si l'éleveur ne connaît pas l'existence des stratégies d'adaptation donnée. Plus précisément, pour chaque éleveur i de notre échantillon, nous avons deux résultats potentiels de la variable instrumentale :

- Z_i : Connaissance de l'existence d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles : $Z_i = 1$: si l'éleveur connaît au moins une règle de gestion des ressources naturelles (c'est-à-dire que l'éleveur a été informé et sensibilisé sur au moins une règle

de gestion des ressources naturelles) et $Z_i = 0$ si l'éleveur ne connaît pas au moins une règle de gestion des ressources naturelles (c'est-à-dire que l'éleveur n'a pas été informé et sensibilisé sur au moins une règle de gestion des ressources naturelles).

- Z_i : Connaissance de l'existence de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant : $Z_i = 1$: si l'éleveur connaît l'existence de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant (c'est-à-dire que l'éleveur a été informé et sensibilisé sur la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant) et $Z_i = 0$ si l'éleveur ne connaît pas l'existence de la vaccination (c'est-à-dire que l'éleveur n'a pas été informé et sensibilisé sur la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant).
- Z_i : Connaissance de l'existence de l'eau des forages : $Z_i = 1$: si l'éleveur connaît l'existence de l'eau des forages (c'est-à-dire que l'éleveur a été informé et sensibilisé sur l'utilisation de l'eau des forages) et $Z_i = 0$ si l'éleveur ne connaît pas l'existence de l'eau des forages (c'est-à-dire que l'éleveur n'a pas été informé et sensibilisé sur l'existence de l'eau des forages).

En suivant la même démarche que celle développée dans le proposal de l'équipe de recherche de l'UGB, nous avons démontré que l'instrument que nous avons choisi « connaissance de l'existence » a satisfait aux conditions requises pour qu'un instrument soit valable notamment la pertinence, la restriction d'exclusion et la monotonie (Voir Proposal évaluation impact PRODAM II Extension). Prenons par exemple, comme instrument « la connaissance de l'existence d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles ». Premièrement, elle satisfait la condition de pertinence parce que, la connaissance d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles est une condition nécessaire pour son utilisation. Deuxièmement, la connaissance de l'existence d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles satisfait la condition de restriction de l'exclusion, parce que si les ménages n'appliquent pas les règles de gestion des ressources naturelles qu'ils connaissent, ces règles de gestion des ressources naturelles ne peuvent avoir aucun effet sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages qu'elles sont censées influencer. Autrement dit, la connaissance de l'existence d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles affecte la sécurité alimentaire et le revenu des ménages qu'à travers l'application des règles de gestion des ressources naturelles. Troisièmement, la connaissance au moins une règle de gestion des ressources naturelles satisfait à la condition de monotonie, car la connaissance au moins d'une règle de gestion des ressources naturelles est nécessaire pour son utilisation et l'on peut utiliser une règle de gestion si on lui fournit toute l'information nécessaire sur cette règle de

gestion (c'est comme dans le cas d'une conformité unilatérale). Enfin, la connaissance de l'existence d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles satisfait aussi l'hypothèse d'indépendance conditionnelle. Ces exemples s'appliquent également aux deux autres instruments « connaissance de l'existence de la vaccination » et « connaissance de l'existence de l'eau des forages ».

3.1.2.2. Choix des variables et paramètre et estimateur.

L'adoption d'une stratégie d'adaptation au changement climatique par un individu donné correspond à son utilisation. De façon concrète, nous avons trois variables d'adoption, correspondant chacune à une stratégie d'adaptation au changement climatique étudiée, que sont :

- Adoption d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles, c'est-à-dire l'application d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles ;
- Adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant, c'est-à-dire l'éleveur vaccine du cheptel bovin et petit ruminant ;
- Adoption de l'abreuvement du cheptel à l'eau des forages pastoraux, c'est-à-dire l'éleveur utilise l'eau des forages pastoraux pour abreuver son cheptel.

Nous utilisons le cadre de résultats potentiels de Rubin (1974), où chaque éleveur a deux résultats d'adoption potentiels en fonction de son statut de connaissance ou non-connaissance de l'existence des stratégies d'adaptation au changement climatique. Nous définissons T_{iz} correspondant au résultat potentiel d'adoption d'un éleveur i de notre échantillon, selon son statut de connaissance des stratégies d'adaptation au changement climatique. Parmi nos stratégies d'adaptation au changement climatique, prenons encore l'exemple des règles de gestion des ressources naturelles. Soit T_{iz} représentant les résultats d'adoption potentiels d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles, étant donné qu'un instrument binaire z prend la valeur 1 lorsqu'un éleveur connaît au moins une règle de gestion des ressources naturelles et 0 s'il ne connaît pas au moins une règle de gestion des ressources naturelles autrement. Par conséquent, nous avons deux variables d'adoption $T_1 = 1$ et $T_0 = 0$ qui signifient respectivement qu'un individu particulier adopte au moins une règle de gestion des ressources naturelles s'il connaît au moins une règle de gestion des ressources naturelles, mais n'adopte pas au moins une règle de gestion des ressources naturelles s'il ne connaît pas au moins une règle de gestion des ressources naturelles. Dans ce cas, le résultat d'adoption observé est donné par $T = zT_1 + (1 - z)T_0$. Puisqu'il n'est pas possible d'adopter au moins une règle

de gestion des ressources naturelles sans la connaître, alors $T_0 = 0$ pour tous les éleveurs et ensuite le résultat d'adoption observé peut être simplifié $T = zT_1$. L'adoption potentielle dans la sous population des éleveurs qui connaissent au moins une règle de gestion des ressources naturelles est donnée par $T_1 = 1$ et celle des adoptants actuels est donnée par $D = 1$. Avec les variables de traitement potentielles $T_1 = 1$ et $T_0 = 0$, nous suivons Imbens et Angrist (1994), qui divisent la population en quatre groupes en fonction de leur statut de conformité au traitement : les obéissants (ceux avec $T_1 = 1$ et $T_0 = 1$), les toujours preneurs (ceux avec $T_1 = T_0 = 1$), les jamais preneurs (ceux avec $T_1 = T_0 = 0$) et les défaillants (ceux avec $T_1 = 0$ et $T_0 = 1$). Les vecteurs de covariables choisis sont les mêmes que ceux décrits dans le chapitre 2 portant sur l'estimation des taux d'adoption.

Le paramètre estimé est le LATE de Imbens et Angrist (1994) et l'estimateur choisi est le LARF d'Abadie (2003). Le choix du LARF est justifié par le fait qu'il repose sur l'hypothèse selon laquelle, la variable instrumentale n'est pas distribuée aléatoirement dans la population et est indépendante des résultats potentiels. Pour rappel les équations 22 et 23 de la page 60 sont utilisées pour estimer le LATE à partir du LARF

3.2. Choix des variables de résultats et méthodes de calcul

Les indicateurs de résultats mesurés par l'étude sont la sécurité alimentaire et les revenus des ménages.

Pour mesurer la sécurité alimentaire, la variable de résultat utilisée est le score de consommation alimentaire des ménages. Tandis que pour le revenu, la variable de résultat est le revenu annuel global du ménage. Le Score de Consommation alimentaire a été développé par le Programme alimentaire Mondial (PAM, 2008) et est considéré comme un indicateur robuste de la situation de sécurité alimentaire des ménages, parce qu'il prend en compte les trois dimensions phares de la sécurité alimentaire : disponibilité alimentaire, accès à l'alimentation et utilisation des aliments. Pour calculer le score de consommation alimentaire des ménages, le PAM a regroupé en huit catégories alimentaires, les différents aliments consommés dans chaque ménage (tableau 1) : céréales/tubercules, légumineuses, légumes, fruits, viande/poisson, lait, sucre et huile. Chaque catégorie d'aliments reçoit un poids basé sur la teneur en éléments nutritifs de cette catégorie. Les fréquences de consommation alimentaire sont déterminées en considérant le nombre de jours pour lesquels chaque groupe alimentaire a été consommé dans un ménage pendant une période d'une semaine. L'équation suivante est utilisée pour générer le score de consommation alimentaire :

$$\text{Score de consommation alimentaire} : Y_i = \sum_{i=1}^n a_i X_i \dots \dots \dots (32)$$

n = nombre total de catégories alimentaires ;

a_i = Nombre de jours de consommation de chaque catégorie d'aliment dans la semaine ;

X_i = Poids de chaque catégorie d'aliments.

Tableau 1 : Catégorie d'aliments et pondération.

Catégories aliments	Pondération	Justification
Céréales et tubercules	2	Riche en énergie, consommés en grande quantité, mais pauvre en protéine par rapport aux légumineuses.
Légumineuses	3	Fournissent une grande quantité d'énergie et protéine. Apportent des nutriments et peu de matières grasses.
Légumes	1	Pauvres en énergie, protéine et matières grasses, mais riches en nutriments.
Fruits	1	Pauvres en énergie, protéine et matières grasses, mais riches en nutriments.
Viande et poisson	4	Riches en protéines, énergie et matières grasses. Fournissement des nutriments.
Lait	4	Apporte de l'énergie, protéine, vitamine A.
Sucre	0,5	Habituellement consommé en petite quantité et par conséquent apporte une faible quantité de protéine.
Huile	0,5	Apporte beaucoup d'énergie, mais ne contient pas de nutriment et consommé en petite quantité.

Source : Programme Alimentaire Mondial (2008)

Ainsi, un ménage qui consomme tous les groupes alimentaires quotidiennement aura un score de consommation alimentaire de 112, tandis qu'un ménage qui ne consommera aucun des groupes alimentaires obtiendra un score de 0. Les ménages ayant un score de consommation alimentaire inférieur à 21 sont classés en situation d'insécurité alimentaire sévère ; entre 21 et 35 sont considérés comme ayant une sécurité alimentaire limitée ; entre 35 et 77 en sécurité alimentaire modérée ; et au-dessus de 77 en sécurité alimentaire. Un score inférieur à 21 est utilisé pour identifier les ménages qui sont en situation de sécurité alimentaire sévère indiquant que ces ménages ne sont même pas en mesure de sécuriser leurs consommations céréalières et légumières au quotidien. Les ménages en sécurité alimentaire sont ceux ayant un score de consommation alimentaire supérieur à 77 et qui peuvent consommer toutes les catégories d'aliments au quotidien.

Pour calculer le revenu, nous avons considéré le revenu global monétaire annuel des ménages. Il s'agit du revenu brut annuel du ménage, en raison de la complexité de la mesure de revenu. Pour ce calcul de revenu, nous avons demandé à chaque ménage de lister les différentes

sources de revenus et pour chaque source d'estimer le revenu annuel obtenu par le ménage. Pour estimer le revenu global annuel du ménage, l'équation suivante a été posée :

$$Y_i = \sum y_{i,k} \dots\dots(33)$$

Où Y_i = Revenu global d'un ménage donnée $i=1, \dots, n$; $y_{i,k}$ = Le revenu annuel par source de revenus

Chapitre 4 : Méthode d'échantillonnage, collecte et traitement des données

Ce chapitre présente la méthodologie utilisée par l'étude pour définir l'échantillonnage, collecter et traiter les données obtenues sur le terrain. Les contraintes rencontrées au cours des enquêtes de terrain sont également indiquées.

4.1. Plan de sondage et calcul de l'échantillon

La méthode d'échantillonnage utilisée ici est celle développée en collaboration avec l'équipe de recherche de l'Université Gaston Berger de Saint Louis, dans le cadre de la mission d'évaluation d'impact du PRODAM. Notre apport a porté sur la collecte de données sur les villages bénéficiaires, des villages non bénéficiaires des UP et sur les revenus agricoles et non agricoles des ménages dans la région de Matam. Ces données ont été obtenues au niveau du PRODAM, du PADAER (Projet d'Appui au Développement Agricole et à l'Entrepreneuriat Rural) et du PAM (Programme Alimentaire Mondial). Entre, 1995 et 2010, le PRODAM a réalisé 16 UP dans la zone sylvopastorale du Ferlo de la région de Matam. Ces UP couvrent 158 villages avec en moyenne 10 villages par UP. Au total, il ya 2 685 ménages bénéficiaires qui sont des membres actifs des UP avec en moyenne 17 ménages par village. En 2015, avant le démarrage de ses activités dans le Ferlo de Matam, le PADAER a recensé environ 100 villages qui ne sont pas couverts par les UP existantes. Aussi, en 2013, pour évaluer la situation de la sécurité alimentaire au Sénégal, le PAM a réalisé une enquête nationale sur un échantillon de 8500, dont 746 ménages dans la région de Matam.

Le plan de sondage et le calcul de la taille de l'échantillon ont été réalisés par l'équipe de recherche. Le plan de sondage décrit dans le proposal a été construit en suivant les étapes suivantes :

- Étape 1 : Stratifier les villages dans le Ferlo en deux groupes : les villages couverts par les UP créées et appuyées par le PRODAM (16 au total) et le reste des villages en dehors des UP.
- Étape 2 : Choisir au hasard le nombre minimum n_{UP} d'UP parmi les 16 UP de sorte à rendre l'échantillonnage en grappes avec le village comme grappe faisable.

- Étape 3 : Choisir au hasard un nombre n_{UP}^v de villages à l'intérieur de chaque UP sélectionnée de sorte à avoir $n_{UP} \times n_{UP}^v$ villages UP sélectionnés.
- Étape 4 : Choisir au hasard $n_{NUP} \times n_{NUP}^v$ villages dans le groupe de villages non-UP. Les villages non-UP seront sélectionnés relativement loin du groupe des villages UP.
- Étape 5 : Sélectionner au hasard un nombre n_{mvf} de ménages à l'intérieur de chaque village sélectionné. Donc, le nombre total de ménages dans l'échantillon du Ferlo sera égale à $2 \times n_{UP} \times n_{UP}^v \times n_{mvf}$ dans chaque groupe de villages UP et non-UP.

Le plan de sondage a consisté en un échantillonnage des villages UP (bénéficiaires des UP réalisées par le PRODAM) et non UP (non bénéficiaires) tiré séparément pour chaque groupe, en utilisant un échantillonnage avec stratification à deux degrés avec le choix des villages comme grappes au premier degré et le ménage au second degré. Cependant, il a été noté que le nombre fixe et petit de grappes traitées (c'est-à-dire les villages UP) limite la flexibilité avec laquelle l'on peut déterminer les tailles minimums requises des échantillons. Ensuite, il a été réalisé les combinaisons alternatives raisonnables des nombre et taille des grappes en dessous des valeurs minimums déterminées ci-dessus qui nous donnent un minimum d'effet détectable relatif avec une puissance statistique de 80 % et un niveau de signifiante de 5 %. Ainsi, l'analyse de faisabilité du plan de sondage et la détermination de la taille minimum de l'échantillon ont conduit à échantillonner au hasard 8 des 16 UP appuyés par le PRODAM et 2 villages (les grappes traitées) dans chaque UP sélectionnée. Donc 16 villages ont été sélectionnés au hasard parmi les villages des UP appuyés par le PRODAM et 16 autres villages en dehors des UP. Ensuite, dix (10) ménages sont choisis au hasard dans chaque village sélectionné. Avec une provision de 10 % de taux de refus ou d'abandon, ces choix vont conduire à un total de 352 ménages pour constituer l'échantillon du Ferlo (176 ménages de chaque groupe de traités et de non-traités). Les effets minimums détectables découlant de ces choix pour la taille de l'échantillon sont de 10 % pour le revenu tiré de l'élevage, 14 % pour le revenu agricole et le revenu tiré de cultures vivrières et 7 % pour le revenu total du ménage.

Le tableau 2 présente la répartition des ménages et villages.

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon selon les communes

Départements	Communes	Villages enquêtés	Types de villages ⁸	Nombre de ménages enquêtés
Matam	Ogo	Dendoudi, Lambago	Bénéficiaires UP	22
Kanel	Wouro Sidy	Madina Torobé Foumi Hara Diobé Malandou, Fété Bowé Fété Fowrou, Lora	Bénéficiaires UP	66
	Oudallaye	Loumboul Samba Abdoul Tékinguel, Fourdou Péthiel, Lougé Gnibi Boula	Bénéficiaires UP	66
Ranérou	Ranérou	Ranérou, Hodioldou Mbackédji Samba Niaky Mbackédji Alpha Ndioloyel Wouro Ousmane Niarwel		22
	Vélingara Ferlo	Wendou Guéloki Wendou Kolé Wendou Sembane Bélel Kodioly Wendou Niargo, Kahé Dioly Kadié Wendou Diamy, Douré Wabindou, Walindawa	Non bénéficiaires UP	163
Total	5	16		339

4.1.2. Organisation de la collecte et conduite des enquêtes sur le terrain

L'organisation des enquêtes sur le terrain a démarré par l'élaboration des outils de collecte des données. Il s'agit d'un questionnaire et d'un guide d'entretien pour la collecte de données quantitatives et qualitatives. Le questionnaire et le guide d'entretien ont été testés dans quatre villages pour apprécier la pertinence, la cohérence des questions posées et estimer la durée de l'enquête. Ce test nous a permis de corriger et de réajuster les incohérences sur le questionnaire et le guide d'entretien afin d'avoir une version définitive. Parallèlement à ce test quatre (4) enquêteurs ont été recrutés et formés sur l'utilisation du questionnaire et du guide d'entretien. Ils ont été également sensibilisés sur le respect des réalités socioculturelles, la prise en compte

⁸ Le type de village renvoie aux : (i) villages bénéficiaires des UP (unités pastorales) où les stratégies d'adaptation au changement climatique ont été diffusées par le PRODAM ; (ii) villages non bénéficiaires UP, sont les villages où les stratégies d'adaptation au changement climatique n'ont pas été diffusées.

des questions d'éthiques et de genre. Les enquêteurs disposent tous d'une expérience de plus de 20 ans dans la conduite d'enquêtes de terrain et parlent la langue Peulh, qui est la plus utilisée dans la zone d'étude.

Les enquêtes ont été organisées en deux phases. La première phase a consisté à la collecte des données qualitatives par focus group. Au total 32 focus group ont été tenus au niveau de l'ensemble des villages de l'échantillon. Dans chaque village, le focus group a réuni, en présence du Chef de villages et des notables religieux, l'ensemble des couches de la société villageoise, notamment, les chefs de ménages, les femmes, les jeunes et les vieux. Les focus group ont été réalisés à l'aide d'un guide d'entretien, qui est structuré en trois thématiques : (i) la disponibilité et l'accès aux infrastructures communautaires au niveau village ; (ii) l'existence d'organisations villageoises ou intervillageoises ; (iii) la perception sur le changement climatique et les stratégies diffusées. La deuxième phase de l'enquête a porté sur la collecte des données quantitatives. Elle a consisté à la collecte de données auprès de 339 ménages à l'aide d'un questionnaire. Le questionnaire a été structuré en dix (10) parties: (i) caractéristiques du chef de ménage et la composition du ménage ; (ii) l'habitat, l'hygiène et l'assainissement du ménage ; (iii) inventaire des équipements du ménage ; (iv) les activités d'élevage ; (v) les activités agricoles ; (vi) la connaissance des stratégies d'adaptation au changement climatique ; (vii) l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique ; (viii) les sources de revenus agro-sylvo-pastorales et non agro-sylvo-pastorales (ix) les consommations alimentaires et (x) les dépenses alimentaires et non alimentaires. Le questionnaire a été administré aux chefs de ménage. Certains membres des ménages ont été sollicités pour répondre à certaines questions spécifiques. La base de données collectées par le focus group et le questionnaire à cette étape a englobé des informations permettant de répondre aux quatre objectifs spécifiques de l'étude. Des missions de suivi et de supervisions de terrain ainsi que des échanges téléphoniques ont été menés pour appuyer les enquêteurs afin de s'assurer de la qualité des données collectées. Au cours de ces missions, des ajustements nécessaires ont été apportés. Cependant, des contraintes ont été rencontrées lors des enquêtes de terrain. Il s'agit des difficultés de déplacements et de l'enclavement et de la forte dispersion de certains villages du Ferlo. Il faut aussi souligner des problèmes de réseaux téléphoniques (souvent absents dans beaucoup de villages du Ferlo).

4.1.3. Méthode et outils d'analyse des données

L'étude utilise les méthodes statistiques et économétriques pour analyser les données collectées. Les méthodes statistiques usuelles telles que les statistiques descriptives sont utilisées pour analyser les données relatives aux caractéristiques socio-économiques et démographiques des villages et des ménages. Des tests statistiques de comparaison de moyenne de différences des variables sur les caractéristiques socio-économiques et démographiques ont été réalisés entre les villages et les ménages où les stratégies d'adaptation au changement climatique ont été diffusées, ainsi que dans les villages et ménages où ces stratégies n'ont pas été diffusées. Des modèles économétriques ont été utilisés pour d'une part estimer les taux d'adoption et les déterminants de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique, et d'autre pour identifier et estimer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages.

Le logiciel CSPRO a été utilisé pour la saisie des données collectées. Ces données ont été ensuite exportées vers le STATA SE 14 pour l'apurement, l'analyse statistique et économétrique. La commande *ttest* du logiciel STATA a été utilisée pour faire les tests statistiques de différences de moyennes. Pour les analyses économétriques, les commandes *adoption* et *impact* développées par Diagne (2015) dans le manuel méthodologique d'évaluation d'impact, ont été utilisées pour estimer les taux d'adoption et l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique.

Conclusion partielle

La deuxième partie de l'étude a permis d'abord de bien circonscrire la zone sylvopastorale du Ferlo dans son ensemble et le Ferlo de la région de Matam, en particulier, en insistant sur la prédominance de l'élevage pastoral et sa vulnérabilité au changement climatique. Ensuite, elle a permis de rappeler le contexte et la justification de l'intervention du PRODAM avant de décrire sa stratégie de mise en œuvre, qui est axée sur un partenariat avec les communautés locales et une intervention ciblée, portant sur la mise à la disposition des ressources, biens et services pour renforcer les capacités d'adaptation au changement climatique des ménages. Elle retrace aussi la théorie du changement qui sous-tend l'intervention du PRODAM dans la diffusion des stratégies d'adaptation au changement climatique, pour faciliter l'adoption de ces stratégies d'adaptation par les éleveurs, dans le but d'améliorer leur sécurité alimentaire et leur revenu. Cela a permis de comprendre la nature de l'intervention du PRODAM, justifiant ainsi le choix des méthodes utilisées pour estimer les taux d'adoption et l'impact sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. La méthode ATE a été utilisée pour estimer l'effet causal de la connaissance sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique ainsi que leurs déterminants. Les paramètres estimés sont ATE, ATT et ATU. La méthode de la variable instrumentale locale est utilisée avec comme instrument la connaissance de l'existence, pour estimer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. Le paramètre estimé est le LATE, qui mesure l'impact moyen dans la sous-population induit à changer leur comportement par le changement d'état de l'instrument. Enfin, les méthodes d'échantillonnage, de collecte et celle d'analyse des données ont été présentées.

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Cette partie présente les résultats obtenus et la discussion. Les résultats de l'analyse statistique descriptive des caractéristiques socio-économiques et démographiques des ménages et des villages sont présentés en premier. Deuxièmement, les résultats de l'estimation des taux d'adoption actuelle et potentielle et des déterminants de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination et de l'eau des forages sont présentés. Troisièmement, une présentation des résultats de l'évaluation de l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel et de l'eau des forages sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages est faite. Enfin les résultats sont discutés.

Chapitre 1 : Analyse descriptive des villages et des ménages

Introduction

Ce Chapitre présente les résultats de l'analyse statistique descriptive des caractéristiques socio-économiques et démographiques au niveau village et ménage. Il s'agit d'une comparaison de moyennes sur les variables observées entre des villages et ménages selon leur appartenance aux Unités Pastorales.

1.1. Accès aux infrastructures sociales de base au niveau village

1.1.1. Accès aux routes, écoles et structures de santé

Les résultats du tableau 3 montrent que les villages sont distants en moyenne de 54,09 km de la piste latéritique la plus proche avec un écart type de 44,21. Les villages non UP sont situés en moyenne à 90,94 km de la piste latéritique contre 14,93 km pour les villages UP. En moyenne, 54,54 % des villages disposent d'une école primaire, mais des disparités existent entre les villages. En effet, dans les villages non PRODAM, seuls 11,76 % disposent d'une école et 88,24 % qui n'en disposent pas. Tandis que tous les villages PRODAM disposent d'une école. Pour l'ensemble des villages, la distance moyenne d'accès à une école primaire se situe à 11,51 km, avec 18,05 km pour les villages non UP et 6,25 km pour les villages UP. Les collèges se situent respectivement à 87,35 km et 27,81 km par rapport aux villages non UP et villages UP et à 58,48 km pour l'ensemble. Par rapport à l'accès au lycée, l'ensemble des villages se situe à 65,72 km du lycée le plus proches, avec 96,17 km pour les villages non UP PRODAM contre 33,37 km pour les villages UP. Dans le volet santé, seuls 21,20 % des villages disposent d'une structure de santé et sont tous des villages UP. Ainsi, dans les villages non UP, la distance moyenne d'accès à une case de santé se situe à 22,42 km. Par rapport aux postes de santé, la distance moyenne d'accès est de 49,24 km pour l'ensemble des villages avec 76,62 km pour les villages non UP contre 20,62 km pour les villages UP. De plus, les centres de santé les

plus proches se situent à 65,78 km pour l'ensemble, soit 97,35 km pour les villages non UP et 32,25 km pour les villages UP. La distance moyenne des villages aux marchés, boutiques et mutuelles d'épargne et de crédit se situe respectivement à 42,45 km, 8,24 km et 72 km.

Tableau 3 : Disponibilité et accessibilité aux routes et infrastructures.

Caractéristiques	Villages Non UP	Villages UP	Total	Différence de test ⁹
Routes				
Distance accès à la piste latéritique la proche (km)	90,94 (11,18)	14,93 (18,14)	54,09 (41,28)	-76,00***
Disponibilité école dans le village (%)				
Oui	11,76 (33,21)	100	54,54 (50,56)	88,23***
Non	88,23 (33,21)	6,25 (25,00)	48,48 (50,75)	-81,98***
Distance accès à l'école la plus proche (km)				
École primaire	18,05 (20,44)	4,56 (9,83)	11,51 (17,35)	-13,49***
Collège	87,35 (22,51)	27,81 (35,62)	58,48 (41,96)	-59,54***
Lycée	96,17 (8,58)	33,37 (34,38)	65,72 (40,08)	-62,80***
Disponibilité structure santé dans le village (%)				
Oui	0	43,75 (51,23)	21,21 (41,51)	43,75***
Non	100	56,25 (51,23)	78,78 (41,51)	-43,75***
Distance accès à la structure santé la plus proche (km)				
Case de santé	24,88 (10,08)	19,81 (32,28)	22,42 (23,36)	-5,06
Poste de santé	76,17 (33,91)	20,62 (32,53)	49,24 (43,19)	-55,55***
Centre de santé	97,35 (9,21)	32,25 (32,79)	65,78 (40,47)	-65,10***
Hôpital	95,00 (14,68)	23,06 (29,62)	60,12 (43,03)	-71,93***
Distance accès à la structure commerciale la plus proche (km)				
Marché	51,64 (43,68)	32,68 (34,61)	42,45 (28,23)	-18,95*
Boutique	14,70 (21,62)	1,37 (3,09)	8,24 (16,85)	-13,33***
Mutuelle épargne	101,93 (27)	42,06 (40,54)	72,00 (45,74)	-59,87***

1.1.2. Accès aux infrastructures hydrauliques, magasins et parcs à vaccination

Par rapport à l'accès aux points d'eau, les résultats du tableau 4 montrent que 24,24 % des villages disposent de forages, abreuvoirs et bornes-fontaines et sont tous des villages UP. Aucun village non UP ne dispose de forage, abreuvoirs et bornes-fontaines. Ainsi, les villages non UP sont distants à près de 33 km des infrastructures hydrauliques les plus proches contre 12,50 km pour les villages UP. Presque tous les villages disposent de puits traditionnels, tandis que les puits modernes existent dans 24,13 % des villages et sont plus présents dans les villages UP avec 42,85 % contre 6,66 % pour les villages non UP. Concernant, les infrastructures de

⁹ Différence de moyenne entre les Village UP (-) Village Non UP

stockage, seuls 22,24 % des villages disposent de magasins d'aliments bétail avec 50 % dans les villages UP. La distance moyenne d'accès aux magasins se situe à 44,75 km, dont 75,58 km, pour les villages non UP et 11,75 km dans les villages UP. Pour les infrastructures de santé animale, dans la zone, seuls 21,21 % des villages disposent de parcs à vaccination avec 43,75 % pour les villages UP. La distance moyenne d'accès aux parcs à vaccination est de 66,75 km pour les villages UP et 10,06 km pour les villages non UP.

Tableau 4 : Accessibilité aux infrastructures hydrauliques, stockage et santé animale.

Caractéristiques	Villages Non UP	Villages UP	Total	Différence de test
Disponibilité des infrastructures hydrauliques dans le village (% , oui)				
Forage	0	50,00 (51,90)	24,24 (43,51)	50,00***
Borne-fontaine	0	56,25 (51,23)	27,27 (45,22)	56,25***
Abreuvoir	0	56,25 (51,23)	27,27 (45,22)	56,25***
Puits traditionnel	93,33 (25,81)	76,92 (43,85)	85,71 (35,63)	-16,41
Puits moderne	6,66 (25,81)	42,85 (51,35)	24,13 (43,54)	36,19***
Distance accès aux infrastructures hydrauliques la plus proche (km)				
Forage	33,17 (7,49)	12,50 (25,83)	23,15 (21,23)	-20,67***
Borne-fontaine	35,23 (7,19)	12,93 (27,16)	24,42 (22,35)	
Abreuvoir	34,94 (6,86)	5,31 (11,19)	20,57 (17,56)	-29,62***
Mares	1,70 (1,73)	0,949 (1,12)	1,35 (1,52)	-0,75***
Disponibilité des infrastructures stockage et santé animale dans le village (% , oui)				
Magasin	0	50,00 (51,63)	22,24 (43,51)	50,00***
Parc vaccination	0	43,75 (51,23)	21,21 (41,51)	43,75***
Distance accès aux infrastructures de stockage et santé animale les plus proche (km)				
Magasin	75,58 (34,72)	11,75 (26,77)	44,63 (44,59)	-63,83***
Parc vaccination	66,76 (34,95)	10,06 (24,89)	39,27 (41,58)	-56,70***

1.2. Caractérisation socio-démographique et économique des ménages

1.2.1. Situation socio-démographique des ménages

Les résultats du tableau 5 montrent que la taille moyenne des ménages est de 16 personnes avec une différence statistiquement significative au seuil de 1 % entre la taille des ménages UP (17,30 personnes) et celle des ménages non UP (13,33 personnes). L'âge moyen du chef de ménage est de 42 ans. Il est de 47 et 43 ans respectivement pour les chefs de ménage UP et non UP. La différence d'âge n'est pas significative. Les chefs de ménage sont majoritairement de sexe masculin (94 %) contre 6 % de sexe féminin. L'ethnie dominante est le peulh avec 94 % des chefs de ménage. Par rapport au statut matrimonial, 51,81 % de chefs de ménage sont monogames, 36,64 % polygames, 5,8 % veufs et 5,8 % divorcés. Seuls 4,12 % des chefs de ménage de l'échantillon sont scolarisés avec une proportion de 6,81 % pour les chefs de ménage UP contre 1,12 % pour les chefs de ménage non UP avec une différence

statistiquement significative. Par contre au niveau des ménages UP, 65,90 % des chefs de ménage sont alphabétisés contre 5,53 % pour les chefs de ménage non UP avec une différence statistiquement significative. Par ailleurs, 67,04 % des autres membres des ménages UP sont alphabétisés contre 4,90 % au niveau des ménages non UP. De même, 55,68 % des chefs de ménage UP indiquent qu'ils ont bénéficié de formations contre 3,38 % des chefs de ménage non UP. Le niveau de scolarisation des enfants présente des disparités entre les ménages UP et non UP avec respectivement 74,43 % et 7,36 % avec une différence statistique significative au seuil de 5 %. Chez les ménages UP, le niveau le plus élevé atteint par les enfants scolarisés se situe à 61,06 % pour le primaire, 21,37 % pour le collège et 11,45 % pour le lycée. Tandis que le niveau de scolarisation le plus élevé atteint par les enfants des ménages non UP est le primaire avec un taux de 91,66 %.

Tableau 5 : Caractéristiques socioéconomiques et démographiques des ménages.

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Taille ménage (nbre)				
Effectif total	16,33 (5,87)	17,30 (7,57)	16,83 (6,81)	0,96*
Effectif homme	8,53 (3,13)	8,61 (3,85)	8,57 (3,52)	0,07
Effectif femme	7,79 (3,45)	8,68 (4,69)	8,25 (4,16)	0,89*
Âge	43,20 (12,72)	47,84 (14,30)	45,61 (13,74)	4,63***
Sexe chef de ménage (%)				
Homme	94,47 (22,91)	94,88 (22,09)	94,69 (22,45)	0,4
Femme	5,52 (22,19)	5,11 (22,09)	5,30 (22,45)	-0,04
Groupe ethnique (%)				
Peul	90,79 (28,99)	98,86 (10,62)	94,98 (92,65)	8,06***
Maure	2,45 (15,51)	1,13 (10,62)	1,76 (13,20)	-1,31
Wolof	6,74 (2,51)	0	3,24 (17,74)	-6,74***
Statut matrimonial (%)				
Polygame	37,42 (48,54)	39,77 (49,08)	36,64 (48,76)	2,34
Monogame	55,89 (49,35)	56,81 (49,67)	57,81 (49,45)	-2,07
Célibataire	0,06 (7,8)	0,05 (7,53)	0,058	-0,004
Divorcé	1,22 (11,04)	0	0,058 (7,66)	-1,22*
Scolarisation (%)				
Chef de ménage instruit	1,22 (11,04)	6,81 (25,27)	4,12 (19,92)	5,59***
Chef de ménage alphabétisé	5,53 (22,91)	65,90 (47,53)	36,87 (31,71)	60,38***
Autre alphabétisé	4,90 (21,67)	67,04 (4,71)	37,16 (48,39)	62,13***
Formé	3,68 (18,88)	55,68 (49,81)	30,67 (46,18)	52,00***
Scolarisation enfant	7,36 (26,19)	74,43 (43,74)	42,18 (49,45)	67,06***
Niveau scolaire enfant (%)				
Primaire	91,66 (28,86)	61,06 (48,94)	63,63 (48,27)	30,59***
Collège	0	21,37 (41,15)	19,58 (39,82)	21,37**
Lycée	0	11,45 (31,96)	10,4 (30,74)	11,45
Accès aux TIC				
Écoute la radio	92,02 (87,82)	93,75 (24,27)	92,92 (26,68)	1,72
Possession télévision	0	24 (42,83)	12,42 (33,03)	24***
Possession téléphone portable	25,92 (43,95)	83,42 (37,28)	55,78 (49,73)	57,50***
Qualité réseau téléphonique (%)				
Bonne	2,43 (15,61)	73,42 (44,32)	57,60 (49,55)	70,98***
Faible	90,24 (30,04)	20,27 (40,34)	35,86 (48,09)	-69,96***
Moyenne	7,31 (26,36)	6,29 (24,37)	6,52 (24,75)	-1,02

Pour l'ensemble des villages, 92,92 % des chefs de ménage écoutent la radio. Cependant, l'appréciation de la qualité de la fréquence des radios est variable et s'explique par l'enclavement de la plupart des villages. Le niveau d'accès à la télévision est très faible dans la zone du Ferlo. En effet, seuls 12,42 % des ménages ont accès à la télévision et sont tous dans les ménages UP. Pour l'ensemble des ménages, 55,78 % disposent de téléphones portables. Par rapport aux villages UP et non UP, le taux de possession varie respectivement de 83,42 % et 25,92 %. Cependant, la qualité du réseau téléphonique est jugée faible à 35,86 %, bonne à 57,60 % et moyenne à 6,52 % pour l'ensemble des chefs de ménage. La faiblesse du réseau téléphonique est le plus observée au niveau des ménages non UP avec un taux de 90,24 % contre 20,27 % pour les ménages UP.

1.2.2. Source approvisionnement, mode de stockage et traitement de l'eau

Le tableau 6 présente la répartition des ménages selon la source d'approvisionnement, le mode de stockage et de traitement de l'eau. Le puits reste la principale source d'approvisionnement en eau des ménages avec une moyenne de 71,38 %. Il est suivi des forages avec 28,02 %. L'eau de puits est plus utilisée par les ménages non UP (96,93 %) contre 47,72 % pour les ménages UP. Tandis que l'eau des forages pastoraux est utilisée à 51,12 % par les ménages UP contre 3,06 % pour les ménages non UP. Cette différence peut être expliquée par l'absence de forages dans les villages non UP comme le montre les données du tableau 4.

Tableau 6 : Source approvisionnement, moyen stockage et traitement de l'eau

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Source eau potable (%)				
Forage	3,06 (17,29)	51,13 (50,12)	28,02 (44,97)	48,06***
Puits	96,93 (17,29)	47,72 (50,09)	71,38 (45,26)	-49,20***
Mare	0	1,13 (10,62)	0,58 (7,66)	1,13*
Lieu stockage eau (%)				
Canari	31,28 (46,50)	58,52 (49,40)	45,42 (49,86)	27,23***
Bidon	60,12 (49,11)	30,11 (46)	44,54 (49,77)	-30***
Chambre à air	5,52 (22,91)	2,84 (16,66)	4,12 (19,92)	-2,68
Traitement eau (% oui)	23,92 (42,79)	53,97 (3,76)	39,52 (48,96)	30,05***
Mode traitement (%)				
Filtrer eau avec tissu	79,48 (40,90)	49,47 (50,26)	58,20 (49,50)	-30,01***
Eau de javel	17,94 (38,87)	40 (49,24)	33,58 (47,40)	-22,05***
Autre	2,56 (16,01)	10,52 (30,85)	8,20 (2,75)	7,96**

Les équipements de stockage d'eau les plus utilisés sont les canaris, bidons et les chambres à air avec respectivement 45,42 %, 44,54 % et 5,12 %. Par rapport au traitement de l'eau, 39,52 % des ménages indiquent que l'eau est traitée avec 53,97 % dans les ménages UP et 23,92 % dans les ménages non UP. Les modes de traitement de l'eau sont variables. Certains

ménages filtrent l'eau à travers un linge (58,20 %), traitent avec l'eau de javel (33,58 %). Le filtrage de l'eau à l'aide d'un linge est plus répandu dans les ménages non UP avec 79,48 % contre 49,47 % pour les ménages UP. Tandis que le traitement de l'eau avec l'eau de javel est pratiqué à 40 % par les ménages UP contre 17,94 % par les ménages non UP.

1.2.3. Types d'habitats, sources d'éclairage et de cuisson des ménages

Le tableau 7 présente les caractéristiques des ménages selon le type d'habitat, la source d'énergie et de cuisson des ménages UP et non UP.

Tableau 7 : Caractéristiques de l'habitat des ménages.

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Type habitat (%)				
Case en paille	69,75 (46,07)	22,85 (42,11)	45,40 (49,86)	-46,89***
Bâtiment en béton	25,30 (43,61)	54,28 (49,95)	40,35 (49,13)	28,97***
Case en bois	4,93 (2173)	22,85 (42,11)	14,24 (35,00)	17,91***
Type de toiture (%)				
Paille	91,35 (28,18)	61,71 (48,74)	75,96 (42,79)	-29,64***
Zinc	3,08 (17,34)	30,85 (46,32)	17,50 (38,05)	27,77***
Autre	5,55 (22,97)	7,42 (26,29)	6,52 (24,73)	1,87
Revêtement sol de l'habitat (%)				
Terre battue	85,80 (35,01)	76,57 (42,47)	81,00 (39,28)	-9,23***
Ciment	1,85 (13,52)	19,42 (2,99)	10,97 (31,30)	17,57***
Autre	12,34 (32,99)	5,00 (19,65)	8,01 (27,18)	-8,34***
Accès aux latrines (%)				
Latrine	6,17 (24,14)	53,71 (50,00)	30,86 (46,26)	47,54***
Toilette moderne	28,39 (45,23)	26,85 (44,44)	27,59 (44,76)	-1,53
Aucune	65,43 (47,70)	19,42 (39,67)	41,54 (49,35)	-46,00***
Source éclairage (%)				
Torche	98,14 (13,52)	87,35 (33,33)	92,55 (26,28)	-10,79***
Électricité	0,06 (7,85)	5,17 (22,21)	2,97 (17,01)	4,45***
Feu	0	4,02 (19,70)	2,08 (14,30)	4,02***
Solaire	0	1,72 (1,30)	0,089 (9,42)	1,72*
Lampe tempête	1,23 (11,07)	1,72 (13,05)	1,48 (12,12)	-0,048
Type de cuisines (%)				
Pas de cuisine	99,38 (7,85)	95,42 (20,94)	97,32 (16,14)	-3,95*
Cuisine en bois	0,06 (7,85)	0	0,029 (5,44)	-0,061
Cuisine en brique	0	4,57 (20,94)	2,37 (15,24)	4,57***
Source énergie de cuisson (%)				
Bois mort	98,76 (11,07)	97,14 (16,70)	97,92 (14,28)	-1,62
Charbon de bois	0,061 (7,85)	0	0,029 (5,44)	-0,06
Bouteille de gaz	0,061 (7,85)	2,85 (16,70)	1,78 (13,24)	2,23*

Les résultats montrent que 45,40 % des ménages habitent dans des cases en paille, 40,35 % dans des bâtiments en béton et 14,24 % dans des cases en bois. Les cases en paille sont plus répandues dans les ménages non UP (69,75 %) contre 22,85 % pour les ménages UP. On constate que 54,28 % des bâtiments en béton se trouvent dans les ménages UP contre 25,30 % dans les ménages non UP. Pour l'ensemble des ménages, le nombre moyen de pièces dans

l'habitat est de 4,03. Au niveau de l'ensemble des ménages, 75,96 % ont un habitat dont les toitures sont en paille, 17,51 % ont des toitures en zinc et 6,52 % ont d'autres types de toitures. Les toitures en zinc sont plus observées dans les ménages UP (30,85 %) par rapport aux ménages non UP (3,08 %). Alors que 91,35 % des ménages non UP ont des toitures en paille contre 61,71 % pour les ménages UP. Dans la zone, l'habitat des ménages est revêtu à 81 % d'un sol en terre battue, à 10,97 % d'un sol cimenté et à 6,52 % par d'autres types de revêtement du sol. On note que 41,54 % des ménages de l'échantillon n'ont pas accès aux latrines, 27,59 % ont accès à des latrines modernes et 41,54 % ont accès à des latrines traditionnelles. Il faut noter qu'il ya des ménages qui possèdent à la fois des latrines traditionnelles et modernes. Les sources d'énergie utilisées pour la cuisson sont le bois mort (97,32 %), le charbon de bois (0,03 %) et la bouteille à gaz (1,78 %). En outre, 97,92 % des ménages ne disposent pas de cuisine, 0,03 % possèdent une cuisine en bois et 2,37 % possèdent une cuisine en brique. Les sources d'éclairage des ménages sont constituées à 92,55 % par les torches, 2,97 % par l'électricité, 2,08 % par le feu, 0,09 % par le solaire et 1,48 % par les lampes tempêtes.

1.2.4. Niveau d'équipements des ménages

Le tableau 8 présente les résultats du niveau d'équipements des ménages selon le statut d'appartenance aux Unités Pastorales (UP)

Tableau 8 : Caractéristiques des équipements des ménages.

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Technologie de l'information et de la communication (%)				
Radio	90,74 (29,07)	88,06 (32,50)	89,34 (30,89)	-2,67
Télévision	0	9,65 (29,64)	5,02 (21,88)	9,65***
Téléphone portable	19,75 (39,93)	84,65 (36,14)	53,55 (49,94)	64,90***
Moyen transport				
Vélo	14,81 (35,63)	29,54 (45,75)	22,48 (41,81)	14,73***
Charrette	87,73 (32,91)	77,84 (41,65)	82,59 (37,97)	-9,88***
Moto	24,69 (43,25)	10,22 (30,38)	17,15 (37,75)	-14,46***
Équipement eau (%)				
Chambre à air	4,90 (21,67)	11,93 (32,50)	8,55 (28,01)	7,02***
Bidon	93,82 (24,14)	93,71 (24,34)	93,76 (24,20)	-0,011
Canari	98,77 (11,04)	98,86 (10,62)	98,82 (10,81)	0,009
Bassine	96,31 (18,88)	72,72 (44,66)	84,07 (36,64)	-23,59***
Puisard	98,15 (13,48)	55,68 (49,81)	76,10 (42,70)	-42,47***
Autres (%)				
Chaise	3,70 (18,94)	13,63 (34,41)	8,87 (28,48)	9,93***
Lit	11,11 (31,52)	57,95 (49,50)	35,50 (47,92)	46,84***
Natte	92,59 (26,27)	98,86 (10,62)	95,85 (19,95)	6,27***
Marmite, ustensile	90,18 (29,33)	95,45 (20,88)	92,92 (25,68)	5,27***

Les résultats du tableau 8 révèlent que 89,34 % des ménages possèdent une radio et 53,55 % disposent de téléphones portables. Cependant, seuls 5,02 % d'entre eux possèdent une télévision. Par rapport à la disponibilité de moyens de transport, 82, 59 % des ménages possèdent une charrette, 22, 48 % un vélo et 17 % ont une moto. Les équipements de collecte et de stockage d'eau disponibles au niveau des ménages sont constitués de bidons (93,76 %), canaris (98,82 %), bassines (84,07 %), puisard (76,10 %) et chambres à air (8,55 %). Les équipements de chambres et de basse-cour sont dominés par les nattes et les lits. En effet, 95,85 % des ménages disposent de natte, 35,50 % des ménages disposent de lit. Par contre, seuls 8,87 % des ménages possèdent des chaises. Presque tous les ménages possèdent des marmites et ustensiles pour la cuisson.

1.3. Activités économiques des ménages

1.3.1. Activités agricoles

Dans la zone d'étude, l'agriculture est une activité secondaire et est exclusivement de type pluvial. Les résultats du tableau 9 montrent que le principal mode d'accès à la terre est l'héritage (76 %) et le défrichage (25 %). Les conflits fonciers sont notés et découlent principalement de la divagation des animaux. En moyenne, les ménages cultivent 3,97 ha. Les cultures céréalières sont principalement pratiquées avec une prédominance du mil. La production moyenne annuelle par ménage est de 1,40 tonne.

Tableau 9 : Caractérisations des activités agricoles des ménages.

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Mode accès terre (%)				
Héritage	72,59 (44,77)	79,16 (40,73)	76,23 (42,63)	6,57*
Défrichage	28,88 (45,49)	25,00 (43,43)	26,73 (44,32)	-3,88
Don	0	1,19 (10,87)	0,066 (8,11)	1,19
Prêt	2,96 (17,01)	0,059 (7,71)	1,65 (12,76)	-2,36
Conflit foncier (%)				
Hausse	42,10 (49,55)	32,14 (46,84)	36,54 (48,23)	-9,96***
Baisse	9,02 (28,75)	29,76 (45,85)	20,59 (40,50)	20,73***
Superficie disponible	3,33 (2,02)	4,48 (5,77)	3,97 (4,52)	1,15***
Assolement (%)				
Mil	80,31 (25,05)	70,80 (28,90)	75,24 (27,53)	-9,51***
Sorgho	50 (14)	47,69 (19,95)	48,19 (18,77)	-2,30
Maïs	50,49 (9,60)	47,48 (17,10)	48,65 (14,64)	-3,00
Autre culture	2,90 (11,55)	2,94 (10,26)	2,92 (10,84)	0,043
Main-d'œuvre (nbre)	4,83 (3,23)	6,6 (4,99)	5,75 (4,32)	1,76***
Production céréalière				
Production agricole (t)	1,27 (0,947)	1,57 (5,76)	1,40 (4,12)	0,341
Part mil (%)	79,25 (26,11)	73,76 (27,55)	76,46 (26,90)	-5,48
Part sorgho (%)	43,96 (25,41)	39,69 (19,71)	41,35 (21,94)	-4,27
Part maïs (%)	48,59 (22,51)	29,28 (24,36)	36,36 25,15)	-19,31***
Autre (%)	44,78 (21,02)	28,29 (23,52)	35,04 (23,52)	-16,49*

1.3.2. Activité d'élevage pastoral

- **Bovins**

Les résultats du tableau 10 montrent que la taille moyenne du cheptel bovin des ménages est de 45,41 têtes. Les ménages non UP possèdent plus de bovins que les ménages UP avec respectivement 65,44 têtes et 23,47 têtes. La composition du cheptel bovin par sexe et par âge laisse apparaître, la dominance des femelles de plus de 4 ans (22 têtes). Ceci montre que l'élevage pastoral de la zone est orienté vers la reproduction du cheptel. On constate par ailleurs que l'effectif des males de plus de quatre ans est en moyenne de 2,50 par ménage. Le mode d'acquisition du cheptel bovin le plus répandu dans la zone est l'héritage. Ainsi, 87,96 % des ménages déclarent qu'ils ont hérité les bovins qu'ils possèdent contre 11,61 % des ménages qui ont acquis leurs bovins par achat. Parmi les ménages en possession de bovins, 72,76 % déclarent qu'ils sont propriétaires contre 27,23 % qui sont copropriétaires.

Tableau 10 : Caractéristiques des bovins

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Mode acquisition (%)				
Héritage	96,82 (17,60)	78,26 (41,42)	87,96 (32,60)	-18,56***
Achat	3,17 (17,60)	20,86 (40,81)	11,61 (32,11)	17,68***
Dons	0	0,086 (9,32)	0,041 (6,44)	0,086
Statut occupation (%)				
Propriétaire	73,60 (44,25)	71,81 (45,19)	72,76 (44,61)	-1,78
Copropriétaire	26,40 (44,25)	28,18 (45,19)	27,23 (44,61)	1,78
Composition (nbr)				
Effectif total	65,64 (58,85)	23,47 (25,85)	45,41 (50,60)	-42,16***
Femelle moins 1 an	8,10 (8,06)	2,76 (3,16)	5,54 (6,75)	-5,34***
Femelle 1 à 3 ans	9,24 (10,17)	4,94 (6,56)	7,18 (8,88)	-4,29***
Femelle plus 4 ans	35,04 (40,35)	8,53 (14,28)	22,32 (33,43)	-26,50***
Male moins 01 an	5,27 (5,33)	1,98 (2,88)	3,69 (4,63)	-3,29***
Male moins 1 à 3 ans	5,23 (8,06)	3,00 (4,82)	4,16 (6,78)	-2,22***
Mâle de plus 4 ans	2,74 (4,24)	2,23 (3,66)	2,50 (3,97)	-0,50

- **Ovins**

Les résultats du tableau 11 montrent que dans la zone chaque ménage possède en moyenne un effectif de 73,73 têtes d'ovins. L'effectif important des ovins peut se justifier par plusieurs raisons : forte demande surtout pendant les fêtes de Tabaski, facilité de vente, forte adaptation aux zones pastorales arides et aux longs déplacements. Les ménages possédant plus d'ovins (86,07 têtes) vivent dans les villages non UP contre 60,72 têtes dans les villages UP. La composition du cheptel ovin par sexe et par âge montre la prédominance des femelles de plus de quatre ans (30 têtes) par ménage. Les femelles de moins d'un an et d'un à trois ans sont respectivement au nombre de 10 et 15. Les mâles de plus de quatre ans sont au nombre de 4. Tandis que ceux âgés de moins d'un an et d'un à trois ans sont respectivement au nombre de 6

et 7 par ménages. L'héritage est le mode d'acquisition des ovins le plus répandu (76,24 %) des ménages. Tandis que 23,04 % des ménages ont acheté les ovins dont ils disposent. En moyenne 70 % et 30 % des ménages sont respectivement propriétaires et copropriétaires du cheptel ovin.

Tableau 11 : Caractéristiques des Ovins.

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Mode acquisition (%)				
Héritage	91,36 (28,18)	61,53 (4,08)	76,24 (42,63)	-29,82***
Achat	8,63 (28,18)	37,06 (48,46)	23,04 (42,18)	28,42***
Dons	0	1,39 (11,78)	0,070 (8,40)	1,39***
Statut occupation (%)				
Propriétaire	59,71 (4,17)	78,98 (40,88)	69,31 (46,20)	19,27***
Copropriétaire	40,28 (49,22)	21,01 (40,88)	30,68 (46,20)	-19,27***
Composition (nbr)				
Effectif total	86,07 (74,69)	60,72 (8,51)	73,73 (90,50)	-25,35*
Femelle moins 1 an	11,79 (11,97)	8,02 (12,88)	9,92 (12,55)	-3,76***
Femelle 1 à 3 ans	15,01 (15,80)	14,88 (38,43)	14,94 (29,27)	0,13
Femelle plus 4 ans	41,62 (51,47)	17,83 (34,21)	29,80 (45,28)	-23,78***
Male moins 01 an	7,65 (6,44)	7,09 (17,35)	7,37 (13,03)	-0,56
Male moins 1 à 3 ans	6,81 (8,91)	6,70 (13,06)	6,75 (11,15)	-0,10
Mâle de plus 4 ans	3,18 (4,76)	3,79 (12,73)	3,48 (9,58)	0,61

- **Caprins**

Les résultats du tableau 12 montrent que l'élevage caprin est également important dans la zone d'étude. En effet, chaque ménage possède en moyenne un effectif de 44 têtes. Les femelles de plus de quatre ans sont au nombre de 19 en moyenne par ménage. Celles âgées de moins d'un an et d'un à trois ans sont respectivement au nombre de 6 et 8 en moyenne. Le cheptel caprin mâle est composé de 4,57 caprins âgés de moins d'un an, 4,06 âgés d'un et trois ans et 1,85 de plus de quatre ans. En moyenne 72,24 % et 25,47 % des ménages ont acquis leur cheptel caprin par héritage et par achat. En outre, 67,96 % et 31,25 % des ménages sont respectivement propriétaires et copropriétaires du cheptel caprin.

Tableau 12 : Caractéristiques des Caprins.

Caractéristiques	Ménages Non UP	Ménages UP	Total	Différence de test
Nombre observations	163	176	339	
Mode acquisition (%)				
Héritage	91,30 (28,30)	57,43 (49,61)	72,24 (44,86)	-33,87***
Achat	7,82 (26,97)	39,18 (48,98)	25,47 (43,65)	31,36***
Dons	0,086 (9,32)	3,37 (18,12)	2,28 (14,95)	2,50*
Statut occupation (%)				
Propriétaire	53,91 (50,06)	79,43 (40,56)	67,96 (46,75)	25,51***
Copropriétaire	46,08 (50,04)	19,14 (39,48)	31,25 (46,44)	-26,96***
Composition (nbr)				
Effectif total	60,03 (44,14)	29,63 (32,10)	43,45 (40,90)	-30,39***
Femelle moins 1 an	7,98 (6,58)	4,85 (5,15)	6,27 (6,04)	-3,13***
Femelle 1 à 3 ans	9,41 (9,12)	6,57 (9,88)	7,87 (9,63)	-2,84***
Femelle plus 4 ans	29,89 (29,25)	9,56 (18,78)	18,81 (26,12)	-20,32***
Male moins 01 an	6,03 (7,06)	3,36 (3,77)	4,57 (5,66)	-2,66***
Male moins 1 à 3 ans	4,52 (6,33)	3,67 (6,53)	4,06 (6,44)	-0,85
Mâle de plus 4 ans	2,17 (3,10)	1,58 (3,27)	1,85 (3,20)	0,58*

Conclusion partielle.

L'analyse statistique descriptive des caractéristiques socio-économiques et démographiques montre des différences significatives au niveau de plusieurs variables à la fois entre les ménages UP et Non UP et les villages UP et Non UP. Globalement, le niveau d'accès aux infrastructures sociales de base reste encore très faible pour l'ensemble des ménages de la zone du Ferlo de Matam. Comparativement, la situation est plus préoccupante au niveau des villages non UP, ce qui dénote des progrès à faire pour l'accès à l'eau, l'éducation, la santé humaine et animale dans cette zone. Le niveau d'accès aux infrastructures pastorales relativement important au niveau des villages UP peut être expliqué par l'effort fourni par les projets de développement comme le PRODAM dans la réalisation de forages pastoraux, parcs à vaccination, magasins aliments bétail, centres d'alphabétisation et case de santé.

Au plan démographique, l'analyse a fait ressortir que l'ethnie majoritaire reste le peulh, le chef de ménage est généralement de sexe masculin, l'importance de la taille des ménages et la persistance de la polygamie. Par ailleurs, l'élevage pastoral de bovins et petits ruminants reste l'activité principale dans ce contexte de péjoration climatique et joue à la fois un rôle socio-économique et culturel important (vente, consommation, héritage, confiage, troc, etc.). L'agriculture qui en raison de la faiblesse et de l'irrégularité des pluies est pratiquée à très petites échelles, reste principalement axée sur les cultures céréalières et joue un rôle majeur dans l'alimentation des ménages. L'hétérogénéité observée sur les caractéristiques socio-économiques et démographiques entre les villages et ménages UP et non UP peut avoir des implications sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et leurs impacts sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages de la zone d'étude. Ces points seront étudiés dans les chapitres suivants.

Chapitre 2 : Impact de la sensibilisation sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique

Introduction

Pour renforcer la résilience au changement climatique des éleveurs pastoraux, le PRODAM a diffusé plusieurs stratégies d'adaptation dans la zone du Ferlo. Il s'agit principalement de : (i) l'utilisation de règles de gestion des ressources naturelles pour améliorer la gestion durable de l'environnement et des ressources naturelles ; (ii) la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant contre les pathologies pour renforcer la santé animale et (iii) l'utilisation de l'eau des forages pastoraux pour garantir l'accès à l'eau pour les personnes et le cheptel.

Dans le but de faciliter l'adoption de ces stratégies d'adaptation au changement climatique par les éleveurs pastoraux, le PRODAM a principalement orienté son investissement sur la sensibilisation des éleveurs et leurs organisations à travers les réunions d'informations et de concertations ainsi que la formation sur la gestion des infrastructures pastorales et des organisations communautaires mises en place, la vulgarisation sur des thèmes liés à la gestion des ressources naturelles et de l'environnement, la santé animale et la gestion de l'eau des forages.

En menant ces activités de sensibilisation, le PRODAM, dans sa théorie du changement, vise à créer suffisamment d'incitations et de motivations pour influencer la décision des éleveurs d'adopter les stratégies d'adaptation au changement climatique diffusées. L'objectif de ce chapitre est d'évaluer l'impact de la sensibilisation sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique. Il est subdivisé en trois volets, correspondant à l'évaluation de l'impact de la sensibilisation sur : (i) l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles ; (ii) l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant et (iii) l'adoption de l'eau des forages pastoraux. Chaque volet commence d'abord par une analyse statistique descriptive des taux de diffusion et d'adoption par simple comptage, ensuite une estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle et enfin une analyse économétrique des déterminants de l'adoption. Pour rappel, la méthode ATE est utilisée avec respectivement comme variable de traitement et de résultat la « connaissance de l'existence » et l'« adoption » de chaque stratégie d'adaptation au changement climatique.

2.1. Impact de la sensibilisation sur l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles

2.1.1. Analyse statistique descriptive des taux de diffusion et d'adoption des règles de gestion des ressources naturelles

Le tableau 13 présente les résultats de l'analyse descriptive de la connaissance et de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, classées en deux groupes.

Tableau 13 : Diffusion et adoption des règles de gestion des ressources naturelles

Règles de gestion	Nombre	Nombre éleveurs connaissant	Nombres éleveurs adoptant	Proportion de ceux qui connaissent	Proportion éleveurs adoptant	Proportion des adoptants parmi ceux qui connaissent
Au moins une règle du groupe 1 :	339	191	180	56 %	53 %	94 %
Eviter de créer un feu brousse	339	189	177	55 %	52 %	93 %
Sensibiliser contre les feux	339	187	175	55 %	51 %	93 %
Participer à l'extinction des feux	339	187	177	55 %	52 %	94 %
Alerter le service eaux et forêts	339	184	174	54 %	51 %	94 %
Surveiller de l'environnement	339	182	171	53 %	50 %	93 %
Participer à l'entretenir des pare-feu	339	180	148	53 %	43 %	82 %
Eviter la coupe abusive bois	339	185	167	54 %	49 %	90 %
Eviter de pratiquer le braconnage	339	183	160	53 %	47 %	87 %
Mettre en défens des zones dégradées	339	180	148	53 %	43 %	82 %
Reboiser	339	179	145	52 %	42 %	81 %
Soutenir les écogardes	339	176	149	51 %	43 %	84 %
Lutter contre l'érosion	339	168	122	49 %	35 %	72 %
Au moins une règle du groupe 2 :	339	182	174	53 %	51 %	95 %
Ne pas habiter à plus 1 km du village	339	180	155	53 %	45 %	86 %
Ne pas camper à côté des mares	339	179	154	52 %	45 %	86 %
Respecter zone vocation pastorale	339	178	149	52 %	43 %	83 %
Clôturer les champs en hivernage	339	178	148	52 %	43 %	83 %
Pâturer loin forage en hivernages	339	175	144	51 %	42 %	82 %
Utiliser pâturages près forage en saison sèche	339	175	144	51 %	42 %	82 %
Sensibiliser les transhumants	339	173	137	51 %	40 %	79 %
Régler les conflits à l'amiable	339	180	162	53 %	47 %	90 %
Mener des activités génératrices de revenus	339	168	122	49 %	35 %	72 %

Les résultats du tableau 13 révèlent que parmi les 339 éleveurs de l'échantillon, 191 ont connaissance au moins d'une règle du groupe 1. Ceci correspond à un taux de diffusion de 56 % dans l'échantillon. Dans ce groupe 1, les règles les plus connues sont « éviter de créer un feu de brousse », « sensibiliser les membres de sa famille sur les feux de brousse », « participer à l'extinction des feux », « alerter le service des Eaux et forêts en cas de feux de brousse » et « éviter la coupe abusive de bois ». Dans la population totale, le taux d'adoption d'au moins une règle dans le groupe 1 est de 53 %. Parmi les règles du groupe 1, les plus adoptées par les éleveurs sont « éviter de créer un feu de brousse » (52 %) et « participer à l'extinction des feux » (52 %). Les règles les moins adoptées sont « participer au reboisement des zones dégradées » (42 %), « participer à l'entretien des pare-feu (43 %), « participer à la mise en défens des zones dégradées » (43 %) et « participer à la surveillance » (43 %). Dans ce même groupe 1, le taux d'adoption d'au moins une règle parmi les éleveurs ayant connaissance des règles est de 94 %.

Dans le groupe 2, 182 éleveurs sur 339 ont connaissance de l'existence d'au moins une règle de ce groupe. Ceci se traduit par un taux de diffusion de 53 %. Les règles du groupe 2 les plus connues par les éleveurs sont « ne pas habiter à plus d'un kilomètre du village » et « régler les conflits à l'amiable », alors que celle relative à « développer des activités génératrices de revenus » est la moins connue. Dans l'échantillon, le taux d'adoption d'au moins d'une règle du groupe 2 est de 51 %. Dans ce groupe 2, les règles les plus adoptées sont « régler les conflits à l'amiable » (47 %), « ne pas habiter à plus d'un kilomètre du village (45 %) et « ne pas habiter à côté des mares » (45 %). Dans la sous-population des éleveurs connaissant les règles du groupe 2, le taux d'adoption d'au moins une règle du groupe 2 est de 95%.

Cependant, comme nous l'avons souligné dans la partie méthodologie, l'analyse statistique descriptive des taux d'adoption entraîne une estimation biaisée des vrais taux d'adoption, car elle ne tient pas compte de l'existence des biais de non-exposition et de sélection positive, qui entraînent une sous-estimation ou une surestimation des vrais taux d'adoption. C'est pour cette raison, que nous proposons d'utiliser la méthode ATE pour estimer de façon rigoureuse les vrais taux d'adoption et leurs déterminants à l'aide des modèles économétriques semi-paramétriques et paramétriques.

2.1.2. Estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle des règles de gestion des ressources naturelles

L'analyse des résultats du tableau 14, nous montre que le taux d'adoption actuelle et potentielle d'au moins d'une règle de chaque groupe est de 33 % et 85 %, soit un gap d'adoption -32 %, pour le modèle ATE Probit. Le taux d'adoption potentielle dans la sous populations des éleveurs exposés aux règles est de 94 %. Dans la sous population des éleveurs non exposés à aucune règle, le taux d'adoption potentielle est estimé à 74 %.

Tableau 14 : Taux d'adoption des règles de gestion des ressources naturelles.

Paramètres	Groupe 1 : Règles protection ressources naturelles		Groupe 2 : Règles d'utilisation des ressources naturelles		Combinaison des règles : Groupe 1 et Groupe 2	
	IPSW	ATE Probit	IPSW	ATE Probit	IPSW	ATE Probit
Taux d'adoption potentielle dans la population totale	82 % (28 %) ***	83 % (3,2 %) *****	97 % (38 %) **	85 % (5,1 %) *****	78 % (17 %) ***	85% (2,8 %) ***
Taux d'adoption potentielle dans la sous-population sensibilisée	94 % (44 %) **	94 % (1,4 %) *****	95 % (47 %) **	95 % (1,1 %) *****	94 % (28 %) ***	94 % (1,4 %) ***
Taux d'adoption potentielle dans la sous-population non sensibilisé	68 % (19 %) ***	69 % (6,3 %) *****	99 % (49 %) **	73 % (10 %) *****	56 % (8,7 %) ***	74 % (5,2 %) ***
Taux commun d'adoption et d'exposition	53 % (25 %) **	53 % (8 %) *****	51 % (25 %) **	51 % (0,6 %) *****	53 % (16 %) ***	53 % (0,7 %) ***
Gap d'adoption	-29 % (8 %) ***	-30 % (2,7 %) *****	-46 % (43 %) **	-33 % (4 %) *****	-24 % (3,8 %) ***	-32 % (2,3 %) ***
Biais de sélection positive	11 % (18 %)	10 % (2,4 %) *****	1,9 % (27 %)	10 % (4,6 %) **	16 % (12 %) ***	8,8 % (1,9 %) ***

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et ***** p<0,001. Valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

L'analyse de l'adoption selon le groupe de règle montre que dans la population totale, les taux d'adoption potentiels d'au moins une règle du groupe 1 « règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement » sont estimés à 82 % pour le modèle ATE semi-paramétrique et à 83 % pour le modèle ATE Probit (paramétrique). Ceci traduit que si toute la population avait été sensibilisée sur les règles du groupe 1, alors au moins 82 % des éleveurs auraient adopté ces règles. Le taux d'adoption actuel d'au moins une règle du groupe 1, qui est le taux commun d'exposition et d'adoption, est estimé à 53 %. Le gap d'adoption, qui représente la différence entre le taux potentiel d'adoption et le taux commun d'adoption est de -30 %, est dû à une diffusion incomplète des règles. De plus, les résultats montrent que le taux d'adoption dans la sous-population des éleveurs sensibilisés sur les règles de protection de l'environnement et des ressources naturelles est estimé à 94 %. Autrement dit, 94 % des éleveurs sensibilisés sur les règles de protection des ressources naturelles les ont adoptées. En outre, on observe que 69 % des éleveurs qui ne sont pas sensibilisés sur les règles de protection de l'environnement et des ressources naturelles auraient adopté ces règles s'ils avaient été

sensibilisés. Le biais de sélection positive, estimé à 11 % et, représente la différence entre le taux d'adoption potentiel dans la population et le taux d'adoption dans la sous-population sensibilisée sur les règles de protection de l'environnement et des ressources naturelles. La signification du biais de sélection positif au seuil de 1 % montre que les éleveurs sensibilisés sur les règles de protection des ressources naturelles n'ont pas la même probabilité d'adopter ces règles que tout éleveur choisi au hasard dans la population.

Pour les règles du groupe 2 « accès et utilisation des ressources naturelles », les résultats du tableau 14 montrent que le taux d'adoption potentiel dans la population totale d'au moins d'une règle de ce groupe est estimé à 97 % pour le modèle ATE semi-paramétrique et à 85 % pour le modèle ATE Probit. Le taux actuel d'adoption d'au moins une règle d'accès et d'utilisation des ressources naturelles est estimé à 51 % pour les deux modèles, soit, un gap d'adoption de -46 % pour le modèle semi-paramétrique et -33 % pour le modèle paramétrique. Le taux d'adoption dans la sous-population des exposés est estimé à 95 % pour les deux modèles, alors que le taux d'adoption potentiel dans la sous-population non exposée est estimé à 99 % pour le modèle ATE semi-paramétrique et à 73 % pour le modèle ATE Probit. Le biais de sélection positive est estimé à 1,09 % par le modèle ATE semi-paramétrique et à 10 % par le modèle ATE Probit.

Le gap d'adoption nous renseigne qu'il existe une forte demande en matière de sensibilisation des éleveurs du Ferlo sur les règles de gestion des ressources naturelles et de l'environnement. De plus, le biais de sélection positive qui nous renseigne sur le fait qu'un éleveur sensibilisé sur les règles de gestion des ressources naturelles n'a pas la même probabilité d'adopter ces règles qu'un éleveur pris en hasard dans la population démontre encore l'importance de la sensibilisation. Cela a été beaucoup mentionné par les éleveurs lors des discussions par focus group : « le PRODAM a beaucoup fait de réunions d'information et sensibilisation de tous les éleveurs sans exception, ce qui nous a permis d'être de plus en plus conscient et de nous engager pour définir et appliquer par nous-mêmes des règles de gestion de nos ressources naturelles et de notre environnement, pour notre propre bien-être et notre survie ». Les résultats susmentionnés sont en conformité avec plusieurs études empiriques qui ont montré que le manque d'information et de sensibilisation des populations est le premier frein à l'adoption des nouvelles innovations et technologies agricoles (Lee, 2005 ; Diagne et Demont, 2007 ; Prienté, 2008). En terme, d'implication politique, il est nécessaire de poursuivre les efforts d'investissements sur la sensibilisation des éleveurs sur les règles de l'environnement et des ressources naturelles pour combler le gap d'adoption.

2.1.3. Analyse des déterminants de la connaissance des règles de gestion des ressources naturelles

Les résultats du tableau 15 montrent que pour les règles du groupe 1 et du groupe 2, respectivement, les valeurs du log likelihood de -116,98 et de 105,88 et ainsi que du LR chi2 (11) de 230,51 et de 256,35 sont tous significatives au seuil de 1 % et montrent que le modèle est globalement bien spécifié. En plus, les valeurs du pseudo R2 montrent que 49 % et 54 % de la variation des variables de connaissance des règles de gestion des ressources naturelles est expliquée par les variations des variables explicatives.

Tableau 15 : Déterminants de la connaissance des règles de gestion.

Variables	Groupe 1 : Règles de protection des ressources naturelles.		Groupe 2 : Règles d'utilisation des ressources naturelles.	
	Coefficients	Effets marginaux	Coefficients	Effets marginaux
Age du chef ménage	0,01 (0,007)	0,003	0,006 (0,007)	0,002
Chef ménage homme	1,05 (0,39) ***	0,40***	1,27 (0,41) ***	0,45****
Taille ménage	0,01 (0,015)	0,006	0,02 (0,01)	0,008
Ethnie chef ménage	-0,02 (0,40)	-0,009	1,06 (0,60) *	0,39**
Alphabétisation du chef de ménage	1,41 (0,25) ****	0,45****	1,56 (0,25) ****	0,51****
Habitat en béton	0,28 (0,20)	0,10	0,38 (0,21) *	0,14
Accès aux marchés	-0,55 (0,22) **	-0,19***	-0,54 (0,23) *	-0,20**
Accès aux boutiques	1,14 (0,22) ****	0,42****	1,04 (0,22) ****	0,39****
Possession téléphone	1,00 (0,21) ****	0,36****	1,15 (0,21) ****	0,42****
Taille parcelle	0,04 (0,44)	0,01	0,02 (0,04)	0,01
Taille cheptel	-0,003 (0,000 6) ****	-0,001****	-0,003 (0,000 7) ****	-0,001****
Constante	-2,54 (0,65) ****		-3,88 (0,84) ****	
Nbr observation	339		339	
LR chi2 (11)	230,51		256,35	
Prob > chi2	0,000 0		0,000 0	
Pseudo R2	0,49		0,54	
Log likelihood	-116,98		-105,88	

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001. Valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

De plus, le tableau 15 montre que les variables qui sont des déterminants significatifs et positifs de la connaissance des règles de gestion des ressources naturelles sont le sexe du chef de ménage, l'alphabétisation du chef de ménage, l'accès aux boutiques et la possession d'un téléphone portable. Aussi, les effets marginaux montrent que, la probabilité de connaître les règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement et d'accès et d'utilisation des ressources naturelles augmente respectivement avec le sexe masculin de 40 % et 45 %, l'alphabétisation du chef de ménage de 45 % et 51 %, l'accès aux boutiques de 42 % et 39 % et la possession d'un téléphone portable de 36 % et 42 %. Parallèlement, il existe des variables qui influencent significativement et négativement la probabilité des éleveurs de connaître les règles de gestion des ressources naturelles. Il s'agit de l'accès au marché et la taille du cheptel, dont les effets marginaux montrent qu'ils contribuent à la réduction de la probabilité de

connaître les règles de gestion des ressources naturelles de -19 % et -0,1 %. L'influence de l'appartenance du chef de ménage à l'ethnie peulh et la possession d'un bâtiment en béton influencent positivement et significativement la probabilité des éleveurs d'être sensibilisés aux règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles, mais leur influence n'est pas significative sur la probabilité des éleveurs d'être sensibilisés sur les règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement. En revanche, les variables telles que l'âge du chef de ménage, la taille du ménage et la taille des parcelles n'ont aucune influence significative sur la probabilité des éleveurs d'être sensibilisée à une règle de gestion des ressources naturelles.

Le fait que l'alphabétisation du chef de ménage influence positivement et significativement la connaissance des règles de gestion des ressources naturelles n'est pas surprenante. En effet, l'alphabétisation a été le moyen qui a été utilisé par le PRODAM pour diffuser les règles de gestion. Ceci a été confirmé par les propos de plusieurs éleveurs durant les discussions par focus group : l'alphabétisation est la clé du succès, car en sachant lire et écrire, nous sommes plus disposés à discuter et échanger durant les réunions et à participer aux ateliers de formations ». Également, le fait que les hommes ont plus de chances d'être sensibilisés sur les règles de gestion des ressources naturelles que les femmes n'est pas aussi surprenant. En effet, à cause des réalités socioculturelles et religieuses, ce sont les hommes qui participent généralement aux réunions au détriment des femmes. Au cours des échanges par focus group, un représentant du PRODAM nous disait : « au début de l'intervention du projet en 1999, dans certains villages, pour des raisons religieuses, le chef religieux interdisait formellement, le regroupement des femmes à côté des hommes au cours des réunions de sensibilisation, ce qui fait que pendant longtemps dans ces villages, les réunions se tenaient sans la participation des femmes ».

L'effet de l'accès à une boutique sur la probabilité des éleveurs d'être sensibilisés sur les règles de gestion des ressources naturelles peut s'expliquer par le fait que les rares boutiques présentes dans la zone sont fortement convoitées. En plus, elles sont implantées dans les villages centres disposant de forages où les éleveurs en venant abreuver leur cheptel, en profitent pour faire leurs achats. De ce fait, à cause de la forte dispersion des villages, les réunions de sensibilisation se tiennent généralement à côté des boutiques pour avoir plus de chance de rencontrer les éleveurs. Ceci peut justifier le fait que les éleveurs qui ont accès aux boutiques ont une forte probabilité de participer aux réunions de sensibilisation. La possession d'un téléphone portable facilite l'accès à l'information et la communication, par conséquent augmente la probabilité de connaissance des règles. L'influence négative de la taille du cheptel

sur la probabilité que l'éleveur soit sensibilisé sur les règles de gestion des ressources naturelles peut être expliquée par le fait que plus la taille du cheptel est grande, plus la mobilité du ménage à la recherche de pâturage est fréquente, ce qui réduit la probabilité du chef de ménage à participer aux réunions de sensibilisation sur les règles. De même, plus un éleveur est impliqué dans la vente de bétail au niveau des marchés hebdomadaires, moins il est disponible pour participer aux réunions d'information sur les règles de gestion qui se tiennent au niveau village. En effet, dans la zone, il existe très peu de marchés hebdomadaires qui sont très distants.

2.1.4. Analyse des facteurs déterminant l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles

Les résultats du tableau 16 montrent que le test de Wald chi2 (6) est significativement différent de zéro, ce qui montre que le modèle est globalement bien spécifié et que les régresseurs peuvent expliquer l'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement ainsi que les règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles. Plusieurs variables sont des déterminants significatifs de l'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement et des règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles.

Tableau 16 : Déterminants de l'adoption des règles de gestion ressources naturelles.

Variables	Groupe 1 : Règles de protection des ressources naturelles.		Groupe 2 : Règles d'utilisation des ressources naturelles.	
	Coefficients	Effets marginaux	Coefficients	Effets marginaux
Age chef ménage	0,005(0,013)	0,006 (0,014)	0,026 (0,13) **	0,001**
Taille ménage	0,038(0,042)	0,04 (0,004)	-0,005(0,033)	-0,000 4
Alphabétisation du chef de ménage	1,07 (0,49) **	0,10 (0,51) **	0,83 (0,48) *	0,053*
Accès aux boutiques	- 0,03 (0,34)	-0,003 (0,38)	-0,38(0,46)	-0,02
Possession téléphone	1,17 (0,46) **	0,15 (0,75) **	1,41 (0,44) ***	0,13*
Taille cheptel	-0,00 (0,001) **	-0,002 (0,01) ****	-0,000 9 (0,001)	-0,000 6
Nombre observation	191		182	
Wald chi2 (6)	81,80		114,14	
Prob > chi2	0,000		0,000	

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001. Valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

L'alphabétisation du chef de ménage influence positivement l'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement ainsi que l'adoption des règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles avec un seuil de significativité de 10 %. De plus, les effets marginaux montrent que le fait que le chef de ménage soit alphabétisé augmente significativement de 10 % et de 5 % respectivement la probabilité d'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement et les règles d'utilisation et d'accès aux ressources naturelles. Ce résultat n'est pas surprenant, car toutes les règles ont été traduites en langue locale et les éleveurs ont été sensibilisés sur ces règles. En effet, les éleveurs

alphabétisés disposent de plus d'informations leur permettant de mieux évaluer l'importance des règles de gestion des ressources comme stratégie efficace pour faire face au changement climatique. Également, plus les éleveurs sont instruits, plus ils sont ouverts aux innovations. Des études similaires ont montré que l'éducation a un effet positif sur l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique. Une étude de Madisson (2007) sur un échantillon de 11 pays africains a montré que l'éducation est le déterminant principal de l'adoption d'au moins une stratégie d'adaptation au changement climatique. Des résultats similaires ont été trouvés par Deressa *et al.* (2009) dans une étude sur les déterminants de l'adaptation au changement climatique en Éthiopie.

De plus, les résultats révèlent que la possession d'un téléphone portable influence positivement l'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement ainsi que l'adoption des règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles avec un degré de signification respectif de 5 % et de 1 %. Parallèlement, les effets marginaux montrent que la possession d'un téléphone portable augmente significativement de 15 % et 13 % respectivement la probabilité d'adopter les règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement ainsi que les règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles. En effet, le téléphone facilite la communication et l'accès à l'information, par conséquent il peut influencer l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles. Dans la littérature le rôle des technologies de l'information et de la communication sur l'adoption des nouvelles technologies a été prouvé par Lee (2005) et Lokossou (2011).

En outre, l'âge du chef a une influence positive et significative à un seuil de 5 % sur l'adoption des règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles, mais n'a aucun effet significatif sur l'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement. Suivant les résultats des effets marginaux, l'âge du chef de ménage augmente significativement de 0,01 % la probabilité du chef de ménage d'adopter les règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles. Ceci montre que plus le chef de ménage est âgé plus il est susceptible d'adopter de nouvelles méthodes d'accès et d'utilisation des ressources naturelles. En effet, ce résultat peut être expliqué par le fait qu'avec l'expérience et les phénomènes climatiques vécus (sécheresses des années 70 et 80), les éleveurs âgés sont plus conscients sur la nécessité d'utiliser les ressources naturelles de manière durable. Des études menées par Roussy *et al.* (2015) et Petersen *et al.* (2015) ont montré que l'âge a une influence positive et significative sur l'adoption de stratégies d'adaptation au changement climatique.

Cependant, l'étude a montré que la taille du cheptel a une influence négative et significative au seuil de 0,01 % sur l'adoption des règles de protection des ressources naturelles, mais n'a pas un effet significatif sur l'adoption des règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles. Les effets marginaux montrent qu'une augmentation de la taille du cheptel d'une unité réduit de 0,02 % la probabilité d'adopter au moins une règle de protection des ressources naturelles et de l'environnement. Ce résultat est en conformité avec celui trouvé par Simane et Amare (2018) qui ont montré qu'en Éthiopie, une augmentation d'une unité du nombre d'Unité de Bétail Tropical réduit de 3,35 % la probabilité des éleveurs d'adopter au moins une option d'adaptation au changement climatique. Dans la zone, l'effet négatif de la taille du cheptel sur l'adoption des règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement peut être expliqué par le fait que les éleveurs qui disposent d'un plus grand nombre de cheptels pratiquent le plus souvent la transhumance à la recherche de l'eau et des pâturages, et par conséquent, ils sont peu sensibles à la protection des ressources naturelles de leur terroir. Enfin, les résultats du tableau 16 montrent que la décision des éleveurs d'adopter les règles de protection des ressources naturelles et de l'environnement et des règles d'accès et d'utilisation des ressources n'est pas influencée significativement par la taille du ménage et l'accès aux boutiques.

2.2. Impact de la sensibilisation des éleveurs sur l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant

La vaccination du cheptel bovin et petit ruminant est indispensable pour la réduction de la mortalité du cheptel et l'amélioration de la productivité. Pour inciter les éleveurs à vacciner le cheptel bovin et petit ruminant, le PRODAM a mis l'accent sur la sensibilisation des éleveurs à travers des actions d'information et la vulgarisation sur les thèmes liés à la santé animale, sur la formation des éleveurs et des auxiliaires d'élevage ainsi que sur la mise en place de parcs à vaccination et de pharmacies vétérinaires villageoises. Ces actions sont supposées influencer la décision des éleveurs de vacciner leur cheptel. Pour rappel, notre variable de traitement est la connaissance de l'existence de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant. La variable de résultat est l'adoption (utilisation) de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant. Donc, il s'agit d'évaluer l'impact de la connaissance de la vaccination sur l'adoption de la vaccination.

2.2.1. Analyse statistique descriptive des taux de diffusion et de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant

Les résultats du tableau 17 révèlent que parmi les 339 éleveurs de l'échantillon, 317 connaissent la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant et 179 l'ont adopté. Dans la population totale, la proportion d'éleveurs qui sont sensibilisés sur la vaccination est estimée à 93 %. Alors que la proportion d'éleveurs qui a adopté la vaccination se chiffre à 52 %. Le taux

d'adoption de la vaccination parmi les éleveurs sensibilisés sur la vaccination est de 56 %. Cependant, comme discuté plus haut, en raison de la diffusion incomplète de la vaccination dans la population totale, les estimations des taux d'adoption par le simple comptage souffrent de deux biais (non-exposition et biais, sélection positive) qui peuvent sous-estimer ou surestimer les vrais taux d'adoption. Par conséquent, nous utilisons des modèles économétriques pour estimer de façon consistante les vrais taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant.

Tableau 17 : analyse descriptive de la diffusion et de l'adoption de la vaccination

Nombre d'observation	339
Nombre d'éleveurs sensibilisés sur la vaccination du cheptel	317
Nombre d'éleveurs adoptants la vaccination du cheptel	179
Proportion d'éleveurs sensibilisés sur la vaccination dans la population totale (%)	93
Proportion des éleveurs adoptants la vaccination dans la population totale (%)	52
Proportion des éleveurs adoptants la vaccination dans la sous-population de ceux qui sont sensibilisés (%)	56

2.2.2. Estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant

Le tableau 18 présente les résultats des taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant.

Tableau 18 : Taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant.

Paramètres	Estimation ATE semi-paramétrique	Estimation ATE Probit
Taux d'adoption dans la population totale (ATE).	56 % (29 %) *	58 % (2,46 %) ****
Taux d'adoption dans la sous-population exposée (ATT)	56 % (31 %) *	58 % (2,45 %) ****
Taux d'adoption dans la sous-population non exposée (ATU)	52 % (11 %) ****	54 % (3,67 %) ****
Taux actuel d'adoption ou taux commun d'exposition et d'adoption (JAE).	53 % (29 %) *	55 % (3 %) ****
Gap d'adoption	-4 % (0,06 %) ****	-3 % (0,2 %) ****
Biais de sélection positive (PSB)	0,2 % (1,8 %)	0,3 % (0,1 %)

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001. Valeur entre parenthèses écart type.

Les modèles ATE semi-paramétriques (IPSW) et ATE paramétrique ont été utilisés pour donner une estimation rigoureuse des taux d'adoption de la vaccination. Le taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant dans la population totale de l'échantillon est estimé à 56 % par le modèle ATE semi-paramétrique et à 58 % par le modèle ATE Probit. Le

taux d'adoption actuelle de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant est estimé à 5 %. Le gap d'adoption, qui représente la différence entre le taux potentiel d'adoption et le taux actuel d'adoption est estimé à -3 %. Dans la sous-population des éleveurs sensibilisés sur la vaccination, le taux d'adoption est de 58 %. Le biais de sélection positive, qui correspond à la différence entre le taux d'adoption potentielle dans la population et le taux d'adoption de la sous-population des éleveurs sensibilisés, est estimé à 0,2 % et n'est pas significatif. En outre, le taux d'adoption potentielle dans la sous-population des éleveurs qui n'ont pas été sensibilisés sur la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant est estimé à 53 %. Ceci montre que 53 % de ces éleveurs auraient adopté la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant s'ils avaient été sensibilisés sur la vaccination.

Le gap d'adoption (-3 %) nous renseigne qu'il existe la quasi-totalité de la demande des éleveurs en matière de sensibilisation sur la vaccination a été satisfaite. Cela peut être expliqué par le fait que beaucoup d'éleveurs sont déjà sensibilisés sur la vaccination du cheptel, comme le prouvent les résultats du taux de diffusion de la vaccination qui a atteint 93 % (voir tableau 17). En effet, beaucoup d'efforts ont été faits sur la sensibilisation des éleveurs pour la vaccination du cheptel par divers projets et programmes. À titre d'exemple, on peut citer les campagnes annuelles de vaccination du cheptel contre les pathologies telles que la peste des petits ruminants, la péripneumonie contagieuse bovine, les dermatoses nodulaires, etc. Historiquement, les éleveurs du Ferlo sont impliqués dans des programmes de vaccination depuis la période coloniale. Plusieurs éleveurs perçoivent donc la nécessité de vacciner leur cheptel, et l'ont souligné au cours des discussions par focus group : « Avant, il fallait attendre que nos animaux soient malades pour les faire vacciner, mais actuellement nous anticipons ces maladies par la vaccination de nos animaux ».

Au vu des efforts importants menés sur la sensibilisation des éleveurs (taux de diffusion 93 %), le taux d'adoption potentielle de la vaccination reste encore modeste (56 % ; 58 %). Cela voudrait-il dire que, menée de façon isolée, la sensibilisation sur la vaccination semble ne pas être suffisante pour l'adoption de la vaccination par les éleveurs du Ferlo. Ainsi un éleveur peut être sensibilisé sur la vaccination du cheptel et avoir des contraintes pour l'accès physique aux parcs à vaccination. En effet, dans la littérature sur l'adoption, il a été démontré que l'accès physique aux technologies est un facteur important de l'adoption (Diagne, 2010, Dontsop *et al.*, 2013). Cela semble être une réalité dans la zone du Ferlo, parce que les distances d'accès aux parcs à vaccination restent très importantes comme souligné dans le tableau 4). En effet, dans la zone la distance moyenne de l'ensemble des villages par rapport au parc à vaccination le plus

proche est de 39,27 km. La distance d'accès est longue pour les ménages des villages non membres des unités pastorales avec 66,76 km, contre 10,06 km, pour les villages membres des unités pastorales. Deux implications politiques majeures peuvent être tirées de ces résultats. Premièrement, la nécessité de revoir à la baisse les ressources financières allouées à la sensibilisation sur la vaccination contre les pathologies les plus fréquentes compte tenu du fait que dans la zone la quasi-totalité (93 %) des éleveurs est déjà sensibilisée. Deuxièmement, pour une meilleure efficacité dans l'adoption de la vaccination, il faut allouer suffisamment de ressources financières à la construction de parcs à vaccination pour réduire les contraintes d'accès. Troisièmement, combiner la sensibilisation et la vaccination pour améliorer l'adoption de la vaccination du cheptel par les éleveurs du Ferlo. Par ailleurs, ces résultats ouvrent des perspectives pour des recherches futures sur l'adoption de la vaccination du cheptel dans le Ferlo, qui devraient tenir compte à la fois du manque de connaissance sur la vaccination et sur des contraintes d'accès aux parcs à vaccination, pour une bonne estimation des taux d'adoption potentielle.

2.2.3. Analyse des facteurs déterminants de la connaissance de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant

Les résultats du tableau 19 montrent que les valeurs du log likelihood estimées à -71,01 et du LR chi2 (9) de 20,86 sont toutes significatives au seuil de 5 % et montrent que le modèle est globalement bien spécifié. Les variables qui influencent positivement la connaissance de la vaccination du cheptel bovin et du petit ruminant sont : l'alphabétisation et l'accès à une boutique avec au moins un niveau de signification de 5 %. De plus, les effets marginaux montrent que la probabilité pour qu'un éleveur connaisse la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant augmente de 4 % avec l'alphabétisation et de 5 % avec l'accès à une boutique.

Tableau 19 : Déterminant de la connaissance de la vaccination par la méthode ATE.

Variables	Coefficients	Effets marginaux
Âge du chef de ménage	-0,018 (0,008) **	0,001**
Taille du cheptel	0,016 (0,021)	0,001
Alphabétisation chef ménage	0,50 (0,30) *	0,04*
Habitat en béton	0,37 (0,25)	0,03
Accès aux marchés	0,12 (0,25)	0,011
Accès aux boutiques	0,50 (0,25) **	0,05*
Possession téléphone	-0,25 (0,21)	-0,02
Superficie parcelle	0,03 (0,53)	0,003
Taille du cheptel	0,001 (0,001)	0,000 1
Constante	1,27 (0,53) **	
Nbr observation	339	
LR chi2 (9)	20,86	
Prob > chi2	0,013 3	
Pseudo R2	0,12	
Log likelihood	-71,01	

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001. Valeur entre parenthèses représente l'écart type.

L'influence positive de l'alphabétisation sur la connaissance de la vaccination n'est pas surprenante. Dans la zone, l'alphabétisation a joué un rôle important dans la sensibilisation sur la vaccination, car tous les manuels de vulgarisation sur la santé animale ont été traduits en langue peulh et diffusés auprès des éleveurs par les auxiliaires d'élevage et les alphabétiseurs. L'effet positif de l'accès aux boutiques sur la connaissance de la vaccination n'est pas aussi surprenant, compte tenu du fait que les réunions d'information et de sensibilisation se tiennent généralement à côté des forages où sont implantées les boutiques ; les boutiques étant, par ailleurs, des lieux d'échanges d'information. Par contre, l'âge du chef de ménage influence négativement la connaissance de la vaccination, ce qui montre que les jeunes sont plus informés sur la vaccination que les personnes âgées. De plus, dans les pratiques en élevage extensif, la gestion du troupeau est généralement transférée aux éléments les plus jeunes et plus dynamiques. Enfin, la connaissance de la vaccination du cheptel n'est pas influencée significativement par la taille du ménage, le type d'habitat, l'accès au marché ou, la possession d'un téléphone portable et la taille du cheptel.

2.2.4. Analyse des déterminants de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant

Le modèle ATE paramétrique qui est restreint à la sous-population des adoptants de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant ainsi que les effets marginaux ont été utilisés pour estimer les déterminants de la décision des éleveurs d'adopter ou non la vaccination. Les résultats du tableau 20 montrent que la valeur du Wald Chi² est significativement différente de zéro, cela montre que le modèle est globalement bien spécifié et que les variables explicatives peuvent expliquer l'adoption de la vaccination du cheptel. Les résultats révèlent que l'alphabétisation du chef de ménage est positivement et significativement corrélée à la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant à un niveau de significativité de 5 %. De plus, les effets marginaux montrent que l'alphabétisation augmente de 15 % la probabilité de la décision de l'éleveur d'adopter la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant. Un résultat similaire a été trouvé par Gustafson *et al.* (2015) en Tanzanie dans leur étude portant sur l'impact de l'éducation sur le contrôle des maladies animales. Dans la zone d'étude, l'effet de l'alphabétisation sur la vaccination peut être expliqué par le fait que tous les manuels de vulgarisation sur la santé animale ont été traduits en langue locale et diffusés auprès des éleveurs. En plus, l'accès aux boutiques influence positivement et significativement l'adoption de la vaccination du cheptel avec un niveau significatif de 1 %. Ceci peut s'expliquer par le fait que les rares boutiques sont implantées dans les villages où se trouvent les parcs à vaccination. Des résultats similaires ont été trouvés par Suresh *et al.* (2007), Arunava *et al.* (1997). Par

contre, Legesse *et al.* (2013) et Thomas *et al.* (2016) ont trouvé que la taille du cheptel influence positivement et significativement l'adoption de la vaccination.

Tableau 20 : Déterminants de l'adoption de la vaccination du cheptel

Variabiles	ATE Probit	Effets marginaux
Âge	0,015 (0,006)	0,005 (0,005)
Taille du ménage	-0,004 (0,012)	-0,001 (0,004)
Alphabétisation	0,41 (0,18) **	0,15 (0,06) **
Habitat	0,24 (0,16)	0,09 (0,06)
Accès marché	-0,50 (0,17)	-0,18 (0,06)
Accès boutique	0,46 (0,16) ***	0,18 (0,06) *
Téléphone	0,19 (0,17)	0,07 (0,16)
Superficie parcelle	0,007 (0,02)	0,002 (0,007)
Taille cheptel	0,000 7 (0,000 4)	-0,000 (0,000 1)
Nbr observation	317	
Wald chi2 (9)	40,54	
Prob > chi2	0,000	

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001. Valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

2.3. Impact de la sensibilisation des éleveurs sur l'adoption de l'eau des forages pastoraux

Au Ferlo, l'eau est une ressource vitale pour le cheptel et les éleveurs qui y vivent. Avec les pâturages, elle conditionne la vie des communautés pastorales (Baroin, 2003 ; Ancy *et al.*, 2008). Cependant, à cause de la faiblesse et l'irrégularité des pluies dans le temps et de l'espace ainsi que les sécheresses accentuées et récurrentes, l'eau devient de plus en plus rare, imprévisible et incertaine. Face à cette situation préoccupante, l'hydraulique pastorale a été la stratégie privilégiée par le PRODAM pour faciliter l'approvisionnement en eau des éleveurs et du cheptel. Ainsi, plusieurs forages avec abreuvoirs et bornes-fontaines ont été mis en place et les éleveurs informés et sensibilisés sur l'utilisation de l'eau des forages. C'est ainsi que l'on s'intéresse à savoir si la sensibilisation a permis d'influencer la décision des éleveurs d'utiliser l'eau des forages pastorales. Pour cela nous avons comme variable de traitement, la connaissance de l'existence des forages et comme variable de résultat, l'adoption de l'eau du forage (c'est-à-dire l'utilisation de l'eau du forage pour la consommation).

2.3.1. Analyse statistique descriptive des taux de diffusion et d'adoption de l'eau des forages pastoraux

Les résultats du tableau 21 révèlent que parmi les 339 éleveurs de l'échantillon, 317 sont sensibilisés sur l'eau des forages et 106 l'ont adopté. Dans la population totale, la proportion d'éleveurs qui sont sensibilisés sur l'eau des forages est estimée à 93 %. La proportion d'éleveurs qui a adopté l'eau des forages est de 31 %. Le taux d'adoption de l'eau des forages parmi les éleveurs sensibilisés est de 33 %. Cependant, comme discuté plus haut, en raison de

la diffusion incomplète de l'eau des forages dans la population totale, les estimations des taux d'adoption par le simple comptage souffrent de deux biais (non-exposition et biais, sélection positive) qui peuvent sous-estimer ou surestimer les vrais taux d'adoption. Par conséquent, nous utilisons des modèles économétriques pour estimer de façon consistante les vrais taux d'adoption de l'eau des forages.

Tableau 21 : Diffusion et adoption de l'eau des forages.

Nombre d'observation	339
Nombre d'éleveurs sensibilisés sur l'eau des forages	317
Nombre d'éleveurs adoptants l'eau des forages	106
Proportion des éleveurs sensibilisés sur l'eau des forages dans la population totale (%)	93
Proportion des éleveurs adoptants l'eau des forages dans la population totale (%)	31
Proportion des éleveurs adoptants l'eau des forages dans la sous-population de ceux qui sont sensibilisés (%)	33

2.3.2. Estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle de l'eau des forages pastoraux

Le modèle ATE paramétrique a été utilisé pour donner une estimation rigoureuse des taux d'adoption. Les résultats du tableau 22 montrent que le taux d'adoption potentielle (ATE) de l'eau des forages dans la population totale de l'échantillon est estimé à 38 %. Le taux d'adoption actuelle de l'eau des forages, c'est-à-dire le taux commun d'exposition et d'adoption (JEA) est de 35 %. Le gap d'adoption qui représente la différence entre le taux d'adoption potentielle (ATE) et le taux actuel d'adoption (JEA) est de (-3 %). Dans la sous-population des éleveurs qui ont été sensibilisés sur l'eau des forages, le taux d'adoption (ATT) est de 38 %. Également, dans la sous-population des éleveurs qui n'ont pas été sensibilisés, le taux d'adoption potentielle est de 38 %. Le biais de sélection positive (PSB) qui représente la différence entre le taux d'adoption potentielle (ATE) et le taux d'adoption de la sous population des éleveurs sensibilisés (ATT), n'est pas significatif et est estimé à 0,02 %.

Le gap d'adoption (-3 %) signifie qu'il existe la demande des éleveurs en matière de sensibilisation sur l'utilisation de l'eau des forages a été presque satisfaite, et peut être expliqué par le fait que beaucoup d'efforts ont été faits dans la sensibilisation des éleveurs sur l'utilisation de l'eau des forages, mais aussi, par le fait que cette infrastructure est toujours une attente des éleveurs. Ceci est confirmé par les résultats du tableau 21 qui montrent un taux de diffusion de 93 %. En effet, en dehors du PRODAM, d'autres projets et ONG intervenant dans la zone du Ferlo ont beaucoup investi sur la sensibilisation des éleveurs sur l'utilisation de l'eau des forages à la fois pour l'alimentation humaine et animale, dans le but de lutter contre les

maladies diarrhéiques, réduire la pénibilité pour la corvée d'eau et renforcer les capacités d'adaptation du cheptel et améliorer la productivité du cheptel. En moyenne un animal perd environ un kilogramme de poids vif pour 10 km de marche.

Tableau 22 : Taux adoption de l'eau des forages pastoraux.

Paramètres	Estimation ATE Probit
Taux d'adoption dans la population totale.	38 % (2,4 %) ****
Taux d'adoption dans la sous-population exposée	38 % (2,4 %) ****
Taux d'adoption dans la sous-population non exposée.	38 % (2,8 %) ****
Taux commun d'exposition et d'adoption.	35 % (2,32 %) ****
Gap d'adoption	-3 % (0,1 %) ****
PSB : Bais de sélection positive	0,023 2 (0,1 %)

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001. Valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

Le taux d'adoption potentielle de l'eau des forages (38 %) semble être relativement bas, au vu des efforts importants fournis dans la sensibilisation des éleveurs (taux de diffusion : 93 %). Cela voudrait-il dire que la sensibilisation sur l'eau des forages semble ne pas être suffisante pour augmenter le niveau d'adoption potentielle de l'eau des forages. Aussi, l'eau des forages n'est pas gratuite contrairement aux autres sources d'eau (puits, mares) qui constituent des alternatives. Les résultats de la littérature sur l'adoption des nouvelles technologies ont apporté une réponse qui semble être plausible dans le contexte de l'adoption de l'eau des forages. En effet, Diagne (2010) et Dontsop *et al.* (2013) ont montré que l'adoption des variétés de NERICA basée uniquement sur la connaissance de ces variétés (sensibilisation) n'est pas suffisante pour donner une vraie estimation des taux d'adoption potentielle, car un paysan peut avoir connaissance des variétés, mais avoir des difficultés pour y accéder. Ils concluent que l'accès à une nouvelle variété est important pour son adoption. Sur la base de ces considérations et tenant compte des résultats du tableau 4 sur l'accès physique aux forages dans la zone du Ferlo, on peut dire que la non prise en compte de la contrainte d'accès peut sous estimer le taux d'adoption potentielle de l'eau des forages. En effet, dans la zone d'étude, la distance moyenne de l'ensemble des villages par rapport au forage le plus proche est de 23 km. La distance d'accès au forage est longue pour les ménages des villages non membres des unités pastorales avec 33 km, contre 12 km, pour les villages membres des unités pastorales.

Deux implications politiques majeures peuvent être tirées de ces résultats. Premièrement, compte tenu de la proportion des éleveurs qui ont été sensibilisés sur l'eau des

forages (93 %), et des contraintes d'accès aux forages, il est important d'allouer plus de ressources financières à la réalisation de forages pour faciliter l'accès, particulièrement dans les villages non membres d'UP, qui en sont totalement dépourvus. Par ailleurs, ces résultats ouvrent des perspectives pour des recherches futures sur l'adoption de l'eau des forages dans le Ferlo, qui devraient tenir compte à la fois de la sensibilisation et de l'accès à l'eau (distance et coût), pour une estimation consistante des taux d'adoption potentielle de l'eau des forages.

2.3.3. Analyse des facteurs déterminant l'adoption de l'eau des forages pastoraux

Le tableau 23 présente les résultats des déterminants de l'adoption de l'eau des forages pastoraux. Le modèle ATE paramétrique qui est restreint à la sous-population des adoptants de l'eau des forages pastoraux ainsi que les effets marginaux a été utilisé pour estimer les déterminants de la décision des éleveurs d'adopter ou non l'eau des forages pastoraux. Les résultats du tableau 23 montrent que la valeur du Wald Chi2 est significativement différente de zéro, cela montre que le modèle est globalement bien spécifié et que les variables explicatives peuvent expliquer l'adoption de l'eau des forages pastoraux.

Tableau 23 : Déterminants de l'adoption de l'eau des forages pastoraux.

Variabiles	ATE Probit	Effets marginaux
Âge du chef de ménage	-0,004 (0,005)	-0,001 7 (0,001 8)
Taille ménage	-0,021 (0,012) *	-0,007 (0,004) *
Alphabétisation du chef de ménage	0,78 (0,19) ****	0,29 (0,07) ****
Possession d'un téléphone	0,46 (0,17) ***	0,17 (0,06) ***
Taille cheptel	-0,001 (0,000 6) **	-0,000 5 (0,000 2)
Habitat en béton	-0,30 (0,16) *	-0,11 (0,05) *
Nbr observation	317	
Wald chi2 (6)	67,72	
Prob > chi2	0,000 0	

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001.

Les résultats révèlent que l'alphabétisation du chef de ménage, la possession d'un téléphone portable sont des déterminants positifs et significatifs de l'adoption de l'eau des forages pastoraux avec un niveau de signification d'au moins de 0,1 %. De plus, les effets marginaux montrent que l'alphabétisation du chef de ménage et la possession d'un téléphone portable augmentent respectivement de 29 % et 17 % la probabilité de la décision d'un éleveur d'adopter l'eau des forages pastoraux. Ces résultats montrent que plus l'éleveur est éduqué et dispose de l'information, plus il est disposé à utiliser de nouveaux produits, biens et services, en tenant compte de leurs avantages et des coûts qui y sont associés. Dans la zone du Ferlo, l'alphabétisation a été un moyen important d'éduquer et de sensibiliser les populations, car tous les supports de formation sur les caractéristiques, le mode de fonctionnement, de gestion ainsi

que les avantages à consommer l'eau des forages pastoraux ont été traduits en langue peulh. Également, la possession d'un téléphone portable facilite la communication et permet à l'éleveur d'avoir l'information sur l'existence et le mode de fonctionnement des forages de la zone, qui peuvent lui permettre de prendre des décisions utiles pour la gestion de son cheptel. Parallèlement, l'étude a montré qu'il existe des variables qui influencent négativement et significativement la décision des éleveurs d'adopter l'eau des forages pastoraux. Il s'agit des variables : taille du cheptel (impact négatif et significatif au seuil de 10 %), taille du ménage (impact négatif et significatif au seuil de 5 %) et habiter dans un bâtiment en béton (impact négatif au seuil de 10 %). En plus, les coefficients des effets marginaux montrent qu'une augmentation de la taille du ménage et de la taille du cheptel réduit la probabilité d'utiliser l'eau des forages pastoraux respectivement de 0,7 % et 0,05 %. Aussi la possession d'un bâtiment en béton réduit-elle la probabilité d'utiliser l'eau des forages pastoraux de 11 %.

L'influence négative de la taille du ménage sur l'utilisation de l'eau des forages pastoraux peut être expliquée par le fait que ces ménages disposent d'une main-d'œuvre importante pour la corvée d'eau au niveau des puits. Le fait que la taille du cheptel influence négativement sur l'adoption de l'eau des forages pastoraux peut être expliqué par le coût à supporter pour abreuver le cheptel. En effet, dans la zone, l'abreuvement du cheptel par tête est facturé à 150 FCFA par mois. Le type d'habitat en béton peut renseigner sur le niveau de richesse de l'éleveur et semblerait expliquer que les ménages riches ont tendance à utiliser d'autres sources d'eau outre les forages pastoraux. En général, celui qui habite dans un bâtiment en dur a les possibilités de creuser un puits.

Conclusion partielle

Ce chapitre a permis de faire premièrement l'analyse statistique descriptive de la diffusion et de l'adoption, deuxièmement l'estimation économétrique des taux d'adoption actuelle et potentielle et enfin l'estimation des déterminants de l'adoption de chacune des trois (3) stratégies d'adaptation au changement climatique. Les résultats ont montré qu'il existe un gap d'adoption important des règles de gestion des ressources naturelles qui est dû à une diffusion incomplète, et par conséquent, justifie la nécessité de poursuivre les actions de sensibilisation des communautés pastorales sur les règles de gestion des ressources naturelles. Par contre, pour l'adoption de la vaccination et de l'eau des forages, le gap d'adoption est très bas et signifie que beaucoup d'éleveurs ont été sensibilisés sur l'eau des forages et la vaccination. En revanche, l'étude souligne la nécessité d'allouer plus de ressources financières à l'accès aux parcs à vaccination et aux forages pastoraux, afin de reléver les taux d'adoption

actuelle et potentielle. Parallèlement, l'étude montre qu'en plus, de la sensibilisation des éleveurs, il existe d'autres facteurs socio-économiques qui influencent significativement la décision des éleveurs d'adopter les règles de gestion des ressources naturelles, l'eau des forages et la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant. Par conséquent, ces facteurs doivent être pris en compte par les programmes futurs pour faciliter l'adoption de ces stratégies d'adaptation au changement climatique. Compte tenu de l'importance des taux d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique diffusées par le PRODAM, il devient pertinent et primordial d'évaluer si les éleveurs qui ont effectivement adopté ces stratégies d'adaptation au changement climatique en tirent des bénéfices en terme d'amélioration de leur bien-être. En d'autres termes, il s'agit d'évaluer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages dans la zone du Ferlo. La réponse à cette question est abordée dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : Impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages

Introduction

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation de l'impact des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. Il s'agit plus précisément d'évaluer : (i) l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages ; (ii) l'impact de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages et (iii) l'impact de l'adoption de l'eau des forages sur la sécurité alimentaire et le revenu des éleveurs. Tenant compte de l'hétérogénéité de l'impact, ce chapitre analyse les autres facteurs outre que l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique, qui peuvent influencer la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. Pour rappel, la méthode de la variable instrumentale locale est utilisée et le paramètre estimé est le LATE (Locale Average Treatment Effect) à l'aide de l'estimateur LARF (Locale Average Function Response). Pour chacune des stratégies d'adaptation au changement climatique évaluée, les variables utilisées sont : (i) variable instrumentale : connaissance de l'existence de la stratégie d'adaptation considérée ; (ii) variable de traitement : adoption de la stratégie d'adaptation considérée ; (iii) variable de résultats : revenu annuel et score de consommation alimentaire des ménages ; (iv) variables explicatives : caractéristiques socio-économiques et démographiques des ménages.

3.1. Impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages

Dans un premier temps, il est présenté l'analyse descriptive de l'impact par simple comparaison des différences de moyenne de revenu et de sécurité alimentaire. Dans un second, l'estimation de l'impact par la méthode économétrique est réalisée ainsi que celle des déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu des ménages.

3.1.1. Analyse descriptive de l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire

La figure 9 mesure le lien entre l'adoption d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles et la situation de sécurité alimentaire des ménages en comparant la proportion de ménages par rapport aux trois différents groupes de sécurité alimentaire. Les résultats montrent qu'en moyenne, 95 % des ménages adoptants au moins une règle de gestion des ressources naturelles sont en situation de sécurité alimentaire contre 85 % pour les ménages non-adoptants. Cependant, 2 % des ménages adoptants et non-adoptants sont dans une situation d'insécurité alimentaire sévère. Seuls 3 % des ménages non adoptants sont dans une situation

d'insécurité alimentaire modérée, comparés aux 8 % de ménages non adoptants. Dans le même ordre d'idée, le tableau 24 compare les différences de moyenne de scores de consommation alimentaire et de revenus annuels entre les ménages adoptants et non-adoptants au moins une règle de gestion des ressources naturelles. Les résultats montrent que les ménages adoptants ont des scores de consommation alimentaire moyens significativement plus élevés que les ménages non adoptants. La différence de score de consommation alimentaire est estimée à 3 et est significative et positive au seuil de 1 %. De plus, les ménages adoptants au moins une règle de gestion des ressources naturelles ont un revenu annuel significativement plus élevé que les ménages non adoptants. Cette différence est estimée à 375 124 FCFA et est statistiquement différent de zéro au seuil de 0,1 %. Cependant, le simple test statistique de différences de moyenne des résultats des scores de consommation alimentaire et des revenus entre les adoptants et non adoptants est une estimation naïve qui peut biaiser les résultats, à cause du fait qu'elle ne tient pas compte des caractéristiques observables et non observables des ménages qui peuvent influencer leur sécurité alimentaire et revenu. En conséquence, pour donner une estimation rigoureuse de l'impact, nous utilisons la méthode de la variable instrumentale locale qui permet de contrôler à la fois les caractéristiques socio-économiques observées et non observées.

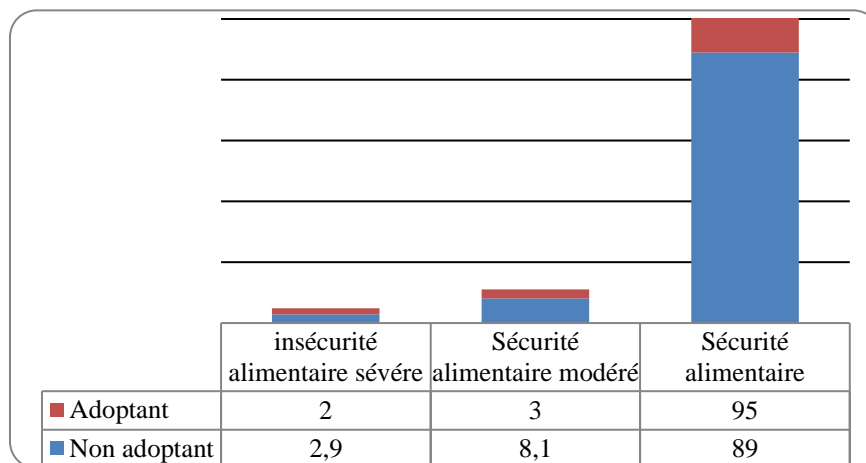


Figure 9 : Analyse de la Sécurité alimentaire selon l'adoption des règles de gestion.

Tableau 24 : Analyse l'adoption des règles sur la sécurité alimentaire et de revenu.

Caractéristiques	Adoptants	Non-adoptants	Total	Différence test
Nombre observations	159	180	339	
Score de consommation alimentaire moyen	76 (1,54)	73 (1,74)	75 (1,16)	3,07***
Revenu annuel moyen (FCFA)	1 336 051 (117 930)	960 926 (80 320)	1 160 108 (73 681)	375 124****

Note : ****, ***, ** et * niveau de significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Le nombre entre parenthèses représentent l'écart type.

3.1.2. Impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur le revenu et la sécurité alimentaire

Le tableau 25 présente les résultats de l'impact de l'adoption d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles sur la sécurité alimentaire et le revenu annuel des ménages. Les résultats de l'estimation du paramètre LATE basée sur l'estimateur LARF avec interaction sont comparés avec ceux obtenus avec l'estimateur Wald. En estimant le paramètre LATE par le LARF, les résultats révèlent que l'adoption d'au moins d'une règle de gestion des ressources naturelles a un impact positif et significatif sur la sécurité alimentaire et le revenu annuel dans la sous population des ménages adoptants. En effet, l'adoption d'au moins une règle de gestion des ressources naturelles augmente en moyenne le score de consommation alimentaire des ménages de 8 points et le revenu annuel de 606 927 FCFA au seuil de 0,1 % de signification. En revanche, en estimant le paramètre LATE par l'estimateur Wald, l'impact de l'adoption d'au moins d'une règle de gestion des ressources naturelles n'est pas significatif. Ce résultat obtenu avec l'estimateur Wald n'est pas surprenant, car l'hypothèse qui la sous-tend n'est pas pertinente dans le contexte de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles. En effet, il repose sur l'hypothèse selon laquelle la sensibilisation des éleveurs a été faite de manière aléatoire, ce qui n'est pas le cas, comme le prouve les résultats des tableaux 17 et 18.

Tableau 25 : Impact des règles de gestion ressources naturelles sur la sécurité alimentaire.

Caractéristiques	Score de consommation alimentaire	Revenu annuel (FCFA)
Nombre observations de l'échantillon		339
Nombre adoptants au moins une règle de gestion		159
Nombre non adoptants au moins une règle de gestion		180
Estimation du LATE basée sur l'estimateur Wald		
- Impact moyen dans la sous-population des adoptants potentiels au moins une règle de gestion des ressources naturelles.	3 (280)	398 320 (506 281)
Estimation du LATE basée sur le LARF exponentiel avec interaction.		
- Impact moyen dans la sous-population des adoptants potentiels au moins une règle de gestion des ressources naturelles.	8 (0,000 6) ****	606 927 (0,003 004) ****

Note : ****, ***, ** et * niveau de significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Le nombre entre parenthèses représente l'écart type.

L'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages adoptants peut être expliqué par plusieurs raisons. Premièrement, l'adoption de règles de gestion des ressources naturelles, telles que la lutte contre les feux de brousse, les coupes abusives de bois, la surexploitation des pâturages, ainsi que la régénération du couvert végétal par la plantation d'arbres et la mise en défens, contribue à la réduction de la dégradation des ressources naturelles et de l'environnement, par conséquent,

permet une plus grande disponibilité de biomasses herbacées et foliaires, indispensables à l'alimentation du cheptel bovin et petit ruminant. Cela contribue à l'augmentation de la production et de la productivité de lait et viande pour la consommation alimentaire des ménages, mais aussi à une amélioration de la croissance du cheptel, facilitant ainsi la commercialisation et par conséquent, une amélioration des revenus des éleveurs. Confirmation a été faite par les populations locales au cours des discussions par focus group : *« grâce à l'application des règles de gestion des ressources naturelles, il ya plus de pâturages et d'arbres et d'arbustes, car il ya de moins en moins de feux de brousse, de coupes abusives de bois, ce qui fait que nos animaux sont mieux nourris, se reproduisent rapidement, produisent plus de lait et de viande et sont plus faciles à vendre »*. Ces déclarations des éleveurs peuvent être confirmées par les résultats de l'étude du Centre de Suivi Écologie (CSE, 2012), qui montrent que dans la zone où les règles de gestion des ressources naturelles ont été mises en œuvre, les superficies brûlées par les feux de brousse ont chuté de 27 %, la production de biomasse herbacée par kilogramme de matière sèche par hectare et par année a augmenté de 12 % entre 2005 et 2012. Cette même étude révèle que le taux de fécondité des bovins a augmenté de 50 % et celui des petits ruminants de 25 % pour la même période. Aussi, l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur la sécurité alimentaire et le revenu des éleveurs peut être expliqué, par le fait qu'il contribue à l'amélioration de la production et de la productivité de produits forestiers, mais aussi à une meilleure organisation du ramassage et de la vente de bois. En effet, dans la zone du Ferlo, la vente de fruits forestiers non ligneux (jujube, gomme arabique, fruits de balanites, etc.), et de bois morts, constitue des sources importantes de revenus des éleveurs. Cela a été aussi mentionné par les éleveurs au cours des visites d'échanges : *« avec l'application des règles de gestion des ressources naturelles, il ya une bonne régénération d'arbres et d'arbustes, une meilleure organisation du ramassage de bois, ce qui nous permet de récolter plus, de vendre et de gagner plus d'argent »*.

Les résultats obtenus sont en conformité avec ceux trouvés par Pailler *et al.* (2015), Berhe *et al.* (2017) et Amare et Simane (2018) qui ont démontré que l'adoption de la gestion des ressources naturelles comme stratégie d'adaptation au changement climatique, a un impact positif et significatif sur la sécurité alimentaire des ménages en Tanzanie, Éthiopie et au Pakistan. En dehors de l'adoption des règles de gestion qui impactent sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages, il existe un certain nombre de variables qui influencent la sécurité alimentaire et le revenu. En effet, les résultats du tableau 26 montrent que la taille du ménage et la taille du cheptel influencent positivement la sécurité alimentaire et le revenu des ménages

au seuil de signification d'au moins de 0,1 %. Ceci montre que si le ménage augmente d'une personne et la taille du cheptel augmente d'une tête de bétail, cela entraîne une augmentation respective du score de consommation alimentaire de 0,63 point et 0,02 point et du revenu des ménages de 66 247 FCFA et 2 471 FCFA. L'effet positif et significatif de la taille du ménage et du cheptel sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages peut s'expliquer par le fait que les ménages ayant une plus grande main d'œuvre et une plus importante taille du cheptel peuvent augmenter leurs productions agricoles et animales et diversifier leurs sources de revenus. Par contre, l'âge du chef de ménage et l'alphabétisation du chef de ménages ont une influence négative sur la sécurité alimentaire des ménages au seuil de signification d'au moins de 0,1 %. L'effet de l'âge se comprend, car les personnes âgées ont moins de force physique pour la production agricole et pastorale. Par contre, l'effet négatif de l'alphabétisation n'était pas attendu, car on supposait que les éleveurs alphabétisés ont l'esprit ouvert à l'innovation et l'entrepreneuriat pour diversifier leurs sources de productions et de revenus. Par ailleurs, ces résultats confirment l'hypothèse avancée plus haut, notamment, l'estimation de l'impact basée uniquement sur les différences de résultats de sécurité alimentaire et de revenu entre les ménages adoptants et non-adoptants qui entraîne des résultats biaisés, car ne tient pas compte de l'effet des autres facteurs (exemple : taille du ménage, taille du cheptel, âge du chef de ménage, etc.).

Tableau 26 : Déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu des ménages.

Variables	Score de consommation alimentaire des ménages	Revenu annuel des ménages
Adoption règle	8 (3,37) **	542 946 (175 688) **
Âge du chef de ménage	-0,32 (0,09) **	1702 (5 185)
Taille du ménage	0,63 (0,19) **	66 059 (10 227) ****
Alphabétisation du chef de ménage	-8,17 (3,07) ****	416 011 (160 268)
Accès aux boutiques	1,57 (2,87)	183 250 (149 770)
Taille cheptel	0,02 (0,008) ****	2 741 (435) ****
Constante	74,09 (5,28) ***	298
Nombre observations	298	24,67
F (6, 291)	5,41	0,000
Prob > F	0,000	0,33
R2	0,10	0,32
R2 ajusté	0,08	542 946**

Note : * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$ et **** $p < 0,001$. Valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

3.2. Impact de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages

3.2.1. Analyse descriptive de l'impact de l'adoption de la vaccination sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages

La figure 10 mesure le lien entre l'adoption de la vaccination et le niveau de sécurité alimentaire des ménages en comparant la proportion de ménages par rapport aux trois différents groupes de sécurité alimentaire. Les résultats montrent en moyenne 2 % et 4 % des ménages adoptants et non adoptants sont respectivement dans une situation d'insécurité alimentaire sévère. En moyenne, 4 % et 7 % des adoptants et non-adoptants sont respectivement dans une situation de sécurité alimentaire limite. Cependant, les 94 % des ménages adoptants la vaccination sont en situation de sécurité alimentaire contre 88 % pour les ménages non-adoptants avec une différence positive et statistiquement significative au seuil de 5 %. Ce résultat montre que la sécurité alimentaire des ménages dans la zone est fortement corrélée à l'adoption des ménages de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant. Le tableau 27 compare les différences de moyenne des scores de consommation alimentaire et de revenu des adoptants et non adoptants de la vaccination. Les résultats montrent que les ménages adoptants ont un score de consommation alimentaire et un revenu moyen significativement plus élevé que les ménages non adoptants. Les différences de moyenne entre les deux groupes sont de 3 pour le score de consommation alimentaire et 492 330 FCFA pour le revenu.

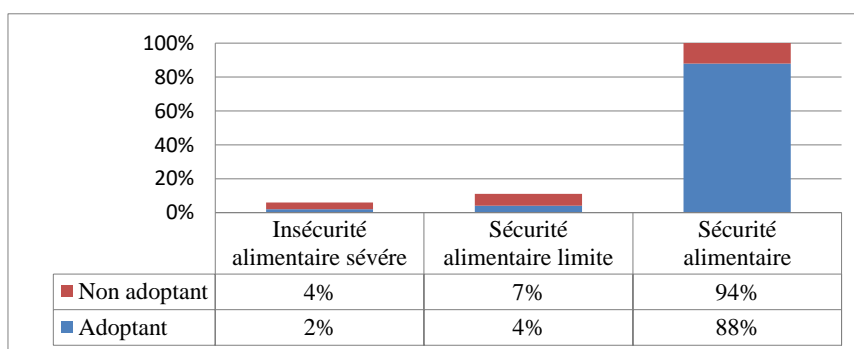


Figure 10 : Analyse de la sécurité alimentaire selon l'adoption de la vaccination.

Tableau 27: Analyse de la sécurité alimentaire et du revenu selon la vaccination

Caractéristiques	Score Consommation alimentaire	Revenu annuel (FCFA)
Nombre observations	339	339
Nombre adoptants	179	179
Nombre non adoptants	160	160
Moyenne adoptants	76 (1,50)	1 392 476 (115 523)
Moyenne non-adoptants	73 (1,79)	900 145 (83 260)
Différence moyenne	3*	492 330 ****

Note : ****, ***, ** et * significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Le nombre entre parenthèses l'écart type.

3.2.2. Impact de l'adoption de la vaccination du cheptel sur la sécurité alimentaire et le revenu

Les résultats du tableau 28 révèlent qu'avec l'estimation du LATE par le LARF, l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant a un impact positif et significatif sur la sécurité alimentaire et le revenu annuel des ménages. En effet, l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant augmente le score de consommation alimentaire des ménages de +19 points et le revenu annuel de + 561 037 FCFA, au seuil de 0,1 % de significativité. Ceci montre que la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant permet d'améliorer la sécurité alimentaire et le revenu des ménages dans la zone du Ferlo. L'estimation du LATE par l'estimateur Wald montre un effet positif, mais non significatif de l'impact de l'adoption de la vaccination sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. Comme indiqué plus haut, le WALD est un estimateur qui n'est pas robuste pour donner une interprétation de l'effet causal, car il repose sur l'hypothèse selon laquelle la variable instrumentale est distribuée de façon aléatoire dans la population. Or, dans la zone les éleveurs sensibilisés n'ont pas été choisis de façon aléatoire, mais ont été ciblés sur la base de critères.

Tableau 28 : Impact de l'adoption de la vaccination sur la sécurité alimentaire et le revenu

Caractéristiques	Score de consommation alimentaire ménage	Revenu annuel du ménage (FCFA)
Nombre observations de l'échantillon		339
Nombre adoptants au moins une règle de gestion		179
Nombre non adoptants au moins une règle de gestion		317
Estimation du LATE basée sur l'estimateur Wald		
- Impact moyen dans la sous-population des adoptants potentiels de la vaccination.	16	1 075 741
Estimation du LATE basée sur le LARF exponentiel avec interaction.		
- Impact moyen dans la sous-population des adoptants potentiels de la vaccination.	19 ****	561 037 ****

Note : ****, ***, ** et * niveau de significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Les valeurs entre parenthèses représentent l'écart type.

Les résultats obtenus confirment l'hypothèse de départ selon laquelle, l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant a un impact positif et significatif sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages. L'impact de la vaccination du cheptel sur le revenu et la sécurité alimentaire peut être expliqué par le fait que la vaccination du cheptel contribue à la réduction de l'exposition du cheptel bovin et petit ruminant aux maladies les plus fréquentes dans la zone du Ferlo, notamment, les dermatoses nodulaires bovines, la péripneumonie contagieuse bovine, la peste des petits ruminants, la pasteurellose, etc. Or, ces maladies sont les principales causes de mortalité et de baisse des performances zootechniques et zooéconomiques du cheptel, qui agissent, par conséquent, indirectement sur la sécurité alimentaire et les revenus

des ménages du Ferlo. C'est pourquoi la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant peut contribuer à l'amélioration de la santé animale, et par conséquent, augmenter la productivité du cheptel, qui est un facteur déterminant sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. L'importance de la vaccination du cheptel a été soulignée au cours des discussions par focus group : « nous n'attendons plus que nos animaux soient malades pour les vacciner. C'est pourquoi, ils sont bien portants, bien nourris, faciles à vendre, la mortalité est réduite et la fécondité est améliorée, ce qui nous permet d'avoir plus de lait ». Des résultats similaires à ceux de notre étude ont été trouvés par Marsh *et al.* (2016) qui ont montré qu'une augmentation de 10 % du nombre de bovins vaccinés augmente les dépenses de consommation alimentaire de 0,056 % avec un niveau de signification de 1 %. Ahmed (2016) a trouvé un impact positif et significatif de l'adoption de la vaccination sur la production laitière et le revenu des éleveurs en Éthiopie, avec une augmentation de 30,78 % et 26,4 %, respectivement. Autrement, une étude menée par GRECH-ANGELINI (2012) dans la zone du Ferlo au Sénégal, a montré que l'exposition des petits ruminants à la peste contribue à la baisse de revenus des éleveurs, car, elle multiplie le taux de mortalité par 3, diminue le taux de fécondité de 30 % et réduit le taux d'exploitation de 50 %.

Le tableau 29 montre qu'en dehors de l'adoption de la vaccination, d'autres variables influencent positivement et significativement la sécurité alimentaire (taille du ménage au seuil de 5 %) et le revenu annuel (taille du ménage, taille du cheptel, habitat en béton au seuil de 0,1 % à 5 %). Par contre, l'alphabétisation du chef de ménage et type d'habitat en béton sont négativement corrélés avec la sécurité alimentaire.

Tableau 29 : Déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu.

Variables	Score de consommation alimentaire		Revenu annuel des ménages	
	Coefficients	Écart type	Coefficients	Écart type
Adoption vaccination	19,04**	5,9	561 037	402 195
Âge	-0,08	0,11	-7704	7586
Taille	0,68**	0,23	67 417 ***	15 792
Alphabétisation	-7,80**	3,02	309 581	204 887
Accès marché	-13,16****	3,10	200 775	210 291
Habitat	-5,55*	2,99	417 790 **	202 535
Taille cheptel	-0,001	0,01	2 508 ****	681
Superficie parcelle	0,16	0,34	25 336	23 497
Constante	64****	8,22	-91 9670	556 896
Nombre obs.	191		191	
F (8, 182)	6,71		8,04	
Prob > F	0,000 0		0,000 0	
R2	0,22		0,26	
R2 ajusté	0,19		0,22	

Note : * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01 et **** p<0,001.

3.3. Impact de l'adoption de l'eau des forages pastoraux sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages

L'estimation de l'impact par simple comparaison de moyenne est faite en premier lieu. Ensuite, une estimation rigoureuse avec des modèles économétriques est réalisée, afin de mesurer l'impact de l'adoption de l'eau des forages pastoraux sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages du Ferlo.

3.3.1. Analyse descriptive de l'impact de l'adoption de l'eau des forages pastoraux sur le revenu et la sécurité alimentaire

La figure 11 mesure le lien entre l'utilisation de l'eau des forages pastoraux et le niveau de sécurité alimentaire des ménages en comparant la proportion de ménages par rapport aux trois différents groupes de sécurité alimentaire. Les résultats montrent en moyenne 1 % et 3 % des ménages adoptants et non adoptants sont respectivement dans une situation d'insécurité alimentaire sévère. En moyenne, 4 % et 6 % respectivement des adoptants et non-adoptants sont dans une situation de sécurité alimentaire limite. Cependant, 94 % des ménages adoptants la vaccination sont en situation de sécurité alimentaire contre 90 % pour les ménages non-adoptants avec une différence positive et statistiquement significative au seuil de 10 %. Ce résultat montre que la sécurité alimentaire des ménages dans la zone sylvopastorale du Ferlo de Matam est fortement corrélée à l'utilisation de l'eau potable.

Le tableau 30 montre les résultats observés des scores moyens de consommation alimentaire des adoptants et non adoptants. Les ménages adoptants ont un score moyen de consommation alimentaire de 77,44 alors que les non-adoptants ont un score moyen de consommation alimentaire de 74,65. La différence de moyenne observée des scores de consommation alimentaire entre les adoptants et les non-adoptants est positive, mais non significative. Le tableau 30 compare également les différences observées des revenus annuels et du score de consommation alimentaire moyens des adoptants et non-adoptants de l'eau du forage. Le revenu moyen des adoptants et des non-adoptants de l'eau des forages pastoraux sont respectivement de 1 425 381 FCFA et 1 039 426 FCFA. La différence de moyenne de revenu entre les deux groupes (385 954 FCFA) est positive et significativement différente de zéro au seuil de 5 %. La différence de score de consommation alimentaire moyenne entre les adoptants et non-adoptants est positive, mais non significative. Cependant, ces résultats sont purement descriptifs et par conséquent ne peuvent pas expliquer l'effet causal de l'adoption de l'eau des forages pastoraux sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages. Les différences entre les adoptants et non adoptants dans les variables de résultats peuvent être une source de biais de sélection ou un problème de non-obéissance souvent associé aux études observationnelles

(Imbens et Angrist, 1994 ; Heckman et Vytlacil, 2005). De plus, en dehors de l'adoption de l'eau des forages pastoraux, d'autres facteurs impactants peuvent expliquer les différences de résultats observés. Par conséquent, pour estimer de façon rigoureuse, l'impact, nous allons utiliser la méthode de la variable instrumentale locale.

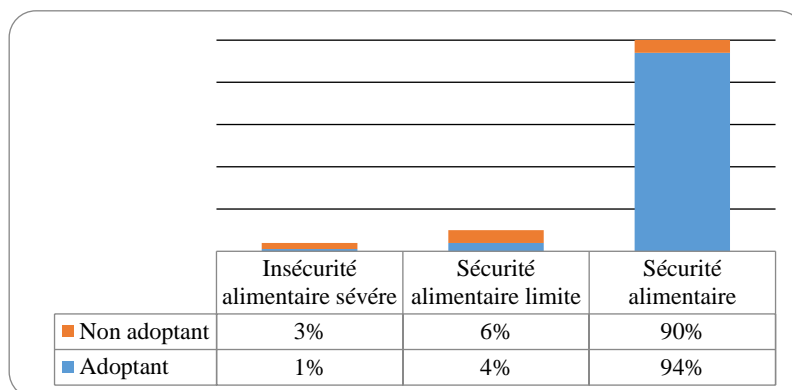


Figure 11 : Analyse de la sécurité alimentaire selon l'adoption de l'eau des forages.

Tableau 30 : Analyse descriptive de l'impact de l'adoption de l'eau des forages

Caractéristiques	Score consommation alimentaire	Revenu Annuel (FCFA)
Nombre observations	339	339
Nombre adoptants	179	106
Nombre non adoptants	160	233
Résultats moyens observés dans la sous-population des adoptants	76 (2,06)	1 425 381(125 383)
Résultats moyens observés dans la sous-population des non-adoptants	74 (1,4)	1 039 426(89 833)
Résultats moyens observés dans l'échantillon	1	385 954***

Note : ****, ***, ** et * significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Le nombre entre parenthèses : l'écart type.

3.3.2. Analyse économétrique de l'impact de l'adoption eau forage des forages pastoraux sur la sécurité alimentaire et le revenu

Les résultats du tableau 31 montrent un impact positif de l'estimation de l'adoption de l'eau des forages sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. En effet, l'adoption de l'eau des forages augmente de 26 points le score de consommation alimentaire des ménages et de 730 902 FCFA leurs revenus annuels au seuil de signification de 0,1 %.

Tableau 31: Impact de l'eau des forages sur le revenu et la sécurité alimentaire.

Caractéristiques	Score de consommation	Revenu annuel
Nombre observations	339	339
Nombre adoptants	179	106
Nombre non adoptants	317	317
Estimation du LATE par l'estimateur Wald		
- Impact moyen dans la sous-population des adoptants potentiels de l'eau des forages	24 (667)	1 240 667 FCFA
Estimation du LATE par l'estimateur LARF exponentiel avec interaction		
- Impact moyen dans la sous-population des adoptants potentiels de l'eau des forages	37****	730 920**** FCFA

Note : ****, ***, ** et * niveau de significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Le nombre entre parenthèses représente l'écart type.

Le tableau 32 montre qu'en plus de l'adoption de l'eau des forages pastoraux, la taille du ménage est un déterminant de la sécurité alimentaire. De même, les variables qui influencent significativement et positivement le revenu sont l'alphabétisation du chef de ménage, la taille du cheptel et la taille du ménage.

Tableau 32 : Déterminants de la sécurité alimentaire et du revenu.

Variabiles	Score consommation alimentaire	Revenu Annuel (FCFA)
Adoption eau forage	26 (9) *	730 902 (432 262) *
Âge	-0,09 (0,17)	1 411 (7 656)
Taille	0,67 (0,33) **	50 176 (14 624) **
Alphabétisation	-7,6 (5,2)	507 391 (230 749) **
Portable	-1,7 (6,2)	33 476 (277 373)
Taille cheptel	-0.009 (15,14)	2 779 (565) ****
Nombre observations.	112	112
F (8, 182)	2,23	9,79
Prob > F	0,045 5	0,000 0
R2	0,11	0,35
R2 ajusté	0,06	0,32

Note : ****, ***, ** et * niveau de significativité à 0,1 %, 1 %, 5 % et 10 %. Le nombre entre parenthèses représente l'écart type.

Dans la zone d'étude, l'adoption de l'eau des forages par les pasteurs peut contribuer à leur sécurité alimentaire et revenu à travers plusieurs chemins. Premièrement, l'utilisation de l'eau des forages par les éleveurs pour boisson du ménage réduit d'une part, le temps perdu pour la collecte de l'eau, particulièrement par les femmes et les jeunes et d'autre part, les dépenses d'argent pour le traitement des maladies diarrhéiques, liées à la consommation de l'eau des puits et des mares. Parallèlement, pour l'abreuvement du cheptel, elle réduit le temps perdu pour la recherche de sources d'eau et le puisage de l'eau au puits. En conséquence, les adultes peuvent utiliser ce temps pour mener des activités productives agricoles et non agricoles, qui contribuent à la diversification des sources de revenus et de sécurité alimentaire des ménages. Par ailleurs, la réduction des longs déplacements pour l'abreuver le cheptel, contribue à la réduction de la fatigue et la perte de poids du cheptel, surtout bovin, et par conséquent, améliore la productivité du cheptel.

L'importance de l'accès et de l'utilisation de l'eau des forages est reconnue par les pasteurs : « *nos déplacements avec les animaux sont réduits et nous nous occupons mieux de nos animaux. Avant les forages, la collecte de l'eau au puits mobilisait au minimum cinq personnes dans une famille pendant 6 à 8 heures de temps par jour. Grâce au forage, une seule personne est suffisante pour conduire le cheptel et l'abreuvement ne dure au maximum 1 à 2 heures. Cela nous permet d'avoir plus de temps pour mener d'autres activités. Actuellement, nous cultivons plus de superficies, car nos familles sont devenues plus stables et nous disposons plus de main d'œuvre.* ». « *Grâce à l'existence des forages, nous faisons profiter le lait de nos*

animaux à nos familles ; car auparavant, dès la fin de l'hivernage, nous étions obligés de nous déplacer avec nos animaux vers Tambacounda. Nos champs de culture étaient récoltés derrière nous ». « L'eau que nous buvons actuellement est potable contrairement à celle des mares et des puits, de ce fait certaines maladies comme la diarrhée ne sont plus signalées ; les étrangers comme vous acceptent maintenant de boire notre eau ».

Le deuxième chemin de l'impact de l'adoption de l'eau des forages sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages dans la zone du Ferlo, est lié à l'utilisation productive de l'eau. Dans la zone, plusieurs ménages utilisent l'eau des forages pour mener des activités génératrices de revenus, comme les petits jardins communautaires, qui constituent, une source de sécurité alimentaire, nutritionnelle et de revenus, même si les quantités d'eau disponibles sont limitées. Cela est reconnu dans certains villages : *« Les femmes de notre village utilisent l'eau du forage pour faire du maraichage. Ceci, était inimaginable il y a quelques années, car, l'eau constituait une denrée très précieuse dont toute la famille se souciait de son économie ».*

Troisièmement, l'utilisation de l'eau des nouveaux forages construits par le PRODAM a contribué à l'amélioration des conditions d'abreuvement, mais surtout à l'accès à des nouveaux pâturages abondants et de bonne qualité qui étaient jusque là inexploités en saison sèche à cause de l'absence d'un point d'eau permanent. Cela peut contribuer à l'amélioration de la croissance et de la fécondité du cheptel, et par conséquent, impacter la sécurité alimentaire et le revenu des éleveurs, grâce à l'augmentation de la production et de la consommation de l'eau et de la viande ainsi qu'à la hausse du nombre d'animaux vendus. Plusieurs éleveurs ont souligné qu'avec l'avènement des forages, leurs animaux sont mieux nourris grâce à l'exploitation de nouveaux pâturages.

CONCLUSION, IMPLICATIONS POLITIQUES ET PERSPECTIVE.

Les résultats ont montré que la sensibilisation menée par le PRODAM a un impact significatif et positif sur l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant et l'eau des forages pastoraux.

De plus l'étude révèle qu'en dehors de la sensibilisation, d'autres facteurs tels que l'âge du chef de ménage, son niveau d'alphabétisation, la taille de son cheptel et son niveau d'accès aux technologies de l'information et de la communication sont des déterminants significatifs de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel et de l'eau des forages.

L'étude a révélé que le projet a un impact positif et significatif sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. En effet, l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel et de l'eau des forages augmente le revenu annuel moyen des ménages, respectivement de 606 927 FCFA ; 561 037 FCFA et 701 926 FCFA. Egalement, l'adoption augmente le score de consommation alimentaire moyen des ménages, respectivement de 8 ; 19 et 37 points.

Les implications politiques des résultats de l'étude sont :

- Etendre la diffusion des règles de gestion des ressources naturelles dans les zones du Ferlo n'ont encore touché afin garantir la gestion durable de l'environnement et des ressources naturelles.
- Réaliser de nouveaux forages et parcs à vaccination dans les zones du Ferlo non bénéficiaires afin de faciliter l'accès à l'eau des populations et du cheptel et d'améliorer la santé animale ;
- Mettre à l'échelle de la gestion durable des ressources naturelles, la vaccination du cheptel et l'hydraulique pastorale comme stratégie d'adaptation au changement climatique dans la zone du Ferlo, dans le but de lutter efficacement contre l'insécurité alimentaire, la pauvreté monétaire et le changement climatique.

En perspective deux nouvelles pistes de recherche sont ressorties de l'étude :

- Utiliser le modèle à traitement multiple pour évaluer l'impact combiné de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles, de la vaccination du cheptel et de l'eau des forages sur le revenu et la sécurité alimentaire des ménages du Ferlo ;

- Evaluer l'impact de l'adoption des règles de gestion des ressources naturelles sur les conflits sociaux et l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- Abadie, A. (2003). Semiparametric instrumental variable estimation of treatment response models. *Journal of Econometrics*, 113, 231–263.
- Abebe, G. K., Bijman, J., Pascucci, S. et Omta, O. (2013). Adoption of improved potato varieties in Ethiopia : The role of agricultural knowledge and innovation system and smallholder farmers quality assessment. *Agricultural Systems*, 122, 22–32. doi:10.1016/j.agsy.2013.07.008
- Adams, R., McCarl, B., Segerson, K., Rosenzweig, C., Bryant, K., Dixon, B., Conner, R., Evenson, R. et Ojima, D. (1999). The economic effects of climate change on US agriculture, in Mendelsohn, R. and Neumann, J. (Ed.), *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Adégbola, P., Arouna, A., Diagne, A. et Adékamb, S.A. (2005). Déterminants socio-économiques et taux d'adoption et d'intensité d'adoption des nouvelles variétés de riz NERICA au Centre du Bénin. *Miméo*, INRAB, 12(1), 1-16.
- Adekambi, A.S., Diagne, A., Simtowe, F.P. et Biaou, G. (2009). The impact of agricultural technology adoption on poverty : The case of NERICA rice varieties in Benin. *International Association of Agricultural Economists' 2009 Conference, 16–22 August, Beijing, China*.
- Adesina, A. et Baidu-Forson, J. (1995). Farmers' perceptions and adoption of new agricultural technology : evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, West Africa. *Agricultural Economics*, 13(1), 1-9. doi:10.1016/0169-5150(95)01142-8.
- Adesina, A. et Zinnah, M. M. (1993). Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions : A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics*, 9(4), 297–311. doi:10.1016/0169-5150(93)90019-9.
- Adger, W.N., Arnell, N.W. et Tompkins, E.I. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15, 77–86.
- African Technology Policy Studies Network. (2013). The rationale and capacity of pastoral community innovative adaptation to climate change in Ethiopia. *ATPS Research Paper*, 25.
- Agence Nationale des Statistiques et de la Démographie (ANSD). (2013). Recensement général de la Population de l'Habitat de l'Agriculture et de l'Élevage, Dakar, Sénégal.
- Ajzen, I. (1971). Attitudinal vs. normative messages: An investigation of the differential effects of persuasive communications on behavior. *Sociometry*, 34, 263-280.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions : A theory of planned behavior. In J. Kuhl & J. Beckman (Ed.), *Action-control : From cognition to behavior* (pp. 11- 39). *Heidelberg : Springer*.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behaviour. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Ajzen, I. (1996). The social psychology of decision making. In E.T. Higgins & A.W. Kruglanski (Eds.), *Social Psychology : Handbook of Basic Principles*, 297 - 328.
- Ajzen, I. et Madden, T. J. (1986). Prediction of goal-directed behavior : Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology*, (5), 453–474.
- Akinola, A. et Owombo, P. (2012). Economic Analysis of Adoption of Mulching Technology in Yam Production in Osun State, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2(1), 1-6. doi:10.5923/j.ijaf.20120201.01.

- Albarracin, D., Fishbein, M. et Middlestadt, S. (1998). Generalizing behavioral findings across times, samples, and measures: A study of condom use. *Journal of Applied Social Psychology*, 28, 657-674.
- Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050 : the 2012 revision. *ESA Working paper*, 12–03. FAO, Rome.
- Ali, A. et Erenstein, O. (2017). Assessing farmer use of climate change adaptation practices and impacts on food security and poverty in Pakistan. *Climate risk management*, 16,183-194. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2016.12.001>
- Allport, G.W. (1935). Attitudes. In C. Murchison (Ed.), *Handbook of social psychology*, 2. Worcester : Clark University Press.
- Amare, A. et Simane. B. (2018). Does adaptation to climate change and variability provide household food security? Evidence from Muger sub-basin of the upper Blue-Nile, Ethiopia. *Ecological Processes*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0124-x>
- Amoako-Gyampah, K. et Salam, A. F. (2004). An extension of the technology acceptance model in an ERP implementation environment. *Information & Management*, 41(6), 731–745. Doi:10.1016/j.im.2003.08.010.
- Ancey, V., Wane, A., Müller, A., André, D. et Leclerc, G. 2008. Payer l’eau au Ferlo Stratégies pastorales de gestion communautaire de l’eau. *Autrepart* 2(46), 51-66. DOI 10.3917/autr.046.0051
- Andersen A. (2004). A community builder’s approach to theory of change : a practical guide to theory development. *New York: The Aspen Insitute*.
- Anley, Y., Bogale, A. et Haile-Gabriel, A. (2007). Adoption decision and use intensity of soil and water conservation measures by smallholder subsistence farmers in Dedo district, western Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 18, 289–302. doi:10.1002/ldr.
- Arunava, B., Harris, T.R., Kvasnicka, W.G. et Vesperat, M : (1997). Factors Influencing Rates of Adoption of Trichomoniasis Vaccine by Nevada Range Cattle Producers. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 22(1):174-190.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. et Lipper, L. (2015). Adaptation to climate risk and food security : evidence from smallholder farmers in Ethiopia.
- Asrat, P., Belay, K. et Hamito, D. (2004). Determinants of farmers’ willingness to pay for soil conservation practices in the southeastern highlands of Ethiopia. *Land Degradation and Development*, 15, 423–438.
- Aydinalp, C. et Cresser, M.S. (2008). The effects of climate change on agriculture. *Journal of Agriculture and Environmental Science*. 5, 672–676.
- Bagozzi, R. et Warshaw, P. (1990). Trying to consume. *Journal of Consumer Research*, 17(2), 127-140.
- Bagozzi, R.P. (1992). The self-regulation of attitudes, intentions, and behavior. *Social Psychology Quarterly*, 55, 178-204.
- Baidu-Forson, J. (1999). Factors influencing adoption of land-enhancing technology in the Sahel : Lessons from a case study in Niger. *Agricultural Economics*, 20(3): 231–239. doi:10.1016/S0169-5150(99)00009-2.

- Balme, M., Galle, S. et Thierry, L. (2005). Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger. *Sécheresse*, 16(1), 15–22.
- Bandura, A. (1977). *Social Learning Theory*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- Barham, B. L., Foltz, J. D., Jackson-smith, D. et Moon, S. (2001). The Dynamics of Agricultural Biotechnology Adoption : Lessons from rBST use in Wisconsin, 1994-2001. *American Journal of Agricultural Economics*, 1994–2001.
- Baroin, C. (2003). L’hydraulique pastorale, un bienfait pour les éleveurs du Sahel ? *Afrique contemporaine* 1(205), 205-224. DOI 10.3917/afco.205.0205
- Basse, B. W. (2015). Impact de l’adoption des variétés améliorées de riz Sahel sur la pauvreté au Sénégal : approche de l’effet marginal du traitement. (Thèse de doctorat non publiée). Université Gaston Berger, Saint Louis, Sénégal.
- Batima, P., Bat, B., Tserendash, L., Bayarbaatar, S., Shiirev-Adya, S., Tuvaansuren, G., Natsagdorj, L. et Chuluun, T. (2005). Adaptation to Climate Change, 90. *ADMN Publishing, Ulaanbaatar*.
- Beauchemin, K.A., Eriksen, L., Norgaard, P. et Rode, L.M. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement : a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 21–27.
- Bégué, A., Vintrou, E., Ruelland, D., Claden, M. et Dessay, N. (2011). Can a 25-year trend in Soudano-Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change ? A remote sensing approach. *Global Environmental Change*, 21(2), 413–420.
- Bell, M.A. et Lamb, P. J. (2006). Integration of weather system variability to multidecadal regional climate change : The West African Sudan-Sahel zone, 1951-98. *Journal of Climate*, 19(20), 5343–5365. Doi :10.1175/JCLI4020.1
- Below, T.B., Mutabazi, K.D., Kirschke, D., Franke, C., Sieber, S., Siebert, R. et Tscherning, K. (2012). Can farmers’ Adaptation to Climate Change be Explained by Socio-economic Household-level Variables ? *Global Environmental Change*, 22(1), 223-235.
- Ben-Salem, H., Zaibet, L. et Ben-Hammouda, M. (2006). Perspectives de l’adoption du semis direct en Tunisie. Une approche économique. *Options Méditerranéennes*, 69, 69–75.
- Bentz, B. et GRET. (2002). Appuyer les innovations paysannes Dialogue avec les producteurs. Dialogue avec les producteurs et expérimentations en milieu paysan (GRET.). Paris : ministère des Affaires étrangères.
- Berhanu, W. et Beyene. F. (2015). Climate Vulnerability and Household Adaptation Strategies in Southern Ethiopia. *Sustainability*, 7 : 6353-6375; doi.10.3390/su7066353. Récupéré de www.mdpi.com/journal/sustainability
- Berhanu, W., Colman, D. et Fayissa, B. (2007). Diversification and livelihood sustainability in a semi-arid environment : A case study from southern Ethiopia. *Journal of Development Studies*, 43, 871–889.
- Berhe. D., Hoag, G.T., Tewodros. T., Shunji. O., Masaru, K. et Catherine M.H.K. (2017). The effects of adaptation to climate change on income of households in rural Ethiopia Pastoralism : *Research, Policy and Practice*, 7, 12 DOI 10.1186/s13570-017-0084-2
- Beyan Ahmed, 2016. Smallholder Farmers Decision to Cattle Vaccination and its Impact on Cattle Productivity : Evidence from Haramaya District, Oromia, Ethiopia. *International Journal of Economics and Empirical Research (IJEER)*, 4(8), 411-418

- Blazy, J.M., Carpentier, A. et Thomas, A. (2011). The willingness to adopt agro-ecological innovations : Application of choice modelling to Caribbean banana planters. *Ecological Economics*, 72, 140–150. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.09.021
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J. et Massé, D. (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows : update review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 319–335.
- Bodiguel, M. (1970). La diffusion des innovations agricoles : psycho-sociologie de l'innovation ou sociologie du changement ? *Revue Française de Sociologie*, 11(4), 566–571.
- Bonnieux, F., Le Goffe, P. et Vermersch, D. (1995). La méthode d'évaluation contingente : application à la qualité des eaux littorales. *Économie & Prévision*, 117-118, 89–106.
- Bouwman, A.F. (1996). Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 46 (1), 53–70.
- Bradburd, D. (1982). Volatility of animal wealth among southwest Asian pastoralists. *Human Ecology*, 10, 85–106.
- Breman, H. et Kessler, J.J. (1995). Woody plants in Agro-Ecosystems of semi-arid regions. *Springer*, Berlin.
- Breuer, E., De Silva, M., Fekadu, A., Luitel, N., Murhar, V. et Nakku, J. (2016). Using workshops to develop theories of change in five low and middle income countries: lessons from the programme for improving mental health care (PRIME). *International Journal of Mental Health System*, 8(15), 1-13.
- Bryan, E., Deressa, T. T., Gbetibouo, G. A. and Ringler, C. (2009). Adaptation to climate change in Ethiopia and South Africa : options and constraints. *Environmental Science & Policy*, 12(4), 413–426.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S. et Herrero, M. (2013). Adapting agriculture to climate change in Kenya : household strategies and determinants. *Journal of Environmental Management*, 114, 26–35.
- Caldwell, J. C. (1975). The Sahelian drought and its demographic implications. Overseas Liaison Committee, American Council on Education.
- Call, M et Jagger, P. (2017). Social capital, collective action, and communal grazing lands in Uganda. *International Journal of the Commons* 11(2) :854-876. doi.org/10.18352/ijc.761
- Calvosa, C., Chuluunbaatar, D. et Fara, K. (2010). Livestock and Climate Change. *Livestock Thematic Papers*, récupéré de www.ifad.org/lrkm/index.htm
- Carvalho, G., Moutinho, P., Nepstad, D., Mattos, L. et Santilli, M. (2004). An Amazon perspective on the forest–climate connection : opportunity for climate mitigation, conservation and development ? *Environ. Dev. Sustainability*, 6 (1–2), 163–174.
- Casey, K.D., Bicudo, J.R., Schmidt, D.R., Singh, A., Gay, S.W., Gates, R.S., Jacobson, L.D. et Hoff, S.J. (2006). Air quality and emissions from livestock and poultry production/waste management systems. In : Rice, J.M., Caldwell, D.F., Humenik, F.J. (Eds.), *Animal Agriculture and the Environment : National Center for Manure and Waste Management White Papers*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Mich, 40.
- Centre de Suivi Ecologique (CSE). (2010). *Annuaire sur l'Environnement et les Ressources Naturelles du Sénégal*.

- Chambat, P. (1994). Usages des technologies de l'information et de la communication. *Technologies et Société*, 6(3), 249–270.
- Chapman, S.C., Chakraborty, S., Dreccer, M.F. et Howden, S.M. (2012). Plant adaptation to climate change : opportunities and priorities in breeding. *Crop Pasture Science*, 63, 251–268.
- Chebil, A., Nasr, H. et Zaibet, L. (2009). Factors affecting farmers' willingness to adopt salt-tolerant forage crops in south-eastern Tunisia. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 3(1), 19–27.
- Christiansen, L., Demery, L. et Kuhl, J. (2011). The (evolving) role of agriculture in poverty reduction—an empirical perspective. *Journal of Development Economics*, 96(2), 239–254.
- Conant, R.T., Paustian, K. et Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland : effects on soil carbon. *Ecological Application*. 11, 343–355.
- Cruz, R. V., Harasawa, H., Lal, M., Wu, S., Anokhin, Y., Punsalma, B., Honda, Y., Jafari, M., Li, C. et Huu N.N. (2007). Climate Change : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Asia.
- Cunguara, B. et Darnhofer, I. (2011). Assessing the impact of improved agricultural technologies on household income in rural Mozambique. *Food Policy*, 36(3), 378–390.
- D'Onghia, F. (2009). Comment persuader les automobilistes à respecter les limitations de vitesse : effets du cadrage et de la présence d'une image dans les messages de prévention routière. (Thèse de doctorat, Université Nancy, France)
- Dalle, A.L. (1998). Sedentarization and integration of the pastoral Fulbe : implication for land tenure and environmental management in Nigeria. *Journal of Social Issues*, 2, 53e79.
- Delvaux, L., Frahan, H., Dupraz, P. et Vermersch, D. (1999). Adoption d'une MAE et consentement à recevoir des agriculteurs en région wallonne. *Économie Rurale*, 249(1), 71–81. doi:10.3406/ecoru.1999.5064.
- Denef, K., Archibeque, S. et Paustian, K. (2011). Greenhouse gas emissions from U.S. agriculture and forestry: A review of emission sources, controlling factors, and mitigation potential: Interim report to USDA under Contract #GS-23F-8182H. [http://www.usda.gov/oce/climate_change/techguide/Denef et al 2011 Review of reviews v1.0.pdf](http://www.usda.gov/oce/climate_change/techguide/Denef%20et%20al%202011%20Review%20of%20reviews%20v1.0.pdf) .
- Deressa, T. T. et Hassan, R. (2010). Economic impact of climate change on crop production in Ethiopia : evidence from cross-section measures. *Journal of African Economies*, 18(4), 529–554.
- Deressa, T., Hassan, R., Alemu, T., Yesuf, M. et Ringler, C. (2009). 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*, 00798, Washington, D.C.
- Desaigues, B. et Point, P. (1993). Économie du patrimoine naturel : la valorisation des bénéfices de protection de l'environnement. Paris : *Economica*.
- Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (DSW). (2017). *Datenreport*. Récupéré de : <http://www.weltbevoelkerung.de/>
- Di Falco, S. (2014). Adaptation to climate change in Sub-Saharan agriculture : assessing the evidence and rethinking the drivers. *European Review of Agricultural Economics*, 41(3), 405–430. Doi :10.1093/erae/jbu014

- Di Falco, S. et Chavas, J.P. (2009). Oncrop biodiversity, risk exposure and food security in the highlands of Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(3), 599–611.
- Di Falco, S., Veronesi, M. et Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security ? micro perspective from Ethiopia. *American Journal Agricultural Economics*, 93(3), 829–846. <https://doi.org/10.1093/ajae/aar006>
- Di Falco, S., Yesuf, M., Kohlin, G. et Ringler, C. (2012). Estimating the Impact of Climate Change on Agriculture in Low-Income Countries: Household Level Evidence from the Nile Basin, Ethiopia. *Environmental Resource Economics*, 52(4),457-478. <https://doi.org/10.1007/s10640-011-9538-y>
- Diagne, A. (2006). Diffusion and adoption of NERICA varieties in Côte d’Ivoire. *The Developing Economies*, 44(2), 208-31.
- Diagne, A. (2007). Bred for women rice farmers ? Impact of NERICA adoption on rice yield in Côte d’Ivoire. Mimeo, WARDA, Cotonou, Benin. 1-22.
- Diagne, A. et Demont, M. (2007). Taking a New look at Empirical Models of Adoption : Average Treatment Effect estimation of Adoption rate and its Determinants. *Agricultural Economics*, 37, 201-210.
- DIAGNE, M. (2000). Vulnérabilité des productions agricoles au changement climatique au Sénégal. Direction de l’Environnement et des Etablissements Classés- Programme d’Assistance des Pays-Bas sur les Changements Climatiques N.C.C.S.A.P. ministère de la Jeunesse, de l’Environnement et de l’Hygiène Publique, Sénégal. 36 p.
- Dibba, L., Diagne, A., Fialor, S.C. et Nimoh, F. (2012). Diffusion and adoption of new rice varieties for Africa (NERICA) in the Gambia. *African Crop Science Journal*, 20(1), 141-156
- Dibba, L., Zeller, M. et Diagne, A. (2017). The impact of NERICA adoption on household food security and health in The Gambia. *Food Security*, 9(5), 929-944.
- Dibba, L., Zeller, M., Diagne, A. et Nielsen T. (2015). How accessibility to seeds affects the potential adoption of an improved rice variety : The Case of New Rice for Africa (NERICA) in The Gambia. *Journal of International Agriculture*, 54(1), 33-58
- Dickie, A., Streck, C., Roe, S., Zurek, M., Haupt, F. et Dolginow, A. (2014). Strategies for mitigating climate change in agriculture : Abridged report. Climate focus and california environmental associates, prifadred with the support of the climate and land use Alliance. *Report and supplementary materials*. Récupéré de www.agriculturalmitigation.org .
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L. et Arnold, M. (2005). Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis,. *International Research Institute for Climate*, p. 24.
- Dimara, E. et Skuras, D. (2003). Adoption of agricultural innovations as a two-stage partial observability process. *Agricultural Economics*, 28 : 187-196.
- Dinar, A., Hassan, R., Mendelsohn, R., et Benhin, J. (2008). Climate change and agriculture in Africa : impact assessment and adaptation strategies. London, UK : EarthScan.
- Diouf, M., Onguierma, A., Abou, A., Royer, A. et Somé, B. (2000). Lutte contre la sécheresse au Sahel : acquis et perspective au Centre Régional Agrhymet. *Sécheresse*, 11(4), 257–266.
- Diouf, N.S. (2017). Impact de l’adoption des variétés améliorées sur l’autonomisation, la productivité et le revenu des ménages dans la région de Fatick. Thèse de doctorat non publiée. Université Gaston Berger, Saint Louis, Sénégal.

- Direction de la Prévision et des Études Economiques (DPEE). (2015). Bulletin sur le commerce extérieur.
- Dixon, J., Gulliver A. et Gibbon, D. (2001). Global farming systems study : challenges and priorities to 2030, synthesis and global overview. FAO, Rome, Italy.
- Dontsop, N.P.M., Diagne, A. et Okoruwa, V.O. (2010). Estimation of actual and potential adoption rates and determinants of improved rice variety among rice farmers in Nigeria : The case of NERICA. *AAAE Third Conference/AEASA 48th Conference, 19–23 September, Cape Town, South Africa* [African Association of Agricultural Economists (AAAE) & Agricultural Economics Association of South Africa (AEASA)].
- Dutilly-Diane, C. (2006). Review of the Literature on Pastoral Economics and Marketing : North Africa. Report prepared for the *World Initiative for Sustainable Pastoralism*. IUCN EARO.
- Eagly, A.H. et Chaiken, S. (1993). The psychology of attitudes. *Forth Worth, FL* : Harcourt Brace Jovanovich.
- Enfors, E., Gordon, L., Peterson, G. et Bossio, D. (2008). Making investments in dryland development work: Participatory scenario planning in the Makanya catchment, Tanzania. *Ecology and Society*, 13, 42.
- Ensminger, J. (1992). Making aMarket: The Institutional Transformation of an African Society, *Cambridge University Press*, New York.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2013). Global mitigation of non-CO2 greenhouse gases. http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/EPAactivities/MAC_Report_2013.pdf
- Fall, C. (2006). Développement pastoral et gestion des ressources naturelles. L'approche par les unités pastorales dans la zone du Ferlo, Sénégal. *Traverse*, 26 :1-16.
- Faye M., 2001**, «La gestion communautaire des ressources pastorales du Ferlo sénégalais : l'expérience du projet d'appui à l'élevage », in *Élevage et gestion des parcours au Sahel, implications pour le développement*, E. Tielkes, E. Schlecht et P. Hiernaux (Editeurs), Allemagne, Stuttgart, pp. 165-72.
- Feather, P. et Amacher, G. (1994). Role of information in the adoption of best management practices for water quality improvement. *Agriculture Economics*, 11, 159-170.
- Feder, G., Just, R.E. et Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries : a survey. *Econ. Dev. Cultural Change*, 31, 255-298.
- Feleke, F.B., Berhe, M., Gebre, G. et Hoag, D. (2016). Determinant to Adaptation Choice to Climate Change by Sheep and Goat Farmers in Northern Ethiopia : the case of Southern and Central Tigray, Ethiopia. *SpringerPlus*, 5(1692), 1-15. Doi.10.1186/s40064-016-3042-3
- Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M. et Midgley, P.M. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- Fishbein, M. et Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention, and Behavior : An Introduction to Theory and Research*. Reading : Addison-Wesley.
- Fishbein, M. et Stasson, M. (1990). The role of desires, self-predictions and perceived control in the prediction of training session attendance. *Journal of Applied Social Psychology*, 20,173-198.
- Fonds International pour le Développement Agricole (FIDA). (2010). Livestock and climate change. <http://www.ifad.org/lrkm/events/cops/papers/climate.pdf> . Iglesias, A., Avis, K., Benzie, M.,

- Fisher, P., Harley, M., Hodgson, N., Horrocks, L., Moneo, M., Webb, J., 2007. Adaptation to climate change in the agricultural sector. AEA Energy & Environment and Universidad de Politécnica de Madrid.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2001). *Pastoralism in the New Millennium*. (Rapport de recherche N° 150). Auteur, FAO Animal Production and Health Paper.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2005a). *Événement spécial sur les incidences du changement climatique, des ravageurs et des maladies sur la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté*. (Document d'information, 31^e session du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, 23-26 mai 2005). Auteur. Rome. Récupéré de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/009/j5411f.pdf>.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2006). *Livestock's Long Shadow : environmental issues and options*. FAO publishers, Rome.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Climate-related Transboundary Pests and Diseases Including Relevant Aquatic Species*. Technical background document from the expert consultation held on 25 to 27 February 2008, FAO, Rome.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2009b). *The state of food and agriculture : Livestock in the balance*. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *Climate change and food security : risks and responses*. (Rapport de recherche) Auteur. Récupéré de www.fao.org/publications
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *FAOSTAT Senegal*. Auteur. Récupéré de : <http://faostat3.fao.org/home/E>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). *Rapport mondial sur les crises alimentaires 2018. Food Security Information Network*. Récupéré de http://www.fsincop.net/fileadmin/user_upload/fsin/docs/global_report/2018/GRFC_2018_Key_messages_FR.pdf
- Funk, C., Jim, R., Adoum, A., Eilerts, G., Verdin, James. et White, L. A. (2012). Climate Trend Analysis of Senegal. U.S. Geological Survey Fact Sheet. <http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3123/FS12-3123.pdf>
- Galaty, J. G. (1994). Rangeland tenure and pastoralism in Africa. In Fratkin, E., Galvin, K., and Roth, E. (eds.), *African Pastoralist Systems; An Integrative Approach*, Lynne Rienner, Boulder, CO, 185–204.
- Galvin, K.A. (2009). Transitions : Pastoralists living with change. *Annual Review of Anthropology*, 38, 185–189.
- Garnett, T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions : impacts and options for policymakers. *Environment. Science Policy*, 12, 491–503.
- Gaye, A.T., Sylla, M.B. (2009). *Deuxième communication nationale du Sénégal sur les changements climatiques. Scénarios du changement climatique au Sénégal*. (Rapport de recherche N° 2). Ministère de l'environnement, Sénégal.
- Gebrehiwot, T. et Anne Van Der, V. (2015). Estimating the impact of food security program by propensity score matching. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 7(1), 38–47
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. et Tempio, G. (2014). *Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage – Une évaluation des*

- émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. et Tempio, G. (2013). *Tackling Climate Change Through Livestock : A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*. FAO, Rome.
- Gerrard, M. et Gibbons F.X. (1995). Predicting young adults' health risk behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69, 505-517.
- Giger, J.C. (2005). Le concept d'attitude : changement et consistance, in N. Dubois (Ed.), *Psychologie sociale de la cognition*. Paris : Dunod.
- Gittinger, J. P. 1985. Economic analysis of agricultural projects. Unnumbered series; no. UNN 76. Washington, DC: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/584961468765021837/Economic-analysis-of-agricultural-projects>
- Gonzalez, P. (2001). Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Climate Research*, 17, 217–228.
- Gonzalez, P., Tucker, C. J. et Sy, H. (2012). Tree density and species decline in the African Sahel attributable to climate. *Journal of Arid Environments*, 78, 55–64.
- Gourieroux, C. (1989). Économétrie des variables qualitatives (2ième édition). *Collection Économie et Statistiques avancées*.
- Grech-angelini. S. (2012). Etude de l'effet de la peste des petits ruminants sur la productivité des troupeaux caprins au Sénégal. (Thèse professionnelle). École Management et santé publique, France.
- Gueye, B. et Freudemberger, S. K. (1991). Introduction à la méthode accélérée de recherche participative (MARP) : quelques notes pour appuyer une formation pratique. London, England.
- Gustafson, C.R., VanWormer, E., Kazwala, R. et al. (2015). Educating pastoralists and extension officers on diverse livestock diseases in a changing environment in Tanzania. *Pastoralism*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13570-014-0022-5>
- Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Bangalore, M. et Rozenberg. J. (2017). Unbreakable : Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters. Washington, DC : World Bank. Récupéré de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25335>.
- Hanemann, W. (1984). Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. *American Journal of Agricultural Econometrics*, 67(3), 332–341.
- Hassan, R. et Nhemachena, C. (2008). Determinants of climate adaptation strategies of African farmers: multinomial choice analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 83–104.
- Hatfield, R., Davies, J. (2006). Global Review of the Economics of Pastoralism. *A Report Prepared for the World Initiative for Sustainable Pastoralism (WISP)*. IUCN, Nairobi.
- Havlík, P., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., Baker, J.S., Herrero, M., Rufino, M.C. et Schmid, E. (2013). Crop productivity and the global livestock sector : Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal Agriculture Economic*, 95, 442–448.
- Heckman, J.J et Robb R. (1985). Alternative methods for evaluating the impact of interventions. *Journal of econometrics*, 30, 239-267.

- Heckman, J.J et Vytlačil, E.J. (2007b). Econometric Evaluation of Social Programs, Part II: Using the Marginal Treatment Effect to Organize Alternative Economic Estimators to Evaluate Social Programs and to Forecast Their Effect in New Environments. *In Handbook of Econometrics*, vol. 6B, ed. J.J. Heckman and E. Leamer, 4875-5144. Amsterdam: Elsevier.
- Heckman, J.J et Vytlačil, E.J. (2005). Structural equations, treatment effects, and econometric policy evaluation. *Econometrica*, 73(3), 669-738.
- Heckman, J.J. (2010). Building Bridges Between Structural and Program Evaluation Approaches to Evaluating Policy. *Journal of Economic Literature*, 48 (2), 356–398.
- Heckman, J.J. et Vytlačil, E.J. (2007a). Econometric Evaluation of Social Programs, Part I: Causal Models, Structural Models and Econometric Policy Evaluation. *In Handbook of Econometrics*, Volume 6B, ed. James J. Heckman and Edward E. Leamer, 4779–4874. Amsterdam and Oxford: Elsevier, North-Holland.
- Heckman, J.J., Sergio, U. et Vytlačil, E.J. (2006). Understanding Instrumental Variables in Models with Essential Heterogeneity. *Review of Economics and Statistics*, 88(3), 389-432
- Hein, L., Metzger, M.J. et Leemans, R. (2008). The local impacts of climate change in the Ferlo, Western Sahel, 93, 465. Récupéré de <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9500-3>
- Held, I. M., Delworth, T. L., Lu, J., Findell, K. L. et Knutson, T. R. (2005). Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st centuries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(50), 17891–17896.
- Henderson, B.B., Gerber, P.J., Hilinski, T.E., Falcucci, A., Ojima, D.S., Salvatore, M. et Conant, R.T. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world’s grazing lands : modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture Ecosystem Environment*, 207, 91–100.
- Henry, B., Charmley, E., Eckard, R., Gaughan, J.B. et Hegarty, R. (2012). Livestock production in a changing climate : adaptation and mitigation research in Australia. *Crop Pasture Science*, 63, 191–202.
- Hernandez M, Hodges S. (2006). Applying a theory of change approach to interagency planning in child mental health. *American Journal Community Psychology*, 38(3-4), 165–73. doi:10.1007/s10464-006-9079-7.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A., Msangi, S., Wood, S., Kruska, R., Dixon, J., Bossio, D., van de Steeg, J., Ade Freeman, H., Li, X. et ParthasarathyRao, P. (2012). Drivers of Change in Crop–Livestock Systems and Their Potential Impacts on Agro-Ecosystems Services and Human Wellbeing to 2030 : A Study Commissioned by the CGIAR Systemwide Livestock Programme. International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., ParthasarathyRao, P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Sere, C. et Rosegrant, M. (2010). Smart investments in sustainable food production : revisiting mixed croplivestock systems. *Science*, 327, 822–825.
- Herrmann, S. M. et Tappan, G.G. (2013). Vegetation impoverishment despite greening : A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90, 55–66.
- Hiernaux, P., Diarra, L., Trichon, V., Mougin, E., Soumaguel, N. et Baup, F. (2009a). Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali). *Journal of Hydrology*, 375, 103–113.

- Hiernaux, P., Mougou, E., Diarra, L., Soumaguel, N., Lavenu, F., Tracol, Y. et Diawara, M. (2009b). Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375, 114–127.
- Hodgson, D. (1999). Images and interventions : The problems of pastoralist development. In Anderson, D., and Broch-Due, V. (eds.), *The Poor Are Not Us : Poverty and Pastoralism in East Africa*, James Currey, London, 221–239.
- Hogg, R. (1992). Should pastoralism continue as a way of life ? *Disasters* 16 : 131–137. International Labour Office (ILO). 2011. *The dynamics of employment, the labour market and the economy in Nepal* (Geneva). Récupéré de <http://www.ilo.org/publns>. https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf.
- Holland, E.A., Parton, W.J., Detling, J.K. et Coppock, D.L. (1992). Physiological responses of plant populations to herbivory and their consequences for ecosystem nutrient flow. *American Naturalist*. 140 (4), 85–706.
- Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B. et Tricarico, J.M. (2013). Mitigation of Methane and Nitrous Oxide Emissions From Animal Operations : I A review of enteric methane mitigation options. *American Society of Animal Science*, 91.
- Hurst, P., Termine, P. et Karl, M. (2005). *Agricultural workers and their contribution to sustainable agriculture and rural development*. FAO, Rome. Récupéré de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/af164e/af164e00.pdf>
- ICF International. (2013). *Greenhouse gas mitigation options and costs for agricultural land and animal production within the United States. (rapport de recherche)*. Auteur. [http://www.usda.gov/oce/climate_change/mitigation_technologies/GHG Mitigation Options.pdf](http://www.usda.gov/oce/climate_change/mitigation_technologies/GHG_Mitigation_Options.pdf).
- Ickowicz, A., Ancey, V., Corniaux, C., Duteurtre, G., Pocard-Chappuis, R., Touré, I., Wane, A. (2012). Crop-livestock production systems in the Sahel-Increasing resilience for adaptation to climate change and preserving food security. *Building Resilience for Adaptation to Climate Change in the Agriculture Sector*, 23, 261.
- Imbens, G.W. et Angrist, J.D. (1994). Identification and estimation of local average treatment effects. *Econometrica*, 62(2), 467-476
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1997). *Programme on national greenhouse gas inventories. Intergovernmental panel on climate change. (Rapport de recherche)*. Auteur. Récupéré de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/rockhamp.pdf>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Impacts, adaptations and vulnerability. (Rapport de recherche)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007b). *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. (Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change : Summary for Policymakers)*. Auteur, Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Climate change 2013 : The physical science basis (Rapport de recherche)*. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M : auteurs.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014 : Synthesis report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Core writing Team : R.K. Pachauri and L.A. Meyer, (eds))*. IPCC, Geneva, Switzerland. Récupéré de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014a). *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. (Part A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). C.B. Field, V.R : auteurs. Kingdom and New York, NY, USA : Cambridge University Press. Récupéré de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD). (2009). *Agriculture at a Crossroad-Global Report*. Island Press, Washington DC. Récupéré de [http://www.unep.org/dewa/agassessment/reports/IAASTD/EN/Agriculture%20at%20a%20Crossroads_Global%20Report%20\(English\).pdf](http://www.unep.org/dewa/agassessment/reports/IAASTD/EN/Agriculture%20at%20a%20Crossroads_Global%20Report%20(English).pdf).
- International Crisis Group (ICG) : The Central Sahel. (2015). *A perfect sandstorm*. (Rapport de recherche N° 227). Auteur. Récupéré de : <http://www.crisisgroup/>
- International Energy Agency (IEA). 2014. *Africa Energy Outlook*. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de : <http://www.iea.org/>
- Issoufou, O.H., Boubacar, S., Adam, T. et Yamba, B. (2017). Déterminants de l'adoption et impact des variétés améliorées sur la productivité du mil au Niger. *African Crop Science Journal* 25(2), 207-220.
- Jara-Rojas, R., Bravo-Ureta, B. E. et Díaz, J. (2012). Adoption of water conservation practices : A socioeconomic analysis of small-scale farmers in Central Chile. *Agricultural Systems*, 110, 54–62. Doi : 10.1016/j.agsy.2012.03.008
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agrofor. Syst.*, 76, 1–10.
- Jouet, J. (1993). Pratiques de communication et figures de la médiation. *Réseaux*, 60, 90–120.
- Judez, L., De Andres, R., Hugalde, P., Perz, H. C., Urzainqui, E. et Ibanez, M. (1998). Évaluation contingente de l'usage récréatif d'une réserve naturelle humide. *Cahiers d'Économie et Sociologie Rurales*, 37–60.
- Jungbluth, T., Hartung, E. et Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 133–145.
- Kabunga, N.S., Dubois, T. et Qaim, M. (2014). Impact of tissue culture banana technology on farm household income and food security in Kenya. *Food Policy*, 45, 25-34
- Kandji, S. T., Verchot, L. et Mackensen, J. (2006). *Climate change and variability in the Sahel region : Impacts and adaptation strategies in the agricultural sector*. (Rapport de recherc). World Agroforestry Centre (ICRAF) : Nairobi, Kenya.
- Kazianga, H. et Masters, W.A. (2002). Investing in soils : field bunds and micro- catchments in Burkina Faso. *Environment and Development Economics*, 7(3), 571–591.
- Kgosikoma, O.E. et Batisani, N. (2014). Livestock population dynamics and pastoral communities ? adaptation to rainfall variability in communal lands of Kgalagadi South, Botswana. *Pastoralism : Research, Policy and Practice*. *Springer*, 4(19), 1-9. DOI <https://doi.org/10.1186/s13570-014-0019-0>
- Khaldi, S., Dhraief, M. Z. et Albouchi, L. (2010). Innovations institutionnelles face à la crise pour une meilleure adoption des innovations techniques des céréales irriguées en Tunisie. Emilie, C., DEVAUTOUR, H., SOULARD, C. HUBERT, Bernard. ISDA 2010, Jun 2010, Montpellier, France. Cirad-InraSupAgro, <hal-00522038>.

- Khonje, M., Manda, J., Alene, A.D. et Kassie, M. (2015). Analysis of Adoption and Impacts of Improved Maize Varieties in Eastern Zambia. *World Development*, 66, 695–706. Doi : 10.1016/j.worlddev.2014.09.008.
- Kijima, Y., Otsuka, K. et Sserunkuuma, D. (2011). An inquiry into constraints on a green revolution in sub-Saharan Africa : The case of NERICA Rice in Uganda. *World Development*, 39(1) : 77–86. doi:10.1016/j.worlddev.2010.06.010
- Klare, M.T. (2001). *Resource wars : the new landscape of global conflict*. New York, Etats-Unis, *Metropolitan Books/Henry Holt and Company*.
- Komba., C. et Muchapondwa, E. (2015). Adaptation Climate Change by Smallholder Farmers in Tanzania. *Environment for Development. Discussion Paper Series*, 15-12, 1-39
- Kramer, A.K., Sharma, P.N. et Munasinghe, M. (1995). *Valuing Tropical Forests : Methodology and Case Study of Madagascar*. Washington DC, USA.
- Krings, T. (1982). Sahel – Senegal, Mauretanie, Mali, Niger – Islamische und traditionelle schwarzafrikanische Kultur zwischen Atlantik und Tschadsee, Du Mont, Köln, 429.
- Krings, T. (2006). *Sahelländer*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 220.
- Krishna, V.V et Qaim, M. (2007). Estimating the adoption of Bt eggplant in India : Who Benefits from public - private partnership ? *ScienceDirect*, 32, 523–543.
- Kurukulasuriya, P. et Mendelsohn, R. (2008a). Crop switching as an adaptation strategy to climate change. *African Journal Agriculture and Resource Economics*, 2, 105–125.
- Kurukulasuriya, P. et Rosenthal, S. (2003). Climate change and agriculture : a review of impacts and adaptations. (Climate Change Series Paper, 91), World Bank, Washington DC.
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R. et Diop, M. (2006). Will African Agriculture Survive Climate Change ? *The world bank economic review*, 20(3), 367–388.
- Kusserow, H. (2017). Desertification, resilience, and re-greening in the African Sahel – a matter of the observation period ? *Earth System Dynamics*, 8, 1141–1170. [oi.org/10.5194/esd-8-1141-2017](https://doi.org/10.5194/esd-8-1141-2017)
- Lacroix, J. G. (1994). Entrez dans l'univers merveilleux de Vidéway. *Presses de l'Université de Québec*, 137–162.
- Landais, E. et Bonnemaire J. (1996). La zootechnie, art ou science ? Entre nature et société, l'histoire exemplaire d'une discipline finalisée. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 27, 23-44.
- Läpple, D. et Rensburg, T. Van. (2011). Adoption of organic farming : Are there differences between early and late adoption ? *Ecological Economics*, 70(7), 1406–1414. doi:10.1016/j.ecolecon.2011.03.002
- Le Barbé, L., Lebel, T. et Tapsoba, D. (2002). Rainfall variability in West Africa during the years 1950-90. *Journal of Climate*, 15, 187–202.
- Le Houérou, H. N. (1989). The grazing land ecosystems of the African Sahel. *Ecological Studies* 75.
- Lebel, T. et Ali, A. (2009). Recent trends in the central and western Sahel rainfall regime (1990–2007). *Journal of Hydrology*, 375, 52–64.
- Lebel, T. et Le Barbé, L. (1997). Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel. 2. Point and areal estimation at the event and seasonal scales. *Journal of Hydrology*, 188, 97–122.
- Lebel, T., Cappelaere, B., Galle, S., Hanan, N., Kergoat, L., Levis, S. et Seguis, L. (2009). AMMA-CATCH studies in the Sahelian region of West-Africa : An overview. *Journal of Hydrology*, 375(1–2), 3–13.

- Lee, M.J. (2005). Micro-econometrics for policy, program and treatment effects. Advanced texts in econometrics. *Oxford University Press*, New York.
- Legesse, G., Siegmund-Schultze, M., Abebe, G. et Zarate VA : (2013). Déterminants of the adoption of small ruminant related technologies in the highlands of ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 13-23
- Lhoste P. (1984). Le diagnostic sur le système d'élevage. *Cahiers de Recherche et Developpment*, 3(4) : 84-88
- Little, P.D. (1994). Maidens et milk markets : The sociology of dairy marketing in southern Somali. In Fratkin, E., Galvin, K., and Roth, E. (eds.), *African Pastoralist Systems : An Integrative Approach*, Lynne Rienner, Boulder, CO, 165–184.
- Livestock in Development. (1999). Livestock in poverty-focused development. *Somerset*, Royaume-Uni, Crewkerne.
- Lobell, D.B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. M., Falcon, W. P. et Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319, 607–610.
- Lodoun, T., Giannini, A., Traoré, P. S., Some, L., Sanon, M., Vaksmann, M. et Millogo, R. J. (2013). Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environmental Development*, 5, 96–108.
- Lohr, L. et Salomonsson, L. (2000). Conversion subsidies for organic production : results from Sweden and lessons from the US. *Agriculture Economic*, 22, 133-146.
- Lokossou, J.C. (2011). Impact de l'adoption des variétés de riz NERICA sur la productivité des facteurs de production : cas des départements de l'Atacora et des Collines. Mémoire de maîtrise, Université d'Abomey-Calavi, Benin. 98.
- Luchini, S. (2002). De la singularité de la méthode d'évaluation contingente. *Économie et Statistique*, 357(1), 141–152.
- Maddison, D. (2007). The perception of and adaptation to climate change in Africa. Policy Research Working Paper 4308, The World Bank, Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team.
- Manguet, M. (1999). Aridity, Drought and human developments, *Springer*, Berlin, 302.
- Maon, F., Lindgreen, A. et Vanhamme, J. (2009). Cross-Sector Collaboration for Disaster Relief Supply Chain Enhancement : Mingling Corporate Expertise with Humanitarians' Willpower. (Rapport de recherche). Willpower, IAG-Louvain School of Management.
- Maresca, B., Ranvier, M. et Dujin, A. (2006). Valoriser l'action publique – Le “consentement à payer”, un outil au service de la LOLF. *Cahier de Recherche*. Paris : Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie.
- Mariano, M. J., Villano, R. et Fleming, E. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines, 110(2012), 41–53. Doi : 10.1016/j.agsy.2012.03.010.
- Marsh, T. L., Yoder, J., Deboch, T. F., McElwain, G. H. et Palmer. (2016). Livestock vaccinations translate into increased human capital and school attendance by girls. *Science Advances*, 2(12), 1-6.
- Martin, C., Morgavi, D.P. et Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants : from microbe to the farm scale. *Animal*, 4 (3), 351–365.

- Maskrey, A., Buescher, G., Peduzzi, P., Schaerpf, C. (2007). Disaster Risk Reduction : 2007 Global Review. Consultation Edition. *Prepared for the Global Platform for Disaster Risk Reduction First Session*, Geneva, Switzerland.
- Mazvimavi, K. et Twomlow, S. (2009). Socioeconomic and institutional factors influencing adoption of conservation farming by vulnerable households in Zimbabwe. *Agricultural Systems*, 101(1-2), 20–29. doi:10.1016/j.agsy.2009.02.002.
- Mcbride, W.D. et Daberkow, S.G. (2003). Information and the Adoption of Precision Farming Technologies. *Journal of Agribusiness*, 21(1), 21–38.
- McFadden, D. (1975). The revealed preferences of government bureaucracy : Theory. *The Bell Journal of Economics*, 6(2), 401-416.
- McIntyre, B. D., Herren, H. R., Wakhungu, J. et Watson, R. T. (2009). Agriculture at a cross road, International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD). (Sub-Saharan Africa (SSA) Report).
- Meybeck, A., Azzu, N., Doyle, M. et Gitz V. (2012). Agriculture in National Adaptation Programmes of Action (NAPA). In : A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz. Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. *Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop*. Rome, FAO.
- Miguel, E. et Kremer, M. (2004). Worms: Identifying impacts on education and health in the presence of treatment externalities. *Econometrica*, 72 (1), 159-218.
- Millerand, F. (1998). Usages des NTIC : les approches de la diffusion, de l'innovation et de l'appropriation (1ère partie). Montréal : Université de Montréal.
- Millerand, F. (1999). Usages des NTIC : les approches de la diffusion, de l'innovation et de l'appropriation (2ième partie). Montpellier : Université de Montréal.
- Milly, P. C. D., Dunne, K.A. et Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066), 347–350.
- Ministère de l'Élevage et des Productions Animales (MEPA). (2017). Revue du Secteur de l'élevage. Rapport de recherche). Auteur.
- Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD). (2015). Contribution Prévue Déterminée au Niveau National. (Rapport de recherche). Auteur.
- Mitchell, R. C. et Carson, R. T. (1989). Using Surveys to Value Public Goods : The Contingent Valuation Method. Resources for the Future. Washington DC, USA. doi:10.2307/2072944
- Monteny, G.J., Groenestein, C.M. et Hilhorst, M.A. (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cyclic Agroecosystem*, 60, 123–132.
- Moritz, M., B. Kyle, Nolan, K.C., Patrick, S. Shaffer, M.F et Thampy G. (2009). Too many people and too few livestock in West Africa ? An evaluation of Sandford's thesis. *Journal of Development Studies*, 45, 1113–1133.
- Mortimore, M. (2016). Changing paradigms for people-centered development in the Sahel, in : The End of Desertification ? Disputing environmental change in the drylands, edited by : Behnke, R. H. and Mortimore, M., Springer, Berlin, 65–98.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. et Van Cleemput, O. (1998). Closing the global N₂O budget : Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle :

- OEDC/IPCC/IEA phase II development of IPCC guideline for national greenhouse gas methodology. *Nutrient Cyclic Agroecosystem*, 52, 225–248.
- Mosnier, C. (2009). Pour obtenir le grade de Docteur d'AgroParis Tech Adaptation des élevages de bovins allaitants aux aléas de prix et de climat : Approches par modélisation Adaptation of suckler cow farms to weather and beef price risks.
- Nardone, A. (2000). Weather conditions and genetics of breeding systems in the Mediterranean area, in: XXXX *International Symposium of Societa Italiana per il Progresso della Zootecnia, Ragusa, Italy*.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U. (2010). Effects of climate change on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130, 57–69.
- Nassef, M., Anderson, S. et Hesse, C. (2009). Pastoralism and climate change : Enabling adaptive capacity. London : HPG Report, Overseas Development Institute. Nickell, S. 1981. Biases in dynamic models with fixed effects. *Econometrica*, 49-1417–1426.
- National Aeronautic and Space Administration (NASA). (2005). Global temperature trends summation. Récupéré de <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2005>
- National Aeronautic and Space Administration (NASA). (2017). Global Climate Change : Evidence. Récupéré de <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- National Oceanic Atmosphere Administration (NOAA). (2006). Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division. Trends in atmospheric carbon dioxide. (Rapport de recherche). Auteur.
- ND-GAIN. (2017). Notre Dame Global Adaptation Index, Section Vulnerability, Data from 2015. South Bend. Récupéré de <http://index.gain.org/ranking/vulnerability>
- Nelson, R., Kokic, P., Crimp, S., Martin, P., Meinke, H., Howden, S. M. et Nidumolu, U. (2009). The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change : Part II - Integrating impacts with adaptive capacity. *Environmental Science and Policy*, 13, 18–27. doi:10.1016/j.envsci.2009.09.007
- Ngwira, A., Johnsen, F. H., Aune, J. B., Mekuria, M. et Thierfelder, C. (2014). Adoption and extent of conservation agriculture practices among smallholder farmers in Malawi. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69(2),107–119. doi:10.2489/jswc.69.2.107
- Nicholls, R.J. Wong, P.P., Burkett, V. Codignotto, J. et Hay, J. (2007). Coastal systems and lowlying areas. *Faculty of Science – Papers*, University of Wollongong Research.
- Nicholson, S. E. et Palao, I.M. (1993). A re-evaluation of rainfall variability in the Sahel. Part I. Characteristics of rainfall fluctuations. *International Journal of Climatology*, 13, 371–389.
- Niemeijer, D. et Mazzucato, V. (2002). Soil degradation in the West African Sahel : How serious is it ? *Environment*, 44, 20.
- Nkamleu, G.B. et Adesina, A.A. (2000). Determinants of chemical input use in peri-urban lowland systems : Bivariate probit analysis in Cameroon. *Agricultural Systems*, 62, 1-11.
- Nkamleu, G.B. et Coulibaly, O. (2000). Le choix des méthodes de lutte contre les pestes dans les plantations de cacao et de café au Cameroun. *Économie Rurale*, 259(1), 75–85.
- O'Brien, G., O'Keefe, P., Rose, J. et Wisner, B. (2006). Climate change and disaster management. *Disasters*, 30 (1), 64-80.
- O'Mara, F.P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany*, 110, 1263–1270.

- Ojehomon, V.E.T., Adewumi, M.O., Omotesho, O.A., Ayinde, K. et Diagne, A. (2012). Adoption and economics of new rice for Africa (NERICA) among rice farmers in Ekiti State, Nigeria. *Journal of American Science*, 8(2), 423-429
- Oladele, O.I. (2005). A Tobit analysis of propensity to discontinue adoption of agricultural technology among farmers in southwestern Nigeria. *Journal Central European Agriculture*, 6(3), 249–254.
- Oldeman, L., Hakkeling, R. et Sombroek, W. G. (1990). World map of the status of humaninduced soil degradation : An explanatory note. Wageningen, the Netherlands : International Soil Reference and Information Centre.
- Olson, L., M. Opondo, P. Tschakert, A. Agrawal, S.H. Eriksen, S. Ma, L.N. Perch, et Zakieldean, S.A. (2014). Livelihoods and Poverty. In *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White, 793-832. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE). (2008). Climat, changements climatiques et pratiques agro-pastorales en zone sahélienne. (Rapport de recherche). Auteur. Paris, France.
- Ouedraogo, I., Tigabu, M., Savadogo, P., Compaoré, H., Odén, P. et Ouadba, J. (2010). Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina Faso, West Africa. *Land Degradation & Development*, 21, 453–462.
- Ouédraogo, M., Dembelé, Y. et Somé, L. (2010). Perceptions et strategies d’adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21(2), 87–96.
- Pacaud, T. et Cournut S. (2007). Modélisation des systèmes d’élevage : synthèse bibliographique. INRA-Trans, Clermont-Ferrand, France. Récupéré de : www1.clermont.inra.fr/add-trans/pdf/biblio_syst_elevage_tp_version_janvier.pdf
- Pailler, S., Naidoo, R., Burgess, N.D., Freeman, O.E. et Fisher, B. (2015). Impacts of Community-Based Natural Resource Management on Wealth, Food Security and Child Health in Tanzania. *PLoS ONE*, 10(7), 1-22. doi:10.1371/journal.pone.0133252
- Pariété W. 2008. Analyse d’impact : l’apport des évaluations aléatoires. *Stateco*, 103, 5–17
- Parker, D., Manstead, A.S.R., Stradling, S.G., Reason, J.T et Baxter, J.S. (1992). Intention to commit driving violations : an application of the theory of planned behaviour. *Journal of Applied Psychology*, 77(1), 94-101.
- Pedersen, J. et Benjaminsen, T.A. (2008). One leg or two ? Food security and pastoralism in the Northern Sahel. *Human Ecology*, 36(1), 43–57.
- Perriault, J. (1989). La logique de l’usage. Essai sur les machines à communiquer. Paris, France.
- Peterson, J., McKim, B., Redmon, L., Peterson, T., Wagner, K., McFarland M. et Gentry, T. (2015). Factors influencing the adoption of water quality best management practices by Texas Beef Cattle Producers. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4(1), 163-180.
- Petty, R.E., Wegener, D.T., et Fabrigar, L.R. (1997). Attitudes and attitude change. *Annual Review of Psychology*, 48, 609-647.

- Polley, H.W., Briske, D.D., Morgan, J.A., Wolter, K., Bailey, D.W. et Brown, J.R. (2013). Climate change and North American rangelands : trends, projections, and implications. *Rangeland Ecological Management*, 66, 493–511.
- Pomazal, R.J. et Jaccard, J.J. (1976). An informational approach to altruistic behaviour. *Journal of Personality and Social Psychology*, 33 (3) : 317-326.
- Programme alimentaire Mondial (PAM). (2013). Analyse économique des moyens d’existence des ménages dans la zone sylvopastorale du Ferlo. (Rapport de recherche). Auteur. Senegal.
- Programme alimentaire Mondial (PAM). 2014. Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité alimentaire et de la Nutrition. (Rapport de recherche). Auteur.
- Programme Alimentaire Mondiale (PAM). (2008). Calculation and use of the food consumption score in food security analysis. (Rapport de recherche). Auteur. Rome.
- Programme des Nations Unies pour l’Environnement (PNUE). (2007). The Global Environment Outlook 4. Environment for development. (Rapport de recherche). Auteur. Nairobi.
- Proulx, S. et Laberge, M.F. (1995). Vie quotidienne, culture télévisuelle et construction de l’identité familiale. *Réseaux*, 70, 121–140.
- Rasmussen, L.V. et Reenberg, A. (2012). Collapse and Recovery in Sahelian Agro- pastoral Systems : Rethinking Trajectories of Change. *Ecology and Society*, 17(1), 17.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J.L. et Collier, R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6 (05), 707–728.
- Renner, M. (2002). The anatomy of resource wars. Worldwatch Paper, 162. Worldwatch Institute.
- Reynolds, C., Crompton, L. et Mills, J. (2010). Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook on Agriculture Journal*, 39, 245–248.
- Reynolds, J.F., Maestre FT, Kemp, P.R., Stafford-Smith, D.M.S. et Lambin, E. (2007). Natural and human dimensions of land degradation in drylands : Causes and consequences. In *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer Berlin Heidelberg.
- Rezaei-moghaddam, K. et Salehi, S. (2010). Agricultural specialists’ intention toward precision agriculture technologies : Integrating innovation characteristics to technology acceptance model. *African Journal of Agricultural Research*, 5(11), 1191–1199.
- Richefort, L. et Fusillier, J. (2010). Imitation, rationalité et adoption de technologies d’irrigation améliorées à l’ île de la Réunion. *Économie & Prévision*, 2(193), 59–73.
- Riehl, B., Zerriffi, H., et Naidoo, R. (2015). Effects of Community-Based Natural Resource Management on Household Welfare in Namibia. *PLoS ONE*, 10(5), 1-23 : doi:10.1371/journal.pone.0125531
- Rogers, E.M. (1962). Diffusion of innovations. (1st ed). New York : Free Press.
- Rogers, E.M. (1983). Diffusion of innovations. Third edition. The Free Press.
- Rogers, E.M. (1995). Diffusion of innovations. (5th ed.). New York : Free Press.
- Rogers, E.M. (2003). Diffusion of innovations (5th ed.). New York : Free Press.
- Rosegrant, M.W., Fernandez, M. et Sinha, A. (2009). Looking into the future for agriculture and AKST. In : McIntyre, B.D., Herren, H.R., Wakhungu, J., Watson, R.T. (Eds.), International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD). *Agriculture at a crossroads*, Island Press, Washington, DC, 307–376.

- Rosenbaum, P.R. 2001. *Observational studies* (2nd ed.). New York : Springer.
- Rosenbaum, P.R. et Rubin, D.R. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41-55.
- Rosenberg, M.J. et Hovland, C. I. (1960). Cognitive, affective, and behavioral components of attitudes. In M. J. Rosenberg et coll. (Ed.), *Attitude Organization and Change : An Analysis of Consistency Among Attitude Components*. *New Haven* : Yale University Press.
- Rota, A., Sperandini, S. (2009). *Livestock and Pastoralists : Livestock Thematic Papers, Tools for Project Design*. (Rapport de recherche). International Fund for Agricultural Development, Rome, Italy. Récupéré de <http://www.ifad.org/lrkm/factsheet/pastoralists.pdf>
- Rowlinson, P., Steele, M. et Nefzaoui, A. (2008). Livestock and global climate change : Adaptation I and II. In : Rowlinson, P., Steel, M., Nefzaoui, A. (Eds.), *Livestock and Global Climate Change Conference Proceeding*. *Cambridge University Press*, Tunisia, 56–85.
- Rozan, A. (2000). Une évaluation économique des bénéfices de morbidité bénigne induits par une amélioration de la qualité de l'air. *Économie & Prévision*, 2, 247–259.
- Rubin, D.R. (1974). Estimating causal effects of treatments in randomized and non-randomized studies. *Journal of Educational Psychology*, 66(5), 688-701.
- Rulleau, B., Dehez, J., Point, P., Ami, D. et Chanel, O. (2009). Approche multidimensionnelle de la valeur économique des loisirs de nature, suivi d'un commentaire de Dominique Ami et Olivier Chanel. *Économie et Statistique*, 421(1), 29–51. Doi:10.3406/estat.2009.7735.
- Saha, L., Alan, L.H. et Robert S. (1994). Adoption of emerging technologies under output uncertainty". *American Journal of Agricultural Economics*, 76 : 836-846.
- Salack, S., Muller, B. et Gaye, A.T. (2011). Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I : integration of local to sub-regional trends and variability. *Theoretical and Applied Climatology*, 1(6).
- Salhi, S., Imache, A., Tonneau, J. et Ferfera, M. (2012). Les déterminants de l'adoption du système d'irrigation par goutte-à-goutte par les agriculteurs algériens de la plaine de la Mitidja. *Cahiers Agricultures*, 21, 417–426.
- Sandford, S. (2006). Too many people, too few livestock : The crisis affecting pastoralists in the Greater Horn of Africa, a thesis. *Future Agricultures*. Récupéré de <http://www.future-agricultures.org/publications/e-debate/pastoralism-incrisis/7646-too-many-people-too-few-livestock>
- Sarr, B. (2012). Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa : a crucial input for practical adaptation in agriculture. *Royal Meteorological Society*, 13(2), 108-112.
- Sarr, B., Atta, S., Ly, M., Salack, S., Ourbak, T., Subsol, S. et George, D.A. (2015). Adapting to climate variability and change in smallholder farming communities. A case study from Burkina, Tchad and Niger. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 7(1), 16-27.
- Sato, S. (1997). How the East African pastoral nomads, especially the Rendille, respond to the encroaching market economy (African Studies Monographs, 18(3–4)). *The Center for African Area Studies*, Kyoto University, Japan, 121–135.
- Schlenker, W. et Lobell, D.B. (2010). Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters*, 5 : 1–8.
- Schulz, E. et Pommel. S. (1992). Die anthropogene Entstehung des Sahel. *Wuerzb. Geogr. Arbeiten*, 84, 263–288.

- Schwartz, P. et Randall, D. (2003). An abrupt climate change scenario and its implications for United States national security. Récupéré de [www. greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/an-abrupt-climate-change-scena.pdf](http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/an-abrupt-climate-change-scena.pdf))
- Secrétariat Exécutif Conseil National Sécurité Alimentaire (SECNSA). 2017. Enquête Nationale Sécurité alimentaire et Nutritionnelle.
- Sene, S. et Ozer, P. (2002). Évolution Pluviométrique Et Relation Inondations – Événements Pluvieux Au Sénégal. *Bulletin de La Société Géographique de Liège*, 42, 27–33.
- Seo, S.N. et Mendelsohn, R. (2008). Measuring impacts and adaptations to climate change : a structural Ricardian model of African livestock management. *Agricultural Economics*, 38(2), 151–165.
- Sibelet, N. (1995). L'innovation en milieu paysan ou la capacité des acteurs locaux à innover en présence d'intervenants extérieurs nouvelles pratiques de fertilisation et mise en bocage dans le Nioumakélé, Anjouan, Comores. (Thèse de doctorat, INA-PG, Toulouse).
- Sidibé, A. (2005). Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 71(3), 211–224.
- Siegenthaler, U., Stocker, T.F., Monnin, E., Lüthi, D., Schwander, J., Stauffer, B., Raynaud, D., Barnola, J., Fischer, H., Masson-Delmotte, V. et Jouzel, J. (2005). Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. *Science*, 310 (5752), 1313-1317.
- Smit, B. et Skinner, M.W. (2002). Adaptation options in Agriculture to climate change: A typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(1), 85-114.
- Smit, B. McNabb, D. et Smithers, J. (1996). Agricultural adaptation to climatic variation. *Climatic Change*, 33(1), 7-29.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R.J.T. et Wandel. J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, 45, 223–251.
- Smith, J.P., Pearce, B.D. et Wolfe, M.S. (2012). Reconciling productivity with protection of the environment : is temperate agroforestry the answer ? *Renewable Agriculture Food Systems*, 28 (1), 80–92.
- Smith, K. (1998). Sedentarization and market integration : New opportunities for Rendille and Ariaal women of northern Kenya. *Human Organization*, 57 (4), 459–468.
- Smith, K. (1999). The farming alternative : Changing age and gender roles among sedentarized Rendille and Ariaal. *Nomadic Peoples*, 3 (2), 131–146
- Somda, J., Nianogo, A.J., Nassa, S. et Sanou, S. (2002). Soil fertility management and socio-economic factors in crop-livestock systems in Burkina Faso : A case study of composting technology. *Ecological Economics*, 43(2-3), 175–183.
- Spahni, R., Chappellaz, J., Stocker, T.F., Loulergue, L., Hausammann, G., Kawamura, K., Flückiger, J., Schwander, J., Raynaud, D., Masson-Delmotte, V. et Jouzel, J. (2005). Atmospheric methane and nitrous oxide of the late Pleistocene from Antarctic ice cores. *Science*, 310 (5752), 1317-1321.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. et Haan, C. (2006). Livestock's Long Shadow : Environmental Issues and Options. (Rapport de recherche). FAO, Rome.
- Stern, N. (2006). What is the economics of climate change ? *World Economics-Henley On Thames*, 7 (2), 1.

- Suresh A, Gupta, D.C., Solanki, M.R. et Mann, J.S. (2007). The Risk in Livestock Production : Factors Influencing the Adoption of Vaccination Against Bovine Diseases. *Indian Journal of Agriculture Economics*, 62(3), 484-491.
- Tadesse, M. et Belay, K. (2004). Factors Influencing Adoption of Soil Conservation Measures in Southern Ethiopia : The Case of Gununo Area. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105(1), 49-62.
- Teklewold, H. et Kohlin, G. (2010). Risk preferences as determinants of soil conservation decisions in Ethiopia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 66(2), 87-96.
- Terra, S. (2005). Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de l'évaluation contingente. Paris, France.
- Tesser, A. (1978). Self-generated attitude change. *Advances in Experimental Social Psychology*, 11, 289-338.
- Thornton, P. K., Kruska, R. L., Henninger, N., Kristjanson, P. M., Reid, R. S, Atieno, F., Odero, A. et Ndegwa, T. (2002). Mapping poverty and livestock in the developing world. International Livestock Research Institute publishers, Nairobi, Kenya.
- Thornton, P.K. (2010). Livestock production : recent trends, futurs prospects. *Philosophical Transactions of a Royal Society B*, 365, 2853–2867.
- Thornton, P.K. et Herrero, M. (2010). The Inter-linkages between rapid growth in livestock production, climate change, and the impacts on water resources, land use, and deforestation. (World Bank Policy Research Working Paper, WPS 5178). World Bank, Washington, DC.
- Thornton, P.K. et Herrero, M. (2010a). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A*, 107 (46), 19667–19672.
- Thornton, P.K., Van de Steeg, J., Notenbaert, A. et Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries : A review of what we know and what we need to know. *Agriculture System*, 101, 113–127.
- Tompkins, E. et Adger, W. (2004). Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change ? *Ecology and Society*, 9 (2), 10.
- Tornatzky, G. et Klein, L.K. (1982). Innovation Characteristics and Innovation-Adoption-Implementation : A Meta-analysis of findings. *Engineering Management, IEEE Transactions on. Engineering Management*, 29(1) : 28-43.
- Tourangeau, R., et Rasinski, K. A. (1988). Cognitive processes underlying context effects in attitude measurement. *Psychological Bulletin*, 103, 299-314.
- Triandis, H. C. (1977). *Interpersonal Behavior*. Monterey : Brooks/Cole.
- Tsegaye, D., Vedeld, P. et Moe, S.R. (2013). Pastoralists and livelihoods : A case study from northern Afar, Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 91, 138–146.
- Turner, R. K., Pearce, D. et Bateman, I. (1994). *Environmental Economics*. London.
- Ulimwengu, J. et Sanyal, P. (2011). Joint estimation of farmers' stated willingness to pay for agricultural services (No. 01070). (Rapport de recherche). International Food Policy Research Institute.
- United Nation Children's Fund (UNICEF). (2014). Generation 2030, Africa. Child demographics in Africa, récupéré de : <http://www.unicef.org/>

- United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2016a). NAPAs received by the secretariat. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de : http://unfccc.int/adaptation/workstreams/national_adaptation_programmes_of_action/items/4585.php).
- United Nations (UN). (2013). World population projected to reach 9.6 billion by 2050. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <[http:// www.un.org/en/development/desa/news/population/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050.html](http://www.un.org/en/development/desa/news/population/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050.html)>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA). (2015). World Urbanization Prospects Final Report 2014 Revision. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA). (2017). World Population Prospects - Key Findings & Advance Tables - 2017 Revision. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2015). (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <http://hdr.undp.org/>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Loss and Damage : The Role of Ecosystem Services. Nairobi, Kenya. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de : <http://collections.unu.edu/view/UNU:5614>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (1992). Technologies for adaptation to climate change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Germany. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de :
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). (2015). The human cost of weather related disaster 1995-2015. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <http://www.unisdr.org>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (UNDESA). (2010). World Population Prospects : The 2010 Revision, Volume I : Comprehensive Tables. ST/ESA/SER.A/ 313. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <http://www.undesa.org>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2013). Climate Change and Agriculture in the United States : Effects and Adaptation. (USDA technical bulletin), Washington, DC. http://www.usda.gov/oce/climate_change/effects_2012/CC%20and%20Agriculture%20Report%20%2802-04-2013%29b.pdf
- Vogel, I. (2012). Review of the use of ‘Theory of Change’ in international development. UK : Department for International Development (DFID).
- Von, H.J. (1986). Trees and Shrubs in the Sahel – Their characteristics and uses. *Schriftenreihe der GTZ*, 196, Eschborn, 525.
- Wade, C.T. (2017). Développement de l'élevage dans la zone sylvopastorale : l'apport des Unités pastorales. www.iedafric.org
- Wani, S.P., Rockstrom, J. et Oweis, T. (2009). Rainfed Agriculture : Unlocking the Potential. *CAB International*, Wallingford, UK.
- Waters-Bayer, A. (1988). Dairying by Settled Fulani Women in Central Nigeria : The Role of Women and Implications for Dairy Development. *Wissenschaftsverlag Van Kiel, Kiel*, Germany.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, 20, 158-177.

- Westenbroch, K. et Skiera, B. (2002). Mesuring consumers' willingness to pay at the point of purchase. *Journal of Marketing Reshaerch*, 309, 228–241.
- Wilson R.T., 1988. Small ruminants production systems in tropical Africa. *Small Rumin. Res.*, 1 (4), 305-325, doi: 10.1016/0921-4488(88)90058-2
- World Bank. (2016). World Development Indicators. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de <http://bit.ly/1SzNV17>
- World Bank. (2018). Groundswell. Preparing for internal migration. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de www.worldbank.org
- World Resources Institute (WRI). (2016). World Risk Report 2016. (Rapport de recherche). Auteur. Récupéré de www.WorldRiskReport.org
- Wright, I.A., Tarawali, S., Blummel, M., Gerard, B., Teufel, N. et Herrero, M. (2012). Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 1010–1015.
- Yabi, J. A., Bachabi, F.X., Labiyi, I. A., Ode, C. A. et Ayena, R. L. (2016). Déterminants socio-économiques de l'adoption des pratiques culturelles de gestion de la fertilité des sols utilisées dans la commune de Ouaké au Nord-Ouest du Bénin. *Int. J. Bio. Chemical Science*, 10 (2), 779-792.
- Zaal, F. et Dietz, T. (1999). Of markets, maize, and milk : Pastoral commoditization in Kenya. In Anderson, D., and Broch-Due, V. (eds.), *The Poor Are not Us : Poverty and Pastoralism in Eastern Africa*, James Currey, Oxford, 163–198.

LISTES DES ANNEXES

Articles publiés

Ndiaye. S., Dieng. A. et Diagne. A. (2018). Impact of Adoption Adaptation Climate Change On household Food Security and Incomes in Ferlo Semi-Arid Area, Northern Senegal. *International Journal of Current Advanced Research*, 07(6): 13757-13763. DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2018.13763.2470>

International Journal of Current Advanced Research

ISSN: O: 2319-6475, ISSN: P: 2319-6505, Impact Factor: 6.614

Available Online at www.journalijcar.org

Volume 7; Issue 6(J); June 2018; Page No. 13757-13763

DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2018.13763.2470>



Research Article

IMPACT OF ADOPTION ADAPTATION CLIMATE CHANGE ONHOUSEHOLD FOOD SECURITY AND INCOMESINFERLOSEMI-ARID AREA, NORTHERN SENEGAL

Saboury Ndiaye*¹, Aliou Diagne² and Abdoulaye Dieng³

¹Agriculture Development Project of Matam (PRODAM), Senegal.

²University of Gaston Berger, BP: 234, Saint Louis, Senegal.

³University of Thies, BP: A29, Thies, Senegal.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 12th March, 2018

Received in revised form 24th

April, 2018 Accepted 5th May, 2018

Published online 28th June, 2018

Key words:

Adaptation, climate change, impact, food security, income, Ferlo, Senegal.

ABSTRACT

Pastoral communities in Ferlo semi-arid zone are faced with several climate change related threats to their food security and well being. To deal with the climate-change related threats, many adaptation strategies have been promoted widely for adoption by livestock owners in the Ferlo. This study aims to evaluate the impact of adoption adaptation strategies on household food security and income. Data come from a random sampling of 339 households in 32 villages. To estimate the causal effect of adoption of climate change adaptation strategies on household food security and income, the study used the instrumental variable method. It estimated the Local Average Treatment Effect (LATE) parameter of Imbens and Angrist (1994), which measures the mean impact on the subpopulation whose adoption was induced by the instrument (awareness of at least one adaptation strategy). The treatment variable is adoption of at least one adaptation strategy and outcome variables are household food score consumption and income. The results reveal that on average 56% of household head are aware of at least one adaptation strategy and 94% among those who are aware have adopted at least one adaptation strategy. Futhemore, result showed that adoption of at least one adaptation strategy have a positive and significant impact on food security and income. It increased the average household food score consumption by 8.64 and income by \$1, 213. In addition, household size, herd size and literacy of the household head are other factors that influence food security and income. The political implication is scaling up adaptation climate change strategies can be a sustainable solution for improving households resilience to food insecurity and poverty in sahelian zone.

Copyright ©2018 Saboury Ndiaye., Aliou Diagne and Abdoulaye Dieng. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ndiaye. S., Dieng. A. et Diagne. A. (2018). Taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant dans la zone sylvopastorale du Ferlo de Matam au nord du Sénégal. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 36(1) : 5769-5784. <http://www.m.elewa.org/JAPS>

Journal of Animal & Plant Sciences, 2018. Vol.36, Issue 1: 5769-5784

Publication date 29/04/2018, <http://www.m.elewa.org/JAPS>; ISSN 2071-7024



Taux d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant dans la zone sylvopastorale du Ferlo de Matam au nord du Sénégal.

Saboury NDIAYE¹, Abdoulaye DIENG², Aliou DIAGNE³.

*1*École Doctorale ED2DS, Université de Thiès, BP : A29, Thiès, Sénégal.*

2 École Nationale Supérieure d'Agriculture, Université de Thiès, BP : A29, Thiès, Sénégal.

3 Université Gaston Berger, BP : 234, Saint Louis, Sénégal.

**Auteur correspondant : E-mail : ndiayesaboury@yahoo.fr , Tel : +221 77 906 75 35.*

Mots clés : Sénégal, adoption, vaccination, Effet Moyen du Traitement, cheptel bovin et petit ruminant.

Keywords : Senegal, adoption, vaccination, Average Treatment Effect, cattle bovin and small ruminant

1 RÉSUMÉ

Cette étude vise à évaluer le taux actuel et potentiel d'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant et identifier les déterminants de l'adoption dans la zone sylvopastorale du Ferlo de la Région de Matam au nord du Sénégal. Le projet de développement agricole de Matam (PRODAM) a financé la vaccination par la mise en place de 10 parcs à vaccination, 8 pharmacies vétérinaires villageoises et d'un programme de formation et sensibilisation sur la santé animale. Les données proviennent d'une enquête sur un échantillon aléatoire de 339 ménages et 32 villages. La méthode de l'Effet Moyen du Traitement (ATE) (Diagne et Demont, 2007) est utilisée pour estimer les taux d'adoption et leurs déterminants. Les résultats révèlent que le taux commun d'exposition et d'adoption (taux actuel) est de 54%. Le taux d'adoption potentiel de la population est de 58% si toute la population avait été exposée à la vaccination. De plus, le taux d'adoption potentiel dans la sous population qui n'a pas été sensibilisée sur la vaccination de 53% montre qu'il existe une importante demande non satisfaite de la vaccination. En outre, l'âge du chef de ménage, l'alphabétisation, l'accès aux boutiques, la possession d'un téléphone portable et le type d'habitat sont des déterminants significatifs et positifs de l'adoption de la vaccination du cheptel bovin et petit ruminant. Ces résultats montrent que l'appui à l'accès aux infrastructures de santé animale et la sensibilisation des éleveurs est un moyen pour augmenter l'adoption de la vaccination.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the actual and potential adoption rate of bovine and small ruminant cattle vaccination and also to identify the determinants of adoption in the sylvopastorale zone of Ferlo in the Matam region, northern Senegal. The agricultural development project of Matam (PRODAM) financed the vaccination by implementing 10 vaccination parks, 8 village veterinary pharmacies, training and sensitization program on livestock health. Data come from a survey of a random sample of 339 households and 32 villages. The Average Treatment Effect (ATE) method (Diagne et Demont, 2007) is used to estimate adoption rates and their determinants. The results reveal that the joint exposure and adoption rate (actual adoption) is 54%. The potential adoption rate of the population is 58% if the full population is exposed to vaccination. Furthermore, the potential adoption rate in the sub-population that was not exposed to



vaccination is 53% which shows that there is a large unmet demand for cattle vaccination. In addition, the age of the household head, literacy, access to shops, possession of mobile phone and type of house are significant and positive determinants of the adoption of cattle vaccination. These results show that support for access to livestock health infrastructure and awareness is a means to increase vaccination adoption.

Communication Scientifique

Ndiaye. S. (2018). Does climate change adaptation provide food security and incomes of rural households. Evidence from Ferlo zone, Northern Senegal. Oral presentation, at 5th Internationale Climate Change Conference Adaptation Conference. Cape Town, South Africa, 18-26 June 2018.

Does adaptation to climate change increase the food security and incomes of rural households ? Evidence from Ferlo zone, Senegal.

**5th International Conference on Adaptation climate change.
Cape Town, 18-21 June, 2018.**

**Saboury NDIAYE,
University of Thies & PRODAM
Senegal**

E-mail : ndiayesaboury@yahoo.fr ; Tel : +221 906 75 35

