UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

ECOLE DOCTORALE : **Sciences Juridiques, Politiques, Économiques et de Gestion**

.....

FACULTE : **Sciences Économiques et de Gestion**

Année : 2017 N° d'ordre :

THESE DE DOCTORAT

Formation doctorale : **Croissance et institutions**

Présentée par : **Ndèye Fatou Faye-Mané**

Les déterminants et l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans le bassin arachidier du Sénégal

Soutenue le 29 août 2017 devant le jury composé de :

Président :	François Joseph CABRAL, Professeur, Université Cheikh Anta Diop de Dakar
Rapporteurs :	Kimseyinga SAVADOGO, Professeur, Université Ouagadougou 2 Ibrahima THIAM, Professeur, Université de Thiès Mbaye DIÈNE, Professeur, Université Cheikh Anta Diop de Dakar
Examinateur :	François Joseph CABRAL, Professeur, Université Cheikh Anta Diop de Dakar
Directeur de thèse :	Abdoulaye DIAGNE, Professeur, Université Cheikh Anta Diop de Dakar

L'Université Cheikh Anta DIOP de DAKAR n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse.

Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Louange à ALLAH, le Miséricordieux

À mon père Aliou FAYE et ma mère Mbène DIÈYE, des parents modèles au service du bonheur de leurs enfants

À mon mari Cheikh Abdou Khadre Jellani MANÉ, mon inconditionnel supporter et mon fils Cheikh Ousmane MANÉ, né pendant cette aventure

À nos chers disparus, Cheikh Ahmadou Bamba DIÈYE et Papa Cheikh FAYE. Qu'ALLAH vous accueille au Paradis

RÉSUMÉ

L'innovation agricole permet d'améliorer la productivité, augmenter les revenus et assurer la sécurité alimentaire. Le Sénégal, à l'instar des autres pays investit dans la recherche et le développement agricole. Toutefois, le constat est que l'adoption des nouvelles technologies agricoles demeure faible, entrainant des rendements moyens en deçà du potentiel des variétés améliorées.

L'objectif général de cette thèse est d'évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire dans le bassin arachidier du Sénégal. Les objectifs spécifiques sont l'analyse de l'organisation de la filière semencière au Sénégal, l'estimation du taux d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho, l'identification des facteurs d'adoption et la mesure de l'impact des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et les dépenses alimentaires des ménages agricoles. Les données proviennent d'enquêtes menées auprès de producteurs du bassin arachidier, entre mai et août 2014. Des guides d'entretien ont été aussi administrés à des acteurs clés. Sur un échantillon de 532 producteurs tirés de manière aléatoire, un modèle mixte (ou hiérarchique) a été utilisé pour identifier les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. L'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho a été étudié grâce à deux modèles : l'appariement par les scores de propension et le modèle à changement de régime.

Les résultats ont montré que cinq principaux facteurs déterminent l'adoption : le contact avec une ONG, la formation/stage agricole, l'accès au crédit, l'utilisation de fertilisants chimiques et le sexe du producteur. Un test de ratio de vraisemblance a permis de rejeter l'hypothèse de la supériorité du logit simple sur le modèle mixte, prouvant ainsi l'existence d'effets aléatoires spécifiques aux villages. L'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho a un impact positif sur les rendements et les dépenses alimentaires, quel que soit la méthode utilisée.

Mots clés : MIL – SORGHO – SEMENCE CERTIFIÉE – MODÈLE MIXTE – ADOPTION – IMPACT – DIFFUSION

ABSTRACT

Agricultural innovations are important for increasing productivity and revenues, as well as achieving food security. As shown by the Green Revolution in the end of the 60's and during which adoption of high yield varieties more than doubled wheat and rice yields in Asia and Latin America, agricultural technological innovation can be a good way to fight against poverty. Senegal, like many other African countries, invests a lot in research and agricultural development. But, the rate of adoption of agricultural innovations remains low and the consequence is that average yields are far below the potential of improved varieties.

The general objective of this thesis is to evaluate the impact of adoption of certified pearl millet and sorghum seeds on yields and food security in the peanut basin of Senegal. The specific objectives are the analysis of the organization of the seed sector in Senegal, estimation of adoption rate of certified pearl millet and sorghum seeds, identification of adoption factors and assessment of the impact of certified pearl millet and sorghum seeds on yields and food security of farm households. Data come from surveys of producers conducted in the peanut basin of Senegal between May and August 2014. Interview guides were also administered to key stakeholders. On a sample of 532 producers randomly selected, a mixed (or hierarchical) model was used to identify determinants of adoption of certified pearl millet and sorghum seeds. Impact of adoption on yields and food expenditures was also studied using two models: propensity score matching and endogenous switching regression.

Results show that five main factors determine adoption: contact with an NGO, agricultural internship/training, access to credit, use of chemical fertilizers and sex of the producer. A likelihood ratio test rejected the hypothesis of superiority of the simple logit over the mixed model, thus proving existence of random effects specific to villages. Adoption of certified pearl millet and sorghum seeds has a positive impact on yields and food security, regardless of the method used.

Key words: PEARL MILLET – SORGHUM – CERTIFIED SEED – MIXED MODEL – ADOPTION – IMPACT – EXTENSION

SOMMAIRE

Liste des tableaux viii

Liste des figures x

Liste des annexes xi

SIGLES ET ACRONYMES xiv

INTRODUCTION GÉNÉRALE 17

Chapitre 1 : Cadre institutionnel de la diffusion des semences certifiées de céréales au Sénégal 25

1.1. Concepts et définitions 26

1.2. La législation semencière au Sénégal 28

1.3. L'organisation actuelle de la filière des semences de céréales 31

1.4. Le système sénégalais de transfert des technologies : cas des semences de céréales 46

Conclusion du chapitre 50

Chapitre 2 : Cadre méthodologique de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho et leur impact 51

2.1. Cadre général de l'analyse : fonctions et technologies de production 52

2.2. Revue de littérature sur l'adoption et l'impact de l'adoption des technologies agricoles 53

2.3. Modélisation de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho 72

2.4. Modélisation de l'impact de l'adoptiondes semences certifiées de mil et de sorgho 77

2.5. Les données utilisées 84

Chapitre 3 : Les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et sorgho : une analyse multiniveaux. 92

3.1. Les résultats de la recherche sur les variétés améliorées de mil et de sorgho au Sénégal 93

3.2. Statistiques descriptives 95

3.3. Les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho 106

Conclusion du chapitre 119

Chapitre 4 : Impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire 120

4.1. Caractérisation de la production de mil et de sorgho 121

4.2. Application des méthodes d'évaluation d'impact 129
4.3. Impact de l'adoption des semences certifiées sur les rendements 139
4.4. Impact de l'adoption des semences certifiées sur la sécurité alimentaire 145
Conclusion du chapitre 148
CONCLUSION GÉNÉRALE 149
LISTE DES REFERENCES 155
ANNEXES 165
Annexe 1 : Évaluation de la qualité de l'appariement dans l'échantillon des producteurs de sorgho 165
Annexe 2 : Résultats détaillés des modèles d'évaluation d'impact 167
Annexe 3 : Procédure d'agrément et d'admission au contrôle d'un Opérateur Privé Semencier 173
Annexe 4 : Questionnaires 175
TABLE DES MATIERES 198

Liste des tableaux

Tableau 1-1: Offre de semences certifiées de mil 40
Tableau 1-2: Offre de semences certifiées de sorgho 40
Tableau 1-3: Variétés de mil et de sorgho disponibles en semences certifiées 41
Tableau 1-4: Demande en semences de mil et de sorgho 42
Tableau 2-1: Variables du modèle hiérarchique 76
Tableau 2-2:Communes rurales ayant bénéficié de la diffusion de variétés améliorées de sorgho et de production de semences de mil et sorgho 89
Tableau 2-3:Villages bénéficiaires sélectionnés 89
Tableau 2-4:Villages non bénéficiaires sélectionnés 89
Tableau 3-1 : Variétés de mil homologuées au Sénégal 94
Tableau 3-2: Variétés de sorgho homologuées au Sénégal 94
Tableau 3-4 : Taux d'adoption des semences certifiées de mil, par sexe 97
Tableau 3-5: Taux d'adoption des semences certifiées de sorgho, par sexe 97
Tableau 3-6: Variétés de mil cultivées en 2013 104
Tableau 3-7: Variétés de sorgho cultivées en 2013 104
Tableau 3-8: Statistiques descriptives des variables du modèle mixte 106
Tableau 3-9: Résultats du modèle vide 109
Tableau 3-10:Estimation du modèle mixte 111
Tableau 3-11: Effet marginaux 114
Tableau 4-1: Rendements du mil et du sorgho 123
Tableau 4-2: Rendements du mil, par statut d'adoption 124
Tableau 4-3 : Rendements du sorgho, par statut d'adoption 125
Tableau 4-4: Niveau d'utilisation des intrants pour la production de mil 125
Tableau 4-5: Niveau d'utilisation des intrants pour la production de sorgho 126
Tableau 4-6: Niveau d'utilisation des intrants par statut d'adoption des semences certifiées de mil . 128
Tableau 4-7: Niveau d'utilisation des intrants par statut d'adoption des semences certifiées de sorgho 128
Tableau 4-8: Variables du PSM (mil) 136
Tableau 4-9: Variables de l'ESR (mil) 136
Tableau 4-10: Variables du PSM (sorgho) 137
Tableau 4-11: Variables de l'ESR (sorgho) 137
Tableau 4-12 : Test de différences de moyenne avant appariement (mil) 139
Tableau 4-13: Test de différences de moyennes après appariement (mil) 140
Tableau 4-14: Indicateurs qualité avant et après appariement 141
Tableau 4-15: ETT selon le PSM (variable dépendante=log rendement mil) 143
Tableau 4-16: ETM et ETT selon le modèle de régime (variable dépendante=log rendement mil) .. 143

Tableau 4-17: ETT selon le PSM (variable dépendante= log rendement sorgho) 144
Tableau 4-18: ETM et ETT selon l'ESR (variable dépendante=log rendement sorgho) 145
Tableau 4-19: Impact de l'adoption des semences certifiées de mil sur les dépenses alimentaires.... 145
Tableau 4-20: Impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho sur les dépenses alimentaires 146
Tableau 4-21: Synthèse de l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil..... 146
Tableau 4-22: Synthèse de l'impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho 146
Tableau 5-1: Test de différence de moyennes avant appariement (sorgho) 165
Tableau 5-2: Test de différence de moyennes après appariement (sorgho) 165
Tableau 5-3: Indicateurs qualité avant et après appariement (sorgho)..... 167
Tableau 5-4: Estimation des scores de propension par le modèle logit (mil)..... 167
Tableau 5-5: Estimation des scores de propension par le modèle logit (sorgho) 168
Tableau 5-6: Estimation du modèle à changement de régime pour les rendements (mil)..... 169
Tableau 5-7: Estimation du modèle à changement de régime pour les rendements (sorgho) 170
Tableau 5-8: Estimation du modèle à changement de régime pour les dépenses alimentaires (mil) . 171
Tableau 5-9: Estimation du modèle à changement de régime pour les dépenses alimentaires (sorgho) 172

Liste des figures

Figure 1-1: Offre et demande de semences certifiées de mil 43
Figure 1-2: Offre et demande de semences certifiées de sorgho 44
Figure 2-1: Villages enquêtés 90
Figure 3-1: Taux d'adoption des semences certifiées de mil 95
Figure 3-2: Taux d'adoption des semences certifiées de sorgho 95
Figure 3-3: Typologie adoption chez les producteurs de mil. 96
Figure 3-4: Typologie adoption chez les producteurs de sorgho 96
Figure 3-5: Utilisation des semences certifiées dans les villages bénéficiaires du projet. 98
Figure 3-6: Taux d'utilisation des semences certifiées de mil et/ou de sorgho dans les villages non bénéficiaires 100
Figure 3-7: Taux d'adoption des semences certifiées en termes de superficie emblavée, par village 100
Figure 3-8: Raisons de non utilisation des variétés améliorées de mil et de sorgho. 101
Figure 3-9: Raisons abandon des variétés améliorées de mil et de sorgho 102
Figure 3-10: Raisons utilisation des variétés améliorées de mil et de sorgho 104
Figure 3-11: Provenance des semences de mil. 105
Figure 3-12: Provenance des semences de sorgho. 106
Figure 3-13: Usages du crédit en 2013 116
Figure 4-1: Production moyenne, autoconsommation moyenne et quantité vendue moyenne de mil 121
Figure 4-2: Production moyenne, autoconsommation moyenne et quantité vendue moyenne de sorgho 122
Figure 4-3: Production et rendements moyens du mil, par département 123
Figure 4-4: Production et rendements moyens du sorgho, par département 123
Figure 4-5: Achats et utilisation d'intrants pour le mil 127
Figure 4-6: Achats et utilisation d'intrants pour le sorgho 127
Figure 4-7 : Biais standardisé avant et après appariement 141
Figure 4-8: Distribution des scores de propension et support commun 142
Figure 5-1: Biais standardisé moyen avant et après appariement (sorgho) 166
Figure 5-2: Distribution des scores de propension et support commun (sorgho) 167

Liste des annexes

Annexe 1 : Évaluation de la qualité de l'appariement dans l'échantillon des producteurs de sorgho

Annexe 2 : Résultats détaillés des modèles d'évaluation d'impact

Annexe 3 : Procédure d'agrément et d'admission au contrôle d'un Opérateur Privé Semencier

Annexe 4 : Questionnaires

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit d'une longue aventure scolaire qui a débuté dès l'âge de six ans à l'école Saint Abraham de Guédiawaye. Elle s'est ensuite poursuivie à l'école Sainte-Croix de Bambey, la Maison d'Éducation Mariama Bâ de Gorée, l'université Toulouse 1 Capitole, l'École d'Économie de Paris et enfin l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Avant et durant cette aventure, des personnes m'ont accompagnée et m'ont permis de franchir la ligne d'arrivée. Je tiens ici à les en remercier.

J'adresse mes sincères et profonds remerciements à mon encadreur, Professeur Abdoulaye Diagne. Vous m'avez guidée et épaulée durant ces années de thèse. Votre rigueur et votre esprit critique m'ont permis d'améliorer ce travail. Merci pour les conseils avisés et le soutien durant les moments difficiles. Mes remerciements vont aussi à l'endroit des rapporteurs, Professeur Kimseyinga Savadogo, Professeur Ibrahima Thiam et Professeur Mbaye Diène pour leurs suggestions et commentaires qui ont considérablement amélioré ce travail.

Je tiens à remercier le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest ainsi que le projet AgriFam pour avoir financé cette thèse. Merci à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, plus précisément le Bureau d'Analyses Macroéconomiques pour m'avoir accueillie et offert un cadre de travail convivial. Je commencerai par Dr Djiby Dia, Directeur du Bame, qui est mon plus que frère. Merci Djiby d'avoir cru en moi, merci de pousser les jeunes du Bame à toujours aller de l'avant. Tu es un homme exemplaire que je ne saurai remercier assez pour avoir été présent dans les bons comme les mauvais moments. Je remercie aussi Dr Cheickh Sadibou Fall, mon voisin de bureau et ami, pour ses orientations enrichissantes et son soutien sans faille. Merci à Mme Madame Ndèye Fatou Diop et mon frère Mohamed Rassoul Sy pour leur appui au cours des différentes étapes de la thèse ; vos encouragements m'ont donné plus de force. Merci à Dr Astou Diao Camara pour la relecture et les suggestions pertinentes. Ton ouverture d'esprit me fascinera toujours. Mes collègues Ami Faye, Yacine Ngom, Moussa Sall, Safietou Barro, Nini Diabong, Assane Bèye, Saer Sarr, Jérémy Bourgoin, Frédérique Jankowski, Mamadou Bobo Barry, Mor Ngom, Pape Bilal Diakhaté, Cheikh Ba, Pierre Niakh, merci à vous ainsi qu'à tous les autres chercheurs, allocataires de recherche et stagiaires du BAME.

Mes remerciements vont également à l'endroit du Consortium pour la Recherche Économique et Sociale et son personnel pour leur accueil chaleureux. Merci à Mame Sokhna Thiaw Ndiaye pour son assistance et disponibilité, à Ousmane Sokhna ainsi qu'à tous leurs collègues.

Merci à Mme Fatou Sow Sarr, directrice du Labo Genre à l'IFAN, pour m'avoir initiée à la recherche. Vos conseils resteront gravés dans ma mémoire. Je remercie aussi Alpha Wade et Abdoulaye Cissé pour leurs encouragements et conseils.

Au cours de mes recherches, certaines personnes ont eu une influence significative sur les pistes à suivre grâce aux discussions enrichissantes que j'ai eues avec elles. Il s'agit de M. Abdourahmane Wane du CIRAD, Simon Ndene du FNDASP, Yaya KY du CRES, Arona Wassongna, M. Adama Keita, coordonnateur du WASP, M. Félix Sagne, chef de la DISEM, M. Diégane Faye, technicien agricole au RESOPP, M. Osumane Sy et M. Mamadou Lô, agronomes à l'ISRA. Je les remercie d'avoir été à l'origine des orientations majeures de cette thèse.

Merci à mes enquêteurs, Alassane Ka, Papa Latyr Faye, Arona Ndiaye, tonton Cheikh Sène, tonton Djiby Diouf et tonton Cheikh Diouf. Merci à tous les producteurs et chefs de village qui nous ont ouvert leurs portes et pris leur temps pour répondre aux questions.

Je remercie le personnel de la bibliothèque de l'UCAD pour leur disponibilité et gentillesse.

Merci à mes parents d'avoir toujours été présents pour moi, merci de m'avoir soutenue et lu ce long travail malgré votre emploi du temps chargé. Mon combat est de vous rendre fiers. Merci mon cher époux d'avoir été à mes côtés, tu as su gérer ma nervosité, mes longues absences, mes baisses de moral ; tout cela avec le sourire et la patience qui te caractérisent. Je te serai à jamais reconnaissante. Merci à mes frères, Matar et Oumar, mes confidents. J'exprime ma profonde gratitude à mes beaux-parents, Famara Mané et Ladara Fall pour m'avoir permis de rédiger cette thèse dans la sérénité. Merci à mon beau-frère Souleymane Samb et sa femme Mame Ngoné Ndiaye qui s'occupe de la maison sans rien attendre de moi. Je remercie aussi Mame Arame Seck, tonton Dogo Seck, tata Ndèye Diouf ainsi que toute la famille Seck pour leur soutien durant mon cursus scolaire. Merci à toutes mes tantes en commençant par Yaye, maman Africa, la femme au cœur d'or, merci à tata Ami Dièye et son mari tonton Abdou Kébé, merci à tata Maguette Dièye, tata Awa Dièye, tonton Ibrahima Dièye. Vos prières m'ont toujours accompagnée. Merci à Mame Ndiaya Fall et son mari Moustapha Ngamb pour avoir été ma famille à Toulouse.

Merci à tous mes cousins et cousines.

SIGLES ET ACRONYMES

AFD	Agence Française de Développement
ANCAR	Agence Nationale du Conseil Agricole et Rural
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
ASPRODEB	Association des Producteurs pour le Développement à la Base
ATE	Average Treatment Effect
ATT	Average Treatment Effect on the Treated
ATU	Average Treatment Effect on the Untreated
BAME	Bureau d'Analyses Macroéconomiques
BAMTAARE	Base d'Appui aux Méthodes et Techniques pour l'Agriculture, les autres Activités Rurales et l'Environnement
BM	Banque Mondiale
CEDEAO	Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest
CILSS	Comité Inter-États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CLCOP	Cadres Locaux de Concertation des Organisation de Producteurs
CNBA	Centre Nord Bassin Arachidier
CNSP	Comité National Consultatif des Semences et des Plants
CRS	Catholic Relief Services
DAC	Domaine Agricole Communautaire
DAPSA	Direction d'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles
DH	Double Hurdle
DHS	Distincte, Homogène, Stable
DISEM	Division des Semences
DPEE	Direction de la Prévision et des Études Économiques
DRDR	Direction Régionale du Développement Rural
ECOWAP	Politique Agricole de la CEDEAO
ESPS	Enquête de Suivi de la Pauvreté au Sénégal

ESR	Endogenous Switching Regression
ETM	Effet de Traitement Moyen
ETT	Effet de Traitement sur les Traités
FAO	Food and Agriculture Organization
FNRAA	Fonds National de Recherches Agro-Sylvo-Pastorales
HGLM	Hierarchical Generalized Linear Model
HLM	Hierarchical Linear Model
ISRA	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ITA	Institut de Technologies Alimentaires
IV	Instrumental Variable
LATE	Local Average Treatment Effect
LOASP	Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale
MAER	Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural
MTE	Marginal Treatment Effect
NASAN	Nouvelle Alliance pour la Sécurité Alimentaire et la Nutrition
OCDE	Organisation pour la Coopération et le Développement Économique
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OP	Organisation de Producteurs
PAFA	Projet d'Appui aux Filières Agricoles
PAPSEN	Projet d'Appui au PNIA du Sénégal
PIB	Produit Intérieur Brut
PPAAO	Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest
PRACAS	Programme de Relance et d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise
PSAOP	Programme de Services Agricoles et des Organisations de Producteurs
PSE	Plan Sénégal Émergent
PSM	Propensity Score Matching

PTF	Partenaires Techniques et Financiers
RADI	Réseau Africain pour le Développement Intégré
RESOPP	Réseau des Organisations Paysannes et Pastorales du Sénégal
RGPHAE	Recensement Général de Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage
SAED	Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal et des Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé
SBA	Sud Bassin Arachidier
SDDR	Service Départemental du Développement Rural
SIG	Système d'Information Géographique
SNCASP	Système National de Conseil Agro-Sylvo-Pastoral
SOC	Service Officiel de Contrôle
SODEFITEX	Société de Développement et des Fibres Textiles du Sénégal
UNIS	Union Nationale Interprofessionnelle des Semences
UPSE	Unité de Production de Semences
WAAPP	West Africa Agricultural Productivity Program
WASP	West African Seed Program

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'innovation technologique joue un rôle majeur dans le développement économique. Elle est une des principales sources des inégalités observées entre les pays. Il y a en effet un consensus chez les économistes selon lequel les différences technologiques, ou la productivité totale des facteurs entre les pays, est à la base des différences majeures du PIB/tête et des salaires des travailleurs, à qualifications égales (Foster et Rosenzweig, 2010). Au niveau macroéconomique, il existe un solide réseau de faits montrant que l'innovation est le facteur dominant de la croissance économique nationale et de la spécialisation commerciale des pays (OCDE, 2005). Pour les pays en développement, une des voies de sortie de la pauvreté est l'utilisation de technologies avancées pouvant augmenter la productivité du travail et du capital. Face à la rapide croissance démographique, l'adoption des innovations est cruciale dans le domaine de l'agriculture qui demeure la principale activité des habitants des pays en voie de développement. Selon la Banque Mondiale (2008), la production agricole mondiale devrait augmenter de 70% par rapport à son niveau de 2007, pour pouvoir nourrir la population mondiale en 2050. Une attention particulière est donc portée sur ce secteur dont les performances devront croître. Les efforts devront être dirigés vers une amélioration des conditions d'accès aux innovations technologiques car il a été démontré que le changement technologique dans l'agriculture est indispensable à la réduction de la pauvreté et la stimulation de la croissance économique, particulièrement dans les pays en développement (Dhirifi, 2013). L'agriculture contribue au développement en tant qu'activité économique, en tant que moyen de subsistance et en tant que source de services environnementaux ; elle est donc un instrument spécial du développement (Banque Mondiale, 2008). Les technologies agricoles font partie des outils nécessaires pour stimuler la croissance agricole. Les innovations telles que les variétés améliorées peuvent faire passer l'agriculture d'une situation de faible productivité et de subsistance à une agriculture commerciale capable de créer des surplus (Awotide et al., 2016). Les innovations sont donc indispensables à une agriculture qui se veut performante et capable de générer des produits compétitifs grâce à la réduction des coûts de revient.

Pour l'émergence du secteur agricole, des stratégies d'appui et de soutien se sont développées dont notamment le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP), initié en 2008, en vue de contribuer à la réduction de l'insécurité alimentaire par un accroissement durable de la productivité agricole. L'objectif du programme

est de développer et de disséminer les technologies améliorées dans les filières prioritaires des pays participants. Les producteurs agricoles et les opérateurs de l'agroalimentaire, utilisateurs des technologies améliorées, en sont les principaux bénéficiaires. Ils sont également, avec les institutions de recherche, les agences de vulgarisation, les écoles, centres de formation et les universités, les acteurs du développement et de la dissémination des technologies. La première phase du projet s'est étalée sur la période 2008-2012 et la deuxième phase concerne la période 2013-2017.

Au Sénégal, l'agriculture est considérée comme un moteur du développement par le Plan Sénégal Émergent (PSE), document de référence de la stratégie de croissance du pays de 2014 à 2035. C'est un secteur qui occupe une place centrale dans l'économie du pays car le Sénégal compte environ 755 559 ménages agricoles, soit 49,5% des ménages (RGPHAE, 2013). La pratique agricole est plus répandue dans les régions de Fatick, Matam et Sédhiou où plus de huit ménages sur dix s'y adonnent. La culture pluviale est largement dominante car pratiquée par 61% des ménages agricoles. En 2015, la contribution de l'agriculture au PIB a été évaluée à 15,3%. Comparée à la population pratiquant l'activité, cette contribution au PIB demeure encore faible pour aspirer à l'émergence et atteindre la sécurité alimentaire. Un des objectifs du PSE est d'avoir quatre nouveaux moteurs de la croissance que sont l'agriculture, l'agroalimentaire, les mines et l'habitat. Les actions dans le domaine des activités agro-pastorales s'inscrivent dans une dynamique de valorisation des ressources et potentialités agro-écologiques des différentes zones du pays. Le développement de l'agriculture commerciale sera appuyé par différentes actions qui sont:

- la mise en place de 100 à 150 fermes intégrées, dont des Domaines Agricoles Communautaires (DAC), qui constituent des projets d'agrégation visant le positionnement du Sénégal comme exportateur majeur de fruits et légumes à haute valeur ajoutée et les filières d'élevage (lait, aviculture, etc.) ;
- l'organisation des petits producteurs agricoles autour de gros opérateurs modernes, et industriels à travers le développement de mécanismes de contractualisation intégrant le financement de l'activité ;
- la création de trois (03) zones greniers qui constituent des corridors céréaliers visant le développement et l'intensification de bassins agricoles irrigués pour réduire de moitié le déficit de la balance commerciale sur les cultures céréalières (mil, riz et maïs) dans une optique de sécurité alimentaire sur le long-terme ;

- l'établissement de trois (03) pôles de transformation agroalimentaire (agropoles intégrées) pour le développement d'une agro-industrie à haute valeur ajoutée dans le domaine de la transformation des fruits et légumes, des huiles, des produits laitiers, des céréales, de l'aviculture ; et
- la relance de la production nationale d'arachide.

Pour opérationnaliser la vision du PSE qui est de faire de l'agriculture un moteur de la croissance économique, le Sénégal a lancé en 2014 le Programme de Relance et d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) qui s'inscrit parmi les projets structurants du PSE. Le PRACAS est une reformulation et une mise en cohérence des stratégies de développement agricole du gouvernement. Il met l'accent sur l'émergence d'une agriculture capable de : (i) nourrir au mieux et durablement sur une base endogène les populations, (ii) tirer profit des avantages du commerce international, (iii) sécuriser et augmenter les revenus des ruraux, (iv) procurer des emplois agricoles et non agricoles et (v) améliorer l'état nutritionnel des populations.

La faible productivité de l'agriculture sénégalaise étant le résultat de plusieurs facteurs dont la faible utilisation des semences certifiées, le gouvernement, à travers les services du Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural (MAER) a lancé, en 2014, le Programme de Reconstitution du Capital Semencier. Ce programme consiste à créer un système semencier articulé autour de la sécurisation de la production de semences, du renforcement de capacités de tous les acteurs et de la réhabilitation des infrastructures de production. Il doit élaborer un dispositif pérenne de production de semences à tous les niveaux. Le programme concerne le mil, le sorgho, l'arachide, le maïs, le niébé et le riz.

Le mil est la céréale la plus cultivée au Sénégal avec une superficie totale de 922 008 hectares en 2015, soit 58,9% des superficies emblavées en céréales (DAPSA, 2016). Il est aussi la céréale la plus produite et la deuxième spéculation en termes de production derrière l'arachide, sauf en 2015 où elle a été devancée par le riz. La production totale de mil se chiffrait à 749 874 tonnes durant cette année (DAPSA, 2016). Les principales zones de production sont le Bassin Arachidier, le Sénégal Oriental et la Haute Casamance.

Le sorgho est, après le mil, la deuxième céréale pluviale cultivée au Sénégal, avec une superficie totale emblavée de 200 737 ha en 2015, soit 12,8% des superficies emblavées en céréales (DAPSA, 2016). En termes de production, il vient en quatrième position après le riz, le mil et le maïs ; sa production se chiffrait à 188 500 tonnes en 2015 (DAPSA, 2016). Le

sorgho est principalement cultivé pour son grain, qui est un aliment de base pour une grande partie de la population du pays. C'est une culture traditionnelle pratiquée en système pluvial, mais aussi en système de décrue, dans la vallée du Fleuve Sénégal. Les principales régions de production sont le Bassin Arachidier, la Haute-Casamance et le Sénégal-Oriental. Dans la vallée du fleuve Sénégal, le sorgho est surtout produit en culture de décrue et en culture irriguée d'hivernage dans les périmètres aménagés (ISRA, 2005).

La culture du mil et du sorgho fait intervenir des acteurs multiples à des échelles variées de la chaîne de valeur, allant de la production à la consommation de produits finis ou semi-finis en passant par la collecte des récoltes, la distribution et la transformation. Ce maillon de la transformation, secteur générateur d'emplois, est en particulier caractérisé par un dynamisme important depuis les années 90 grâce à des programmes d'appui aux cultures céréalières. Les micros et petites entreprises de transformation de céréales sont présentes dans les principales villes du centre et du nord du pays.

La recherche agricole a généré des variétés améliorées de mil et de sorgho ayant des potentiels de rendements allant jusqu'à 3,5 tonnes à l'hectare, en conditions de station. En condition réelles, les rendements devraient être proches de ce niveau, ce qui permettrait d'avoir des niveaux de production élevés. Cependant, la situation observée est toute autre. Les productions sont faibles par rapport aux superficies emblavées et le rôle central que jouent ces deux produits dans l'alimentation des sénégalais. La moyenne de la production de 2011 à 2015 est de 563 521 tonnes pour le mil et 121 458 tonnes pour le sorgho. Cette faiblesse de la production résulte principalement de celle des rendements. En effet, ces derniers sont très faibles par rapport au potentiel des variétés améliorées générées par la recherche. En 2015, les rendements du mil étaient en moyenne de 813 kg/ha contre 939 kg/ha pour le sorgho. La moyenne de 2011 à 2015 est de 699 kg/ha pour le mil et 889 kg/ha pour le sorgho.

Les raisons de la faiblesse de la production de mil et de sorgho sont de divers ordres, y compris la faible adoption des semences certifiées. Les conséquences sont des rendements et des niveaux de production bas. Ainsi, à côté de la génération et de la diffusion des technologies, l'élément essentiel est l'appropriation de ces avancées et recommandations par les bénéficiaires. Malgré leurs avantages avérés, les innovations agricoles sont faiblement adoptées par les producteurs de mil et de sorgho (Fall et Lô, 2009). Cette attitude des producteurs pourrait sembler irrationnelle mais elle pourrait bien résulter d'un processus de prise de décision rationnelle étant donné les nombreuses contraintes auxquelles ils font face (Dethier et Effenberger, 2012). Il est ainsi nécessaire d'identifier les facteurs qui déterminent

l'adoption des technologies par les ménages agricoles afin d'optimiser les résultats de la recherche pour une agriculture productive. Ces facteurs peuvent se situer du côté de la demande ou de l'offre de la technologie. Certains d'entre eux ont été identifiés et selon Muzari et al. (2012), ils peuvent être regroupés en quatre catégories : (i) le patrimoine du ménage ; (ii) la vulnérabilité ; (iii) les institutions ; (iv) les autres facteurs. En fonction de leurs caractéristiques, ces éléments peuvent favoriser ou non l'appropriation des nouvelles technologies agricoles par les producteurs.

Cependant, même si des facteurs ont été identifiés en partie, ils peuvent être différents en fonction du contexte d'étude, d'où la nécessité d'étudier le cas du Sénégal en général et celui du bassin arachidier en particulier. En effet, La zone du bassin arachidier qui couvre le centre ouest du pays, possède une longue tradition de cultures vivrières et arachidière sous pluie sur des sols ferrugineux tropicaux. En concentrant près de 60% de la population rurale du pays, la zone fournit l'essentiel de la production agricole avec l'arachide comme principale spéculation, suivie du mil. Elle a une position centrale qui la met à proximité des marchés de consommation avec des axes routiers fonctionnels. Elle est cependant confrontée à une diminution de la pluviométrie, à une forte dégradation des ressources naturelles, à l'insuffisance des infrastructures et des équipements agricoles et à une forte pression foncière. Dans ce contexte, l'adoption de nouvelles variétés à hauts rendements pourrait permettre de lever certaines contraintes et faire de l'activité agricole une activité rentable.

Au Sénégal, l'adoption des technologies agricoles a été très peu étudiée par les économistes. Thuo et al. (2014) se sont penchés sur l'adoption de la variété d'arachide Fleur 11 et les fertilisants chimiques dans le bassin arachidier. Cependant, aucune étude n'a porté sur une analyse économique de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho.

Dans la littérature, l'analyse des facteurs d'adoption des technologies agricoles a montré le rôle important que jouent les caractéristiques socio-économiques du producteur tels que la taille du ménage, le sexe, l'âge, la taille de la main-d'œuvre familiale, le patrimoine, les revenus, le niveau d'éducation, l'attitude vis-à-vis du risque ou encore la connaissance des technologies (Feder, 1980 ; Doss et Morris, 2001 ; Alwang et Siegel, 2003 ; Wu et al, 2010 ; Ghimire et al, 2015). Ces déterminants de l'adoption peuvent être qualifiés de facteurs endogènes, c'est-à-dire propres au producteur. À côté des facteurs endogènes, il y a les facteurs exogènes qui jouent aussi un rôle important dans l'adoption des technologies agricoles. Parmi ceux-ci il y a l'accès aux infrastructures comme les marchés, l'accès au

crédit, le contact avec la vulgarisation et l'accès à l'information (Foster et Rosenzweig, 1995 ; Croppenstedt et al., 2003 ; Mulubrhan et al., 2012).

D'autres facteurs décisifs dans l'adoption des technologies agricoles peuvent être regroupés dans ce que Manski (1993) appelle « les effets sociaux endogènes » qui font que la propension d'un individu à se comporter d'une certaine manière varie avec la prévalence de ce comportement au sein d'un groupe de référence auquel il appartient. Ces effets, selon le contexte, peuvent être appelés « normes sociales », « effets des pairs », « effets de voisinage », « conformité », « imitation », « préférences interdépendantes », « apprentissage social ». Ils ont été largement étudiés dans la littérature sur l'adoption des innovations. Les relations inter personnelles ont été longtemps suspectées d'être à la base des sociétés agraires, probablement parce que des institutions formelles rares et inefficaces doivent être remplacées par la confiance entre pairs (Fafchamps et Gubert, 2007). L'importance du contexte socio-économique dans l'adoption des technologies agricoles a été démontrée, notamment à travers l'apprentissage social (Besley et Case, 1997; Foster et Rosenzweig, 1995; Conley et Udry, 2003; Munshi, 2004, Bandiera et Rasul, 2006). L'apprentissage social peut être défini comme « le processus par lequel un individu apprend des expériences de ses voisins » (Munshi, 2004, p.185).

En dehors des « effets sociaux endogènes », d'autres facteurs peuvent expliquer le fait que des membres d'un même groupe se comportent de façon similaire. Il s'agit par exemple de l'accès à certains services, l'hétérogénéité non observée, des aptitudes similaires des membres du groupe, etc. Pour résumer, Manski (2013) émet trois hypothèses qui peuvent expliquer le fait que les individus d'un même groupe se comportent de la même manière. Il s'agit des :

a. effets sociaux endogènes: la propension d'un individu à se comporter d'une certaine façon varie avec le comportement du groupe.
b. effets contextuels exogènes : la propension d'un individu à se comporter d'une certaine manière varie avec les caractéristiques exogènes du groupe.
c. effets corrélés : les individus d'un même groupe se comportent de la même façon car ils ont les mêmes caractéristiques ou ils partagent le même environnement institutionnel.

À côté des facteurs, l'adoption des technologies agricoles et son impact sur le bien-être des producteurs ont été étudiés par un certain nombre d'auteurs. Cet impact est en effet un élément essentiel dans la prise de décision d'adoption car les nouvelles technologies sont tout

le temps comparées aux anciennes. Les méthodes d'évaluation de l'impact de ce type de services peuvent être classées en quatre groupes (Gonzales et al., 2009). Le premier comprend les études qui analysent les effets de l'adoption de technologies par l'estimation de fonctions de productions qui incluent l'adoption comme variable. Cependant, l'hypothèse implicite de cette approche est que le producteur opère à l'optimum et que l'adoption se fait de manière aléatoire ; une hypothèse difficilement acceptable étant donné l'inefficacité des marchés ruraux et le caractère plus souvent endogène de l'adoption des technologies. Le deuxième groupe est constitué des travaux qui essaient de surmonter les problèmes de la fonction de production en contrôlant les variables observables dans les données par des méthodes non expérimentales. Quant au troisième groupe, il comprend les études utilisant les données de panel afin d'éliminer les variables observables, fixes dans le temps. Enfin, le quatrième groupe repose toujours sur des données de panel mais des variables instrumentales sont utilisées pour prendre en compte les variables dépendantes du temps. Les études trouvent en général un impact positif de l'adoption sur les rendements, le bien-être, les revenus du ménage et la sécurité alimentaire (Mendola, 2007 ; Duflo et al, 2008 ; Minten et Barret, 2008 ; Kassie et al., 2011 ; Khonje et al, 2015).

L'adoption des technologies agricoles est donc un processus complexe qui met en jeu de multiples facteurs. Les semences certifiées, utilisées à grande échelle et avec toutes les techniques modernes de production, peuvent contribuer à l'accroissement de la production agricole par l'augmentation des rendements. Elles peuvent aussi stimuler le développement de l'industrie semencière et du commerce extérieur grâce à la réduction des importations de produits alimentaires. La question posée est donc de savoir quel serait l'apport des semences certifiées issues des variétés améliorées de mil et de sorgho sur les rendements et le bien-être des producteurs du bassin arachidier du Sénégal.

Cette thèse a pour objectif général d'évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire des ménages agricoles du bassin arachidier du Sénégal.

Les objectifs spécifiques sont :

- Analyser l'organisation de la filière des semences certifiées de céréales au Sénégal ;
- Évaluer les taux d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans les départements de Koungheul, Mbour, Thiès et Tivaouane ;

- Identifier les facteurs d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho ;
- Mesurer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et les dépenses alimentaires des ménages agricoles.

Cette thèse soutient qu'à l'état actuel des performances de l'agriculture sénégalaise l'utilisation des semences certifiées dans le bassin arachidier du Sénégal est une voie essentielle pour l'accroissement des rendements et l'amélioration de la sécurité alimentaire.

Les travaux de cette thèse reposent sur deux hypothèses :

- Le groupe dans lequel vit le producteur a un effet significatif sur l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho ;
- Les semences certifiées de mil et de sorgho ont un impact positif sur les rendements et les dépenses alimentaires.

Des modèles économétriques seront utilisés pour atteindre les deux derniers objectifs spécifiques et tester les hypothèses. Pour identifier les facteurs d'adoption, un modèle hiérarchique généralisé sera utilisé. L'impact de l'adoption sera mesuré grâce à deux modèles qui sont l'appariement par les scores de propension et le modèle à changement de régime.

Le travail est organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre présente le cadre institutionnel de la diffusion des semences certifiées de céréales au Sénégal. Les acteurs de la filière, leur organisation, leurs relations ainsi que les méthodes de diffusion des semences certifiées y seront abordés. Le deuxième chapitre porte sur le cadre méthodologique de l'adoption des semences certifiées et leur impact. La revue de la littérature, les modèles utilisés, les données et leurs sources seront les points saillants de ce chapitre. Dans le troisième chapitre, seront présentés les résultats de l'étude économétrique des déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Enfin le quatrième chapitre portera sur les résultats économétriques de l'impact de l'adoption sur les rendements et la sécurité alimentaire.

Chapitre 1 : Cadre institutionnel de la diffusion des semences certifiées de céréales au Sénégal

Les technologies agricoles sont un facteur majeur de croissance. Elles permettent d'assurer la sécurité alimentaire, mais aussi de lutter contre la pauvreté en contribuant à l'augmentation des revenus des agriculteurs. En Afrique de l'ouest, la recherche agricole a fait des pas significatifs en générant des variétés à haut rendement, résistantes aux principales maladies et adaptées au changement climatique. Les semences de ces variétés font l'objet d'un processus de suivi et contrôle afin d'être considérées comme certifiées. Toutefois, des problèmes d'accès, des prix élevés et la faible qualité des semences utilisées par les producteurs constituent des barrières à une croissance agricole en Afrique (Keyser et al., 2015). Pourtant la semence est un déterminant essentiel des rendements auxquels elle contribue à près de 30% (ISRA, 2005).

Au Sénégal, la majorité des producteurs utilisent des semences provenant de leurs stocks, ce qui maintient les rendements à des niveaux faibles (USAID, 2009). L'état actuel de la filière semencière, caractérisée par une désorganisation et l'intervention d'une multitude d'acteurs aux actions non concertées, ne favorise pas un développement de la multiplication des semences certifiées qui est une activité centrale pour le développement agricole. Du côté de la diffusion des technologies, la vulgarisation agricole a fait l'objet de plusieurs critiques relatives aux méthodes utilisées. Elle a donc connu des mutations qui ont donné naissance au conseil agricole et rural dont l'objectif est une proximité avec les producteurs et une meilleure diffusion des résultats de la recherche agricole.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'organisation de la filière semencière, particulièrement les semences certifiées de céréales, et la diffusion des semences certifiées de céréales au Sénégal. Le reste du chapitre est organisé en quatre sections. La première section consiste en la définition des principaux concepts qui seront utilisés. La deuxième section décrit la législation semencière au Sénégal. La troisième section a pour objectif de présenter l'organisation actuelle de la filière semencière au Sénégal. Enfin, la quatrième section expose le système sénégalais de diffusion des semences certifiées de céréales.

1.1. Concepts et définitions

— Variété améliorée : c'est une variété qui a été expérimentée dans les conditions fixées par décret et cette expérimentation a montré que la variété est adaptée aux conditions pédoclimatiques du pays, qu'elle est supérieure aux variétés les plus cultivées et qu'elle est distincte, homogène et stable.

— Homologation : c'est la procédure par laquelle les variétés candidates à l'inscription au catalogue national des variétés sont inscrites. Les conditions d'homologation sont les suivantes :

- être reconnue Distincte, Homogène et Stable (DHS) au travers d'un protocole d'examen DHS ;
- être reconnue suffisamment performante par rapport à la gamme des variétés les plus utilisées et sans défaut majeur pour les utilisateurs au travers d'un protocole d'examen de la Valeur Agronomique et Technologique (VAT) ;
- être désignée par une dénomination approuvée.

— Pureté variétale ou génétique : la proportion, au champ, de plantes conformes au standard de la variété ou la proportion, au laboratoire, de la variété considérée dans un lot de semences.

— Sélectionneur : toute personne physique ou morale qui fait de l'amélioration des plantes en vue de créer de nouvelles variétés.

— Semence : tout matériel ou organe végétal ou partie d'organe végétal tel que graine, bouture, bulbe, greffon, rhizome, tubercule, embryon, susceptible de reproduire un individu.

— Production de semences : consiste à multiplier le matériel végétal, à différents niveaux de génération à partir des semences de prébase.

— Certification : c'est l'aboutissement d'un processus de contrôle de qualité des semences au champ et au laboratoire, permettant de s'assurer que les semences sont conformes aux normes minimales de pureté variétale fondées sur la filiation généalogique et sur un système de sélection conservatrice de leurs caractéristiques variétales, selon les dispositions des règlements techniques en vigueur.

— Matériel parental (G0) : le matériel parental G0 ou matériel initial désigne le premier niveau d'une semence dont la production est basée sur une méthode bien précise de sélection conservatrice.

— Semences de prébase (G1, G2 et G3) : les semences de prébase G1, G2 et G3 désignent les générations de semences se situant entre le matériel parental et les semences de base. La production des semences de prébase est assurée directement par l'obtenteur de la variété ou son mandataire.

— Semences de base (G4) : les semences de base G4 désignent les semences issues de semences de prébase et qui ont été produites sous la responsabilité du mainteneur selon les règles de sélection conservatrice généralement admises pour la variété et qui sont destinées à la production de semences certifiées.

— Semence certifiée : Au bout du processus de certification, une semence est qualifiée de certifiée si :

- Elle est génétiquement pure ;
- Elle a une bonne faculté germinative ;
- Elle est saine ;
- Elle est exempte de matériels inertes et de graines étrangères ;
- Elle est séchée et conservée dans de bonnes conditions ;
- Elle répond aux besoins des agriculteurs.

Au Sénégal, une semence certifiée est toujours une semence de variété améliorée homologuée.

Dans le cas des variétés hybrides, les semences certifiées sont issues de la seule et unique hybridation (F1) de semences de base. On parle donc de semences certifiées de variété hybride.

La dernière génération autorisée par la législation semencière au Sénégal est la semence certifiée de deuxième génération R2. Elle n'est pas susceptible de produire des semences. Toutefois, selon la législation de la CEDEAO, en cas de difficultés d'approvisionnement en semences certifiées suite à un cas de force majeure, un État peut autoriser la livraison ou la commercialisation de semences issues de la dernière génération R2 autorisée, pour faire face à la situation de crise. Ces semences respectent les normes minimales requises pour les semences certifiées R2. Elles seront appelées semences de troisième génération ou R3.

— Semence tout-venant : c'est toute semence qui n'est pas certifiée.

1.2. La législation semencière au Sénégal

La production et la commercialisation des semences au Sénégal dispose d'un cadre législatif et réglementaire régi par :

- la loi n°94-81 du 23 décembre 1994 relative à l'inscription des variétés, à la production, la certification et le commerce des semences et plants ;
- le décret n°97-602, instituant un catalogue des espèces et variétés de plantes cultivées au Sénégal ;
- le décret n°97-603 portant création du Comité National Consultatif des Semences et des Plants ;
- le décret n°97-616 portant réglementation de la production, de la certification et du commerce des semences et plants.

La **loi n°94-81** fixe les conditions d'inscription des variétés, de production, de certification et de commercialisation des semences ou plants, quel qu'en soit l'espèce ou la génération. Ainsi, l'inscription au catalogue est effectuée par arrêté du ministre chargé de l'agriculture après avis d'un Comité National Consultatif des Semences et des Plants (CNSP). La production de semences ou plants en vue de la vente ne peut être effectuée que par des personnes physiques ou morales agréées à cet effet. Les conditions d'agréments sont également fixées. Pour être commercialisés, les semences ou plants doivent être certifiés selon les conditions prévues par cette loi. Celle-ci prévoit également des sanctions pour toute personne qui aura contrevenu aux dispositions de la loi. Elles peuvent aller d'une amende de 50 000 à 2 400 000 FCFA et/ou d'une interdiction de commercialiser des semences ou plants. Les sanctions s'appliquent à toute personne qui:

- aura pratiqué le commerce de plantes ou plants sans avoir effectué la déclaration;
- aura vendu ou offert à la vente des semences ou plants (i) d'une variété ne figurant pas au catalogue des espèces et variétés de plantes cultivées au Sénégal et/ou (ii) qui ne sont pas conformes aux normes fixées par la loi ;
- se sera opposée de quelque manière que ce soit à un agent de contrôle dans l'exercice de ses fonctions ;
- aura enfreint une interdiction de vente ;
- aura vendu des semences traitées avec une substance à des fins de consommation humaine ou animale ;
- aura enfreint l'obligation de tenir le registre des transactions.

Cette loi a fait l'objet de trois décrets d'application. D'abord le **décret n°97-602** institue le catalogue des espèces et variétés cultivées au Sénégal comportant, pour les espèces qu'il mentionne, la liste limitative des variétés ou populations dont les semences ou plants peuvent être commercialisés conformément aux cartes variétales. Dans le sens du décret, une carte variétale est un ensemble de recommandations délimitant les zones de cultures des variétés inscrites au catalogue officiel des espèces et variétés. L'inscription d'une variété ou population est faite par arrêté du ministre chargé de l'agriculture, sur proposition du Comité National Consultatif des Semences et des Plants qui est chargé de proposer au ministère chargé de l'agriculture, pour chaque espèce de plante cultivée, les conditions et modalités suivants lesquelles les variétés présentées pour inscription au catalogue, doivent être testées.

Ensuite, **le décret n°97-603** crée le Comité National Consultatif des Semences et des Plants (CNCSP) qui a pour rôle d'émettre des avis et recommandations sur toutes les questions relatives aux conditions de production et de commercialisation des semences et plants. Ces questions portent sur le catalogue des espèces et variétés cultivées au Sénégal, les règlements techniques, l'agrément de toute personne physique ou morale comme producteur de semences, les programmes annuels d'introduction de semences et plants, et les conditions de commercialisation sur les marchés intérieurs et extérieurs. Le ministre chargé de l'agriculture est le président de ce comité. Les membres représentent les différents acteurs de l'agriculture sénégalaise que sont la recherche, des directions du ministère de l'agriculture, de l'élevage et du commerce, les services d'encadrement, le secteur privé, les organisations paysannes et les interprofessions. Le CNCSP se réunit sur convocation de son président et peut se doter de commissions spécialisées.

Enfin, le **décret n°97-616**, organise la production, la certification et le commerce de toutes les semences de production locale ou importées au Sénégal. Ce décret fixe les dispositions relatives aux demandes d'admission au contrôle, aux personnes physiques ou morales admises au contrôle, à la durée de l'admission au contrôle et à la décision de non reconduction au contrôle. Il précise aussi les conditions de l'inscription au catalogue des espèces et variétés de plantes cultivées au Sénégal, de la production de semences ou plants de prébase, de base ou certifiés de première reproduction (R1), de deuxième reproduction(R2). Il définit les rôles et responsabilités du ministère en charge de l'agriculture dans l'organisation de la production de semences. Le contrôle des semences ou des plants s'exerce à tous les stades de la production, du conditionnement, de la conservation, du transport à la commercialisation des semences ou des plants et relève du Service Officiel de Contrôle (SOC).

Le commerce des semences ou des plants concerne les semences ou les plants de production locale, pour la consommation intérieure ou l'exportation, et les semences ou les plants certifiés d'importation pour toutes les espèces recommandées au Sénégal. Toute violation des dispositions de ce décret entraîne l'application des sanctions prévues par la loi n° 94-81. Toutefois, les semences issues des réserves personnelles détenues par les paysans ne sont pas concernées par la réglementation.

Au niveau sous régional, la CEDEAO a adopté, en Mai 2008, le **Règlement n° C/REG.4/05/2008**[1], qui a pour objet d'harmoniser les règles qui régissent les semences végétales et plants dans les pays de la CEDEAO, la Mauritanie et le Tchad. Ce règlement s'applique à l'ensemble des activités semencières (certification, commercialisation et contrôle de qualité des semences). Il ne s'applique pas aux semences espèces forestières, aux grains et aux semences de ferme[2] dont l'usage est libre, sous réserve du respect des règles du droit communautaire. Il stipule que toute personne physique ou morale peut produire des semences, sous réserve de l'acquisition d'une carte professionnelle délivrée par le Service Officiel du Contrôle de qualité et de certification. Il impose également une libre circulation des semences sur le territoire de la sous-région dès lors qu'elles sont conformes aux normes de qualité prévues par les textes communautaires en vigueur. Cela vise à faciliter l'intégration régionale en matière d'innovations agricoles et une meilleure implication du secteur privé dans la filière semencière.

Au niveau international, le Sénégal a adhéré officiellement au système des semences de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Économique (OCDE) le 1er janvier 2016. Il devenait ainsi le 59ème membre de l'OCDE et le premier pays d'Afrique de l'Ouest dont le système de contrôle et de certification des semences sera reconnu sur les marchés internationaux. Cette adhésion permettra aux semenciers sénégalais de fournir à leurs clients nationaux et internationaux des semences certifiées selon les standards de l'OCDE. Mis en place depuis 1958, le système des semences de l'OCDE est ouvert aux pays de l'OCDE ainsi qu'aux autres États membres des Nations-Unies. La certification de l'OCDE est appliquée aux variétés satisfaisant aux critères de Distinction, Homogénéité et Stabilité (DHS) et de valeur agronomique reconnue.

[1] Règlement n°C/REG.4/05/2008 "portant harmonisation des règles régissant le contrôle de qualité, la certification et la commercialisation des semences végétales et plants dans l'espace CEDEAO et les Règlements d'exécution associés"

[2] Les semences de ferme sont les semences issues des réserves personnelles des paysans.

1.3. L'organisation actuelle de la filière des semences de céréales

L'organisation actuelle de la filière des semences au Sénégal résulte du désengagement de l'État durant la période des ajustements structurels et la dislocation de l'Union Nationale des Interprofessions des Semences (UNIS) qui fédérait une partie des acteurs de la filière. Cette situation a affaibli l'interprofession ainsi que sa capacité à couvrir les besoins nationaux en semences. Suite à cela, des initiatives locales se sont développées comme stratégies d'adaptation et de nouveaux acteurs sont apparus.

1.3.1. Acteurs

La filière semencière comprend trois grands groupes d'acteurs constitués par l'état, le secteur privé et les associations de producteurs. Les acteurs de l'état sont la recherche, le service de contrôle et le service d'encadrement. Le secteur privé comprend principalement les sociétés intervenant dans le conditionnement et la distribution des semences. Les associations de producteurs comprennent des producteurs de semences et des distributeurs de semences.

1.3.2. Segments

Sept principaux segments peuvent être distingués dans la filière semencière au Sénégal. Il s'agit de :

- la production de prébases
- la multiplication
- le contrôle qualité
- le conditionnement
- la commercialisation et la distribution
- les services
- l'utilisation

a. La production de prébases

Ce segment comprend les activités suivantes : la sélection variétale, la conservation du germoplasme et la production des prébases. Il a comme acteur l'ISRA qui est la seule institution habilitée à générer de nouvelles variétés de céréales et légumineuses. Dans le cadre de la réglementation sous régionale, les prébases peuvent aussi provenir des pays de la CEDEAO si elles sont conformes à la législation nationale. Aussi, la situation est différente dans le secteur maraîcher avec l'existence d'entreprises privées qui font de la sélection variétale.

b. La multiplication

Le schéma de production des semences est généralement partout le même, quel que soit la spéculation. Cependant, il y a des particularités qui diffèrent en fonction du mode de multiplication des semences de l'espèce concernée : autogamie[3], allogamie[4] et multiplication végétative[5]. Le mil et le sorgho sont toutes les deux des plantes allogames. Ainsi, pour éviter toute contamination des variétés, les champs de multiplication doivent être espacés d'au moins 1 km s'il s'agit du mil et d'au moins 400 m s'il s'agit du sorgho. Les bases et les semences certifiées sont multipliées en milieu paysan par des paysans-contractuels. Les principaux acteurs de ce segment sont les organisations de producteurs, parfois appuyées par les services d'encadrement.

c. Le contrôle qualité

Ce segment comprend les inspections au champ et les analyses en laboratoire. Ces opérations ont pour objectif de garantir la qualité des semences produites pour l'ensemble des espèces et variétés. Elles sont effectuées à trois périodes distinctes :

- pendant la production
- durant le stockage
- durant la commercialisation

Les opérations de contrôle sont réalisées en culture et sur lots par des inspecteurs de l'État ou du secteur privé. Elles sont complétées par des essais de laboratoires. Elles permettent d'assurer une bonne certification des semences qui se fait à triple niveau :

- variétal,
- technologique,
- sanitaire.

d. Le conditionnement

Après la récolte, les semences renferment un grand nombre d'impuretés qui doivent être éliminées afin d'améliorer leur qualité marchande et respecter les caractéristiques requises pour les semis.

[3] Mode de fécondation où les gamètes mâle et femelle proviennent du même individu.
[4] Mode de fécondation croisée où les deux gamètes (cellules reproductrices mâle et femelle) proviennent de deux individus différents.
[5] Mode de multiplication sans reproduction sexuée. Une nouvelle plane peut naître à partir d'un organe de la plante mère.

Le conditionnement a pour objectif de réaliser les opérations d'épurement avec efficacité. Il représente la phase industrielle de la production des semences certifiées. Il est indispensable pour terminer le processus de certification des semences. Au bout du processus, les semences sont conditionnées par sacs scellés, avec une origine clairement identifiée (critère de traçabilité). Le mil est conditionné par sac de 4 kg et le sorgho par sac de 8 kg. Ces contenances sont les quantités à semer par hectare. Les semences sont traitées au fongicide pour éviter leur utilisation pour la consommation.

En plus des trois grands centres de conditionnements de semences de Diourbel, Tambacounda, et Richard-Toll, le Sénégal dispose, grâces à l'appui des Partenaires techniques et financiers (PTF), de petites unités comme les centres de traitement dans les départements de Kaolack, Vélingara et Kolda. Le principal acteur de ce segment est le secteur privé qui assure la gestion des centres de conditionnement.

e. Commercialisation et distribution

La commercialisation et la distribution des semences certifiées sont généralement assurées par les acteurs de la multiplication. L'État aussi est un acteur majeur à travers son programme de semences subventionnées. La commercialisation des semences a les caractéristiques suivantes (USAID, 2009) :

1) trois marchés : l'État, les marchés hebdomadaires et les pays limitrophes ;

2) quatre types de vendeurs : les OP, les établissements semenciers, les commerçants et les grands producteurs ;

3) un client : le paysan

Ce segment se distingue par la présence de plusieurs acteurs non agréés appartenant au secteur privé. Ces acteurs produisent ou achètent les semences auprès des producteurs pour les placer par la suite sur le marché. Ainsi, plusieurs groupements de paysans et de petits commerçants et commerçants intermédiaires travaillent dans le secteur sans pour autant disposer d'une quelconque autorisation légale.

f. Les Services

Ce segment comprend les services de transport et de prêt bancaire, nécessaires au bon fonctionnement de la filière. Les principaux acteurs sont les transporteurs, les banquiers et les organisations de producteurs.

g. L'utilisation des semences certifiées

Les utilisateurs des semences certifiées sont les agriculteurs, dans leur diversité. Pour certaines spéculations comme le riz, le taux d'utilisation des semences certifiées avoisine les 100%, l'utilisation de semences certifiées étant une condition pour obtenir un crédit de campagne auprès de la Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal. Ce fort taux s'explique par la nature du riz irrigué qui est une culture de rente, donc disposant de débouchés. Par contre, pour le mil et le sorgho, il demeure encore faible du fait des nombreuses contraintes qui seront étudiées plus loin.

1.3.3. Organisation des acteurs

Deux différentes formes d'organisations des acteurs peuvent être distinguées en fonction de la présence ou non des sept segments de la filière. Les deux formes correspondent au système formel et au système informel (PAPSEN, 2014).

- ***Le système formel***

Le système formel comprend différents acteurs appartenant aux secteurs public et privé, et les organisations de producteurs. Le secteur public est généralement engagé dans les activités de recherche, d'introduction et évaluation des nouvelles variétés, de la multiplication, comme mandataire, et du contrôle et certification pendant la production, le conditionnement, la conservation et la distribution.

Le secteur privé est quant à lui représenté par des acteurs reconnus par l'État, spécialisés dans la multiplication, le conditionnement, la conservation et la distribution des semences. Les organisations paysannes interviennent aussi dans la multiplication et la distribution des semences.

Le système formel jouit d'une organisation claire, avec des tâches assignées à chaque catégorie d'acteurs. Les semences certifiées sont le résultat de multiplications des variétés améliorées générées par la recherche. L'accès des agriculteurs aux semences obtenues dans ce système est lié à plusieurs facteurs dont la répartition des lieux de vente sur le territoire, le niveau d'information et de vulgarisation des variétés et leurs coûts.

- ***Le système informel***

Le système semencier informel a comme principaux acteurs des ménages agricoles ou des organisations de producteurs. On y retrouve les segments de multiplication et distribution

(commerce, échanges, dons). Les variétés multipliées peuvent être soit locales soit améliorées. Il y a deux principaux modes d'approvisionnement en semences dans le système informel :

- Les stocks personnels : à la récolte le chef de l'exploitation procède à la sélection des meilleures graines pour en faire des semences selon des critères qui sont pour la plupart visuels (par exemple pour les céréales : la longueur de l'épi, l'état sanitaire, la couleur, la grosseur, etc.).
- Les sources communautaires : ces sources comprennent les échanges de semences entre les paysans, fondées sur les relations de parenté, de voisinage, et les obligations sociales. Ici, le système de production semencière est mieux organisé, avec un niveau de spécialisation plus important, souvent lié aux programmes de renforcement entrepris par les institutions publiques et/ou les bailleurs de fond.

Les acteurs de ce système informel peuvent parfois être amenés à multiplier des variétés améliorées à travers des programmes de diffusion variétale, généralement supportés par l'État et mis en œuvre par les services d'appui-conseil. Dans ce cas, on parlera d'un système mixte formel (pour ce qui concerne la sélection variétale) et informel (pour ce qui concerne la multiplication, la conservation et la distribution), connu communément comme « système de production de semences communautaires ». En plus de garantir une diffusion plus large au niveau local, le système de multiplication communautaire réduit significativement le délai de fourniture des semences certifiées aux agriculteurs.

1.3.4. Relations entre acteurs

Les relations entre les acteurs de la filière semencière au Sénégal sont régies par les rôles et les responsabilités des trois principaux groupes qui sont l'état, le secteur privé et les associations de producteurs.

L'État

L'État a pour principaux rôles d'assurer la production de prébases, à travers l'ISRA et le contrôle qualité des semences certifiées, à travers le Service Officiel de Contrôle, SOC. Toutefois, l'État est aussi présent dans le segment des services en finançant certains segments ainsi que dans la commercialisation et la distribution avec son programme de semences subventionnées.

À l'ISRA, la production des prébases des niveaux G1, G2, G3 est réalisée par l'Unité de Production de Semences (UPSE) à partir des souches livrées par les sélectionneurs. Ce programme est conduit normalement en fonction des commandes effectuées par les utilisateurs. Si ces données ne sont pas disponibles, la production de prébases est faite suivant les superficies emblavées de chaque spéculation au niveau national et du taux de multiplication des cultures. L'ISRA, de même que les multiplicateurs, doit obligatoirement faire des déclarations de cultures au début de chaque campagne pour que les semences puissent être certifiées. Il fait de plus en plus une recherche pilotée par la demande, à travers des diagnostics participatifs, pour favoriser une meilleure adoption de ces innovations. La contractualisation avec les organisations de producteurs pour la fourniture de prébases se développe de plus en plus.

Le contrôle qualité est effectué par les techniciens de la Division des Semences (DISEM), des Directions Régionales de Développement Rural (DRDR) et des Services Départementaux de Développement Rural (SDDR). Ce dispositif est renforcé dans la vallée du fleuve Sénégal par les techniciens agréés au suivi et au contrôle par le SOC et payés par les producteurs de riz. Toutefois, un manque de personnel et de moyens suffisants fait que la rigueur n'est plus de mise dans le contrôle des lots et parcelles. Cette situation a pour conséquence une baisse de la qualité des semences dites certifiées.

En ce qui concerne le financement, l'État intervient à travers la Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal (CNCAS). Le taux d'intérêt annuel appliqué sur le crédit de campagne de production est de 7,8 %. Ce taux est le même pour toutes les spéculations. Il peut être revu à la hausse lorsqu'il s'agit de la collecte et du conditionnement des semences certifiées.

L'intervention de l'État dans la commercialisation des semences certifiées est matérialisée par son programme de subvention des semences des principales spéculations[6] du pays (arachide, riz, mil, maïs, sorgho, niébé, sésame, fonio, manioc). Il achète généralement des semences tout-venant (sauf pour le riz) auprès d'opérateurs privés ou d'associations de producteurs, revendues aux paysans à des prix subventionnés, au détriment des semences certifiées. Toutefois, en ce qui concerne le sorgho, depuis 2014, l'État ne subventionne que les semences certifiées.

[6] La liste peut varier en fonction des années

Le secteur privé

Le secteur privé a comme principales responsabilités le conditionnement des semences certifiées et leur transport. Il intervient aussi dans la multiplication et la commercialisation.

Le conditionnement est généralement assuré par des membres de l'UNIS, qui gèrent les centres de conditionnement. Les coûts de collecte, transport, sacherie et vignette sont supportés par les producteurs. Les transporteurs ont pour rôle de déplacer les semences d'une zone à une autre. En fonction des volumes à transporter et de la capacité de négociation des clients, le prix du transport est en moyenne de 10 à 15 FCFA / kg pour des volumes importants de 10 – 30 tonnes (USAID/PCE, 2009).

Le secteur privé est aussi impliqué dans la multiplication des semences certifiées. La condition requise est l'obtention d'un agrément auprès de la DISEM. Il assure ensuite la commercialisation des semences certifiées et le principal client est l'État dans le cadre du programme de semences subventionnées.

Les associations de producteurs

Les associations de producteurs sont présentes dans plusieurs segments de la filière. Il s'agit principalement de la multiplication, la commercialisation et les services.

Les responsables de la multiplication sont généralement :

- des coopératives membres de l'Association des Producteurs pour le Développement à la Base (ASPRODEB) ou du Réseau des Organisations Paysannes et Pastorales du Sénégal (RESOPP),
- des opérateurs semenciers membres de l'UNIS ;
- des multiplicateurs encadrés par la Société de Développement et des Fibres Textiles du Sénégal (SODEFITEX) dans le cadre des programmes de diversification des cultures de BAMTAARE ;
- des multiplicateurs appuyés par l'Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural (ANCAR);

D'une manière générale, ils passent des commandes de prébases à l'ISRA avant le début de leurs opérations. Les semences multipliées sont soit vendues aux producteurs membres des OP concernées, soit à l'État, soit à des producteurs privés.

Les groupements de producteurs tels que l'ASPRODEB et le RESOPP se sont initiés à la gestion des semences (production, collecte, stockage et commercialisation) après le

désengagement de l'État au début des années 90. L'ANCAR, en collaboration avec d'autres acteurs (ISRA, DISEM), est venue apporter un appui à ces initiatives à travers le développement de programmes semenciers communautaires qui bénéficient du financement du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP), à travers le Fonds National de Recherches Agricoles et Agroalimentaires (FNRAA). Il en est de même des ONG telles que Vision Mondiale, CARITAS, Catholic Relief Service (CRS), Pencum Bambouk et le Réseau Africain pour le Développement Intégré (RADI) qui se sont déployées dans le secteur semencier à travers les programmes d'urgence.

À côté de la multiplication, les associations de producteurs ont mis en place des mutuelles d'épargne et de crédit pour faciliter l'accès au crédit à leurs membres. Elles assurent aussi la commercialisation des semences certifiées après être passées par les centres de conditionnement.

Le schéma 1 présente les différents segments de la filière et le rôle des acteurs.

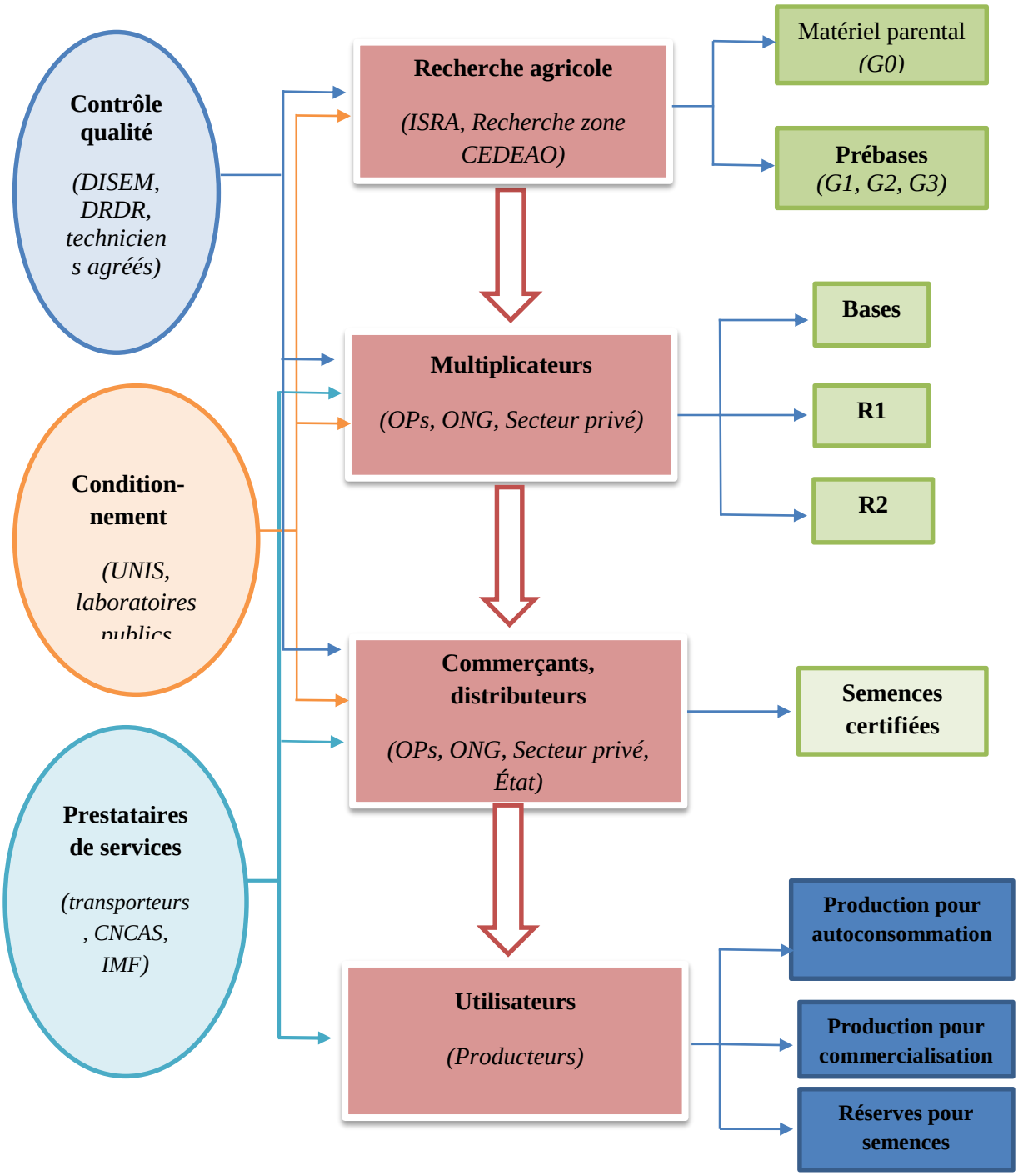

Schéma 1 : Segments et acteurs de la filière semencière

Source : Auteure

1.3.5. Efficacité de la filière

La performance de la filière des semences certifiées de céréales peut être mesurée par la capacité de l'offre à répondre à la demande, notamment celle qui concerne le mil et le sorgho.

1.3.5.1. L'offre de semences certifiées de mil et de sorgho

L'offre de semences certifiées est évaluée à partir de la production de semences de mil et de sorgho conditionnées dans les centres agréés. En d'autres termes, elle correspond aux quantités collectées qui sont souvent inférieures aux quantités homologuées, c'est-à-dire celles dont le processus de production a été validé par les contrôleurs du SOC. En général, faute d'une demande bien définie et d'accès au crédit, les producteurs de semences de mil et de sorgho ne vont jusqu'au bout du processus de certification que s'ils ont une opportunité de marché, comme par exemple une commande de l'État. Certains producteurs font des investissements dans la production en respectant les itinéraires techniques pour ne pas aller ensuite au centre de conditionnement. Les semences se retrouvent donc sur le marché comme les « tout venant ». Cependant, les chiffres sur les quantités réellement collectées de semences de mil et de sorgho ne sont disponibles que pour la production en 2015 qui constitue l'offre en 2016. Cette offre réelle est évaluée à 2352 tonnes pour le mil et 3144 tonnes pour le sorgho. Pour les années précédentes, seules les productions homologuées sont disponibles ; elles peuvent être considérées comme l'offre prévisionnelle sachant qu'elle sera supérieure à l'offre réelle. Les tableaux 1-1 et 1-2 présentent l'offre prévisionnelle de semences certifiées de mil et de sorgho, de 2013 à 2016.

Tableau 1-1: Offre de semences certifiées de mil

Année	Offre prévisionnelle (tonnes)
2013	1786
2014	5270
2015	3349
2016	3634

Source : DISEM

Tableau 1-2: Offre de semences certifiées de sorgho

Année	Offre prévisionnelle (tonnes)
2013	674
2014	1057
2015	1891
2016	3429

Source : DISEM

Pour le mil, 64,7% de la production homologuée en 2015 a été collectée alors que pour le sorgho 91,6% de la production a été collectée. Le taux supérieur pour le sorgho peut

s'expliquer par le fait qu'en 2016 l'État a subventionné les semences certifiées de sorgho mais pas celles de mil. La situation était pareille en 2015 où 700 tonnes de semences certifiées de sorgho ont été subventionnées, soit 37 % de l'offre. En 2016, l'offre en semences certifiées de mil était de 2 352 tonnes, contre 3 144 tonnes pour le sorgho. Depuis 2013, la production de semences certifiées de sorgho connaît une croissance continue alors que pour le mil le pic a été atteint en 2014 avec 5 270 tonnes de production homologuée.

Les variétés de mil et de sorgho des semences certifiées produites sont présentées dans le tableau 1-3 pour les années 2013 (année de référence des producteurs enquêtés) et 2016.

Tableau 1-3: Variétés de mil et de sorgho disponibles en semences certifiées

Année	Variétés de mil disponibles	Variétés de sorgho disponibles
2013	Souna 3 IBV 8004 ICTP 8203	Faourou Nganda Darou Nguinthe CE 180-33 CE 145-66 F2-20
2016	Souna 3 Thialack 2 Gawane Sosat C88 ICTP 8203 ISMI 9507	Faourou Nganda Darou Nguinthe CE 180-33 CE 145-66

Source : DISEM

S'agissant du mil, par rapport à 2013, de nouvelles variétés ont été disponibles en 2016 : il s'agit du Thialack 2 et du Gawane, générées dans le cadre du WAAPP, et du Sosat C88. Parmi les variétés disponibles, l'ICTP 8203 et le Sosat C88 ne figurent pas dans le catalogue national mais plutôt dans le catalogue de la CEDEAO. Ainsi, les prébases ont été importées par les multiplicateurs. Concernant le sorgho, les mêmes variétés ont été disponibles en 2013 et 2016 sauf la F2-20 qui n'apparaît pas en 2016. Toutes les variétés disponibles sont inscrites dans le catalogue national.

1.3.5.2. La demande en semences certifiées de mil et de sorgho

La connaissance de la demande en semences certifiées de mil et de sorgho est un préalable pour une bonne planification de la production. Cependant, au Sénégal, il n'y a aucune évaluation rigoureuse de la demande en semences certifiées. Cette tâche, qui est du ressort du

CNSP, n'est pas exécutée du fait de la léthargie du comité. Les multiplicateurs mènent leurs opérations sur la base de commandes et d'estimations, entachées d'incertitude. Pour produire les prébases, l'ISRA se fonde, chaque année, sur les superficies emblavées en mil et sorgho au cours de l'année précédente pour connaître les quantités à produire. Cette technique peut conduire à une surestimation de la demande car beaucoup de paysans utilisent leurs stocks personnels. Aussi, elle est approximative car les superficies varient d'année en année. Les superficies emblavées sont toutefois un bon indicateur pour un pays dont l'objectif est une utilisation universelle des semences certifiées dans le long terme. Nous allons donc les utiliser pour évaluer la demande en semences certifiées de mil et de sorgho. Cela est illustré dans le tableau 1-4 qui contient les superficies emblavées en mil et sorgho de 2013 à 2015 ainsi que les quantités de semences nécessaires pour les emblaver. Pour le mil, il faut 4 kg de semences par hectare et pour le sorgho 8 kg.

Tableau 1-4: Demande en semences de mil et de sorgho

	Mil		**Sorgho**	
Année	**Superficie emblavée (ha)**	**Demande en semences (tonnes)**	**Superficie emblavée (ha)**	**Demande en semences (tonnes)**
2013	715 996	2 864	108 803	870
2014	754 274	3 017	125 006	1 000
2015	922 008	3 688	200 737	1 606

Source : DAPSA et calculs de l'auteur

Les superficies emblavées en mil et sorgho ont connu une croissance depuis 2013, de même que les quantités de semences nécessaires. Ainsi, pour l'année 2015, il aurait fallu 3 688 tonnes de semences certifiées de mil pour emblaver 922 008 hectares et 1 606 tonnes de semences certifiées de sorgho pour emblaver 200 737 hectares. Cette demande est comparée à l'offre dans les figures 1-1 et 1-2.

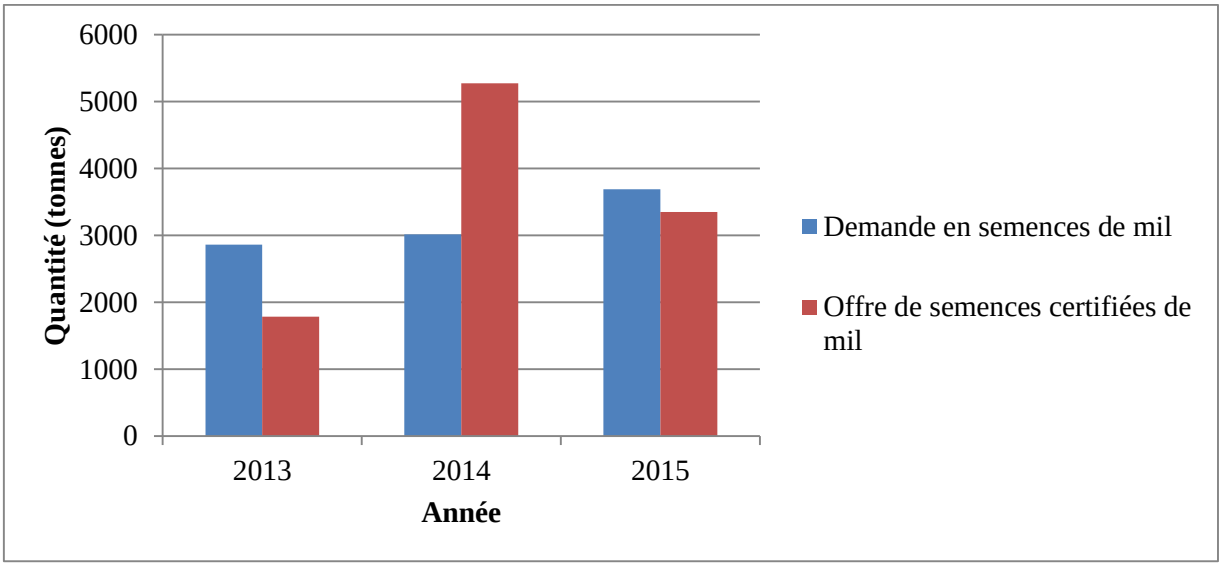

Figure 1-1: Offre et demande de semences certifiées de mil
Source : MAER, nos calculs

L'offre de semences certifiées de mil est inférieure à la demande en 2013 et 2015. Si tous les producteurs devaient utiliser des semences certifiées, il y aurait eu respectivement des gaps de 1 078 et 339 tonnes. Ces gaps pourraient être plus élevés sachant que c'est l'offre prévisionnelle qui est indiquée et non l'offre réelle. Par contre, en 2014, l'offre prévisionnelle est largement supérieure à la demande avec un surplus de 2 253 tonnes. Une explication possible est que 2014 marque le début de la mise en œuvre du programme de reconstitution du capital semencier et les semences certifiées de mil ont été subventionnées. Étant donné que cette offre de 2014 est la production en 2013, l'effet d'annonce de ces subventions a pu pousser les multiplicateurs à investir dans les semences certifiées de mil, d'où l'augmentation de la production homologuée.

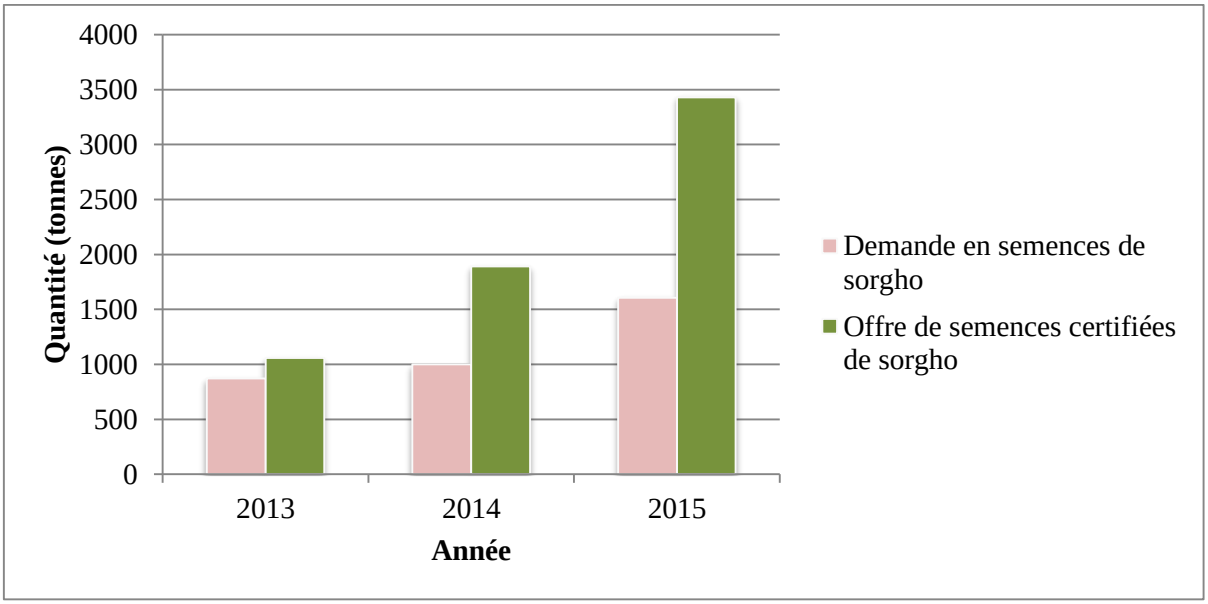

Figure 1-2: Offre et demande de semences certifiées de sorgho
Source : MAER, nos calculs

Concernant le sorgho, l'offre est supérieure à la demande de 2013 à 2015. Ainsi, l'offre aurait pu permettre de satisfaire la demande en semences certifiées pour toutes les superficies emblavées en sorgho à l'échelle du territoire national. Toutefois, comme souligné plus haut, l'offre prévisionnelle surestime l'offre réelle mais le surplus important de 1 823 tonnes en 2015 suggère que même l'offre réelle serait supérieure à la demande. Il convient de souligner que les variétés de sorgho générées dans le cadre du WAAPP sont très prisées par les producteurs, ce qui pourrait encourager leur multiplication. En outre cette augmentation de l'offre de 2013 à 2016 résulte du fait que les semences certifiées de sorgho ont été subventionnées par l'État. Dans tous les cas, les figures 1-1 et 1-2 montrent la nécessité de bien cerner la demande et planifier l'offre en conséquence, car il y a toujours des stocks qui restent aux mains des producteurs, qu'il s'agisse du mil ou du sorgho. Un meilleur fonctionnement de la filière demande la levée des contraintes au niveau de plusieurs segments.

1.3.5.3. Les goulots d'étranglement de la filière

- *La production de prébases*

Les contraintes sont relatives la vétusté du matériel de recherche, l'insuffisance du personnel (non renouvellement des agents partis à la retraite), l'absence de moyens de communication adéquats pour informer les paysans de l'existence de nouvelles variétés, le manque d'incitations à l'obtention de nouvelles variétés du fait de l'absence de droit de propriété

intellectuelle. Il y a aussi la faiblesse des investissements privés en matière de sélection variétale de céréales.

- *La multiplication*

À ce niveau, la principale contrainte est la difficulté à cerner la demande en semences certifiées. C'est de la responsabilité du CNSP de planifier la production mais sa non fonctionnalité fait que la multiplication de semences se fait sur la base d'estimations au lieu d'une planification claire. Une autre contrainte est la faible intégration des acteurs de la multiplication qui travaillent de manière isolée, ce qui rend difficile la gestion de la production de semences certifiées. L'accès au crédit est aussi un problème majeur, puisque seules les activités de production de semences de riz et d'arachide sont soutenues par les institutions financières. La multiplication et la collecte de semences certifiées de mil et de sorgho sont entièrement à la charge du producteur. L'investissement dans la production et la multiplication de semences s'effectue essentiellement dans le cadre général de la politique de crédit agricole de l'État. Il n'y aucune mesure spécifique de crédit qui puisse favoriser l'investissement dans la filière semencière. Il devient alors difficile pour les multiplicateurs et opérateurs privés de prendre en charge les dépenses liées à leurs activités. Par conséquent, il arrive souvent qu'une partie importante de la production de semences ne soit pas collectée faute de moyens. Dans ce cas, la production est déclassée et les semences vendues sur les marchés hebdomadaires.

- *Le contrôle qualité*

La principale contrainte du Service Officiel de Contrôle (SOC) est le manque de ressources humaines en qualité et en quantité. La DISEM n'a ni les moyens ni le personnel qualifié pour faire les analyses au champ. Il en est du même pour les laboratoires de contrôle qui sont à peine fonctionnels. Sur le plan institutionnel, la DISEM dépend de la Direction de l'Agriculture. Sur le terrain, le contrôle est assuré par les agents des DRDR qui sont hiérarchiquement au-dessus de la DISEM. Cela pose un problème de coordination des activités de contrôle par la DISEM qui ne peut donner aucun ordre aux DRDR.

- *Le conditionnement*

Les contraintes sont quasiment les mêmes qu'au niveau du contrôle, c'est-à-dire un manque de moyens et de personnel qualifié, ainsi que la vétusté du matériel. Du fait de leur faible nombre, la capacité des centres de conditionnement est très limitée, ce qui entrave la bonne exécution des tâches. En effet, les producteurs de semences arrivent presque tous en même

temps pour le conditionnement, une fois qu'ils reçoivent les commandes de l'État (notifications).

- *La commercialisation et la distribution*

La commercialisation et la distribution de semences certifiées sont entravées par la faible application de la réglementation du marché et la présence d'intervenants informels qui cherchent surtout à capter la rente de l'État. La distribution de semences subventionnées par l'État crée aussi des distorsions car ces subventions ne vont pas directement aux bénéficiaires. Certains producteurs interrogés sur le terrain préfèrent que l'État arrête de subventionner les semences. Les capacités limitées en stockage et conditionnement sont également des contraintes à la distribution et la commercialisation des semences certifiées.

La filière des semences certifiées de céréales est caractérisée par l'intervention d'une multitude d'acteurs dans la production, le conditionnement et la commercialisation des semences. Leur objectif commun est d'accroître l'offre de semences certifiées, mais leurs actions sont dispersées. Une coordination de leurs interventions est ainsi requise pour une meilleure planification dans la filière semencière. Seule la filière riz dans la vallée du fleuve Sénégal a pu avoir un secteur semencier fonctionnel, avec une forte implication du secteur privé.

1.4. Le système sénégalais de transfert des technologies : cas des semences de céréales

Au Sénégal, des réformes et politiques ont été mises en œuvre pour avoir des mécanismes efficaces de diffusion des technologies agricoles. Ainsi, de manière générale, le système de transfert des technologies agricoles, notamment les semences, a connu des mutations pour une meilleure appropriation des résultats de la recherche par les bénéficiaires. Le terme « vulgarisation », traduisant un système de transfert vertical (recherche-agent de vulgarisation-producteur) disparaît peu à peu pour laisser la place au terme « appui conseil » caractérisé par la centralité du producteur et la co-construction des innovations.

1.4.1. Institutions d'intervention

Le désengagement progressif de l'État du secteur agricole a créé un tournant dans les politiques agricoles à la fin des années 90. Désormais, elles cherchent à promouvoir un secteur privé fort. La mission de la recherche doit être de développer à la fois des approches verticales par filière et horizontales pluridisciplinaires, mais aussi trouver des alliances

nouvelles de type partenariat avec des acteurs multiples, publics et privés. L'agriculteur est placé au cœur du dispositif de conseil qui doit répondre à ses besoins. Ainsi, l'Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural (ANCAR) est créée en 1997 pour une nouvelle dynamique de conseil agricole. Elle sert de relais entre la recherche et le monde rural et a pour mission d'œuvrer à prendre en compte plus globalement les besoins du monde rural. Elle doit instaurer un cadre institutionnel et organisationnel chargé d'harmoniser et de coordonner les stratégies et programmes des différentes structures opérant dans le monde rural, en matière de conseil agricole et rural. L'ANCAR est ainsi la principale institution de diffusion des nouvelles variétés de semences de céréales et légumineuses. Elle s'appuie sur un réseau de Conseillers Agricoles et Ruraux (CAR) présents dans la majorité des communes rurales du pays. Son rôle est renforcé par la Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale (LOASP) avec la mise en place du Système National de Conseil Agro-Sylvo-Pastoral qui prône une approche du conseil agricole pluriel organisé autour de l'ANCAR. Le SNCASP se fonde sur la diversité des acteurs du conseil agricole et rural. Il consacre la cohabitation d'un service public du conseil aux petits producteurs pris en charge par l'État avec un conseil spécialisé payant, assuré par le secteur privé et professionnel. Dans cette nouvelle configuration, les organisations de producteurs jouent un rôle majeur dans la diffusion en disposant de techniciens agricoles dont le rôle est d'encadrer et de former les membres à l'utilisation des nouvelles semences. Les ONGs telles que Vision Mondiale, CARITAS, le RADI et Pencum Bambouk sont aussi très présentes dans la diffusion des nouvelles variétés de semences en assurant un service de proximité aux petits producteurs.

1.4.2. Les méthodes d'intervention

De nombreuses approches ont été utilisées dans la mise en œuvre des mécanismes de vulgarisation et d'appui-conseil. Au Sénégal, les méthodes généralement utilisées pour diffuser les nouvelles variétés de semences sont les suivantes:

- *Le Champ École Paysan (CEP)* : c'est un groupe de 20 à 25 apprenants, volontaires et disponibles, se réunissant régulièrement tout au long d'une campagne hivernale pour suivre une formation de culture d'une parcelle. L'objectif est d'observer toutes les interactions autour de la plante, d'identifier les potentialités et les contraintes, d'expérimenter des solutions face aux problèmes de production, en vue de choisir l'itinéraire technique le plus prometteur et de conduire une culture saine. Implanté dans l'environnement du producteur, le CEP facilite ainsi l'apprentissage et l'intégration raisonnée de nouvelles techniques de

production agricole, tout en tenant compte à la fois des capacités des producteurs et productrices et des ressources accessibles liées à l'écosystème.

- *La parcelle de démonstration* : elle est utilisée dans la diffusion pour convaincre les producteurs des avantages techniques et économiques d'une technologie. Elle est conduite par un producteur volontaire sous la supervision d'un technicien, d'un chercheur ou d'un agent de diffusion. Sa mise en place et sa conduite permettent aux producteurs d'apprendre la technologie pour ensuite l'appliquer individuellement dans leur exploitation avant son adoption ou son rejet. La parcelle de démonstration comprend deux parties : une partie portant l'innovation et une autre servant de témoin.

- *La visite d'échange* : elle consiste à amener un groupe de producteurs à comprendre et à adopter une innovation grâce à la visite d'une zone où elle est déjà implantée par leurs pairs. Les producteurs voient de leurs propres yeux et échangent avec les acteurs à la base qui vont les convaincre de l'importance et de la pertinence d'une technique agricole. L'hypothèse est qu'en voyant la différence entre les endroits avec et sans la technologie et en échangeant directement avec leurs homologues sur comment leur est venue l'idée d'adopter l'innovation, les visiteurs vont décider de leur propre chef de l'implanter chez eux.

- *Journées portes ouvertes, fora et foires :* ce sont des espaces offerts au grand public pour partager les technologies et innovations agricoles mises au point par la recherche. Elles sont organisées à une périodicité permettant de présenter les technologies nouvelles et pertinentes.

- *Les sources communautaires* : elles comprennent principalement les Cadres Locaux de Concertation des Organisations de Producteurs (CLCOP). Les CLCOP sont un regroupement d'organisations de producteurs et constituent un cadre utilisé par l'ANCAR pour produire et diffuser à grande échelle les variétés améliorées générées dans le cadre du WAAPP.

- *Les plateformes d'innovations :* la plateforme d'innovation est un espace d'apprentissage et d'échange. Fondée autour de la notion de chaîne de valeur, elle est composée d'un groupe d'individus aux origines et intérêts différents: producteurs, commerçants, transformateurs, recherche, décideurs publics. Leur point commun est leurs activités autour d'un produit identifié. Les membres de la plateforme discutent de leurs problèmes, identifient les opportunités et trouvent des moyens d'atteindre leurs objectifs. C'est un cadre à la fois propice pour identifier des objets de recherche et pour diffuser des technologies déjà générées mais peu connues.

- *Les plateformes électroniques :* à l'ère du numérique, de nouveaux outils apparaissent pour rendre l'information sur les technologies agricoles, notamment les variétés améliorées, disponibles pour tous. Ainsi, dans le cadre du West African Seed Program (WASP), la plateforme E-semences a été mise en place pour diffuser l'information et mettre en relation l'offre et la demande de semences certifiées. Les producteurs peuvent laisser des requêtes sur la plateforme et un sms leur est envoyé quand quelqu'un a une offre correspondant à cette requête.

1.4.3. Résultats des méthodes d'intervention

La recherche agricole a longtemps travaillé pour l'amélioration de la productivité des céréales. Une prise de conscience de la faillite des méthodes de vulgarisation, illustrée par la faible productivité de l'agriculture, entraînera un changement de paradigme à la fin des années 90. Désormais, le producteur sera à la fois commanditaire et bénéficiaire des innovations agricoles. Il pilote la recherche et les innovations doivent correspondre à ses besoins. Les organisations paysannes sont responsabilisées et prennent en charge le transfert des technologies au niveau de leurs membres. La création de l'Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural consacre le passage d'une vulgarisation hiérarchique à un appui-conseil multipartite, donnant une place privilégiée au secteur privé. Les méthodes de transfert de technologies utilisées prennent en compte la centralité du producteur dans le dispositif. Cependant, le conseil agricole et rural est aujourd'hui caractérisé par un manque de moyens qui empêche un bon maillage du territoire national afin d'informer les producteurs sur les nouvelles innovations agricoles. Les nouvelles variétés de céréales connaissent des taux d'adoption faibles (à l'exception du riz). Le faible maillage du territoire national par les CAR entraîne une faible diffusion des nouvelles variétés créées par la recherche. Des méthodes comme le Champs École Paysan ou la parcelle de démonstration s'avèrent efficaces en termes d'adoption car elles permettent au producteur de tester l'innovation dans son milieu mais elles sont rarement utilisées faute de moyens humains et financiers. Après la diffusion, le manque d'accompagnement du producteur entraîne aussi l'abandon des nouvelles variétés par les producteurs et un retour à leurs variétés traditionnelles. En effet, une fois la période de diffusion terminée, le producteur n'a plus d'interlocuteur pour approfondir sa connaissance de la nouvelle variété et maîtriser les itinéraires techniques conseillées.

Conclusion du chapitre

L'utilisation de semences certifiées est une condition indispensable à l'amélioration de la productivité agricole. Au Sénégal, une législation claire existe pour un développement de la filière semencière, avec une attribution bien définie des rôles et responsabilités. La réglementation sous régionale vient appuyer ce dispositif afin d'encourager l'implication du secteur privé dans la production, le contrôle de qualité, la commercialisation et la distribution des semences certifiées. Malheureusement, ce dispositif réglementaire tarde à être appliqué. La génération des technologies agricoles, une étape du processus vers un accroissement de la productivité, doit aussi s'accompagner d'une bonne diffusion pour que les futurs utilisateurs disposent d'informations suffisantes facilitant leur adoption.

Le secteur agricole au Sénégal a connu des mutations, passant d'un interventionnisme à tous les niveaux, aux politiques de libéralisation menées à partir du début des années 1990. Ce désengagement de l'État a eu comme conséquence une déstructuration du système d'encadrement du monde rural et la fourniture d'intrants. Le principal enjeu de cette transformation de l'agriculture est la responsabilisation des organisations de producteurs et du secteur privé pour la prise en charge effective et efficiente de ces fonctions. Cela a donc abouti à l'émergence de nouveaux acteurs dans la filière semencière mais aussi dans la vulgarisation agricole, devenue appui-conseil pour mettre en exergue la centralité du producteur qui doit désormais guider la recherche agricole et la diffusion. Des organisations paysannes dynamiques se sont développées pour prendre en charge la production de semences certifiées ainsi que l'appui-conseil auprès de leurs membres. Des ONG et le secteur privé ont également fait leur apparition dans ce contexte de libéralisation et d'ouverture du secteur agricole. Ainsi, des acteurs multiples ont suppléé l'État dans les fonctions d'encadrement et de fournitures d'intrants, même si ce dernier garde son rôle de fournisseur de semences de prébases à travers l'ISRA. Ces acteurs interviennent souvent de manière désorganisée sur le terrain ce qui peut rendre inefficaces leurs actions pour l'adoption des technologies agricoles. Il est ainsi nécessaire d'identifier les facteurs de cette adoption afin de mieux guider l'intervention de ces acteurs pour qu'ils atteignent les objectifs visés.

Chapitre 2 : Cadre méthodologique de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho et leur impact

Un des précurseurs des études sur l'adoption des innovations technologiques est Rogers (1963, 2003), qui définit une innovation comme « une idée, une pratique ou un objet perçu comme nouveau par une personne ou une unité d'adoption ». Une des caractéristiques des innovations technologiques est qu'elles ne sont pas automatiquement adoptées après leur apparition, même si elles ont des qualités supérieures aux anciennes technologies. Le degré d'adoption est lié au niveau de diffusion qui est le processus par lequel une innovation est communiquée, à travers certains canaux, au cours du temps, aux membres d'un système social (Rogers, 2003).

L'adoption des innovations agricoles et son impact ont été étudiés dans la littérature. La plupart des études théoriques utilisent des modèles statiques qui relient le degré d'adoption aux facteurs qui l'affectent. L'objectif de ce chapitre est de présenter le cadre méthodologique de l'analyse des facteurs d'adoption de semences certifiées de mil et de sorgho et leur impact. Le cadre général d'analyse est celui d'une fonction de production. Le reste du chapitre est organisé comme suit. D'abord, nous allons présenter le cadre général d'analyse, il sera suivi d'une revue théorique et empirique des modèles d'adoption des technologies agricoles et leur impact. Ensuite, nous allons passer à la présentation du modèle d'analyse des facteurs d'adoption. Celle-ci sera suivie de la présentation des modèles d'évaluation d'impact. Nous allons ensuite présenter les données et leurs sources avant de terminer par la conclusion.

2.1. Cadre général de l'analyse : fonctions et technologies de production

L'analyse de l'adoption et de l'impact des semences certifiées a comme cadre général la fonction de production. Celle-ci est définie de la manière suivante pour un agriculteur donné :

$$Q = f(X, Z, T) \qquad (2.1)$$

Q représente la quantité produite, X, Z et T sont les vecteurs de facteurs de production. Plus précisément, X représente les facteurs ordinaires tels que le climat, l'environnement institutionnel, la qualité des sols, etc. Le vecteur Z représente les caractéristiques sociodémographiques du producteur. Il s'agit principalement de son niveau d'éducation, son expérience en agriculture, son âge, son genre, son niveau de revenu, la taille de son exploitation, la disponibilité en main-d'œuvre ou encore l'aversion au risque (Feder et al., 2005). Enfin le vecteur T représente les technologies agricoles tels que les semences certifiées, les engrais, les machines agricoles, les itinéraires techniques, etc. Ce vecteur est important car les innovations agricoles jouent un rôle majeur dans l'émergence de l'agriculture. Selon de Janvry et Sadoulet (2002), les technologies agricoles peuvent contribuer à la réduction de la pauvreté de manière directe et indirecte. Les effets directs proviennent du potentiel impact positif de l'adoption des technologies sur les revenus et la productivité des bénéficiaires alors que les effets indirects sont liés à l'adoption de ces technologies par un plus grand nombre de producteurs (les effets de réseau) ; ce qui peut aboutir à une création d'emplois et une augmentation de la croissance.

Dans cette thèse, le principal paramètre d'intérêt est la variation de la production suite à une variation de l'utilisation des semences certifiées de mil et de sorgho. Si nous notons les semences certifiées S (appartenant à T), ce paramètre s'écrit :

$$V_Q = \frac{dQ}{dS} \qquad (2.2)$$

Tel que spécifié, ce paramètre représente l'effet d'une variation infinitésimale de la quantité de semences certifiées utilisées, sur la quantité produite. Il s'agit en quelque sorte d'une représentation en mode continu. Pour obtenir ce paramètre, il est nécessaire d'obtenir une représentation numérique de la fonction de production, à partir de laquelle on peut évaluer les élasticités ou les dérivées partielles. Cette méthode implique d'avoir une forme bien définie de la fonction de production et permet de simuler l'impact d'un changement technologique (de Janvry et Sadoulet, 2002). Face aux difficultés évidentes dans la spécification et l'estimation d'une fonction de production (difficultés notamment liées aux multiples facteurs d'endogénéité), une deuxième méthode, discrète, permet de calculer V_Q sans estimer la

fonction de production. Pour cette méthode, il s'agit de comparer les producteurs pour lesquels l'intrant S prend la valeur 0, et ceux pour lesquels S prend une valeur positive. Nous optons pour cette deuxième méthode pour évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire.

2.2. Revue de littérature sur l'adoption et l'impact de l'adoption des technologies agricoles

2.2.1. Les facteurs d'adoption des technologies agricoles

L'adoption d'une technologie agricole est son degré d'utilisation dans l'équilibre de long terme, quand le producteur a toutes les informations sur celle-ci et ses attributs (Feder et al., 1985). C'est une mesure quantitative du degré d'utilisation de la technologie qui fait référence à une variable continue. Toutefois, l'adoption peut aussi être mesurée de façon dichotomique, c'est-à-dire, utilisation ou non utilisation de la technologie.

Les producteurs n'adoptent pas les innovations aussitôt qu'elles apparaissent car la diffusion prend quelques années avant d'atteindre 100% des potentiels adoptants (Diederen et al., 2003). Même dans ce cas, les nouvelles technologies, malgré le fait d'avoir des qualités supérieures aux anciennes, ne sont pas adoptées par tous les producteurs. Dans la recherche théorique, deux approches principales ont été développées pour expliquer ce phénomène.

La première approche considère la diffusion comme un processus de déséquilibre (Diederen et al., 2003). L'apparition de l'innovation sur le marché crée des opportunités d'améliorer l'efficacité ; mais cette amélioration ne s'opère pas immédiatement car les nouvelles technologies sont caractérisées par une information imparfaite sur leurs caractéristiques. Il y a une imperfection de marché liée au manque d'information sur les conditions d'utilisation, les risques et les performances de la technologie. Dans ce cas, le nombre d'adoptants augmente au fur et à mesure que l'information devient disponible (Feder, 1980, 1982 ; Just et Zilberman, 1983 ; Shapiro et al, 1992, Foster et Rosenzweig, 1995 ; Bandiera et Rasul, 2006). Les travaux de cette première approche sont généralement fondés sur la théorie de l'utilité espérée. La décision du producteur dépend de la maximisation d'une utilité (ou profit) espérée sous certaines contraintes comme la disponibilité de la terre, du crédit, etc. (Feder et al., 1985). Le profit est une fonction des choix du producteur concernant les spéculations et les technologies, à chaque période. Étant donné le choix discret (binaire) de la technologie, le revenu perçu du producteur peut être considéré comme une variable aléatoire avec des

incertitudes objectives liées aux rendements et aux prix, et des incertitudes subjectives liées à une information incomplète sur les paramètres de la fonction de production. Par souci de simplification, la fonction de production est considérée comme unique source d'incertitude pour le producteur. Pour chaque spéculation, une façon générale de présenter cette fonction de production est la suivante :

$$q = f(x) + g(x)\epsilon \tag{2.3}$$

q représente la production, x est le vecteur des facteurs de production et ϵ est une variable aléatoire avec moyenne 0.

Les études sur l'adoption des technologies agricoles dans une situation d'incertitude ont principalement pris deux voies (Marra et al, 2003). La première, par analogie à la finance, considère l'adoption comme un investissement dans un actif durable, avec une valeur future incertaine. La seconde voie explore la relation entre le niveau de risque d'une technologie et l'utilité d'un agent avec une aversion au risque. Des auteurs comme Feder (1980, 1982), Just et Zilberman (1983) et Shapiro et al. (1992) ont modélisé l'adoption de technologies agricoles par des producteurs ayant une aversion au risque. Grâce à l'utilisation de l'indice Arrow-Pratt d'aversion au risque, Feder (1980) a montré que la superficie optimale de terre semée en nouvelle variété diminue avec le degré d'aversion au risque. Toutefois, la surface cultivée en nouvelle variété peut augmenter avec les superficies possédées si l'aversion au risque est décroissante en fonction du patrimoine. Just et Zilberman (1983) ont également développé un modèle sur l'allocation de la terre aux nouvelles technologies. L'hypothèse principale est que l'ancienne et la nouvelle technologie sont toutes les deux risquées, ce qui donne une place importante à la diversification. Dans ces études, l'impact de l'aversion au risque sur l'adoption reste ambiguë car elle dépend de la perception qu'ont les producteurs du niveau de risque de la technologie, la covariance entre l'ancienne et la nouvelle technologie ainsi que le degré d'incertitude auquel ils font face (Marra et al, 2003). Les innovations agricoles peuvent augmenter comme elles peuvent diminuer le risque perçu par le producteur. Ceci explique pourquoi des auteurs comme Shapiro et al. (1992) ont trouvé une relation positive entre aversion au risque et adoption.

Les travaux théoriques dans cette première approche ont montré également que l'information sur les technologies et leur mode d'utilisation est un facteur important d'adoption. En effet, une information imparfaite sur la manière d'utiliser la technologie peut être un obstacle à l'adoption (Foster et Rosenzweig, 1995). Un producteur a plusieurs sources d'informations à sa disposition : il peut apprendre de sa propre expérience avec la technologie (apprentissage

par la pratique) ; il peut obtenir l'information grâce aux services de vulgarisation ou les médias ; enfin, s'il y a un certain nombre de producteurs dans des conditions socio-économiques similaires, le canal d'apprentissage de la nouvelle technologie peut être social (Foster et Rosenzweig, 1995 ; Cameron, 1999 ; Conley et Udry, 2001, 2010 ; Bandiera et Rasul, 2006). Selon Bandiera et Rasul (2006), au fur et à mesure que le nombre d'adoptants augmente dans un réseau, il y a deux effets opposés qui s'exercent sur les incitations du producteur à adopter une nouvelle technologie. Le premier effet augmente son incitation à adopter car l'utilisation de l'innovation par les membres du réseau crée une externalité d'apprentissage qui augmente la profitabilité de la technologie si l'adoption a lieu. Par contre, le second effet renforce les incitations du producteur à reporter l'adoption parce que l'information qu'il reçoit de sa propre adoption décroit au fur et à mesure que le nombre d'adoptants augmente dans son réseau. C'est ce qu'ils appellent le report stratégique de l'adoption afin de profiter de l'information générée par les pairs. Kapur (1995), en étudiant l'adoption des innovations par les entreprises, a aussi montré que la possibilité de l'apprentissage crée une externalité informationnelle. Les adoptants à une étape ultérieure peuvent conditionner leur adoption sur l'information qu'ils gagnent en observant les premiers adoptants et cela augmente leur probabilité de prendre des décisions plus adaptées. Étant donné cette externalité, il peut ne pas être optimal pour un producteur d'adopter une innovation tôt, même s'il est neutre par rapport au risque et le profit espéré est positif. Au contraire, chaque producteur voudra attendre qu'un autre adopte le premier, ce qui conduit à un jeu d'attente.

La littérature sur l'apprentissage social décrit la circulation de l'information comme « un processus dynamique au sein de réseaux sociaux » (Jack, 2013, p.51). Conley et Udry (2001) ont élaboré un modèle dans lequel les producteurs découvrent les quantités optimales de facteurs de production juste en s'observant. Le producteur choisit d'abord une quantité en fonction de sa propre conviction ; ensuite il actualise ces mêmes convictions après avoir observé le comportement des autres. Cette actualisation se fait dans un contexte Bayésien.

Les modèles s'inscrivant dans la première approche d'analyse des facteurs d'adoption sont largement utilisés dans la littérature empirique. Cependant, leur principal inconvénient est lié à la théorie de base du modèle qui considère que l'adoption de l'innovation est uniquement liée à la diffusion de l'information.

La seconde approche pour analyser les facteurs d'adoption des innovations agricoles considère la diffusion comme un processus d'équilibre. De ce point de vue, la diffusion

graduelle d'une innovation n'est pas due à une imperfection de marché mais à une variation des avantages de l'innovation sur les potentiels adoptants. L'hypothèse principale est que la technologie est connue mais les adoptants peuvent être différents. Techniquement, l'innovation peut avoir des caractéristiques supérieures comparées aux technologies existantes, mais le fait que cela se traduise en effets positifs pour le producteur dépend de ses caractéristiques personnelles. Ces dernières peuvent être la taille de l'exploitation, le sexe, la taille de la main-d'œuvre, le niveau d'éducation, etc. (Negatu et Parikh, 1999 ; Nkamleu et Adesina, 2000, Chirwa, 2005 ; Mendola, 2007). Les travaux s'inscrivant dans cette seconde approche utilisent le plus souvent des modèles probit, logit ou tobit liant l'adoption aux facteurs pouvant l'affecter. Certains analysent l'adoption sous l'angle de la rentabilité. D'après Pitt (1983), le comportement des producteurs face à un changement de prix peut être un ajustement des facteurs variables, mais aussi l'utilisation de variétés différentes. Il a donc construit ce qu'il a appelé une méta-fonction de profit qui offre cette possibilité de passer d'une variété traditionnelle à une variété à haut rendement de riz. La forme réduite de choix de la variété améliorée en fonction des variables déterminant le profit a montré que le prix du riz, celui des fertilisants, l'irrigation et les superficies cultivées ont un effet significatif sur l'adoption des variétés améliorées. Cette méthode a été élargie par Pitt et Sumodinigrat (1991) dans une étude qui avait pour objectif d'identifier les déterminants du choix de variétés de riz grâce à l'estimation de deux fonctions de profit typiques aux variétés traditionnelles et améliorées et d'une méta-fonction de profit qui permet d'intégrer le facteur risque et l'éducation dans les déterminants du choix de variété. Ces auteurs ont ainsi construit des modèles structurels d'adoption dans lesquels le producteur fonde son choix sur la comparaison entre les profits découlant de l'adoption et la non adoption.

Dans cette seconde approche, les modèles d'équilibre de la diffusion peuvent prendre en compte un grand nombre de variables liées aux caractéristiques des producteurs. Toutefois, leur principal inconvénient est qu'ils ne prennent pas en compte les effets de la génération et la diffusion de l'information sur l'adoption de l'innovation. Cette thèse s'inscrit principalement dans la première approche d'analyse de l'adoption des innovations en prenant en compte les effets de certaines variables de comportement qui peuvent refléter l'accès à l'information. Toutefois, elle prend aussi des éléments dans la seconde approche en incluant dans le modèle des variables qui reflètent les caractéristiques des producteurs.

Trois principaux modèles sont généralement utilisés pour déterminer les facteurs d'adoption des technologies agricoles. Il s'agit du probit, du logit, et du « double hurdle ». La variable

dépendante est généralement binaire (adoption ou non). L'un des premiers auteurs à avoir analysé l'adoption des technologies agricoles sous la perspective économique est Zvi Griliches (1957). Avec des données sur des producteurs américains, il a estimé une fonction logistique pour identifier les déterminants de l'adoption de variétés hybrides de maïs. Il a montré que l'offre et la demande sont toutes les deux des facteurs importants, mais aussi la profitabilité des nouvelles variétés. Cependant, des contraintes méthodologiques telles que la considération de l'adoption comme une variable continue alors qu'elle est discrète de même que l'omission de certains facteurs rendent ces conclusions discutables. Dans leur étude sur l'adoption des fertilisants chimiques et des pesticides, Nkamleu et Adesina (2000) ont fait les estimations avec un probit bivarié. Ils ont montré que l'adoption des fertilisants chimiques et des pesticides est principalement favorisée par la taille de l'exploitation, le revenu et le type de sol. Sur un échantillon de producteurs éthiopiens, le même modèle a aussi été utilisé par Chirwa (2005) pour identifier les facteurs d'adoption des variétés améliorées de maïs et des fertilisants chimiques. Il a trouvé que l'âge a un effet négatif sur l'adoption (les personnes les plus âgées adoptent moins les technologies) alors que le niveau d'éducation, la sécurisation foncière et l'appartenance à une organisation paysanne augmentent la probabilité d'adoption. D'autres auteurs ayant utilisé le probit bivarié sont Lambrecht et al. (2014) pour d'étudier les facteurs influençant la connaissance, l'essai et l'adoption des engrais minéraux en République Démocratique du Congo. Ils ont montré que l'adoption des fertilisants chimiques est déterminée principalement par l'appartenance à une association, le patrimoine, l'accès au capital financier et l'âge. Ce modèle a également été utilisé par d'autres auteurs (Ghimire et al., 2015 ; Ogada et al, 2014 ; Thuo et al, 2014). Dans le cas du Népal, Ghimire et al. (2014) ont aussi trouvé que les facteurs influençant l'adoption des variétés améliorées de riz sont le niveau d'éducation, la taille de l'exploitation, le type de sols, la possession d'un âne, l'accès aux services de vulgarisation, la proximité d'un vendeur de semences et la perception de l'acceptabilité de la variété par le producteur. Ogada et al. (2014) ont montré que les décisions des producteurs kenyans d'adopter une variété améliorée de maïs et les fertilisants chimiques sont simultanées et cette interdépendance doit être prise en compte dans les travaux empiriques. Selon leurs résultats, les variables ayant un effet positif sur cette adoption simultanée sont le niveau d'éducation du chef de ménage, le fait qu'il soit un homme, l'accès au crédit, la sécurisation foncière, la superficie cultivée et les rendements espérés. La distance par rapport au marché a un impact négatif sur l'adoption. Contrairement à Ogada et al. (2014), Thuo et al. (2014) ont trouvé que les décisions d'adopter une variété améliorée d'arachide et les fertilisants chimiques sont indépendantes dans le bassin arachidier du Sénégal. Ainsi, les

déterminants de l'adoption des variétés améliorées d'arachide sont l'expérience, la possession d'un animal de traction et la localisation géographique. Ceux des fertilisants chimiques sont la taille de la main-d'œuvre salariée, la taille de l'exploitation, le nombre de parcelles d'arachide et la disponibilité d'animaux de trait. Le revenu non agricole a quant à lui un effet négatif sur l'adoption montrant que les deux types d'activités sont des substituts.

À côté du probit, le logit a également été privilégié dans certaines études. C'est le cas par exemple de Kassie et al. (2011), Bekele et al. (2014) et Khonje et al. (2015) qui ont évalué l'impact des technologies agricoles. Les premiers ont étudié les déterminants de l'adoption des variétés améliorées d'arachide en Ouganda. Ils ont trouvé que l'appartenance à une organisation paysanne, la taille de l'exploitation et le niveau d'éducation augmentent la probabilité d'adopter des variétés améliorées d'arachide dans le cas de l'Ouganda. Bekele et al. (2014) se sont quant à eux intéressés à l'adoption des variétés améliorées de blé en Éthiopie. D'après leurs résultats, le niveau d'éducation, l'accès au marché, la diversité des sources d'information, la zone agro écologique, le prix du produit récolté ainsi que la distance par rapport aux vendeurs de semences sont les déterminants de l'adoption. Enfin, Khonje et al. avaient comme objet d'étude l'adoption des variétés améliorées de maïs en Zambie. Dans leurs travaux, l'accès aux services de vulgarisation, le niveau d'éducation, l'accès au crédit et l'appartenance à une association sont les facteurs déterminant l'adoption des variétés améliorées de maïs.

Des auteurs comme Croppenstedt et al. (2003), Yu et al. (2011), ou encore Mulubrhan & al. (2012) ont montré que les modèles probit et logit reposent sur l'hypothèse implicite que les producteurs ne font face à aucune contrainte pour accéder à la technologie. Toutefois, dans des situations où l'offre est faible ou le coût de la technologie élevée, cette hypothèse n'est plus pertinente. Ces types de modèles ne font pas la distinction entre les producteurs qui ont une demande de technologies sans contrainte d'accès aux facteurs et ceux qui ont une demande avec contraintes. Cela justifie l'usage d'un autre type de modèle économétrique appelé « Double Hurdle model » (DH model) par ces auteurs précités. Le modèle DH analyse l'adoption des technologies en deux étapes. Dans la première, l'utilisateur, qui est le producteur dans ce contexte, décide de participer ou non au marché de la nouvelle technologie. S'il choisit de participer, la seconde étape est de déterminer la quantité à acheter. Dans ce modèle, comme dans un modèle tobit, quand la variable dépendante prend la valeur zéro, cela signifie que soit le producteur choisit de ne pas adopter la technologie soit il veut l'adopter mais n'y a pas accès. Croppenstedt et al. (2003) ont ainsi montré que l'accès aux

fertilisants est influencée positivement par la taille du ménage, le nombre d'animaux de traction, le niveau d'éducation, l'accès au crédit et négativement par la superficie cultivée. Selon Yu et al. (2011) l'accès aux engrais chimiques est lié à l'accès aux services d'encadrement, aux revenus du ménage, à la surface qui est déjà traitée par ces engrais, mais aussi aux caractéristiques sociodémographiques telles que l'âge du chef d'exploitation. Concernant, les facteurs déterminant l'usage de variétés améliorées et d'engrais chimiques, ils sont quasiment les mêmes que ceux déterminant l'accès à ces technologies. Mulubrhan et al. (2012) ont quant à eux trouvé que les principaux facteurs à l'origine de l'adoption des variétés améliorées de maïs et de pois d'Angole sont l'offre locale, l'accès à l'information, le capital humain et l'accès au capital productif privé. À l'instar des auteurs précédents, Ghimire et Huang (2015) ont utilisé le modèle DH pour identifier les facteurs d'adoption des variétés améliorées de maïs au Népal. Leurs résultats ont fait état de plusieurs déterminants de l'adoption tels que l'âge, le niveau d'éducation, le contact avec la vulgarisation, le sexe ou encore l'appartenance à une organisation paysanne.

En plus de ces modèles fréquemment utilisés, d'autres méthodes sont présentes dans la littérature. Il s'agit par exemple du tobit spatial, utilisé par Langyintuo et Mekuria (2008) pour étudier les déterminants de l'adoption des variétés améliorées de maïs en Mozambique. Ils ont montré qu'en plus des effets de voisinage qui sont très significatifs, l'adoption est déterminée par l'âge du chef d'exploitation, le prix des semences, la distance par rapport au marché, l'appartenance à une association, la taille de l'exploitation, le contact avec les services de vulgarisation, et l'accès au crédit. Les trois premières variables ont un impact négatif alors que les autres ont un impact positif.

Dans la littérature consultée, les principaux facteurs déterminant l'adoption des technologies agricoles sont ainsi : (i) les caractéristiques socio-économiques (âge du chef d'exploitation, sexe, taille de l'exploitation, niveau d'éducation du producteur) ; (ii) les conditions de production (statut d'occupation de la terre, la disponibilité du facteur travail, l'accès au crédit, l'appartenance à des réseaux, la possession de machines agricoles) ; (iii) les caractéristiques de la technologie (perceptions sur ses propriétés, accès à l'information, l'offre de la technologie, le niveau de risque et d'incertitude de son impact). Dans la plupart des études, les impacts de ces facteurs vont dans le même sens sauf pour l'âge et la taille de l'exploitation dont les signes peuvent varier d'une étude à une autre. Ce constat pousse à croire que le contexte d'étude peut jouer un rôle important dans l'analyse des facteurs d'adoption. En effet, la prise en compte du milieu social est important dans l'analyse des technologies agricoles,

car, comme le souligne Olivier de Sardan (1995, p.113), « l'innovation peut être vue comme indexée socialement ». Dans une telle perspective, comprendre les phénomènes d'acceptation et de refus d'une innovation c'est la situer dans son contexte sociétal, en procédant à une analyse complète de la société locale (op cit). Ainsi, une des contributions de cette thèse à la littérature est de se positionner dans cette perspective qui considère le milieu social comme étant un des principaux déterminants de l'adoption des technologies agricoles. Dans ce sens, un modèle hiérarchique, qui intégrera à la fois les données individuelles et collectives, sera utilisé pour identifier les facteurs d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans le bassin arachidier du Sénégal.

2.2.2. L'impact de l'adoption des technologies agricoles

Les politiques publiques des pays en voie de développement donnent une place importante à l'augmentation de la productivité agricole pour des objectifs de sécurité alimentaire et nutritionnelle, mais aussi pour l'amélioration du bien-être des producteurs. Dans ce cadre, l'adoption des semences certifiées par ces derniers est vue comme un moyen d'atteindre ces objectifs. Cette adoption est vivement encouragée et des financements sont alloués à la génération et la diffusion de nouvelles variétés en milieu rural. Cependant, ces actions seules ne suffiront pas pour un accroissement de la productivité ; en effet, il s'avère nécessaire de mesurer l'impact de cette adoption pour voir si effectivement les hypothèses émises sont vérifiées. En économie du développement, l'évaluation d'impact est largement utilisée pour mesurer l'efficacité des programmes et des politiques publiques. À l'origine, les indicateurs binaires représentaient un traitement médical ou la participation à un programme donné mais les méthodes sont applicables partout où la variable explicative d'intérêt est dichotomique.

2.2.2.1. Cadre conceptuel de l'évaluation d'impact

L'évaluation d'impact est un exercice d'inférence causale définie comme la mesure de l'impact ou de l'effet de soit un programme soit une politique, ou de toute autre intervention sur un certain nombre de caractéristiques appelées variables de résultat, sur une population donnée (Blundell et Dias, 2000). C'est donc un exercice de recherche de causalité entre phénomènes observés (Savadogo, 2016). De façon technique, pour pouvoir affirmer que le phénomène A est causé par B, il faut s'assurer que trois conditions sont remplies (op.cit) : (i) A résulte de la réalisation de B ; (ii) la réalisation de B n'est nullement conditionnée par celle de A ; (iii) il n'existe pas un troisième phénomène, C, favorisant simultanément l'émergence de B et A. En d'autres termes, B doit être totalement exogène par rapport à A.

Modèle de causalité

Notons i les individus dans la population, i =1, 2,…N. Y_i désigne la variable d'intérêt, par exemple le rendement des adoptants des semences certifiées de mil. D_i indique le traitement dont on veut mesurer l'impact. D_i peut être binomial ou multiple mais ici on considère que le traitement est de nature binaire, par exemple l'adoption des semences certifiées de mil. Partant des travaux de Wooldridge (2002) et Savadogo (2016), notons Y_{i1} la valeur de la variable d'intérêt si l'individu i est soumis au traitement (D_i=1) et Y_{i0} la valeur de la variable d'intérêt si l'individu i n'est pas soumis au traitement (D_i=0). Pour chaque individu i, l'effet causal est défini comme suit :

$$\alpha_i = Y_{i1} - Y_{i0} \qquad (2.4)$$

Dans le cas de l'adoption des semences certifiées de mil, l'impact α_i serait obtenu en faisant la différence, en un point donné du temps, entre le rendement d'un agriculteur qui aurait adopté les semences certifiées et le rendement du même agriculteur s'il n'avait pas adopté les semences certifiées. Le calcul de α_i exige d'observer une personne dans deux états différents de la nature, en un point donné du temps. Cela soulève le problème fondamental de l'évaluation d'impact car il est impossible d'observer à la fois Y_{i1} et Y_{i0} pour un même individu, en un temps donné. On observe plutôt Y_i défini comme :

$$Y_i = (1 - D_i)Y_{i0} + D_i Y_{i1} \qquad (2.5)$$

Ainsi pour un individu traité on observe Y_{i1} et pour un individu non traité on observe Y_{i0}. L'un des objectifs des méthodes d'évaluation d'impact est de trouver une bonne mesure de la partie non observable appelée résultat contrefactuel.

2.2.2.2. Que mesure-t-on dans l'évaluation d'impact ?

Pour mesurer l'effet d'un traitement, l'intérêt porte sur α_i, « cette différence étant une variable aléatoire, il est nécessaire de préciser quel aspect de sa distribution sera estimé » (Wooldridge, 2002, p.604). La possible hétérogénéité de l'impact du traitement pousse aussi à définir la mesure à laquelle nous nous intéressons. Selon Blundell et Dias (2000), il y a en général deux principales questions auxquelles les méthodes d'évaluation tentent de répondre. La première est la mesure de l'impact du traitement (programme, politique, autre variable binaire) sur des individus d'un certain type en considérant qu'ils ont été assignés au traitement aléatoirement parmi la population de tous les individus de ce même type. Cette mesure,

appelée Effet de Traitement Moyen (ETM) ou *Average Treatment Effect* (ATE) est en d'autres termes l'impact espéré du traitement sur un individu aléatoirement tiré de la population d'intérêt. Cette mesure est cependant d'un faible apport car même des individus qui ne bénéficieront jamais du traitement sont pris en compte. La seconde question porte sur la mesure de l'impact sur les individus qui ont subi le traitement, appelé Effet de Traitement Moyen sur les Traités (ETT) ou *Average Treatment Effect on the Treated* (ATET). C'est l'effet moyen du traitement pour ceux qui ont effectivement subi le traitement. Il est aussi possible de mesurer l'effet du traitement pour les personnes non bénéficiaires, cette mesure est appelée Effet de Traitement moyen sur les Non Traités (ETNT) ou *Average Treatment Effect on Non Treated* (ATENT). Elle est utile si une extension du traitement aux personnes non bénéficiaires est envisagée.

En gardant les notations précédentes, nous avons :

$$\alpha_{ETM} = E(\alpha_i) = E(Y_{i1} - Y_{i0}) = E(Y_{i1}) - E(Y_{i0}) \quad (2.6)$$

$$\alpha_{ETT} = E(\alpha_i \mid D_i = 1) = E(Y_{i1} - Y_{i0} | D_i = 1) = E(Y_{i1} | D_i = 1) - E(Y_{i0} | D_i = 1) \quad (2.7)$$

$$\alpha_{ETNT} = E(\alpha_i \mid D_i = 0) = E(Y_{i1} - Y_{i0} | D_i = 0) = E(Y_{i1} | D_i = 0) - E(Y_{i0} | D_i = 0) \quad (2.8)$$

Un autre effet de traitement appelé Effet Moyen Local de Traitement ou *Local Average Treatment Effect* (LATE) a aussi été suggéré par Imbens et Angrist (1994) ; il est obtenu grâce à l'utilisation d'une variable instrumentale noté Z. Le LATE mesure l'effet du traitement sur ceux qui seraient induits à participer au programme en changeant Z d'une valeur w à une valeur z. Le LATE dépend fortement de l'instrument choisi ; quand celui-ci change, il prend lui aussi une autre valeur.

Il est aussi possible de s'intéresser à l'impact du traitement sur un certain nombre d'individus spécifiques parmi les non traités. Ce cas se présente notamment quand l'extension d'un programme ou d'une politique à d'autres bénéficiaires est en considération. Certes moins utilisé, le « Marginal Treatment Effect (MTE) » ou l'Effet Marginal du Traitement (Heckman et Vytacil, 2001 ; Carneiro et al., 2011) permet de mesurer l'impact d'un programme sur des individus qui seraient traités si celui-ci était étendu. Il mesure l'effet moyen du traitement sur les individus qui sont à la marge de la participation au programme.

Le passage de la mesure individuelle à la mesure moyenne du traitement ne règle cependant pas le problème fondamental de l'évaluation d'impact qui est de trouver un contrefactuel. Si nous reprenons l'effet de traitement moyen,

$$\alpha_{ETM} = E(\alpha_i) = E(Y_{i1} - Y_{i0}) = E(Y_{i1}) - E(Y_{io}) \quad (2.9)$$

Les quantités $E(Y_{i1})$ et $E(Y_{io})$ ne sont pas observées, on observe plutôt $E(Y_{i1}|D_i = 1)$ et $E(Y_{i0}|D_i = 0)$. À défaut d'avoir un traitement aléatoire, on aura en général :

$E(Y_{i1}|D_i = 1) \neq E(Y_{i1})$ et $E(Y_{i0}|D_i = 0) \neq E(Y_{io})$

Supposons qu'on utilise une méthode logique qui est la comparaison directe des bénéficiaires aux non bénéficiaires. Cette différence serait :

$$Df = E(Y_{i1}|D_i = 1) - E(Y_{i0}|D_i = 0) \quad (2.10)$$

Cette différence est calculable car les termes sont observés. Cependant, elle ne pourrait être considérée comme l'effet causal car si on décompose l'expression on obtient :

$$\begin{aligned} Df &= E(Y_{i1}|D_i = 1) - E(Y_{i0}|D_i = 0) \\ &= [E(Y_{i1}|D_i = 1) - E(Y_{i0}|D_i = 1)] + [E(Y_{i0}|D_i = 1) - E(Y_{i0}|D_i = 0)] \\ &= \alpha_{ETT} + B_{ETT} \end{aligned} \quad (2.11)$$

La différence est composée de l'effet moyen du traitement pour les traités et d'un terme qui représente un biais. Le biais indique la différence entre le résultat atteint par les traités en l'absence de traitement (contrefactuel) et les résultats atteint par les non traités. Cette différence n'est pas forcément nulle et le principal problème de l'évaluation d'impact est d'éliminer le biais d'estimation en faisant une bonne estimation du contrefactuel.

2.2.2.3. Impact homogène ou hétérogène ?

On parle d'homogénéité de l'impact du traitement quand il est constant pour tous les individus. Par contre, l'impact du traitement est hétérogène quand il varie selon les individus ou groupes d'individus. L'hypothèse d'homogénéité ou d'hétérogénéité de l'impact a des implications différentes sur les mesures d'évaluation d'impact. Une large littérature a montré que les personnes répondent différemment au traitement et que par conséquent le participant marginal à un programme peut être différent du participant moyen (Cobb-Clark et Crossley, 2002). Les individus diffèrent non seulement de par leurs caractéristiques intrinsèques, mais aussi de la manière dont ils réagissent par rapport à certains évènements (Brand et Xie 2010 ; Brand, 2011). Les sciences sociales reconnaissent de plus en plus deux types de biais de sélection (Brand, 2011). Le premier, l'hétérogénéité prétraitement, résulte de l'hétérogénéité des caractéristiques préexistantes des individus. Le second type de biais de

sélection est l'effet hétérogène du traitement. Dans ce cas L'ETM et l'ETT ne seront plus fixes mais varieront d'individu à individu. La présence de cette hétérogénéité impose ainsi de réfléchir au préalable sur les questions de recherche et le paramètre de traitement d'intérêt.

2.2.2.4. Les méthodes économétriques d'évaluation d'impact

Les méthodes économétriques d'évaluation d'impact doivent permettre d'exclure la possibilité qu'un facteur autre que l'intervention soit la cause de l'impact observé. Suivant Blundell et Dias (2000), les méthodes d'évaluation d'impact peuvent être classées en deux groupes : les méthodes expérimentales et les méthodes non expérimentales.

Les méthodes expérimentales

— La randomisation : La randomisation est généralement faite avec un contrôle total sur les unités d'observation qui devront subir ou pas le traitement. Cette procédure permet d'avoir un groupe de traitement et un autre pour le contrôle. Elle permet aussi de surmonter le problème du contrefactuel car les individus traités et non traités sont en moyenne parfaitement équivalents comme le traitement est indépendant du potentiel résultat. Pour les sciences sociales, elle consiste à réunir un groupe de personnes similaires en termes de caractéristiques principales et de les diviser de façon aléatoire en deux groupes : le groupe de ceux qui bénéficieront de l'intervention (groupe de traitement) et celui de ceux qui n'en bénéficieront pas (groupe de contrôle) (Duflo, 2007). La randomisation demeure la méthode la plus convaincante car il y a un groupe de contrôle qui est un échantillon aléatoire de la population cible. En cas d'effet du traitement homogène, l'impact peut être obtenu grâce à une simple différence de moyenne entre les traités et les non traités. Les trois mesures de l'effet moyen du traitement (l'ETM, l'ETT et l'ETNT) sont identiques. Cependant, certains problèmes peuvent survenir dans la pure expérimentation. Il s'agit en l'occurrence de l'attrition (ou abandon d'unités d'observations) pour le cas des données de panel. Quand elle n'est pas aléatoire, l'attrition peut introduire des biais dans l'estimation car la composition des groupes est différente de celle de la situation de référence. S'y ajoutent aussi les effets de contamination au groupe contrôle ou encore le changement de comportement induit par l'expérimentation en tant que telle. En outre, la randomisation est difficile à mettre en œuvre en sciences sociales pour des questions d'éthique et de justice sociale. Par exemple, dans le cas des programmes de bourses familiales pour favoriser la scolarisation des enfants et lutter contre la pauvreté, il serait difficile de choisir les familles bénéficiaires de façon aléatoire. L'absence de prise en compte des revenus des bénéficiaires pourrait créer des tensions

sociales si des familles nanties bénéficient de ces bourses au détriment des familles les plus démunies. Pour ces raisons, les données non expérimentales sont majoritairement utilisées.

— L'expérience naturelle : une situation d'expérience naturelle permet d'estimer sans biais le résultat d'une intervention car elle assure que celui-ci est indépendant du processus de sélection à participer (Savadogo, 2016). Considérons la régression linéaire de Y sur la variable de traitement D :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \varepsilon_i \qquad (2.12)$$

Si D est exogène, il est possible d'obtenir une estimation convergente de β_1 avec la méthode OLS. Cette valeur mesurerait l'effet du traitement D sur la variable d'intérêt Y. Cependant, si le traitement est endogène, c'est-à-dire si D=1 est corrélée avec le résultat Y, la méthode OLS n'est plus valide. Une situation d'expérience naturelle se produit s'il existe une situation naturelle, exogène qu'on peut exploiter comme instrument pour D. Un exemple d'expérience naturelle se trouve dans l'étude de Card (1990). Ce dernier voulait estimer l'impact de l'immigration (D) sur les salaires des résidents (Y). Le problème est que l'émigration est un choix qui dépend des caractéristiques du pays de destination (salaires, niveau de développement, etc.). Le traitement n'est donc pas aléatoire. L'expérience naturelle a été l'arrivée massive d'environ 125 000 cubains à Miami entre mai et septembre 1980 (Exode de Mariel), en pleine guerre froide, entraînant une augmentation de la force de travail de 7%. Cet exode massif faisait suite à une annonce du Président Castro autorisant toute personne qui voulait quitter le territoire à le faire. Ce phénomène est considéré comme une expérience naturelle car l'immigration est restée inchangée dans les villes similaires à Miami et ce départ massif n'était pas planifié par les concernés. Il a ensuite comparé les salaires des natifs de Miami à ceux des natifs des villes contrôles, (Atlanta, Los Angeles, Houston, etc.) avant et après l'arrivée des cubains. Il a fait les différences pré et post Exode de Mariel dans chaque ville, puis la différence entre villes de cette première différence. Le résultat a été que l'immigration n'a pas un impact significatif sur les salaires des natifs.

Les méthodes non expérimentales

Certains individus peuvent en partie choisir de subir un traitement ou, du fait de leurs caractéristiques, ils ont plus de chances de bénéficier du traitement que d'autres. Ce problème est appelé autosélection et en sa présence l'ETM, l'ETT et l'ETNT sont en général différents du fait d'un biais de sélection (Wooldridge, 2002). Les économistes utilisent essentiellement l'approche non expérimentale en se fondant sur les théories économiques et économétriques.

L'approche non expérimentale est utilisée lorsqu'il n'est pas possible de sélectionner les traités et non traités aléatoirement. Elle est fondée sur l'observation et le contrôle des variables qui causent le phénomène de sélection par les méthodes de régression (paramétrique et non paramétrique). Elle permet ainsi de minimiser les biais potentiels dans l'estimation des impacts (Heckman, 1996). Les méthodes suivantes constituent principalement cette approche.

— La méthode de la double-différence (DD). Cette méthode consiste à comparer le groupe de traitement et de contrôle aussi bien avant qu'après l'intervention du programme. Elle repose sur deux hypothèses fondamentales qui sont : (i) les effets du temps sont communs aux deux groupes et (ii) la composition de ces groupes est fixe dans le temps. L'hypothèse d'identification est qu'entre les deux périodes, le changement de l'ETNT est le même pour les traités et les non traités. Pour mettre en œuvre la DD, il faut faire une étude de référence avant l'introduction du programme et cette étude doit couvrir aussi bien les bénéficiaires attendus que les non bénéficiaires. Le choix d'un bon groupe de comparaison demeure le principal défi de cette méthode. L'estimateur de la double différence mesure la variation, entre deux périodes (notées t), de la variable d'intérêt entre le groupe test et le groupe témoin. Il est défini par :

$$\alpha_{DD} = E[Y_{i1}(t=1)) - Y_{i0}(t=0) \mid D_i = 1] - E[Y_{i0}(t=1) - Y_{i0}(t=0) \mid D_i = 0] \quad (2.13)$$

Dans cette différence, le terme de gauche est l'espérance de la différence de la variable d'intérêt avant et après le programme, pour le groupe des traités. Le terme de gauche est l'espérance de la différence de la variable d'intérêt, avant et après le programme, pour le groupe des non traités. L'effet total est obtenu en faisant la différence de ces deux espérances. Quand l'impact du traitement est hétérogène, l'estimateur de la double-différence donne l'ETT (impact du traitement sur les traités).

— Les méthodes d'appariement : l'objectif de l'appariement est de trouver un nombre suffisant de facteurs observables de telle sorte que les individus ayant les mêmes valeurs de ces facteurs n'aient pas systématiquement un comportement différent face au traitement. Ces méthodes ont été développées par Rubin (1973) et Rosenbaum et Rubin (1983). Le principe de l'appariement est d'approximer le contrefactuel par un échantillon comparable au groupe traité, tiré du groupe des non participants Le groupe de comparaison comprendra des individus qui sont en tout point de vue similaires aux individus traités, sauf qu'ils n'ont pas été traités. Ainsi, toute différence de la valeur de la variable d'intérêt entre les deux groupes pourra être exclusivement attribuée au traitement.

— **Les variables instrumentales** : l'hypothèse d'indépendance conditionnelle faite dans les modèles de régression simple ou le modèle d'appariement peut parfois être violée si l'hétérogénéité des variables non traitées réside dans des variables non observables. Une manière de contourner ce problème est d'utiliser la méthode des variables instrumentales.

Si on considère encore le modèle linéaire, reliant Y à un vecteur de variables explicatives X et le traitement D,

$$Y = X\beta + \alpha D + \varepsilon \tag{2.14}$$

La méthode des variables instrumentales consiste à trouver une variable aléatoire ou instrument Z qui doit remplir le critère d'exclusion caractérisé par les deux conditions suivantes :

— Z doit être corrélée au traitement, c'est-à-dire $Cov\ (Z, D) \neq 0$

— Z ne doit pas être corrélée au terme d'erreur, autrement dit $Cov\ (Z, \varepsilon) = 0$

L'estimateur de l'impact est défini comme :

$$\alpha_{IV} = \frac{Cov(Y,Z)}{Cov(D,Z)} \tag{2.15}$$

Dans cette méthode, le principal défi est de trouver le bon instrument, ce qui n'est pas une tâche facile. Si un bon instrument est identifié, l'utilisation de variables instrumentales peut permettre d'avoir l'effet de traitement moyen en cas d'impact homogène. Si par contre l'impact du traitement est hétérogène, le coefficient de la variable instrumentale doit être interprété avec attention. Dans ce cas, si l'instrument est une variable binaire, l'estimateur de l'impact sera le LATE, présenté plus haut.

— **Le modèle de sélection** : ce modèle, très proche des variables instrumentales, a été développé par Heckman (1979). L'approche repose sur le critère d'exclusion. L'objectif de ce modèle est d'éliminer le biais de sélection en contrôlant la part de la variable binaire de traitement qui pourrait être corrélée aux termes d'erreur. Ainsi, contrairement au modèle d'appariement, ce modèle prend en compte la sélection qui se fait sur des variables non observables. L'estimation se fait en deux étapes : (i) la partie des termes d'erreurs corrélée à la variable de traitement est estimée ; (ii) celle-ci est ensuite incluse dans l'estimation de la variable résultat pour avoir l'impact du traitement. Un autre modèle de sélection est le modèle à changement de régime qui a comme pionner Lee (1979). Ce modèle décrit les statuts de

traitement dans deux équations différentes et comporte aussi une équation de sélection fondée sur le critère d'exclusion.

— Le « Regression Discontinuity Design » (RDD) : cette méthode part du principe que les règles du traitement (par exemple participation à un programme) créent parfois des discontinuités qui peuvent être utilisées pour identifier l'effet du traitement en comparant ceux qui sont juste au-dessus du critère de participation à ceux qui sont juste en-dessous (Duflo et al, 2006). Dans leurs travaux, Duflo et al. (2006) ont donné l'exemple d'une institution de microcrédit qui n'octroie des prêts qu'aux femmes qui ont plus d'un demi-hectare de terres ; ainsi en considérant les femmes qui sont juste en-dessous de cette limite comme groupe contrôle, l'effet du traitement (ici accès au crédit) peut être obtenu en les comparant à celle qui sont juste au-dessus de la limite. Les conditions pour que cette méthode soit valide sont que les règles d'assignation au traitement soient respectées, mais aussi que des manipulations ne soient pas faites sur les critères de sélection car le traitement deviendrait endogène ; ce qui constituerait un frein à l'identification.

Des méthodes économétriques ont été développées pour analyser l'impact de programmes, politiques, ou toute autre intervention sur des caractéristiques bien définies des individus. Celles que nous avons présentées sont le plus fréquemment utilisées mais ne constituent pas une liste exhaustive de toutes les méthodes d'évaluation d'impact qui ne cessent de s'accroître. En fonction des données, l'évaluation d'impact implique parfois de faire une combinaison pour réduire le biais au maximum, par exemple appliquer la méthode d'appariement pour créer un échantillon d'individus comparables et ensuite faire la double différence sur cet échantillon. Certaines de ces méthodes ont servi d'outils d'analyse de l'impact de l'adoption de technologies sur les producteurs. Dans ce contexte, le fait d'adopter une technologie agricole est assimilé à la participation à un programme ; ce qui justifie l'utilisation des méthodes économétriques d'évaluation d'impact pour étudier ses effets. Dans la littérature, l'impact de l'adoption des variétés améliorées et semences certifiées est généralement mesuré en prenant comme variables d'intérêt les rendements et la sécurité alimentaire. La définition de la sécurité alimentaire a connu des mutations successives depuis l'apparition du concept au milieu des années 70. Selon la FAO (2002), la sécurité alimentaire est une situation où toutes les personnes ont, en tout temps, un accès physique, social et économique à des aliments suffisants, sûrs et nutritifs, qui répondent à leurs besoins alimentaires et à leurs préférences alimentaires pour une vie active et saine. Elle repose sur trois facteurs essentiels : la disponibilité de la nourriture, l'accessibilité de la nourriture et

l'utilisation de la nourriture. La communauté internationale a accepté cette large définition mais sa réponse pratique a été de se concentrer sur des objectifs plus étroits et plus simples afin de mieux organiser l'action publique internationale et nationale en faveur de la sécurité alimentaire. Ainsi, dans le contexte de cette thèse et compte-tenu des données disponibles, l'attention est portée sur deux facteurs qui sont la disponibilité et l'accessibilité de la nourriture.

2.2.4.5. L'évaluation de l'impact de l'adoption des technologies agricoles

Duflo et al. (2008) ont conduit une expérience randomisée sur des producteurs kenyans dans le but d'étudier l'impact de l'utilisation des fertilisants chimiques sur les rendements et les revenus des producteurs. Selon les auteurs, ces fertilisants, efficaces en station de recherche, pourraient ne pas avoir les mêmes effets en milieu réel où les conditions optimales sont loin d'être réunies. L'expérimentation consistait à donner les doses recommandées de fertilisants à des producteurs aléatoirement choisis. Les résultats ont montré que l'utilisation des fertilisants chimiques augmente significativement les rendements ; par exemple l'application d'une demi-cuillérée à soupe les augmente de 43%. Cependant, l'impact sur les revenus n'est pas significatif du fait des charges supplémentaires élevées induites par l'utilisation de ces technologies. Toutefois, l'expérience randomisée est rarement utilisée comme méthode d'évaluation de l'adoption des innovations agricoles. Le recours à des données non expérimentales est plus fréquent car l'accès aux données expérimentales demeure encore difficile. Le modèle le plus présent dans la littérature empirique est ainsi l'appariement par les scores de propension (PSM), fondé sur l'hypothèse que l'adoption est fonction des caractéristiques observables de l'individu. Il a été utilisé par Mendola (2007) dont les travaux ont porté sur la mesure de l'impact de l'adoption de variétés améliorées de riz sur la pauvreté au Bangladesh. Wu el al (2010) ont également opté pour le PSM afin de mesurer l'impact de l'adoption d'une variété améliorée de riz sur les revenus et la pauvreté de producteurs chinois. Le PSM a aussi été utilisé par Kassie et al. (2011) ; leurs travaux portaient sur l'évaluation de l'impact de l'adoption des variétés améliorées d'arachide sur le revenu net et la pauvreté en Ouganda. Mendola (2007) et Wu et al. (2010) ont trouvé un impact positif de l'adoption des innovations agricoles sur les revenus et la réduction de la pauvreté. À titre d'exemple, Mendola (2007) trouve que le revenu de ceux qui adoptent la technologie est de 30% plus élevé que celui des autres producteurs. Kassie et al. (2011) ont également mis en évidence un impact positif de l'adoption des variétés améliorées d'arachide sur les revenus nets et la réduction de la pauvreté en Ouganda.

Certaines critiques ont été formulées à l'endroit du PSM. Mulubrhan et al. (2012) ont souligné le fait que le modèle repose sur l'hypothèse de la sélection sur les variables observables alors que le biais d'estimation peut être lié à des variables non observables. Dans leurs travaux, ils ont donc complété cette méthode par le modèle à changement de régime ou « Endogenous Switching Regression » (ESR) pour déterminer l'impact de l'adoption de variétés améliorées de maïs et de pois d'Angole sur le bien-être des producteurs agricoles tanzaniens. En effet, le modèle à changement de régime permet d'éliminer le biais lié aux variables non observables qui rendent l'adoption des technologies endogène. Ils ont montré que ceux qui adoptent les variétés améliorées ont un revenu de 30 à 33% plus élevé que celui des producteurs qui utilisent les variétés traditionnelles.

Cette stratégie d'utiliser le PSM et l'ESR a aussi été adoptée par Bekele et al. (2014) et Awotide et al. (2015). Les premiers ont étudié l'impact de l'adoption des variétés améliorées de blé sur la sécurité alimentaire au Kenya. Awotide et al. se sont quant à eux intéressés à l'impact de l'adoption des variétés améliorées de manioc sur le patrimoine de ménages nigérians. Bekele et al. (2014) ont trouvé un impact positif de l'adoption des variétés améliorées de maïs et de blé sur la sécurité alimentaire. Quant aux travaux de Awotide et al., les résultats ont fait état d'un impact positif de l'adoption des variétés améliorées de manioc sur la pauvreté et le patrimoine des ménages. Abdulai et Huffman (2014) ont aussi utilisé l'ESR pour évaluer l'impact de l'adoption des technologies de conservation du sol et de l'eau sur les revenus nets et les rendements de producteurs de riz au Ghana. Concernant les rendements, ils ont trouvé un ETT de 26% ; s'agissant du revenu, l'ETT est de 16%. À part le modèle à changement de régime, d'autres techniques ont été privilégiées pour combler les insuffisances du PSM. Cungara et Darnhofer (2011) ont choisi le PSM et la régression sur l'échantillon de producteurs appariés pour étudier l'impact de l'adoption de quatre technologies (variété améliorée de maïs, traction animale, tracteur, greniers améliorés). Ils n'ont pas trouvé un impact significatif de l'adoption des variétés améliorées sur les rendements. Ils ont expliqué ce résultat par la sécheresse qui a caractérisé l'année de collecte de leurs données. Zeng et al. (2015) ont complété le PSM avec les variables instrumentales pour évaluer les effets directs et indirects de l'adoption de variétés améliorées de maïs sur les profits nets et les revenus de ménages éthiopiens. Leurs résultats ont montré un impact positif de l'adoption sur la productivité et la réduction de la pauvreté. Les variables instrumentales ont également été utilisées par Kabunga et al. (2014) qui, dans leurs travaux sur l'impact

d'une technologie de culture de la banane sur les revenus et la sécurité alimentaire au Kenya, ont obtenu un impact positif sur les revenus et la sécurité alimentaire.

L'hétérogénéité de l'impact de l'adoption des innovations agricoles a été rarement prise en compte dans la littérature empirique. Une exception est Suri (2011) qui a évalué l'impact de l'adoption des variétés améliorées de maïs sur des producteurs kenyans. Elle a utilisé des variables instrumentales et un modèle à coefficients aléatoires pour prendre en compte l'hétérogénéité de l'impact et identifier sa distribution. Les résultats obtenus ont mis en évidence un impact positif de l'adoption des variétés améliorées de maïs sur les rendements. Elle a souligné l'hétérogénéité de l'impact et la présence d'une sélection négative. C'est-à-dire que ceux qui ont adopté la technologie ne sont pas ceux qui en bénéficieraient le plus.

La revue empirique de l'adoption des technologies, quoique non exhaustive, a montré un impact positif sur les rendements, la pauvreté et la sécurité alimentaire des ménages agricoles. Cependant, le manque de consensus réside dans la méthodologie à utiliser, en cas d'absence de données expérimentales et de présence de l'autosélection. Le problème d'auto sélection résulte de l'hétérogénéité des facteurs non traités (Clark et Crossley, 2002). Une solution peut être l'utilisation des méthodes non expérimentales d'évaluation d'impact afin d'obtenir des mesures comme l'ETM ou l'ETT. Cependant, comme l'a souligné Suri (2011), l'hétérogénéité peut aussi se situer au niveau de l'impact du traitement. Dans ce cas, le fait de trouver que l'adoption est rentable pour un groupe de producteurs ne signifie pas qu'elle est rentable de manière générale (Rosenzweig, 2010). En effet, une technologie agricole qui est profitable pour un agriculteur peut ne pas l'être pour ses voisins du fait de différences dans l'accès au crédit ou de contraintes de travail spécifiques au ménage (Jack, 2013). Selon Rosenzweig (2010), s'agissant de l'utilisation des fertilisants chimiques, la variation des niveaux d'utilisation, ainsi que des profits obtenus, observée sur des données en coupe instantanée ne permet pas de conclure que les fertilisants sont sous-utilisés. Il souligne ainsi l'importance de l'expérimentation qui crée une variation dans l'utilisation des technologies qui est indépendante des superficies possédées, des qualités de l'agriculteur et des chocs sur le profit variant avec le temps. Sur des données en coupe instantanée, Heckman et Li (2003) ont utilisé une méthode semi-paramétrique pour mesurer l'impact de l'éducation sur les revenus, avec l'hypothèse d'hétérogénéité et de biais de sélection. Ainsi des méthodes ont donc été proposées pour prendre en compte l'hétérogénéité ou la distribution de l'impact. Le choix parmi ces propositions dépend des caractéristiques des données disponibles.

2.3. Modélisation de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho

La recherche sur l'adoption des innovations agricoles a montré l'importance du contexte socio-économique dans l'adoption des technologies agricoles notamment à travers le dialogue et l'apprentissage auprès des pairs (Darré, 1985 ; Olivier de Sardan, 1995 ; Conley et Udry, 2001, Bandiera, 2006). Les décisions que prennent les producteurs d'une même localité ou d'un même milieu social ne sont pas indépendantes les unes vis-à-vis des autres. L'adoption d'une nouvelle technologie étant une décision majeure, fait partie de ces changements dont Darré (1985) arguait qu'ils dépendront des relations des agriculteurs avec leur environnement immédiat, soit de façon directe, soit par l'intermédiaire des conseils et exemples familiaux. Le dialogue avec les pairs peut aussi permettre de réduire les risques liés à l'adoption des variétés précoces si la majorité des producteurs d'une même localité prennent la même décision. Par exemple, dans un village donné il peut ne pas être optimal pour un producteur d'adopter une variété précoce si les autres ne le font pas car le fait que ses cultures murissent plus tôt peut entrainer l'attaque de ravageurs comme les oiseaux granivores. Cet argument de non adoption a été largement évoqué lors de nos enquêtes de terrain dans le bassin arachidier du Sénégal.

Dans ce contexte, contrairement aux méthodes les plus utilisées dans la littérature pour identifier les déterminants de l'adoption des technologies (probit, tobit, double hurdle), nous allons utiliser dans cette thèse un modèle mixte qui permet de faire une analyse multiniveaux de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Il s'agit du Modèle Linéaire Hierarchique Généralisé (HGLM[7]) en référence au Modèle Linéaire Hierarchique (HLM),ou Modèle Mixte Linéaire Généralisé (GLMM[8]) ou encore modèle à coefficients aléatoires ; dans le contexte de cette thèse les trois appellations se valent.

Le modèle HGLM est un type de régression sur des données multiniveaux où la variable dépendante est au niveau le plus bas. Selon Snijders et Bosker (1999), deux types d'arguments peuvent justifier l'option d'une analyse multiniveaux au lieu d'une simple régression par la Méthode des Moindres Carrés (MCO) :

1. La dépendance comme source de bruit : les erreurs types et les tests basés sur la MCO ne sont pas fiables si l'hypothèse d'indépendance des erreurs entre individus n'est pas vérifiée.

2. La dépendance comme phénomène intéressant : il est utile en soi de distinguer la variabilité à plusieurs niveaux d'analyse.

[7] Hierarchical Generalized Linear Model en anglais
[8] Generalized Linear Mixed Model en anglais

Le modèle hiérarchique a été généralement utilisé en économie de l'éducation pour analyser les performances des élèves (Faye, 2010 ; Woltman et al., 2012). Sur des données en groupes, il est plus indiqué d'utiliser ce type de modèle ayant des coefficients fixes et des coefficients aléatoires, pour prendre en compte l'interdépendance des observations appartenant à un même groupe et la variabilité des coefficients en allant d'un groupe à un autre. Le modèle HGLM est donc adapté aux données obtenues à partir d'un échantillonnage à plusieurs degrés. En outre, il permet de prendre en compte le contexte social de même que les caractéristiques individuelles des producteurs. Une autre justification de l'utilisation d'un modèle mixte est que dans nos données, certains villages ont bénéficié d'un projet de diffusion de variétés améliorées de mil et/ou sorgho alors que d'autres non ; la probabilité d'adopter les semences certifiées n'est donc pas la même pour tous les villages, d'où la nécessité de rendre certains coefficients aléatoires. En dehors des projets de diffusion, les réponses des producteurs d'un même village peuvent être interdépendantes car il se pourrait qu'ils partagent des caractéristiques non observables, des traditions communes et le même accès à certains services. Les habitants d'un village peuvent aussi subir les mêmes chocs.

2.3.1. Présentation du modèle

L'analyse des facteurs d'adoption est caractérisée par la rationalité du producteur i, habitant le village j, avec une fonction d'utilité ou gain net à l'adoption notée U_{ij}. Cette dernière est une variable latente non observable définie par :

$$U_{ij} = X_{ij}\beta + \varepsilon_{ij,} \qquad (2.16)$$

X_{ij} est un vecteur de caractéristiques individuelles pour l'individu i habitant le village j, β le vecteur de coefficients associés et ε_{ij} les termes d'erreur.

Ce qui est observé dans les données est plutôt la variable binaire D d'adoption satisfaisant les conditions suivantes :

$$\begin{cases} D_{ij} = 1 \; si \; U_{ij} > 0 \\ D_{ij} = 0 \; sinon \end{cases} \qquad (2.17)$$

D_{ij} est la variable dichotomique d'adoption du producteur i, habitant le village j.

Ainsi, la probabilité d'adopter les semences certifiées s'écrit :

$$P(D_{ij} = 1) = P(U_{ij} > 0) = P(X_{ij}\beta + \varepsilon_{ij} > 0)$$
$$= P(\varepsilon_{ij} > -X_{ij}\beta) = F(-X_{ij}\beta) \qquad (2.18)$$

F est la fonction de répartition de la variable aléatoire ε_{ij} qui suit la loi logistique avec moyenne 0 et variance $\frac{\pi^2}{3}$.

Le caractère discret de la variable dépendante implique l'utilisation du HGLM au lieu du modèle HLM adapté aux variables dépendantes continues. Le modèle peut être formulé à deux niveaux (structure utilisée par le logiciel HLM) ou sous forme réduite (Stata, SAS).

— Formulation à deux niveaux (HGLM)

– Niveau 1 du modèle

Dans le cas d'une variable dépendante binaire, le choix fait dans le modèle multiniveaux est que la probabilité d'observer l'évènement ou la fonction de répartition F a une forme logistique. Ainsi, $F(-X_{ij}\beta) = P_{ij} = \frac{1}{1+\exp(-X_{ij}\beta)}$ (2.19)

Ensuite, le logarithme de la côte de l'évènement adoption (odds) pour l'individi i dans le village j, qui s'écrit $\eta_{ij} = \log\left(\frac{P_{ij}}{1-P_{ij}}\right)$ est la variable qui sera estimée au niveau 1 du modèle. P_{ij} étant égale à la probabilité d'adoption du producteur i, habitant le village j. L'odds peut être vu comme le nombre relatif de réussites (adoption) par rapport au nombre d'échecs (non adoption).

η_{ij} est une combinaison linéaire de variables explicatives caractérisant le producteur.

$$\eta_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}x_{1ij} + \beta_{2j}x_{2ij} + \cdots + \beta_{Sj}x_{Sij} \quad (2.20)$$

Les x_{sij} sont les variables explicatives, β_{0j} et les β_{sj} ($s > 0$), dont la somme est égale au nombre de variables explicatives S, sont les paramètres à estimer. En réécrivant l'équation (2.19), la probalité d'adopter une semence certifiée de mil ou de sorgho s'obtient selon la formule :

$$P_{ij} = \frac{1}{1+\exp(-\eta_{ij})} \quad (2.21)$$

Le principal avantage du modèle logit est qu'il permet d'interpréter les coefficients estimés en termes de *rapport des cotes* ou *odds ratio*. Pour chaque variable dépendante x_{sij}, l'odds ratio (OR) pour une variation de x_{sij}, toutes choses égales par ailleurs, est défini par : $OR_{ij} = e^{\beta_{sj}}$

L'OR est une alternative aux coefficients du modèle logit qui ne sont pas interprétables. Pour une variable dépendante binaire X, l'odds-ratio est le rapport des cotes de l'évènement

adoption quand X=1 et quand X=0. Pour une variable continue, l'odds ratio est le rapport des cotes de l'évènement adoption quand elle augmente d'une unité.

Maintenant, nous posons l'hypothèse que la constante β_{0j} est aléatoire. En d'autres termes, sa valeur varie en fonction des villages. Les réponses des habitants d'un même village ne sont plus indépendantes, conditionnellement aux variables incluses dans l'équation (2.20).

– *Niveau 2 du modèle*

Le niveau 2 du modèle permet d'expliquer certains coefficients de l'équation (2.20) en fonction des caractéristiques du village. Dans notre cas, seule la constante est aléatoire, le niveau 2 s'écrit donc :

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_1\omega_{1j} + \gamma_2\omega_{2j} + \cdots + \gamma_n\omega_{nj} + \mu_{0j} \qquad (2.22)$$

$$\beta_{sj} = \beta_s \qquad (s=1,\ldots,S) \qquad (2.23)$$

ω_{1j} à ω_{nj} sont les variables de niveau village, γ_1 à γ_n sont les coefficients associés et γ_{00} est l'ordonnée à l'origine. Les μ_{0j} sont les effets aléatoires, ils suivent une loi normale de moyenne 0 et de variance φ. Ils sont indépendants et identiquement distribués dans les villages j, ils sont aussi indépendants des variables X_s.

— Forme réduite

La forme réduite du modèle s'obtient en remplaçant les coefficients de l'équation (2.20) par leurs valeurs dans les équations (2.22) et (2.23), elle s'écrit donc:

$$\eta_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_1\omega_{1j} + \gamma_2\omega_{2j} + \cdots + \gamma_n\omega_{nj} + \beta_1x_{1ij} + \beta_2x_{2ij} + \cdots + \beta_Sx_{Sij} + \mu_{0j} \qquad (2.24)$$

γ_{00}, les γ_S et les β_S sont les effets fixes du modèle. Les effets aléatoires (μ_{0j}) modélisent la dépendance des décisions des habitants d'un même village et estiment le degré de cette dépendance au lieu de la traiter comme un simple bruit. Le coefficient aléatoire peut être vu comme l'effet de l'omission de variables qui font que certains villages ont tendance à avoir un taux d'adoption moyen plus élevé que les autres. Cette hétérogénéité non observée est prise en compte en ajoutant simplement un coefficient aléatoire (en l'occurrence l'ordonnée à l'origine) au modèle.

En utilisant la formulation de la variable latente, le modèle peut également s'écrire :

$$U_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_1\omega_{1j} + \gamma_2\omega_{2j} + \cdots + \gamma_n\omega_{nj} + \beta_1x_{1ij} + \beta_2x_{2ij} + \cdots + \beta_Sx_{Sij} + \theta_{ij} \qquad (2.25)$$

Avec $\theta_{ij} = \mu_{0j} + \varepsilon_{ij}$, θ_{ij} a pour moyenne 0 et variance $\varphi + \frac{\pi^2}{3}$

Les conditions précédentes d'adoption précédentes s'appliquent, c'est-à-dire :

$$\begin{cases} D_{ij} = 1 \; si \; U_{ij} > 0 \\ D_{ij} = 0 \; sinon \end{cases}$$

2.3.2. Spécification empirique

La forme réduite du modèle, l'équation (2.24), sera estimée par une méthode d'approximation du maximum de vraisemblance. La variable dichotomique de l'adoption, $D_{ij}|\pi_{ij}$ suit une loi Bernoulli (π_{ij}) avec

$$\pi_{ij} = \Pr(D_{ij} = 1|x_{ij}, \mu_{0j}) \qquad (2.25)$$

Les variables explicatives sélectionnées à chaque niveau pour identifier les facteurs déterminant l'adoption des semences certfiées de mil et sorgho sont présentées dans le tableau 2-1. La variable dépendante binaire est si oui ou non le producteur a utilisé une semence certifiée de mil et /ou de sorgho en 2012 et 2013. Elle est égale à 1 pour les producteurs suivants :

— ceux qui ont semé des semences certifiées de mil en 2012 et 2013 ;

— ceux qui ont semé des semences certifiées de sorgho en 2012 et 2013 ;

— ceux qui ont semé des semences certifiées de mil et de sorgho en 2012 et 2013.

Ce choix se justifie par la volonté de ne pas scinder la base de données en producteurs de mil et de sorgho à ce stade de l'analyse afin de disposer d'un plus grand nombre de villages pour l'application du modèle hiérarchique. Nous supposons aussi que les facteurs qui déterminent l'adoption des semences certifiées de mil sont en général les mêmes que ceux qui déterminent l'adoption des semences certifiées de sorgho.

Tableau 2-1: Variables du modèle hiérarchique

Variables discrètes	
Nom	**Description**
certif	Utilisation de semences certifiées de mil et/ou sorgho en 2012 et 2013
usage_engrais	Utilisation d'engrais chimiques
cont_ong	Contact avec une ONG
sexe	Sexe

formation1	Formation arabe
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire
f_agricole	Formation/stage agricole
obtention_credit	Obtention d'un crédit en 2013
cont_vulg	Contact avec la vulgarisation
cont_op	Contact avec une Organisation Paysanne
v_agent	Visite d'un agent d'encadrement dans le village
v_benef	Village bénéficiaire d'un projet de diffusion
Variables continues	
Nom	**Description**
Age	Age du producteur
sup_cer	Superficie emblavée en céréales
mo_fam	Taille de la main-d'œuvre familiale
nbr_mat	Nombre de matériels agricoles possédés
supmilsorg_v	Superficie totale emblavée en mil et sorgho dans le village
Interactions	
Nom	**Description**
int1	Formation/stage agricole*Obtention d'un crédit en 2013
int2	Formation/stage agricole*Visite agent encadrement dans le village

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

2.4. Modélisation de l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho

La revue de littérature a montré la diversité des méthodes d'évaluation d'impact des technologies agricoles. La méthode expérimentale ou randomisation est le meilleur dispositif, mais comme cela n'est pas possible ici, nous avons recours à des données non expérimentales pour évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire.

La méthode de collecte des données qui a consisté à avoir dans l'échantillon des villages bénéficiaires et non bénéficiaires de la diffusion de ces technologies, assez similaires, a permis d'avoir un groupe contrôle, qui a les même caractéristiques d'avant traitement que le groupe de traitement. Dans un premier temps, considérant que la sélection se fait sur des variables observables, la méthode d'appariement par les scores de propension sera utilisée pour évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements des producteurs et la sécurité alimentaire. Toutefois, comme souligné dans la revue de littérature, la sélection peut aussi se faire sur des variables non observables. Ainsi, dans un second temps, nous allons utiliser le modèle à changement de régime, qui prend en compte la sélection sur les variables non observables, pour évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées.

2.4.1. Le modèle d'appariement par les scores de propension (PSM)

La méthode d'appariement a pour objectif de trouver pour chaque individu traité, un ou plusieurs individus non traités auxquels ses résultats seront comparés. Elle a eu comme pionnier Rubin (1973) puis a été conceptualisée par Rosenbaum et Rubin (1983, 1984, 1985). Notre présentation du modèle est fondée sur les travaux de Rosenbaum et Rubin (1983, 1984, 1985) et Savadogo (2016).

En guise de rappel, dans une situation expérimentale, on a la condition d'indépendance suivante :

$Y_{i1,}\, Y_{i0} \perp D_i$

Cette indépendance justifie l'utilisation du résultat moyen du groupe non traité comme contrefactuel. Toutefois, si l'affectation au traitement n'est pas aléatoire, comme dans le cas de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho, cette condition d'indépendance ne tient plus.

En voulant utiliser le PSM, nous supposons que le fait d'adopter les semences certifiées est lié à un ensemble de variables explicatives observables X. L'appariement exploite l'idée que l'adoption, corrigée de l'effet de X, peut devenir aléatoire. Cela donne l'Hypothèse d'Indépendance Conditionnelle (HIC) définie comme suit :

$Y_{i1,}Y_{i0} \perp D_i \mid X_i$

Sous l'hypothèse d'indépendance conditionnelle, on a :

$$E(Y_{i1}, X_i) = E(Y_{i1} \mid D_i = 1, X_i) = E(Y_{i1} \mid D_i = 0, X_i) \quad (2.26)$$

$$E(Y_{i0}, X_i) = E(Y_{i0} \mid D_i = 0, X_i) = E(Y_{i0} \mid D_i = 1, X_i) \quad (2.27)$$

Ainsi, pour tout X, l'estimateur de l'appariement est défini par :

$$\alpha_{APX} = E(Y_{i1} \mid D_i = 1, X_i) - E(Y_{i0} \mid D_i = 0, X_i) \quad (2.28)$$

Heckman et al. (1998), jugeant que l'ETT est plus pertinent que l'ETM comme mesure de l'impact, ont montré que HIC pouvait être moins restrictive pour trouver l'ETT. En effet, en se servant de HIC, on a :

$$\begin{aligned}\alpha_{APX} &= E(Y_{i1} \mid D_i = 1, X_i) - E(Y_{i0} \mid D_i = 0, X_i) \\ &= E(Y_{i1} \mid D_i = 1, X_i) - E(Y_{i0} \mid D_i = 1, X_i) \\ &= \alpha_{ETTX}\end{aligned}$$

Donc, pour avoir l'ETT sachant X, il suffit seulement que soit vérifiée l'hypothèse d'indépendance conditionnelle pour les non traités, c'est-à-dire $Y_{i0} \perp D_i \mid X_i$.

Pour obtenir une estimation inconditionnelle de l'impact, on doit supposer que

$$0 < Prob(D_i = 1 \mid X_i) < 1, \forall X_i \quad (2.29)$$

Sous l'hypothèse d'indépendance conditionnelle, l'estimation conditionnelle α_{APX} existe pour toute valeur de X de sorte qu'il est possible de prendre son espérance sur la distribution de X pour avoir l'impact inconditionnel comme suit :

$$\alpha_{AP} = E_{X \mid D_i=1}[E(Y_{i1} \mid D_i = 1, X_i) - E(Y_{i0} \mid D_i = 0, X_i)] = \alpha_{ETT} \quad (2.30)$$

Construction du groupe contrôle de l'appariement

Le principe de l'appariement est que chaque individu traité soit apparié à un individu non traité qui ait les mêmes caractéristiques X. Si X contient un seul élément (eg. le lieu de résidence), cela peut être faisable. Toutefois, si X est multidimensionnel, comme c'est souvent le cas, il sera quasi-impossible de trouver pour chaque traité un apparié parmi les non traités. Il est nécessaire d'avoir une autre procédure.

Pour ce faire, on construit un score b(X), appelé score d'équilibrage (Rosenbaum & Rubin, 1983, 1984). b(X) est un scalaire qui permet de ramener le problème multidimensionnel à une dimension. Étant donné ce scalaire, nous avons :

Proposition 1 : $Y_{i1,}Y_{i0} \perp D_i \mid X_i \rightarrow Y_{i1,}Y_{i0} \perp D_i \mid b(X_i)$

Selon la Proposition 1, si le fait de bénéficier du traitement est aléatoire étant donné X, il l'est aussi étant donné b(X).

Le score d'équilibrage doit être une fonction de X. Une mesure communément utilisée est la probabilité de bénéficier du traitement, appelée score de propension, mesurée en utilisant les valeurs pré-traitement de X. Le score de propension est défini par :

$$p(X_i) \equiv Prob\big(D_i = 1 \mid X_{i)}\big) = E(D_i \mid X_i) \qquad (2.31)$$

Les scores de propension peuvent être estimés par un modèle logit ou probit.

Si $Y_{i0} \perp D_i \mid p(X_i)$, nous avons :

$$E[Y_{i0} \mid D_i = 0, p(X_i)] = E[Y_{i0} \mid D_i = 1, p(X_i)] = E[(Y_{i0}, p(X_i))] \qquad (2.32)$$

L'équation (2.31) est la relation d'identification. Étant donné p(X), l'estimateur de l'appariement par les scores de propension est :

$$\begin{aligned}\alpha_{APSP \mid p(X)} &= E[Y_{i1} \mid D_i = 1, p(X_i)] - E[Y_{i0} \mid D_i = 0, p(X_i)] \\ &= E[Y_{i1} \mid D_i = 1, p(X_i)] - E[Y_{i0} \mid D_i = 1, p(X_i)] \\ &= \alpha_{ETT, p(X)}\end{aligned}$$

Sous la condition $0 < Prob(D_i = 1 \mid X_i) < 1$, l'espérance de l'estimateur conditionnel sur la distribution de p(Xi) donne l'estimateur non conditionnel de l'effet moyen sur les traités par la méthode de l'appariement par les scores de propension :

$$\alpha_{APSP} = E_{p(X_i) \mid D_i = 1}\big[E[Y_{i1} \mid D_i = 1, p(X_i)] - E[Y_{i0} \mid D_i = 1, p(X_i)]\big] = \alpha_{ETT} \qquad (2.33)$$

2.4.2 Le modèle à changement de régime (ESR)

Le problème d'endogénéité dans l'adoption des technologies résulte du fait que l'adoption est soit volontaire (autosélection) soit certaines technologies sont destinées à des groupes bien ciblés (Alene et Manyong, 2007). Les producteurs choisissent d'adopter les technologies en tenant compte du bénéfice qu'ils pourront en tirer, représenté ici par les rendements et la sécurité alimentaire du ménage. Au-delà des facteurs observables, des variables non observables comme les aptitudes des producteurs, les itinéraires techniques, les asymétries d'informations, les coûts de transaction etc., peuvent déterminer à la fois l'adoption et avoir un impact sur les rendements. L'omission de ces facteurs non observables, corrélés à l'adoption et le résultat, crée une relation entre les résidus de la régression et la variable adoption. Cela justifie le choix d'utiliser le modèle à changement de régime, développé par Lee (1978) qui a généralisé le modèle de correction de Heckman. Il prend en compte la

sélection sur les non observables afin de mesurer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho.

En gardant les notations précédentes, le modèle entier s'écrit :

$$Y_i = \beta_0 + \alpha D_i + X\gamma + E_i\delta + \varepsilon_i \quad (2.34)$$

E_i est le vecteur de facteurs inobservés et δ les paramètres associés. Les variables dans E_i affectent à la fois D_i et Y_i. Étant donné que E_i n'est pas observable, le modèle spécifié s'écrit :

$$Y_i = \beta_0 + \alpha D_i + X\gamma + \varepsilon_i \quad (2.35)$$

L'exclusion de E_i entraîne une corrélation entre D_i et ε_i, c'est-à-dire une endogénéité de D_i que le modèle à changement de régime cherchera à corriger.

Le modèle comprend deux étapes :

1. Un modèle probit pour identifier les déterminants de l'adoption des semences certifiées ;
2. Deux fonctions de rendements ou de dépenses alimentaires, une pour les adoptants, une pour les non adoptants.

Les bénéfices de l'adoption peuvent être représentés, pour chaque individu i, par la variable latente D_i^*. Cette dernière n'est pas observée mais elle peut s'exprimer en fonction d'un vecteur de variables observables Z déterminant l'adoption D_i. Ainsi,

$$\begin{cases} {D_i}^* = \alpha Z_i + \varepsilon_i \\ D_i = 1 \text{ si } {D_i}^* > 0 \\ D_i = 0 \text{ sinon} \end{cases} \quad (2.36)$$

Le vecteur Z comprend les variables du modèle probit potentiellement liées à l'adoption tels que la superficie cultivée, le capital humain, l'accès au crédit et d'autres variables socio-économiques caractérisant le producteur et l'exploitation. Le terme d'erreur ε, avec moyenne 0 et variance σ_ε^2, représente les erreurs de mesure et les variables connues par le producteur mais non observées par le chercheur (Abdulai et Huffman, 2014).

Les variables d'intérêt sont spécifiées pour les adoptants et les non adoptants. Les équations des rendements vont être présentées ici mais la procédure demeure la même pour la sécurité alimentaire. En notant Y_{i1} le rendement des adoptants, Y_{i0} le rendement des non adoptants et X le vecteur de variables déterminant les rendements, les équations s'écrivent pour chaque producteur i,

$$\begin{cases} Y_{i1} = X\beta_1 + u_{i1} \text{ si } D_i = 1 \\ Y_{i0} = X\beta_0 + u_{i0} \text{ si } D_i = 0 \end{cases} \quad (2.37)$$

X est le vecteur comprenant les facteurs de production, les caractéristiques du producteur et celles de l'exploitation. β_1 et β_0 sont les paramètres à estimer, u_{i0} et u_{i1} sont indépendants et identiquement distribués. Comme souligné précédemment, le producteur adopte les semences certifiées si le gain net est positif, c'est-à-dire si $Y_{i1}>Y_{i0}$. Le biais de sélection dans l'adoption est modélisé par une relation entre l'équation de choix d'adoption (la variable latente) et les équations de rendements. Cette relation est exprimée par $corr\,(\varepsilon, u) = \rho$. Les termes d'erreur ε,u_1 et u_0 ont une distribution normale trivariée avec comme vecteur de moyennes 0 et une matrice de variance-covariance notée par :

$$\Omega = \begin{bmatrix} \sigma_\varepsilon^2 & \sigma_{\varepsilon u_1} & \sigma_{\varepsilon u_0} \\ \sigma_{\varepsilon u_1} & \sigma_{u_1}^2 & \sigma_{u_1 u_0} \\ \sigma_{\varepsilon u_0} & \sigma_{u_1 u_0} & \sigma_{u_0}^2 \end{bmatrix}$$

Avec $var\,(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$, $var\,(u_1) = \sigma_{u_1}^2$, $var\,(u_0) = \sigma_{u_0}^2$, $cov(\varepsilon, u_1) = \sigma_{\varepsilon u_1}$, $cov(\varepsilon, u_0) = \sigma_{\varepsilon u_0}$, $cov(\,u_1, u_0) = \sigma_{u_1 u_0}$. Par convention, il est généralement posé que $\sigma_\varepsilon^2 = 1$, comme α est estimable à un scalaire près (Lokshin et Sajaia, 2004 ; Alene et Manyong, 2005).

Sous ces conditions, la valeur espérée des erreurs conditionnelles est définie par :

$$E(u_1|D = 1) = E(u_1|\varepsilon > -\alpha Z)$$

$$= \sigma_{\varepsilon u_1} \frac{\varphi(\alpha Z/\sigma_\varepsilon)}{\Phi(\alpha Z/\sigma_\varepsilon)} \equiv \sigma_{\varepsilon u_1}\lambda_1 \quad (2.38)$$

et

$$E(u_0|D = 0) = E(u_0|\varepsilon \leq -\alpha Z)$$

$$= \sigma_{\varepsilon u_0} \frac{\varphi(\alpha Z/\sigma_\varepsilon)}{1-\Phi(\alpha Z/\sigma_\varepsilon)} \equiv \sigma_{\varepsilon u_0}\lambda_0 \quad (2.39)$$

φ et Φ sont respectivement la densité et la fonction de répartition de la loi normale standard. λ_1 et λ_0 sont les termes de sélection ou inverses de ratios de Mills. Heckman (1976) les a traités comme variables manquantes dans l'équation (2.37). Ainsi, ils seront inclus dans les équations des rendements pour éliminer le biais de sélection dans l'adoption des semences certifiées.

Formulation à estimer

Wooldridge (2002) a donné une formulation simplifiée du modèle à changement de régime, appelé régression linéaire avec traitement endogène. Partant de l'équation (2.37), il est possible de réécrire les rendements sous la forme :

$$Y_i = D_i Y_{i1} + (1 - D_i) Y_{i0} = (\beta_1 - \beta_0) D_i x_i + (u_{i1} - u_{i0}) D_i + x_i \beta_0 + u_{i0} \qquad (2.40)$$

Wooldridge (2002), pose l'hypothèse suivante de l'indépendance conditionnelle :

Hypothèse IC : $E(Y_0|x, D) = E(Y_0|x)$ et $E(Y_1|x, D) = E(Y_1|x)$

Sous l'hypothèse IC et en factorisant l'équation (2.40), la proposition suivante est établie :

Proposition 2 : $E(Y_i|D_i, x_i) = x_i\beta_0 + \delta D_i + g_0(x_i) + D_i[g_1(x_i) - g_0(x_i)]$ (2.41)

$\delta = ETM$; $g_0(x_i) = E(u_{i0}|x_i)$; et $g_1(x_i) = E(u_{i1}|x_i)$. L'ETM est généralement différent de l'ETT du fait de l'interaction entre la variable de traitement et certaines variables. Pour l'estimation, une autre simplification est apportée en posant,

$v_i = g_0(x_i) + D_i[g_1(x_i) - g_0(x_i)]$ comme terme d'erreur. Il est clair que v_i dépend de x_i, d'où l'endogénéité du traitement.

Finalement, les termes d'erreur ε_i et v_i ont une distribution normale bivariée avec comme vecteur de moyennes 0 et une matrice de variance-covariance notée par :

$$\Omega = \begin{bmatrix} \sigma^2 & \rho\sigma \\ \rho\sigma & 1 \end{bmatrix}$$

Avec $var\ (v) = \sigma^2$, $var\ (\varepsilon) = 1$, $cov(u, \varepsilon) = \rho\sigma$.

Le logarithme de la vraisemblance pour chaque observation i s'écrit :

$$\ln L_i = \begin{cases} \ln \Phi\left\{\frac{\alpha Z + (y_i - x_i\beta_0 - \delta)\rho/\sigma}{\sqrt{1-\rho^2}}\right\} - \frac{1}{2}\left(\frac{y_i - x_i\beta_0 - \delta}{\sigma}\right)^2 - \ln\sqrt{2\pi\sigma} & D_i = 1 \\ \ln \Phi\left\{\frac{-\alpha Z + (y_i - x_i\beta_0)\rho/\sigma}{\sqrt{1-\rho^2}}\right\} - \frac{1}{2}\left(\frac{y_i - x_i\beta_0}{\sigma}\right)^2 - \ln\sqrt{2\pi\sigma} & D_i = 0 \end{cases} \qquad (2.42)$$

Pour s'assurer que le coefficient de corrélation ρ est compris entre -1 et 1 ; il n'est pas directement estimé dans la méthode du maximum de vraisemblance mais c'est plutôt $\ln(\rho)$ et $\text{atanh}(\rho)$ qui sont estimés avec $\text{atanh}(\rho) = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{1+\rho}{1-\rho}\right)$.

Le PSM et le modèle à changement de régime sont les deux méthodes qui vont nous permettre d'évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées.

2.5. Les données utilisées

Les données utilisées dans cette thèse proviennent de plusieurs enquêtes, effectuées grâce à l'appui financier et matériel de l'ISRA/BAME. D'abord, nous avons mené en 2014 une enquête auprès d'un échantillon de producteurs du bassin arachidier, précisément dans les départements de Koungheul, Mbour, Thiès et Tivaouane. Le premier appartient à la région de Kaffrine, qui se situe dans le sud bassin arachidier ; les trois autres appartiennent à la région de Thiès, qui se situe dans le centre-nord bassin arachidier. Ensuite, nous avons mené des enquêtes qualitatives auprès des chefs de village pour collecter des données communautaires. Cette enquête communautaire avait pour objectif de disposer d'informations sur l'environnement économique et social dans lequel évoluent les producteurs interrogés. Enfin, nous avons eu des entretiens avec les principaux acteurs de la filière pour analyser son organisation.

2.5.1. Présentation de la zone d'étude

2.5.1.1. Sud Bassin Arachidier (SBA)

Le Sud du bassin arachidier correspond aux trois régions administratives de Fatick, Kaolack et Kaffrine. La zone se caractérise par une forte pression foncière, une dégradation des sols, et une baisse du niveau de pluviométrie (variant entre 600 et 800 mm). Toutefois la zone SBA est l'une des premières régions agricoles du Sénégal.

La région de Kaffrine compte 84,8% d'agriculteurs (RGPHAE, 2013). C'est la première région agricole du Sénégal en termes de superficies emblavées (19,6 % du total en 2015). Dans le SBA, l'arachide et le mil sont de loin les cultures dominantes avec 90% des superficies emblavées contribuant pour plus de 50% à la production nationale (Fall et Lô, 2009). Au mil s'ajoutent le maïs, le sorgho, le coton et le niébé. Les productions horticoles commencent à se développer dans la zone grâce à des potentialités non négligeables comme l'intervention du Projet d'Appui aux Filières Agricoles (PAFA).

Les productions animales sont importantes et l'élevage est de type transhumant ou sédentaire, auquel cas il est intégré à l'agriculture. Les surfaces en ressources forestières sont soumises à de fortes pressions du fait notamment de l'action conjuguée des systèmes de culture, d'élevage et de la surexploitation à des fins commerciales.

2.5.1.2. Centre Nord Bassin Arachidier (CNBA)

La zone CNBA couvre les régions administratives de Diourbel, de Thiès et le département de Kébémer dans la région de Louga. Elle s'étend sur plus de 7,4% du territoire national (14 783 km²). La pression anthropique et l'évolution climatique ont contribué à une dégradation accélérée des écosystèmes et induit des changements profonds dans les systèmes d'exploitation.

De nos jours, cette zone est celle des systèmes de production agro-pastoraux sahéliens à agriculture sèche et/ou élevage traditionnel et parfois même au pastoralisme strict. Comme le Sud Bassin Arachidier, le CNBA est aussi caractérisé par une baisse de la fertilité des sols. La région de Thiès, moins agricole que celle de Kaffrine, compte 51,9% d'agriculteurs (RGPHAE, 2013). De type pluvial, les productions végétales sont marquées par la prédominance de deux cultures qui sont le mil et l'arachide. Les autres cultures telles que le niébé et le sorgho viennent en troisième et quatrième position alors que les cultures maraîchères et fruitières se font principalement dans la région de Thiès.

2.5.2. Méthodologie des enquêtes

Deux enquêtes ont été conduites : une enquête auprès des producteurs et une enquête communautaire. L'enquête-producteurs consistait à administrer un questionnaire aux producteurs de céréales, habitant les villages sélectionnés dans le bassin arachidier du Sénégal. Des informations ont été recueillies sur leurs caractéristiques sociodémographiques et celles de la production de mil et de sorgho durant la campagne agricole de l'année 2013. Les enquêtes communautaires avaient pour objectif principal de compléter les informations collectées lors de l'enquête-producteurs. Elles cherchaient à décrire l'environnement socio-économique dans lequel évoluent les producteurs des localités retenues dans l'échantillon final. Les cibles de ces enquêtes étaient les chefs de villages, les encadreurs techniciens agricoles et les producteurs membres et leaders d'organisations paysannes.

2.5.2.1. Le champ de l'enquête et les cibles

Au Sénégal, le bassin arachidier est la principale zone de production de mil et de sorgho. Ceci du fait de conditions climatiques favorables ; s'y ajoute une longue tradition de rotation de ces cultures avec l'arachide. Le champ de l'enquête se situe donc dans cette zone. Géographiquement, il s'agit des zones rurales appartement aux régions de Thiès et Kaffrine.

À côté de la définition du champ de l'enquête, il est aussi important de bien identifier la population cible, c'est-à-dire la population totale pour laquelle on a besoin de l'information ; c'est l'ensemble des éléments visés, en principe, par l'échantillonnage. Dans le cadre de cette enquête, la population cible est l'ensemble des producteurs céréaliers habitant quatre départements des régions de Thiès et Kaffrine, identifiés grâce à une base de sondage, c'est-à-dire une liste d'individus statistiques permettant d'avoir accès à la majorité de la population cible (Vaillant, 2010). Ces départements sont les suivants :

— Koungheul
— Mbour
— Thiès
— Tivaouane

Le choix de ces départements découle de la perspective de l'évaluation d'impact qui exige de disposer de producteurs ayant adopté les semences certifiées. Dans le cadre du Programme Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP), un projet de production de variétés améliorées de mil et de sorgho, de diffusion de pratiques culturales de mil et de sorgho, et de diffusion de variétés améliorées de sorgho est intervenu dans les régions de Thiès et de Kaffrine. Le programme de diffusion de variétés améliorées de mil et de sorgho a eu lieu dans huit communes rurales appartenant aux départements de Koungheul, Mbour, Tivaouane et Thiès. Au total, 159 producteurs ont bénéficié de ce programme. En même temps, 12 producteurs locaux ont été également sélectionnés pour produire des variétés améliorées de mil (Souna 3 et IBMV 8402). Ce projet a été clôturé en 2011. Tenant compte de toutes ces informations, la base de sondage comprend spécifiquement les producteurs et productrices de céréales, habitant les communes rurales d'intervention de ce projet du WAAPP.

2.5.2.2. Le calcul de la taille de l'échantillon des producteurs

Déterminer la taille de l'échantillon est un compromis entre diminuer les coûts et gagner de la précision. En effet, plus l'échantillon est grand, plus on gagne de la précision ; cependant, les coûts aussi augmentent en même temps. Dans cette enquête la taille de l'échantillon a été calculée en partant du principe qu'un des objectifs de l'enquête est d'estimer le taux d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans les communes rurales bénéficiaires du projet WAAPP. Elle est donc calculée selon la formule suivante :

$$n = \frac{p(1-p)}{d^2} t^2 \qquad (2.43)$$

p : proportion d'une variable donnée, ici elle prend la valeur du taux d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho comme il s'agit de l'indicateur d'intérêt principal de l'enquête.
t : valeur de l'indice de Student au seuil de significativité de 5%, il est donc égal à 1,96
d : marge d'erreur de l'estimation de l'indicateur principal

En général, p est obtenu d'anciennes études ou à partir des recensements. Cependant, dans le contexte de cette enquête, le taux d'adoption des semences certifiées n'est pas connu dans les zones ciblées. Dans ces situations, la solution est de fixer p au niveau de 0,5, valeur qui maximise la taille de l'échantillon. La marge d'erreur, d, évalue le degré d'incertitude associé aux estimations établies à partir d'un échantillon. Elle est liée à la notion de précision statistique (ou fiabilité d'échantillonnage) qui est définie comme une mesure de l'écart entre l'estimation obtenue à partir de l'échantillon et la vraie valeur du paramètre (Vaillant, 2010). Cet écart est attribuable à deux types d'erreur : l'erreur d'échantillonnage et l'erreur d'observation. Les valeurs acceptables de la marge d'erreur dans les enquêtes statistiques se situent dans l'intervalle [0,01 ; 0,05], plus elle est faible, plus la taille de l'échantillon est élevée. Dans notre enquête, d est fixé à 0,04 ou 4%.

Avec ces valeurs la taille de l'échantillon de l'enquête-producteur est :

$$n = \frac{0{,}5(1-0{,}05)}{(0{,}04)^2}(1{,}96)^2 \qquad (2.44)$$

En arrondissant vers la valeur supérieure, nous obtenons un échantillon de 601 producteurs.

2.5.2.3. Constitution de la base de sondage

La constitution de la base de sondage s'est faite en trois étapes. D'abord, les communes rurales et les villages d'intervention du projet WAAPP ont été obtenus auprès du coordonnateur du projet. Ensuite, l'ensemble des communes rurales et des villages des régions de Thiès et Kaffrine a été compilé. Cela a servi à ajouter aux villages bénéficiaires du projet, les villages non bénéficiaires. Il faut cependant noter que le fait d'être un village non bénéficiaire du programme ne signifie pas que les populations n'ont pas adopté les semences certifiées car la variété améliorée de mil souna 3 est bien connue par les producteurs du fait de sa longue présence en milieu paysan. Enfin, la liste des ménages ruraux n'étant pas disponible à distance, la base de sondage a été complétée sur place, dans les villages sélectionnés, avec les chefs de villages qui ont fourni la liste des producteurs de mil et/ou sorgho. Au total, la base de sondage est donc constituée des huit communes rurales des régions de Thiès et

Kaffrine ayant bénéficié du projet WAAPP, de l'ensemble des villages composant ces communes rurales et des producteurs de mil et/ou sorgho habitant les villages tirés.

2.5.2.4. Méthode de tirage de l'échantillon

La méthode de tirage de l'échantillon consiste à voir comment répartir les 601 producteurs aux villages bénéficiaires et non bénéficiaires du projet. Il a été convenu d'abord d'enquêter 30 producteurs par villages ; ce qui donne un total de 21 villages pour couvrir les 601 producteurs. Ces 21 villages ont été répartis comme suit : 10 villages bénéficiaires du projet et 11 villages non bénéficiaires. Ces villages appartiennent tous aux communes rurales dans lesquelles le projet a été diffusé. Cette méthodologie permet d'avoir des populations assez similaires en moyenne pour pouvoir comparer leurs résultats. Elle permet aussi de poser l'hypothèse que les populations connaissent l'existence des variétés améliorées de mil et de sorgho. Dans chaque catégorie, les villages auront une probabilité égale de faire partie de l'échantillon. Des villages de remplacement ont été également tirés.

Une visite de prospection dans les villages de l'échantillon a permis cependant de voir que dans certains d'entre eux, notamment dans la région de Thiès, il était impossible de trouver 30 producteurs de mil et/ou sorgho car ces spéculations ont été délaissées au profit des cultures maraîchères. En outre, un des villages a été complètement vidé de ses habitants qui ont émigré dans une ville sainte du pays. Cela a donc induit le tirage de villages supplémentaires parmi les villages de remplacement pour atteindre la taille de l'échantillon calculée selon la méthode des proportions. Au final, l'échantillon est composé de 22 villages, dont 11 villages bénéficiaires et 11 villages non bénéficiaires, et de 616 producteurs.

Procédure de sélection des producteurs

La sélection des producteurs de l'échantillon s'est faite selon une méthode probabiliste qui est la suivante :

1. Dans les communes rurales de diffusion des variétés améliorées, 11 villages bénéficiaires et 11 villages non bénéficiés ont été tirés au hasard ;
2. Dans chaque village, 30 producteurs ont été tirés au hasard à partir de la liste fournie par le chef de village. S'il n'y pas assez de producteurs (cas de deux villages), ceux qui figuraient sur la liste ont été tous sélectionnés pour faire partie de l'échantillon.

Après le tirage, l'échantillon se compose de 10 villages appartenant au département de Koungheul, 3 dans le département de Mbour, 3 dans le département de Thiès et 6 dans le département de Tivaouane. Les tableaux 2-2, 2-4 et 2-5 présentent leurs caractéristiques.

Tableau 2-2:Communes rurales ayant bénéficié de la diffusion de variétés améliorées de sorgho et de production de semences de mil et sorgho

Départements	**Communes rurales**
Koungheul	Ida Mouride
Koungheul	Fass Thiéckène
Koungheul	Saly Escale
Mbour	Malicounda
Mbour	Sindia
Tivaouane	Notto Gouye Diama
Tivaouane	Mont-Rolland
Tivaouane	Pambal
Thiès	Notto

Tableau 2-3:Villages bénéficiaires sélectionnés

Numéro d'ordre	**Département**	**Commune rurale**	**Villages**	**Taille échantillon**
1.	Koungheul	Ida Mouride	Darou Bambara	30
2.	Koungheul	Ida Mouride	Touba Ngouye	30
3.	Koungheul	Saly Escale	Sine Matar	30
4.	Koungheul	Fass Thiéckène	Médina Fass 1	30
5.	Koungheul	Ida Mouride	Ida Mouride	30
6.	Mbour	Malicounda	Keur Balla	30
7.	Mbour	Malicouna	Pointe Sarène	30
8.	Tivaouane	Pambal	Mbarakhlou Ogo	30
9.	Tivaouane	Notto Gouye Diama	Khaye Daga	6
10	Tivaouane	Mont-Rolland	Loukhouss	30
11.	Thiès	Notto	Tatène Bambara	30
Total				306

Tableau 2-4:Villages non bénéficiaires sélectionnés

Numéro d'ordre	**Département**	**Communes rurales**	**Villages**	**Taille échantillon**
1.	Koungheul	Saly Escale	Yamong	30
2.	Koungheul	Ida mouride	Pire pampy	30
3.	Koungheul	Ida mouride	Ngouye Siwakh	30
4.	Koungheul	Ida mouride	Darou Ouolof	30
5.	Koungheul	Missira	Ndrame Saly	30

6.	Mbour	Malicounda	Takhoum Sérère	30
7.	Thiès	Notto	Keur Madaro Niang	30
8.	Thiès	Notto	Keur Mamour Ngoundji	30
9.	Tivaouane	Mont-Rolland	Fouloune	10
10.	Tivaouane	Pambal	Mbaraglou Colobane	30
11	Tivaouane	Pambal	Pambal Amar	30
Total				310

Les villages de l'échantillon sont représentés dans la figure 2-1.

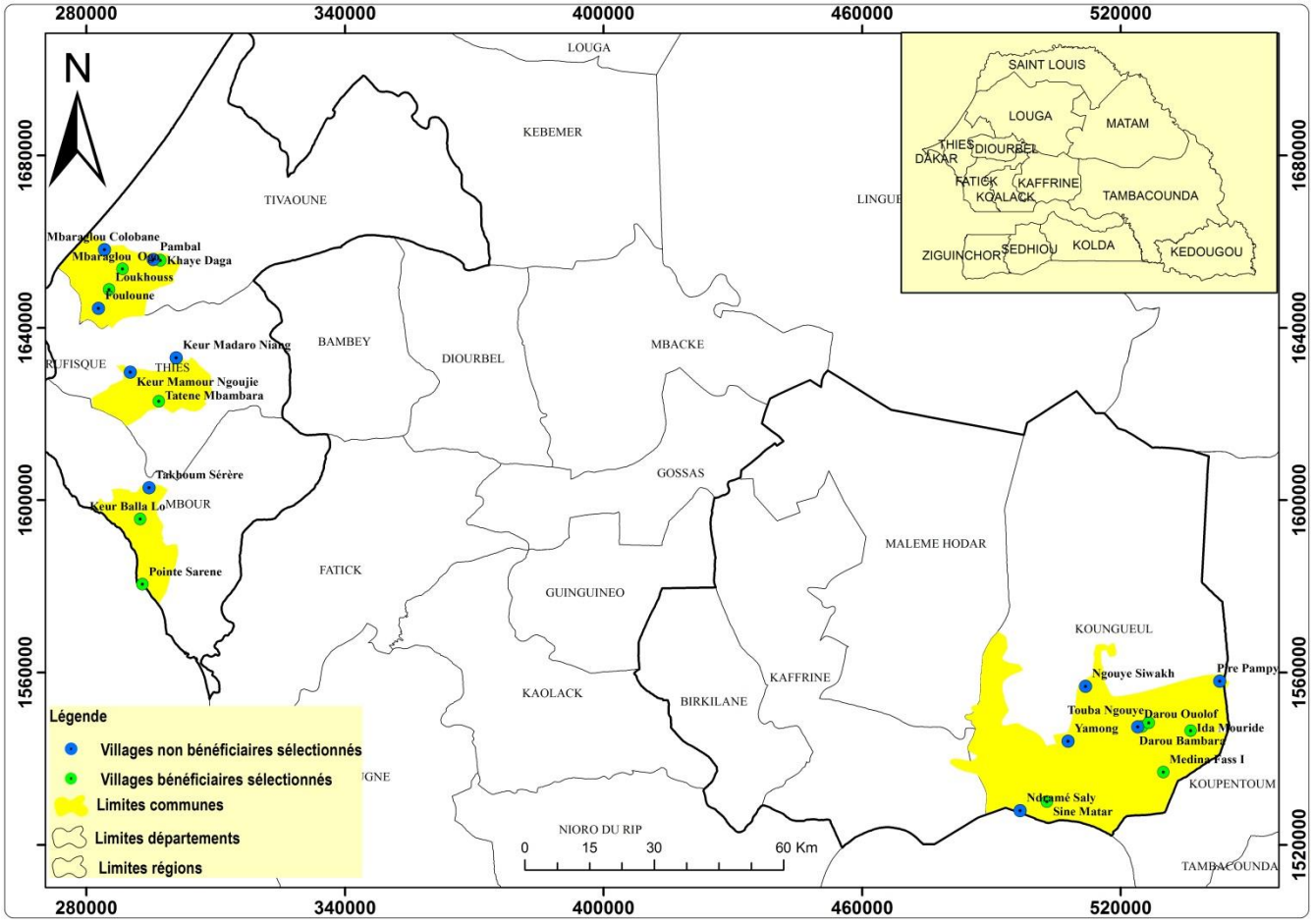

Figure 2-1: Villages enquêtés
Source : données ANSD, Dièye, ISRA/BAME, 2017

2.5.3. Collecte et traitement des données

Des visites de prospection ont été effectuées dans tous les villages de l'échantillon avant la collecte des données sur les producteurs. Elles ont eu lieu du 1er au 4 mai 2014 dans le département de Koungheul et du 20 au 23 mai 2014 dans la région de Thiès. Ces visites ont permis de compléter la base de sondage en demandant les noms de producteurs de mil et de sorgho aux chefs de village. Dans les cas où ces derniers n'avaient pas les informations

nécessaires, ils nous mettaient en contact avec des producteurs membres du Réseau des Organisations Paysannes et Pastorales du Sénégal (RESOPP) qui est l'organisation paysanne la plus présente dans la zone et à travers laquelle les projets de diffusion des variétés sont passés. En plus de compléter la base de sondage, ces visites ont été une occasion de faire les enquêtes communautaires auprès de ces personnes ressources. Elles ont permis d'apprécier l'étendue de la diffusion des variétés améliorées de mil et de sorgho et d'identifier les principales contraintes à l'adoption. Cette première phase terminée, la collecte des données au niveau des producteurs a pu commencer. Elle s'est déroulée du 3 au 18 mai 2014 dans le département de Koungheul et du 1er juillet au 1er aout 2014 dans la région de Thiès. Les données ont été saisies sur le logiciel CSPro et traitées sur Stata. Après apurement des données, la base finale est composée de 532 producteurs dont 76,3 % d'hommes et 23,7 % de femmes, répartis dans les 22 villages. Le mil est cultivé par 460 producteurs (86,4 % de l'échantillon) alors que ceux qui font du sorgho sont au nombre de 260 (49 % de l'échantillon). Les producteurs qui ont cultivé les deux spéculations en 2013 sont au nombre de 188, soit 35,3 % de l'échantillon.

Chapitre 3 : Les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et sorgho : une analyse multiniveaux.

L'identification des déterminants de l'adoption est devenue un centre d'intérêt pour beaucoup d'économistes. Parmi les principaux obstacles à l'adoption, figurent le faible accès au crédit, l'accès limité à l'information, l'aversion au risque, les perceptions des producteurs, la taille de l'exploitation ou encore le capital humain du chef d'exploitation et son appartenance à des réseaux (Feder, 1980 ; Conley et Udry, 2001 ; Mulubrhan et al., 2012, Lambrecht et al., 2014). Beaucoup de projets de développement ont cherché à lever ces contraintes et faciliter l'adoption des technologies par les producteurs agricoles, mais là encore les résultats restent mitigés car les taux d'adoption dans les pays en développement n'ont pas encore connu de bonds significatifs. Ainsi, les facteurs suggérés par la recherche empirique pourraient être spécifiques au contexte d'étude ; ce qui signifierait qu'il est nécessaire de les adapter à chaque fois au milieu concerné.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les résultats de l'identification des facteurs d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans les départements de Koungheul, Mbour, Thiès et Tivaouane. Sur un échantillon de 532 producteurs tirés de manière aléatoire, un modèle mixte a été utilisé. Le reste du chapitre se présente comme suit. D'abord l'état actuel de la recherche sur le mil et le sorgho sera présenté ; ensuite nous allons passer aux statistiques descriptives sur l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Cette partie sera suivie de la présentation et discussion des résultats. Enfin nous terminerons par une conclusion.

3.1. Les résultats de la recherche sur les variétés améliorées de mil et de sorgho au Sénégal

Le mil et le sorgho sont à la base de l'alimentation quotidienne des ruraux. Ils occupent aussi une place non négligeable dans celle des urbains avec l'essor du secteur de la transformation qui propose des produits variés. Dans la perspective d'assurer la sécurité alimentaire, l'augmentation des rendements de ces céréales est une étape incontournable. Le mil est la céréale dominante dans l'industrie de la transformation au Sénégal (BAME, 2014) et ce secteur a des exigences en matière de qualité qui ne peuvent être satisfaites que par l'utilisation des semences de variétés améliorées. En outre, dans le contexte de changement climatique qui entraîne des variations pluviométriques importantes et un raccourcissement de la durée de l'hivernage, il est nécessaire d'avoir des variétés à cycle précoce, non photopériodiques[9] pour résister aux chocs. A la lumière de ces enjeux et compte-tenu de la place qu'occupent les céréales dans l'alimentation de base des sénégalais, plusieurs technologies ont été générées par la recherche et proposées à la vulgarisation. Ces technologies peuvent être réparties en quatre catégories: les variétés améliorées, les pratiques culturales, la défense des cultures et les méthodes de stockage des récoltes (Faye, 1997 ; Fall et Lô, 2009).

Au Sénégal, la recherche agricole est essentiellement conduite par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) qui, concernant les semences, a l'exclusivité de produire les prébases. Les premiers travaux sur le mil ont débuté en 1931 et concernaient l'amélioration des mils traditionnels : le mil hâtif ou Souna, et le mil tardif ou Sanio. La sélection récurrente appliquée par Etasse (1965) sur trois populations locales de mil Souna à partir de 1961 a abouti successivement à la création de la variété synthétique Souna-2, en 1965, puis Souna-3, en 1969. Cette dernière a été vulgarisée dans la zone Centre-Sud et Est en 1972 (ISRA, 2005). Le mil étant victime d'attaques récurrentes de ravageurs, des technologies améliorées ont été vulgarisées pour la protection des cultures et les systèmes de culture. Concernant la recherche sur les variétés améliorées, elle s'est intensifiée dans la première phase du PPAAO/WAAPP durant laquelle trois nouvelles variétés de mil ont été obtenues et diffusées. Le tableau 3-1

[9] Le photopériodisme traduit l'influence de la durée du jour et de la nuit sur diverses réactions physiologiques. Une partie des variétés de sorgho et de mil sont dites photopériodiques parce que la durée de leur cycle semis-floraison change avec la date de semis. C'est généralement le cas des variétés traditionnelles.

présente les variétés de mil homologuées au Sénégal, c'est-à-dire pouvant faire l'objet d'une certification[10].

Tableau 3-1 : Variétés de mil homologuées au Sénégal

Variété	Date d'obtention	Date d'homologation	Zone de recommandation	Rendement potentiel en grain (t/ha)
Souna 3	1969	1969	Sud bassin arachidier	2,5-3,5
IBV 8001	1980	1987	Sud bassin arachidier	2,4 – 3,4
IBV 8004	1980	1987	Centre-nord bassin arachidier	1 –2,6
IBMV 8402	1984	-	Centre-nord bassin arachidier	2
ISMI 9507	1995	2010	Centre-nord bassin arachidier	2,5
Gawane	2006	2010	Centre-nord bassin arachidier	2,5
Thialack 2	2008	2010	Sud bassin arachidier	2 – 3

Source : République du Sénégal, Catalogue officiel des espèces et variétés cultivées au Sénégal, 2012.

S'agissant du sorgho, les travaux d'amélioration variétale ont été entrepris à partir de 1935 par l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières (IRAT). De 1960 à 1974, date de la création de l'ISRA, les études se sont poursuivies dans le cadre de la sélection d'écotypes et d'hybrides. Durant la première phase du projet PPAAO/WAAPP plusieurs variétés améliorées de sorgho ont été générées et vulgarisées. Le tableau 3-2 présente les variétés de sorgho homologuées au Sénégal.

Tableau 3-2: Variétés de sorgho homologuées au Sénégal

Variété	Date d'obtention	Date d'homologation	Zones de recommandation	Rendement potentiel en grain (t/ha)
CE 145-66	1980	1986	Nord bassin arachidier	2,9-5,4
CE 151-262	1980	1994	Nord bassin-arachidier	2-4,3
CE 180-33	1983	1994	Nord bassin arachidier	2,8-5
F2-20	1983	1994	Centre-nord, Sud bassin arachidier	3-5,3
Nguinthe	2009	2011	Centre-nord, Sud bassin arachidier	2-3

[10] La réglementation semencière de la CEDAO considère que toute variété homologuée dans un pays de la CEDEAO le devient automatiquement dans les autres pays de la communauté. Cependant, nous nous sommes basées sur le catalogue de 2012 qui prend en compte les variétés améliorées générées au Sénégal.

Faourou	2009	2011	Centre-nord, Sud bassin arachidier	2,5-3
Nganda	2009	2011	Centre-nord, Sud bassin arachidier	2-3
Darou	2009	2011	Centre-nord, Sud bassin arachidier	2,5-3

Source : République du Sénégal, Catalogue officiel des espèces et variétés cultivées au Sénégal, 2012.

3.2. Statistiques descriptives

Les semences certifiées de mil et de sorgho sont encore faiblement adoptées dans nos zones d'étude. Les figures 3-1 et 3-2 montrent les taux d'adoption. Pour rappel, l'adoption est ici définie comme le fait d'avoir utilisé des semences certifiées en 2012 et 2013.

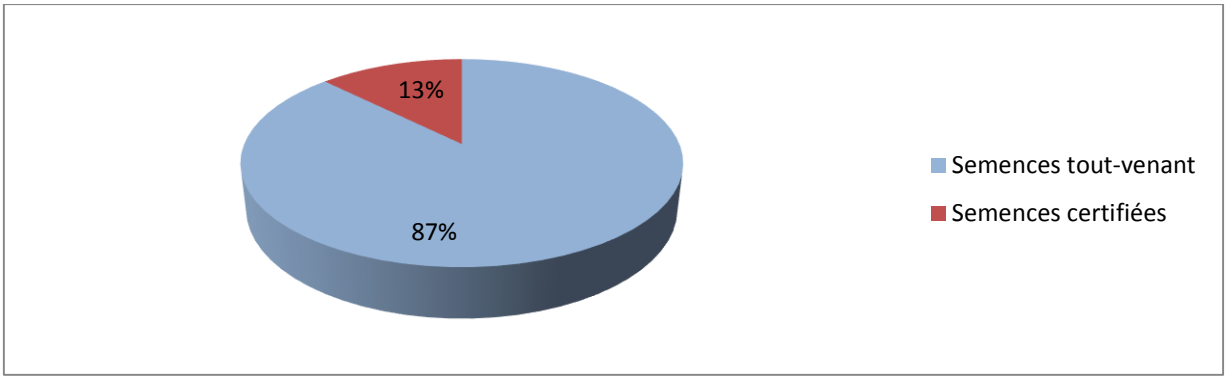

Figure 3-1: Taux d'adoption des semences certifiées de mil
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

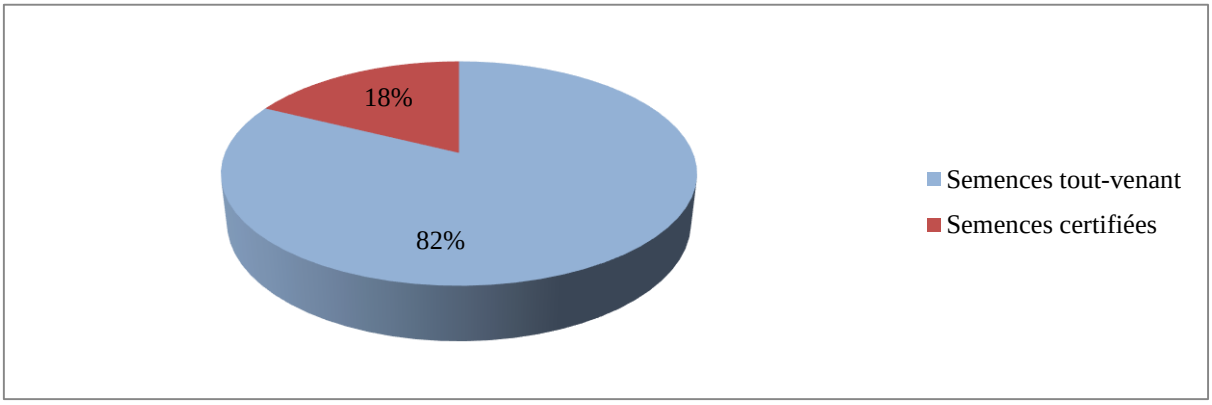

Figure 3-2: Taux d'adoption des semences certifiées de sorgho
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Le taux d'adoption est de 13% pour le mil et 18% pour le sorgho. Ces chiffres traduisent une faiblesse de l'utilisation des semences certifiées ; ce qui peut résulter de plusieurs facteurs allant du manque d'information aux faibles incitations à utiliser des semences certifiées pour des cultures vivrières. Toutefois, le nombre d'adoptants des variétés améliorées est plus élevé par rapport à celui des semences certifiées car certains producteurs qui en disposaient

s'approvisionnent dans leurs stocks personnels. Ainsi, le taux d'adoption des variétés améliorées (VA) dans l'échantillon est de 20% pour le mil et 27,7% pour le sorgho. La typologie des producteurs par rapport à la connaissance, l'essai et l'adoption de variétés améliorées de mil et de sorgho sont présentées dans les figures 3-3 et 3-4.

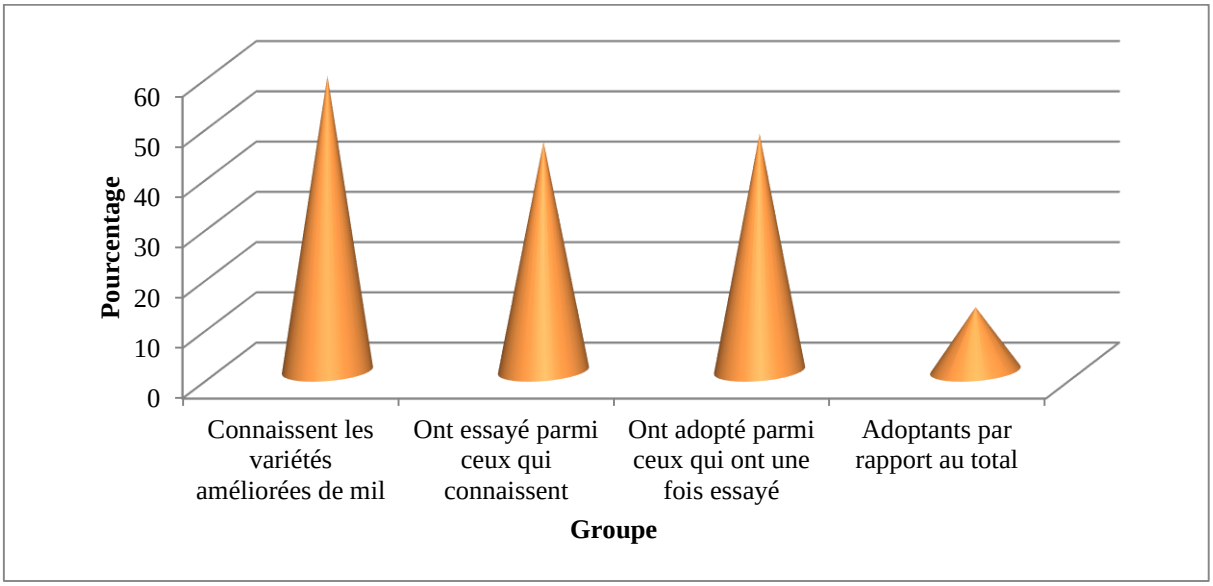

Figure 3-3: Typologie adoption chez les producteurs de mil.
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

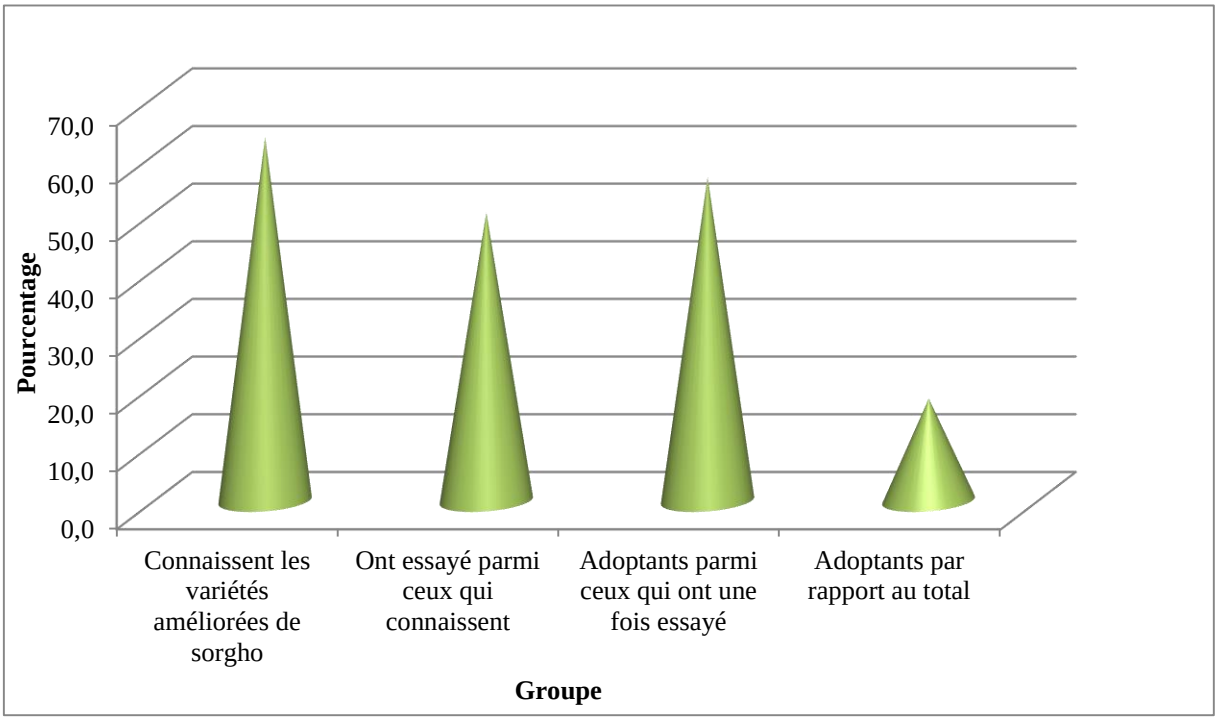

Figure 3-4: Typologie adoption chez les producteurs de sorgho
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Au regard des résultats d'enquête, 59% des producteurs de mil interrogés connaissent les variétés améliorées. Parmi les 59% qui connaissent les VA, 27% les ont essayées et 13% ont

adopté au moins une des variétés essayées (figure 3-3). Les adoptants des semences certifiées représentent 21 % de ceux qui connaissent les variétés améliorées et 47 % de ceux qui les ont déjà essayées. Les résultats montrent ainsi que la connaissance et l'essai des technologies sont des prérequis pour l'adoption. Toutefois le taux d'abandon reste élevé (53%), résultant du manque d'encadrement des paysans pour l'utilisation des variétés améliorées et de l'accès difficile aux variétés améliorées une fois que les projets de diffusion prennent fin. Il est ainsi nécessaire d'assurer la pérennité de l'offre pour que les producteurs puissent utiliser ces variétés dans la durée. Concernant le sorgho, les chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux du mil. Les producteurs qui connaissent les variétés améliorées représentent 63% du groupe, ceux qui les ont déjà essayées 31% et le taux d'adoption parmi ceux qui ont essayé est de 56%. Cependant, ces variétés améliorées ne sont pas forcément des semences certifiées.

La répartition par sexe montre que 7,5% des femmes utilisent des semences certifiées de mil contre 14% des hommes (tableau 3-3). Pour le sorgho, elles représentent une proportion de 8,6 % contre 19,6 % chez les hommes (tableau 3-4). Ces statistiques montrent que les femmes adoptent moins les semences certifiées de mil et de sorgho. Elles évoquent souvent l'absence d'informations sur l'existence des variétés améliorées comme principal obstacle à l'adoption. En outre, du fait de leur fonction de culture vivrière, la culture du mil et du sorgho est plutôt dédiée à l'homme qui a la responsabilité de nourrir la famille.

Tableau 3-3 : Taux d'adoption des semences certifiées de mil, par sexe

Type de semences	**Hommes (%)**	**Femmes (%)**
Semences certifiées	14	7,5

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

Tableau 3-4: Taux d'adoption des semences certifiées de sorgho, par sexe

Type de semences	**Hommes (%)**	**Femmes (%)**
Semences certifiées	19,6	8,6

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

Une comparaison des niveaux d'utilisation des semences certifiées de mil et de sorgho dans les villages enquêtés (figures 3-5 et 3-6) montre que, pour la campagne 2013, le taux d'utilisation est en moyenne de 30,4% dans les villages bénéficiaires. Toutefois, dans cinq de ces villages, aucun producteur n'utilise des semences certifiées. Même les producteurs qui étaient directement bénéficiaires du projet WAAPP ont arrêté d'utiliser les semences certifiées. Parmi les principales raisons d'abandon évoquées figurent le faible accès aux

semences et la précocité des variétés qui entraînent les attaques de ravageurs. Ces producteurs ont aussi déploré le manque de suivi à la fin du projet, déclarant qu'ils ont été laissés à eux-mêmes, sans aucun encadrement. D'un autre côté, deux villages (Keur Balla et Pointe Sarène) affichent des taux d'utilisation élevés; Keur Balla par exemple a un taux d'adoption de 100 % signifiant que tous les producteurs interrogés cultivent des semences certifiées. Une de raisons de ce succès est l'existence d'une organisation paysanne qui vend des semences certifiées et donne des conseils aux utilisateurs. Keur Balla est aussi caractérisé par une urbanisation croissante qui peut favoriser l'accès à l'information. Le village de Pointe Sarène aussi affiche un taux d'adoption de 92,6 % lié à une bonne exécution d'un projet de diffusion sur le terrain (Voir Encadré 1).

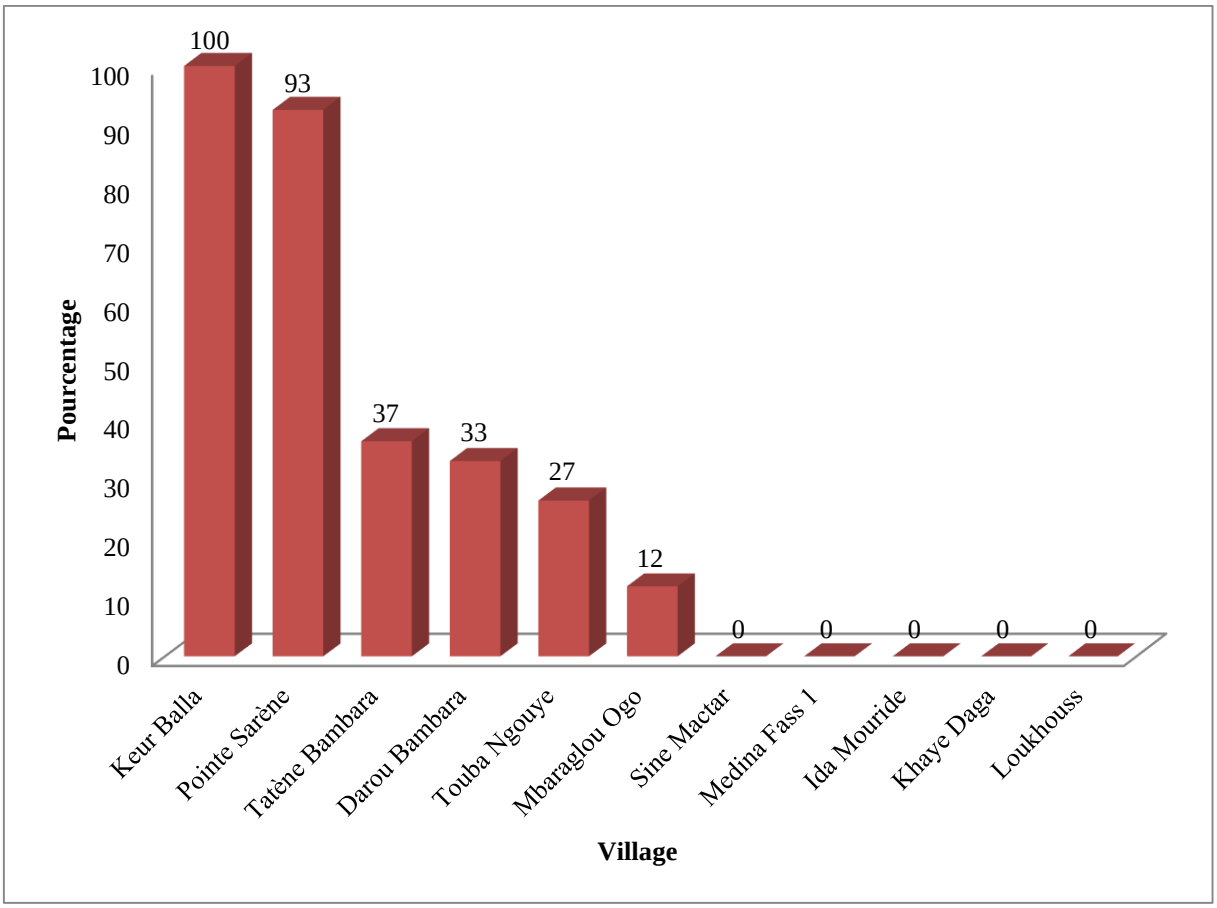

Figure 3-5: Utilisation des semences certifiées dans les villages bénéficiaires du projet.

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

ENCADRÉ 1 : *POINTE SARÈNE : UN EXEMPLE DE RÉUSSITE DU PPAAO/WAAPP*

Le sorgho, principale spéculation dans le village, a été abandonné au profit de la pêche et des activités touristiques[11]*. Cependant, le programme a eu l'idée de convaincre des producteurs de se remettre à cultiver le sorgho en semant des variétés améliorées proposées par le WAAPP sur une parcelle commune, ce qui réduit l'attaque des ravageurs étant donné que toutes les plantes arrivent à maturité en même temps. Les producteurs bénéficiaires appartiennent au Réseau des Organisations Paysannes et Pastorales du Sénégal (RESOPP) et sont régulièrement appuyés par un encadreur technique de l'organisation. Ainsi, ces derniers ont eu des productions et rendements élevés grâce au dispositif mis en place. Les variétés améliorées de sorgho sont très prisées dans le village non seulement à cause de leurs rendements, mais aussi à cause du bon couscous qu'ils peuvent obtenir après transformation des graines. L'année 2013 a été la seule qui a vu cette production baisser. Des semences de mauvaise qualité leur ont été distribuées car certains producteurs semenciers du RESOPP n'ont pas respecté les itinéraires techniques en 2012.*

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME 2013

De l'analyse des taux d'utilisation dans les villages non bénéficiaires présentés dans la figure 3-6, il ressort que les taux d'utilisation sont nuls dans sept villages sur les onze non bénéficiaires. Parmi ces sept villages, cinq se trouvent dans le département de Koungheul (Yamong, Pire Pampy, Ngouye Siwakh, Ndramé Saly). En moyenne, le taux d'adoption des semences certifiées est de 6,6% dans les villages non bénéficiaires. Le manque d'information et l'absence d'offre de semences certifiées sont les principales limites à l'utilisation citées par les producteurs. Beaucoup d'entre eux ne connaissent pas l'existence des variétés améliorées et des semences certifiées. Les villages qui affichent des taux positifs sont ceux de la région de Thiès dont la proximité avec le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Bambey peut expliquer la connaissance et l'utilisation des variétés améliorées. Aussi, la variété améliorée de mil souna 3 est présente sur le terrain depuis 1972 ; donc certains producteurs ont pu être au courant de son existence bien avant les projets de diffusion du PPAAO/WAAPP.

[11] Le village se trouve dans le département de Mbour, une zone bien fréquentée par les touristes.

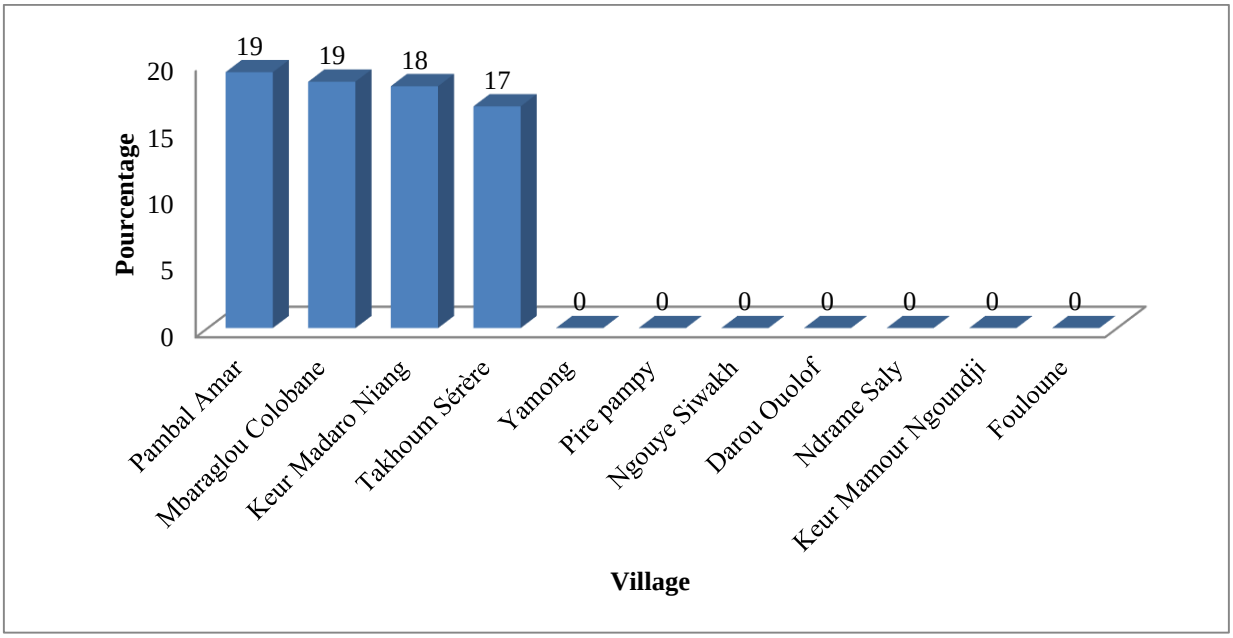

Figure 3-6: Taux d'utilisation des semences certifiées de mil et/ou de sorgho dans les villages non bénéficiaires.
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Jusqu'ici, les taux d'adoption ont été mesurés par le nombre de producteurs utilisant des semences certifiées de mil et/ou de sorgho ; toutefois, ils peuvent aussi être mesurés en termes de superficies emblavées. La superficie emblavée avec des semences certifiées de mil représente 10% de la superficie totale emblavée en mil contre 20% pour le sorgho. Ces chiffres cachent une forte hétérogénéité entre les villages de l'échantillon comme l'illustre la figure 3-7.

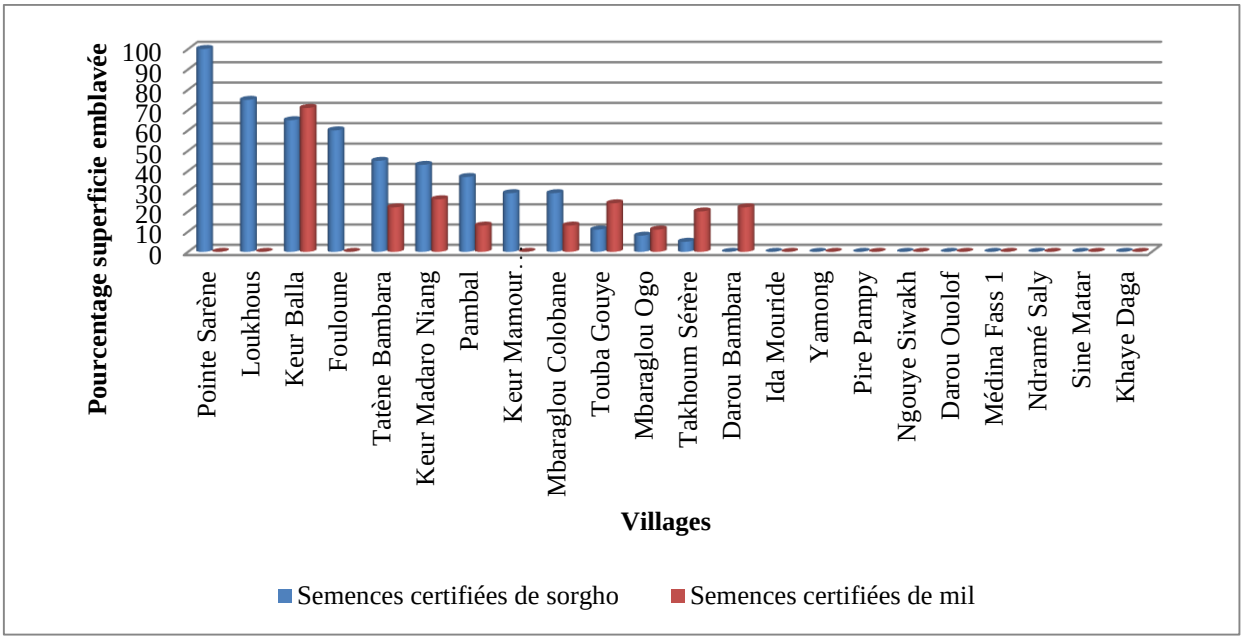

Figure 3-7: Taux d'adoption des semences certifiées en termes de superficie emblavée, par village
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Le village de Pointe Sarène enregistre la plus grande superficie emblavée en semences certifiées de sorgho (100%). Pour le mil, c'est le village de Keur Balla qui enregistre le plus grand taux d'emblavures en semences certifiées de mil (71%). À l'instar du nombre d'utilisateurs, les villages où les superficies emblavées en semences certifiées sont nulles se trouvent dans le département de Koungheul Les arguments cités plus haut concernant le nombre d'utilisateurs, c'est-à-dire l'enclavement et le manque d'information, restent toujours valables.

En plus des raisons déjà évoquées, pour mieux comprendre les faibles taux d'adoption des semences certifiées, les producteurs ont été interrogés sur les raisons de non utilisation, d'abandon et d'utilisation des variétés améliorées. Leurs réponses sont présentées dans les figures 3-8, 3-9 et 3-10.

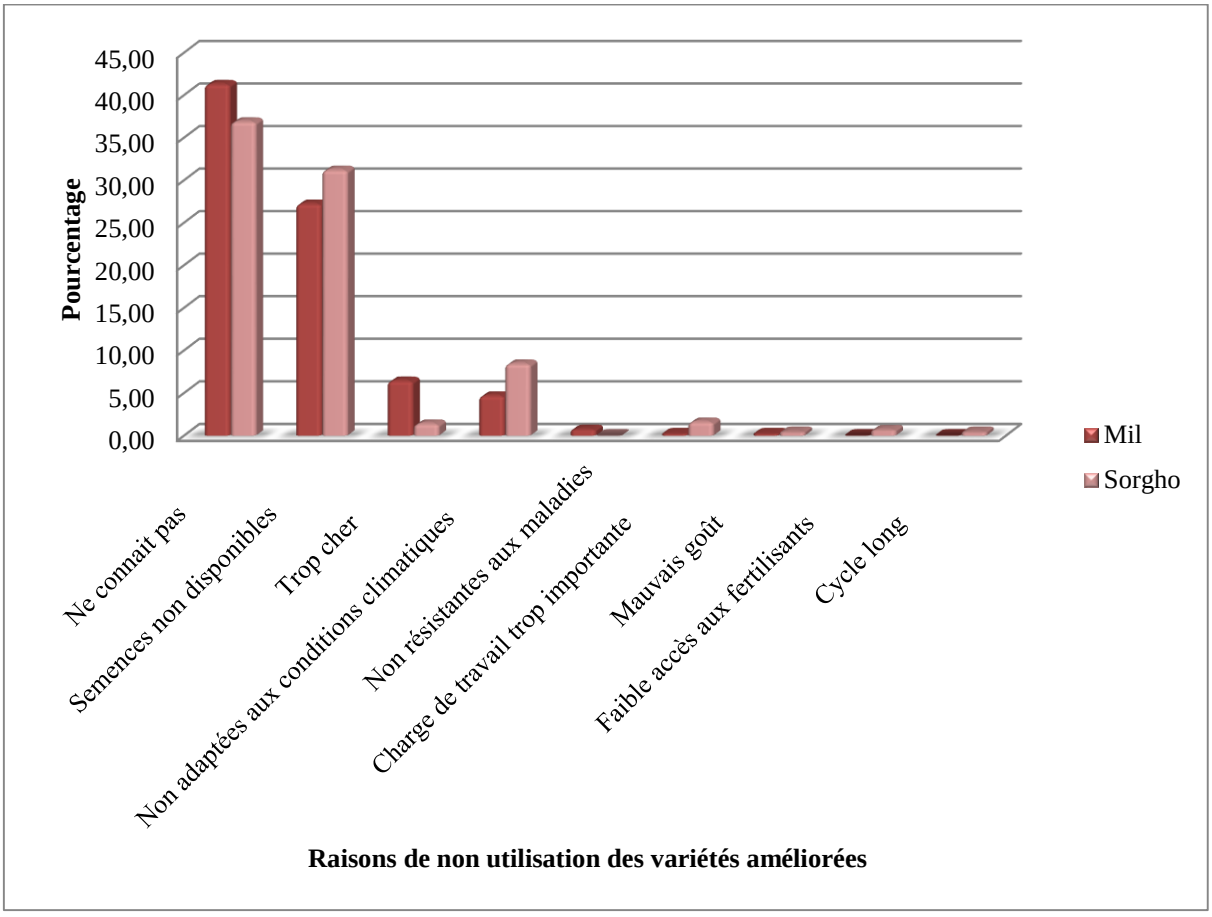

Figure 3-8: Raisons de non utilisation des variétés améliorées de mil et de sorgho.
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

D'après la figure 3-8, quatre raisons principales sont évoquées pour justifier la non utilisation des variétés améliorées à savoir : la non connaissance des variétés améliorées (41,3% des producteurs de mil contre 36,9%% pour le sorgho), l'offre limitée des semences de variétés

améliorées (27% pour le mil contre 31% pour le sorgho), la non adaptation des variétés améliorées au changement climatique (5% pour le mil contre 8% pour le sorgho) et le coût élevé des semences de variétés améliorées (6% pour le mil contre 1% pour le sorgho). La non résistance aux insectes, le cycle court qui occasionne les attaques d'oiseau, le mauvais goût et le manque de matériel agricole ont été cités par les producteurs qui ont essayé mais ont fini par abandonner les variétés améliorées (voir figure 3-9).

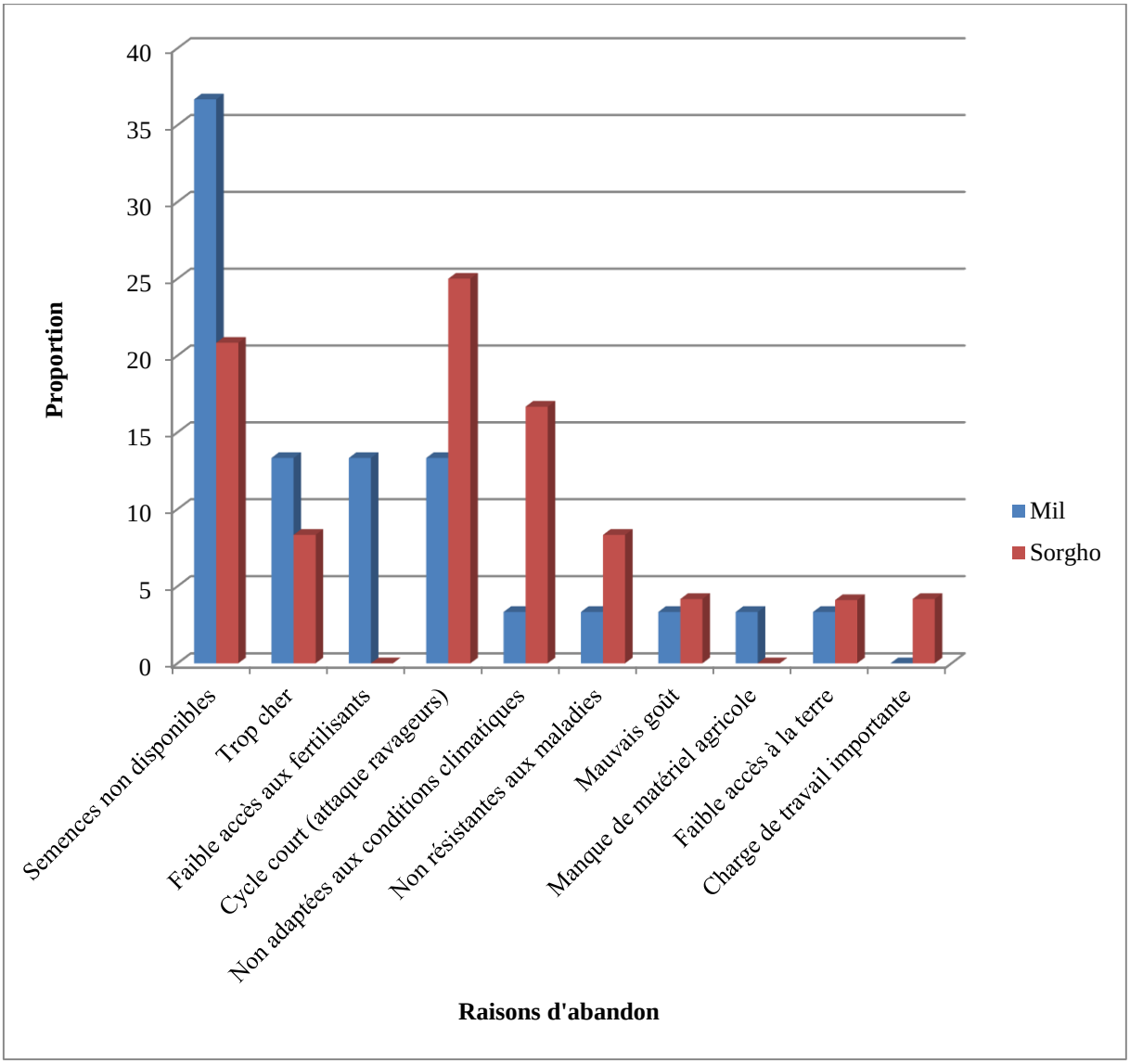

Figure 3-9: Raisons abandon des variétés améliorées de mil et de sorgho
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

La non disponibilité des semences de variétés améliorées apparaît en tête des raisons d'abandon pour le mil (36,6% des producteurs) ; et pour le sorgho c'est le cycle court de ces variétés, entraînant l'attaque de ravageurs qui arrive en tête (25% des producteurs). Ce dernier argument est à mettre en corrélation avec le faible taux d'adoption des semences certifiées de sorgho qui arrivent à maturité avant les autres variétés ; ce qui entraîne l'attaque des épis par

les oiseaux granivores. Selon les producteurs interrogés, ce phénomène pourrait être réduit si tout le monde cultivait les variétés précoces. Le faible accès aux fertilisants se révèle aussi être une raison non négligeable d'abandon des variétés améliorées de mil. Il limite les rendements dans ces zones où les sols sont épuisés. Des producteurs pensent aussi que les variétés améliorées de sorgho ne sont pas adaptées aux conditions climatiques de leurs lieux de résidence ; ce qui a entraîné leur abandon. Ils pensent notamment qu'elles dégradent les sols. Enfin, le faible accès aux ressources comme la terre ou le matériel agricole est aussi évoqué comme raison d'abandon.

Malgré tout, les variétés améliorées de mil et de sorgho sont quand même utilisées par certains producteurs. Les rendements élevés, cités par 80% des adoptants de l'échantillon, sont la principale raison d'utilisation des variétés améliorées. Le mil et le sorgho étant des cultures vivrières par excellence, des rendements plus élevés améliorent la sécurité alimentaire des ménages agricoles. Cependant, les producteurs ne pourront atteindre le potentiel de ces variétés que si les autres intrants tels que les engrais et les machines agricoles sont disponibles en qualité et en quantité suffisantes. La durée du cycle, moins longue que celle des variétés traditionnelles, vient en deuxième position des raisons d'utilisation (55,1% des adoptants). Elle demeure un argument de taille dans un contexte de changement climatique accompagné de réduction de la pluviométrie. La durée du cycle est donc à la fois un facteur d'adoption et un argument d'abandon si le taux d'adoption est faible dans l'entourage du producteur. Le goût après la transformation en farine vient en troisième position des raisons d'utilisation des variétés améliorées (13%). Cela prouve que les critères agronomiques ne sont pas les seuls qui entrent en jeu dans l'adoption des technologies agricoles (figure 3-10).

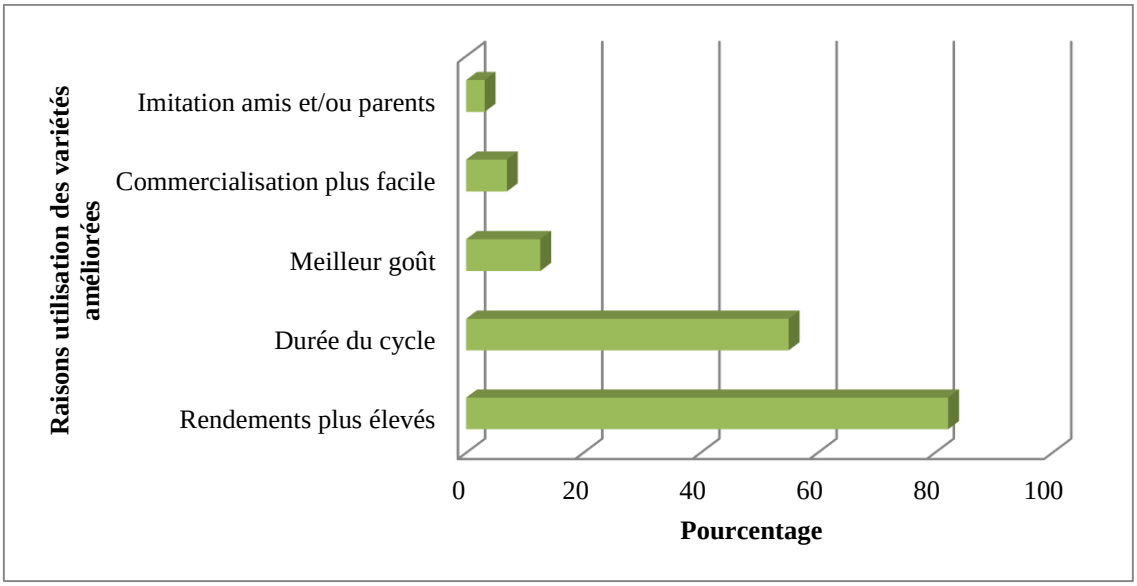

Figure 3-10: Raisons utilisation des variétés améliorées de mil et de sorgho
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Les variétés de mil cultivées en 2013 dans notre zone d'étude sont présentées dans le tableau 3-5. Après les variétés traditionnelles, c'est la souna 3 qui est la plus semée. Sa longue présence en milieu paysan fait qu'elle est assez connue et adoptée.

Tableau 3-5: Variétés de mil cultivées en 2013

Variétés	Fréquence	Pourcentage
Traditionnelle	357	77,6
Souna 3	96	20,9
IBV 8001	6	1,3
IBV 8004	1	0,2
Total	460	100

Source : Enquête BAME, 2014

Les variétés de sorgho cultivées en 2013 sont quant à elles présentées dans le tableau 3-6. Après les traditionnelles, vient la variété Nguinthe (10% des observations) introduite par le WAAPP.

Tableau 3-6: Variétés de sorgho cultivées en 2013

Variétés	Fréquence	Pourcentage
Traditionnelle	186	71,5
CE 145-166	16	6,1
CE 151-262	5	1,9
CE 180-33	11	4,2
Faourou	2	0,8
Nguinthe	26	10
Darou	2	0,8
Autre	1	0,4

Ne sait pas	11	4,2
Total	260	100

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

Les semences utilisées par les producteurs proviennent principalement du stock personnel (figure 3-11).

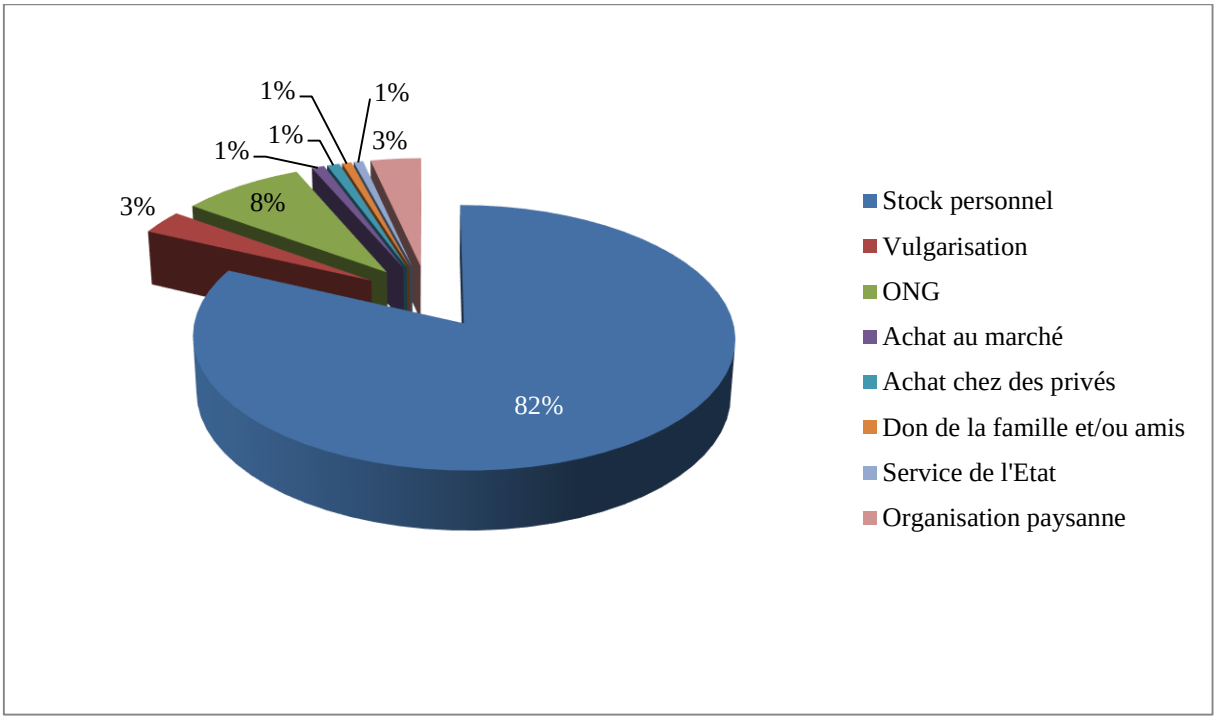

Figure 3-11: Provenance des semences de mil.
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Pour 82% des producteurs de mil, les semences proviennent du stock personnel. Ceci pose avec acuité la problématique des conditions de stockage adéquates pour obtenir de bons rendements. Les autres origines sont les ONG citées par 8% des producteurs, les organisations paysannes et la vulgarisation, toutes les deux citées par 3% des producteurs. Les ONG fournissent généralement des semences certifiées et un appui technique. Les services de l'État[12], autres que la vulgarisation, n'interviennent que très faiblement dans la fourniture de semences aux producteurs (1% des producteurs de mil). En ce qui concerne la vulgarisation, un manque d'effectif se pose sur le terrain, entraînant une faible couverture des villages par les Conseillers Agricoles et Ruraux (CAR). Quant aux semences distribuées par l'État, les enquêtés ont affirmé qu'elles sont loin de couvrir leurs besoins, mais surtout les subventions sont captées par une élite locale et le petit producteur se retrouve à payer le même prix que sur

[12] Ici il s'agit principalement de la Direction Régionale du Développement Rural (DRDR) ou des commissions de distribution des semences installées dans les chefs-lieux de communes rurales.

le marché. Ce discours témoigne de la nécessité de revoir le système de subventions publiques des intrants afin que les cibles soient les vrais bénéficiaires.

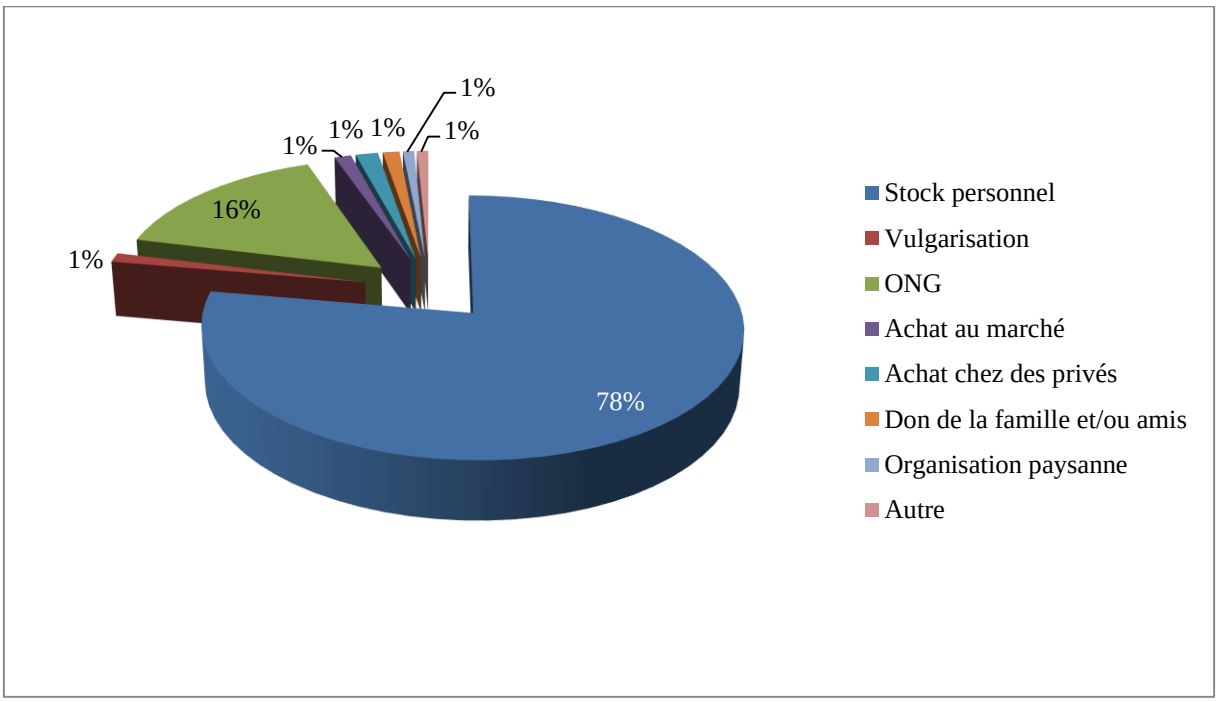

Figure 3-12: Provenance des semences de sorgho.
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

À l'instar du mil, 78% des producteurs de sorgho tirent leurs semences des stocks personnels (figure 3-12). Viennent ensuite les ONG qui fournissent les semences à 16% des producteurs. Les services de l'État sont absents dans la fourniture des semences de sorgho aux producteurs de l'échantillon.

3.3. Les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho

L'objet de cette partie est de présenter les résultats du modèle mixte utilisé pour identifier les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Le tableau 3-7 présente les statistiques descriptives des variables incluses dans le modèle.

Tableau 3-7: Statistiques descriptives des variables du modèle mixte

Variables discrètes			
Nom	**Description**	**Observations**	**Oui (%)**
certif	Utilisation de semences certifiées de mil et/ou sorgho en	532	17,7

Variables discrètes			
Nom	**Description**	**Observations**	**Oui (%)**
	2012 et 2013		
usage_engrais	Utilisation d'engrais chimiques	532	33
cont_ong	Contact avec une ONG	532	7,5
sexe	Sexe	532	23,7 (femme)
formation1	Formation arabe	532	52,6
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	532	12
f_agricole	Formation/stage agricole	532	6,6
obtention_credit	Obtention d'un crédit en 2013	532	22
cont_vulg	Contact avec la vulgarisation	532	2,6
cont_op	Contact avec une Organisation Paysanne	532	17,3
v_agent	Visite d'un agent d'encadrement dans le village	532	32,7
v_benef	Producteur habite un village bénéficiaire d'un projet de diffusion	532	46

Variables continues				
Nom	**Description**	**Observations**	**Moyenne**	**Écart-type**
age	Age du producteur	530	49 ans	14,8
sup_cer	Superficie emblavée en céréales	532	2,7 ha	3

Variables discrètes				
Nom	**Description**	**Observations**	**Oui (%)**	
mo_fam	Taille de la main-d'œuvre familiale	531	6 personnes	4
nbr_mat	Nombre de matériels agricoles possédés	532	3 matériels	1,7
supmilsorg_v	Superficie totale emblavée en mil et sorgho dans le village	532	65,5 ha	34,8
Interactions				
Nom	**Description**			
int1	Formation/stage agricole*Obtention d'un crédit en 2013			
int2	Formation/stage agricole*Visite agent encadrement dans le village			

Source : calculs de l'auteure

3.3.1. Résultats économétriques

Pour donner un sens à la constante ou ordonnée à l'origine, les variables continues ont été centrées. Ainsi, en estimant l'équation suivante,

$$\eta_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}x_{1ij} + \beta_{2j}x_{2ij} + \cdots + \beta_{Sj}x_{Sij} \quad (3.1)$$

la constante β_{0j} équivaut au logit de la probabilité d'adoption pour un individu dont les variables binaires sont égales à 0 et les variables continues égales à leurs moyennes. Sa probabilité d'adoption dans le village j est obtenue par :

$$P_{ij} = \frac{1}{1+\exp(-\widehat{\beta}_{0j})} \quad (3.2)$$

$\hat{\beta}_{0j}$ étant la valeur estimée de la constante dans le village j.

Les résultats du modèle hiérarchique sont présentés en trois étapes : d'abord le modèle vide sans coefficients, ensuite le modèle avec des variables de niveau 1 (producteur) et enfin le modèle complet incluant les variables de niveau 2 (village).

3.4.1.1. Modèle vide

Le modèle vide permet de justifier l'utilisation d'un modèle hiérarchique. Cette utilisation est validée si la variation moyenne de l'adoption entre villages est significative. Il consiste à estimer l'équation (2.8) sans les variables explicatives, l'équation simplifiée suivante où il n'y a que l'effet fixe de la constante et son effet aléatoire est donc estimée :

$$\eta_{ij} = \gamma_{00} + \mu_{0j} \qquad (3.3)$$

En utilisant la formulation de la variable latente, le modèle vide s'écrit:

$$U_{ij} = \gamma_{00} + \theta_{ij} \qquad (3.4)$$

$$\begin{cases} D_{ij} = 1 \; si \; U_{ij} > 0 \\ D_{ij} = 0 \; sinon \end{cases}$$

Cette étape de l'analyse économétrique permet de calculer le coefficient de corrélation intraclasse ; l'indicateur usuel de la pertinence de l'utilisation d'un modèle hiérarchique. Dans notre contexte, l'équation (3.3) répond à la question suivante : y a-t-il un effet village sur la constante du ratio des côtes (odds-ratios) de la variable adoption ? La significativité de la variance de l'effet aléatoire et la valeur du coefficient de corrélation intraclasse permettront de répondre à cette question. S'il y a un effet village, alors une régression probit ou logit simple ne pourrait convenir du fait de la corrélation des erreurs et il faudra ainsi recourir à un modèle mixte.

Les résultats de l'estimation de l'équation (3.3) se trouvent dans le tableau 3-8 :

Tableau 3-8: Résultats du modèle vide

Effet fixe			
A adopté une semence certifiée de mil et/ou sorgho	Odds ratio	z	P>z
Constante	0,028	-3,76	0,000
Effet aléatoire			
Variable dépendante	Valeur estimée	Écart-type estimé	[Intervalle de confiance à 95 %]
Variance (μ_{0j})	9,18	5,29	[2,96 ; 28,41]
N 532			
Nombre de groupes 22			
Observations minimum/groupe……4			
Observations maximum/groupe……..30			

LR test vs. logistic regression: chibar2(01) = 161,81	Prob>=chibar2 = 0,0000

Source : calculs de l'auteur

Le tableau 3-9 est composé de deux parties : un effet fixe et un effet aléatoire. L'effet fixe correspond à γ_{00} et il est significatif au seuil de 1%. Ainsi, sans inclure d'autres variables, la constante affecte significativement l'adoption d'une semence certifiée. Cependant, la partie la plus importante de ce tableau est celle qui concerne l'effet aléatoire car elle validera ou non l'utilisation d'un modèle multiniveaux. Dans cette partie, le coefficient estimé est la variance de l'effet aléatoire μ_{0j} ; le fait qu'il soit différent de 0 veut dire que la constante β_{0j} (niveau 1) est significativement affectée par les variables de niveau 2 (village). Cela traduit aussi que la mesure de la dépendance entre les réponses des producteurs d'un même village, donnée par le Coefficient de Corrélation Intra-classe (CCI)[13], est aussi significative. En reprenant l'équation (3.1'), le CCI, dans le modèle vide, est défini par :

$$CCI \equiv Corr\left(U_{ij}, U_{i'j}\right) = Corr\left(\theta_{ij}, \theta_{i'j}\right) = \frac{\hat{\varphi}}{\hat{\varphi}+\frac{\pi^2}{3}} \qquad (3.5)$$

Avec $\hat{\varphi}$ correspondant à la variance estimée de l'effet aléatoire μ_{0j}, $\hat{\varphi} + \frac{\pi^2}{3}$ est la variance estimée de θ_{ij}. La valeur minimale du CCI est 0 (lorsque la variance estimée de l'effet aléatoire est nulle), plus il se rapproche de 1, plus la dépendance entre les réponses des producteurs d'un même village est importante. Le CCI mesure ainsi l'homogénéité intra-village. Elle est aussi égale à la proportion de variance de l'adoption due aux différences inter-villages. En remplaçant les valeurs correspondantes, on obtient un CCI égal à 0,74. Il est proche de 1 ; un modèle multiniveaux est donc adapté aux données. Un dernier argument en faveur de son utilisation est le résultat du test de ratio de vraisemblance contre un logit simple[14], sur la dernière ligne du tableau 3-9. Ce dernier rejette l'hypothèse nulle que le modèle logit simple est plus adapté aux données.

L'utilisation d'un modèle multiniveaux étant validée par les résultats du modèle vide, nous allons maintenant compléter l'équation avec l'inclusion d'autres variables, en plus de la constante.

[13] De manière équivalente, le CCI mesure l'hétérogénéité entre villages.

[14] De façon concrète, le logiciel Stata fait un test de ratio de vraisemblance avec comme hypothèse nulle la variance résiduelle de l'effet aléatoire est égale à 0.

3.4.1.2. Analyse multiniveaux

La deuxième colonne du tableau 3-10 (Spécification 1) montre les résultats du modèle après l'intégration des variables individuelles, caractérisant les producteurs. Les coefficients sont donnés en termes de *ratio des côtes (OR)*. La régression intègre le mil et le sorgho. Les résultats peuvent s'interpréter comme les facteurs favorisant l'adoption des semences certifiées de mil et/ou de sorgho.

Tableau 3-9:Estimation du modèle mixte

	(1) Spécification 1	(2) Spécification 2
Variable dépendante: Adoption semences certifiées de mil et/ou sorgho		
Contact avec une ONG (1=oui)	5,128**	4,574*
	(2,62)	(2,45)
Utilisation engrais chimiques (1=oui)	2,238*	2,973*
	(1,99)	(2,06)
Sexe (1=femme)	0,251*	0,251*
	(-2,23)	(-2,19)
Age (centré)	0,99	0,987
	(-0,61)	(-0,80)
Formation arabe (1=oui)	0,897	0,854
	(-0,23)	(-0,33)
Education primaire et/ou secondaire (1=oui)	0,618	0,611
	(-0,90)	(-0,93)
Formation/stage agricole (1=oui)	11,385***	6,313*
	(3,94)	(2,06)
Obtention credit (1=oui)	3,756*	3,187*
	(2,54)	(2,08)
Contact avec la vulgarisation (1=oui)	1,916	1,595
	(0,72)	(0,49)
Contact avec une OP (1=oui)	1,884	1,832
	(1,17)	(1,12)
Superficie emblavée en céréales (centrée)	0,970	0,985
	(-0,23)	(-0,11)

	(1) Spécification 1	(2) Spécification 2
Variable dépendante: Adoption semences certifiées de mil et/ou sorgho		
Taille M.o familiale (centrée)	0,934	0,935
	(-1,02)	(-1,00)
Nombre de matériels agricoles (centrée)	1,200	1,217
	(1,13)	(1,21)
Village bénéficiaire (1=oui)		4,711
		(1,02)
Superficie emblavée en mil et sorgho dans le village (centrée)		0,967
		(-1,70)
Visite agent encadrement (1=oui)		4,344
		(0,92)
int1		2,096
		(0,62)
int2		2,020
		(0,56)
Constante	0,008***	0,003***
	(-4,12)	(-4,57)
Variance constante	12,03	6,275
	(1,78)	(1,71)
N	529	529
Wald chi2(13)	42,03	
Wald chi2(18)		45,79
Prob>chi(2)	0,0001	0,0003

t statistics entre parenthèses
* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$
Spécification 1: LR test vs. logistic regression: chibar2 (01) = 114,74 Prob>=chibar2 = 0,0000
Spécification 2: LR test vs. logistic regression: chibar2 (01) = 72,11 Prob>=chibar2 = 0,0000

Dans ce tableau, la valeur de référence des coefficients (OR) est 1. En effet, chaque OR étant l'exponentielle d'un paramètre β_{sj}, un OR inférieur à 1 signifie un paramètre β_{sj} négatif alors qu'un OR supérieur à 1 signifie un paramètre β_{sj} positif. Les variables significatives, au moins au seuil de 5%, sont le contact avec une ONG, l'utilisation des engrais chimiques, le sexe, la formation/stage agricole et l'obtention d'un crédit. Elles ont toutes un effet positif sauf le sexe dont la valeur du coefficient signifie que les femmes ont moins de chance d'adopter les semences certifiées que les hommes.

La troisième colonne du tableau 3-10 (Spécification 2) donne les résultats du modèle avec les variables de niveau village jugées pertinentes dans l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Les mêmes variables individuelles restent significatives. Concernant les variables de niveau village, seule la superficie emblavée en mil et sorgho dans le village est significative mais au seuil critique de 10%. Elle a un impact négatif signifiant que l'adoption est plus probable dans les villages où il y a peu de producteurs de mil et de sorgho. Pour toutes les deux spécifications, le test de ratio de vraisemblance rejette l'hypothèse nulle de supériorité du modèle logistique simple au modèle hiérarchique.

3.3.2. Effets des variables et discussions

3.3.2.1. Impact conditionnel des facteurs

Les coefficients observés dans le tableau 3-10 sont des effets conditionnels. Ils sont valables pour un effet aléatoire fixé ; c'est à dire pour les producteurs appartenant à un même village. Nous allons interpréter ceux de la deuxième spécification vu que c'est le modèle complet ; les autres modèles ayant été présentés pour illustrer le processus du modèle hiérarchique. D'abord, le contact avec une ONG, significatif au seuil de 5%, a un effet positif sur l'adoption des semences certifiées. Un producteur en contact avec une ONG a 4,5 fois plus de chances d'adopter les semences certifiées par rapport à celui qui n'est pas en contact avec une ONG. Ensuite, la formation/stage agricole a un odds ratio (OR) égal à 6,3 signifiant que pour les producteurs d'un même village, ceux qui ont reçu une formation/stage agricole ont 6 fois plus de chances d'adopter les semences certifiées de mil ou de sorgho que ceux qui n'en ont pas reçu. Un autre facteur déterminant l'adoption est l'accès au crédit qui donne 3 fois plus de chances d'adopter. L'utilisation des engrais chimiques a aussi un effet positif avec presque trois fois plus de chances d'adopter. Enfin, le coefficient du sexe traduit que les femmes ont $\frac{1}{0,25} = 4$ fois moins de chances d'adopter les semences certifiées que les hommes.

3.3.2.2. Impact inconditionnel ou effets marginaux

Les effets marginaux mesurent l'effet, sur la probabilité conditionnelle d'adoption, d'un changement d'une des variables explicatives. Dans le modèle mixte, ils sont calculés en tenant compte des effets aléatoires. Comme dans le logit simple, les effets marginaux dépendent des valeurs prises par les variables explicatives; ainsi il est nécessaire de définir un individu de référence pour les calculer. Ce choix est plus réaliste que de calculer les effets marginaux à la moyenne des variables indépendantes car pour les variables discrètes, aucune observation

n'est à la moyenne. Notre individu de référence a la valeur 0 pour toutes les variables discrètes sauf la formation arabe, et la moyenne pour les variables continues. Ainsi, notre producteur de référence est un homme de 49 ans (âge moyen des producteurs enquêtés) qui a reçu une formation arabe, il n'a pas bénéficié d'une formation agricole et n'a pas obtenu un crédit non plus. Il n'a jamais été en contact ni avec une organisation paysanne ni avec des services de vulgarisation. Ce producteur n'utilise pas les engrais chimiques. Son village n'est pas visité par la vulgarisation et n'a pas bénéficié du projet de diffusion. La superficie emblavée en mil et sorgho dans son village est de 65,5 hectares. Cette personne est représentative du producteur moyen de la population concernée.

Le tableau 3-10 présente l'impact des variables significatives sur la probabilité ajustée qui est, en d'autres termes, la probabilité d'adopter les semences certifiées par rapport à notre individu de référence. Les effets marginaux y sont aussi consignés. La probabilité prédite d'adoption pour le producteur de référence est en moyenne de 2%.

Tableau 3-10: Effet marginaux

Variables	**Probabilité prédite (%)**	**Effet marginal moyen (en points de pourcentage)**
Contact ONG	6,7	4,7
Utilisation engrais chimiques	5	3
Sexe	0,5	-1,5
Formation/stage agricole	8,3	6,3
Obtention crédit	5,2	3,2

Source : calculs de l'auteure

Le tableau 3-10 expose l'effet des variables significatives sur la probabilité d'adoption et leurs effets marginaux moyens par rapport au producteur de référence. Ici nous parlons d'effet marginal moyen car il y a un effet marginal spécifique à chaque effet aléatoire, donc à chaque village. Ainsi, pour chaque variable, ce qui est présenté est la moyenne des effets marginaux sur tous les villages. Si le producteur de référence bénéficie de l'appui d'une ONG sa probabilité d'adoption passera de 2 à 6,7% ; l'effet marginal de cette variable est donc de 4,7 points de pourcentage. S'il utilise des engrais chimiques, sa probabilité d'adoption sera de 5%. Le fait d'être une femme a un effet marginal négatif de 1,5 point de pourcentage. La formation/stage agricole fait passer la probabilité d'adoption à 8,3% alors que l'obtention de crédit a un effet marginal moyen de 3,2 points de pourcentage.

Les valeurs des effets marginaux montrent que la formation/stage agricole a le plus fort impact sur la probabilité d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Ce résultat montre le besoin d'efforts de la part du gouvernement sénégalais pour améliorer le niveau

d'éducation des producteurs. La formation professionnelle rurale est une alternative à la scolarisation faible et elle pourrait permettre d'augmenter le taux d'utilisation des semences certifiées de mil et de sorgho qui est très faible pour le producteur de référence.

3.3.2.3. Discussions

Les résultats économétriques ont permis d'identifier les facteurs déterminant l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Ils correspondent, pour la plupart, à ceux qui ont été suggérés par la littérature. Des variables comme le niveau de scolarisation, la force de travail (taille de la main-d'œuvre familiale) ou encore le contact avec les services de vulgarisation ont été significatives dans la littérature (Negatu et Parikh, 1999, Croppenstedt et al., 2003), mais les résultats de nos estimations ont montré le contraire. Cela souligne l'importance d'adapter ces études à différents contextes pour voir la variation des résultats. Comme l'ont montré les statistiques descriptives, les principaux facteurs limitant l'adoption, d'après les producteurs, sont l'accès à l'information et l'offre limitée de semences certifiées, constats confirmés par les facteurs significatifs qui peuvent être regroupés en 4 thèmes présentés ci-dessous :

1) Accès à l'information

Cette catégorie comprend la formation/stage agricole (éducation en général) et le contact avec les ONG. À travers ces canaux, le producteur est au courant des nouvelles variétés générées par la recherche et est aussi initié à leur utilisation sous forme de paquets techniques. La formation technique est une variable qui réduit le coût d'accès à l'information afin d'encourager l'adoption des technologies agricoles. Les ONG jouent quant à elles un rôle essentiel dans l'adoption des technologies agricoles par le biais de la vulgarisation et l'appui conseil en milieu rural. Dans les villages où elles sont présentes, elles encadrent les producteurs en facilitant l'accès aux intrants agricoles. Mulhubran et al. (2012) avait déjà trouvé un effet significatif de l'accès à l'information dans l'adoption de variétés améliorées de maïs et de pois d'Angole. Lambrecht et al. (2014) l'ont aussi trouvé significatif dans l'essai des engrais minéraux. Pour illustrer l'importance de l'accès à l'information, Jack (2013) a souligné que des technologies profitables peuvent ne pas être adoptées si l'information sur leur profitabilité et la manière de les utiliser correctement n'est pas disponible. Il ajoute que la façon dont l'information est présentée au producteur est toute aussi importante que son contenu. Ainsi, les sources extérieures à sa communauté sont plus efficaces au premier stade

de l'adoption car le producteur devient conscient de l'existence de la technologie et la probabilité d'un usage correct s'accroît.

2) Accès au financement

Dans cette catégorie, nous retrouvons la variable « obtention de crédit » qui est un déterminant significatif de l'adoption. Un des principaux problèmes du secteur céréalier sénégalais est le manque de financement qui empêche les producteurs de réaliser des investissements rentables. Dans l'échantillon, le crédit sert surtout à l'achat d'intrants (semences et engrais) comme l'illustre la figure 3-13.

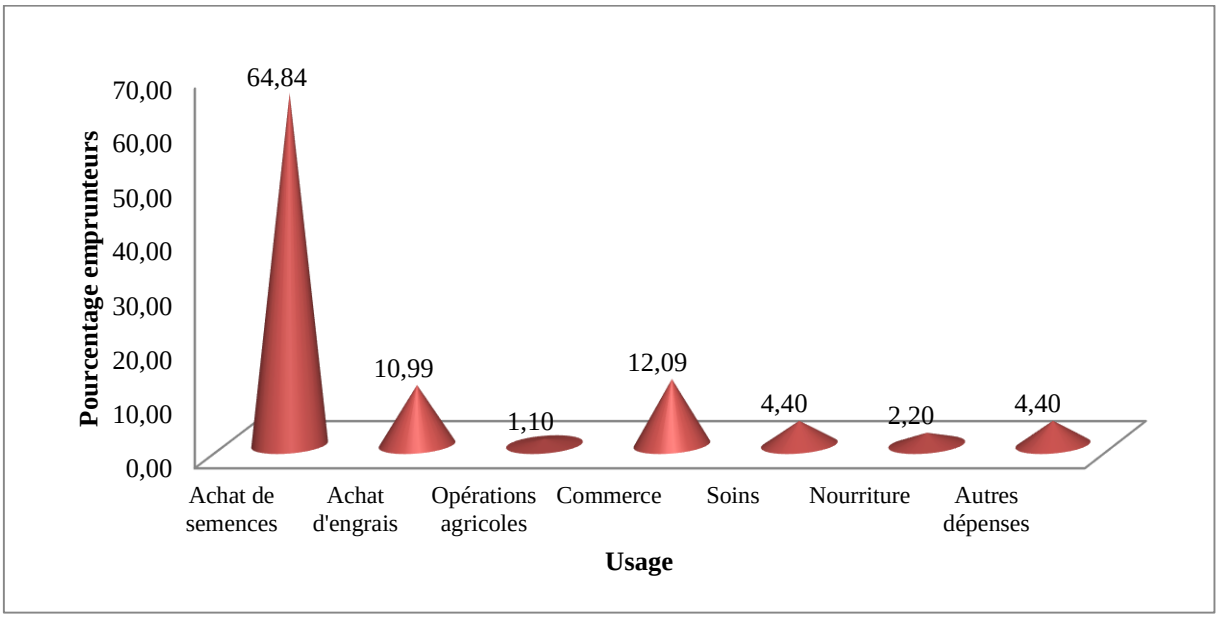

Figure 3-13: Usages du crédit en 2013
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Le crédit contracté finance les intrants de campagne d'où son caractère décisif dans l'adoption des semences certifiées qui sont plus chères que les tout-venants. Dans leur modèle empirique, Smale et al. (1994) avait obtenu un effet important de l'accès au crédit sur la probabilité d'adoption d'une variété hybride de maïs. Lambrecht et al. (2014) ont également trouvé un impact positif de l'accès au crédit sur l'adoption de fertilisants minéraux. Comme souligné par Udry (2010, p.3), « l'accès au crédit fait partie des principales imperfections du marché qui font que les rendements des producteurs africains sont si faibles ». Donc, le taux d'accès au crédit qui est de 22% dans l'échantillon reste encore faible pour encourager une adoption des innovations à une échelle plus large.

3) Accès aux intrants

La problématique de l'accès aux intrants est soulevée ici par la variable « usage_engrais », qui, quand elle est égale à 1, donne trois fois plus de chances d'adopter les semences certifiées de mil et/ou de sorgho. Ce résultat confirme la complémentarité entre les variétés améliorées et les fertilisants (Yu et al, 2011 ; Abebaw et Haile, 2013), surtout dans le contexte du bassin arachidier très affecté par une baisse de la fertilité des sols.

4) Effets de groupe et gestion des risques

La validation du modèle hiérarchique a permis de mettre en évidence l'effet du village, que nous considérons comme un réseau social du producteur, sur l'adoption des semences certifiées de mil et/ou de sorgho. Cela peut être interprété de plusieurs façons. D'abord sous la perspective des modèles d'apprentissage social (Foster et Rosenzweig, 1995, Cameron, 1999, Conley et Udry, 2001, 2010), l'effet village traduit l'imitation des pairs. Dans ces modèles, les profits espérés augmentent au fur et à mesure que l'information devient disponible. Le processus d'apprentissage peut cependant être inefficient si le producteur se base uniquement sur son entourage et ceux qui lui ressemblent pour prendre des décisions. Dans ce cas, les villages qui connaissent déjà de faibles taux d'adoption peuvent demeurer dans cette situation (Jack, 2013). L'apprentissage social est pourtant un bon moyen pour les services de vulgarisation d'atteindre un plus grand nombre de producteurs dans la diffusion d'innovations technologiques agricoles (Udry, 2010). Toutefois, cet argument reste valable dans un contexte où l'information circule correctement et les producteurs bénéficiaires de la diffusion sont écoutés et suivis par la population locale. Une autre interprétation de l'effet du groupe consisterait à la mettre en relation avec les risques inhérents aux nouvelles technologies agricoles. En effet, pour minimiser les risques d'attaques de ravageurs au moment des récoltes, les producteurs d'un même village ont tendance à semer les mêmes variétés ; étant donné que les variétés traditionnelles sont majoritaires, cela décourage l'adoption de celles améliorées. Ceci est d'autant plus vrai dans le département de Koungheul où 87% des superficies cultivées sont emblavées en mil contre 41% seulement pour la région de Thiès et c'est dans ce même département de Koungheul que les taux d'adoption sont plus faibles. Les semences certifiées étant marginalement utilisées dans cette zone, aucun producteur ne veut prendre le risque de les faire seul au prix de perdre sa récolte à cause des oiseaux granivores.

L'utilisation d'un modèle mixte sur des données du bassin arachidier a mis en évidence des déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et/ou de sorgho similaires à ceux suggérés par la littérature empirique. Elle a aussi montré la nécessité de cibler les projets de

diffusion à une échelle plus grande au niveau du village du fait de l'interdépendance des attitudes des producteurs, validée par le modèle.

Conclusion du chapitre

L'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho demeure encore faible dans le bassin arachidier du Sénégal. Pour le mil, elles ne sont adoptées que par 13% des producteurs contre 18% pour le sorgho. Ces chiffres cachent toutefois des disparités entre les différents villages de l'échantillon. Les semences certifiées sont marginalement adoptées dans les villages du département de Koungheul alors que ceux de Thiès ont des taux d'adoption plus élevés, même dans les villages où les projets du WAAPP ne sont pas intervenus.

L'analyse économétrique a mis en évidence cinq facteurs qui influencent l'adoption des semences certifiées de mil et/ou de sorgho. Il s'agit du contact avec une ONG, de la formation/stage agricole, de l'obtention d'un crédit, de l'utilisation des engrais chimiques et du sexe. Ces facteurs correspondent à ce qui est trouvé dans la littérature même si d'autres facteurs souvent significatifs comme la taille de la main-d'œuvre familiale ou encore le niveau de scolarisation ne le sont pas dans notre contexte.

Le principal apport de cette modélisation dans la littérature sur l'adoption des innovations agricoles est l'utilisation d'un modèle hiérarchique qui a permis de montrer la dépendance des décisions des producteurs d'un même village. Les résultats prouvent qu'il existe un effet aléatoire spécifique à chaque village et que les projets de diffusion ne doivent pas généraliser leurs méthodes, c'est à dire vouloir appliquer une méthode standard de diffusion à toutes leurs localités d'intervention.

Chapitre 4 : Impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire

Le défi de la sécurité alimentaire et nutritionnelle, pour une population croissante, a poussé les états africains à investir dans la recherche agricole, afin d'augmenter la productivité. Les contraintes à une agriculture productive et forte en Afrique sont, entre autres, une pluviométrie erratique, des prix bas et non attractifs, des possibilités d'irrigation non exploitées, les attaques de ravageurs, le non-respect des bonnes pratiques agricoles et la faible adoption des technologies par les producteurs (Muzari et al., 2012). Pour lever ces contraintes, des investissements sont faits dans la recherche agricole afin de générer des technologies adaptées. Au Sénégal, l'État a lancé en 2014 le Programme National de Reconstitution du Capital Semencier qui vise à accroître la disponibilité des semences certifiées. Dans le cadre du PPAAO/WAAPP, de nouvelles variétés de mil et de sorgho ont été générées et diffusées. Des efforts sont donc constamment fournis pour promouvoir l'utilisation des semences certifiées par les producteurs.

Ainsi, étant donné leur croissance dans la recherche, une attention croissante est portée sur la contribution des investissements à l'atteinte des objectifs de développement. Le décideur public a besoin d'informations et de preuves sur l'efficacité et la productivité de ces investissements. Il est alors important de vérifier si les effets escomptés des technologies diffusées sont réellement atteints sur le terrain en utilisant une méthode d'évaluation rigoureuse, adaptée au contexte.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire des producteurs des départements de Koungheul, Mbour, Thiès et Tivaouane. Deux méthodes d'évaluation sont utilisées : l'appariement par les scores de propension (PSM) et la régression linéaire avec traitement endogène ou modèle à changement de régime (ESR). La structure du reste du chapitre se décline comme suit : (i) d'abord une caractérisation de la production de mil et de sorgho dans nos zones d'enquêtes est présentée ; (ii) ensuite nous passerons à la mise en œuvre des modèles d'évaluation d'impact ; (iii) enfin nous présenterons les résultats avant de terminer par la conclusion.

4.1. Caractérisation de la production de mil et de sorgho

La superficie emblavée en mil représente 68% des superficies totales emblavées et le sorgho 16%. Ces céréales sont à la base de l'alimentation quotidienne de beaucoup de ménages. Les figures 4-1 et 4-2 présentent les moyennes de la production, l'autoconsommation et la quantité vendue de mil et de sorgho. En moyenne 75% de la production de mil est autoconsommée contre 68% pour le sorgho.

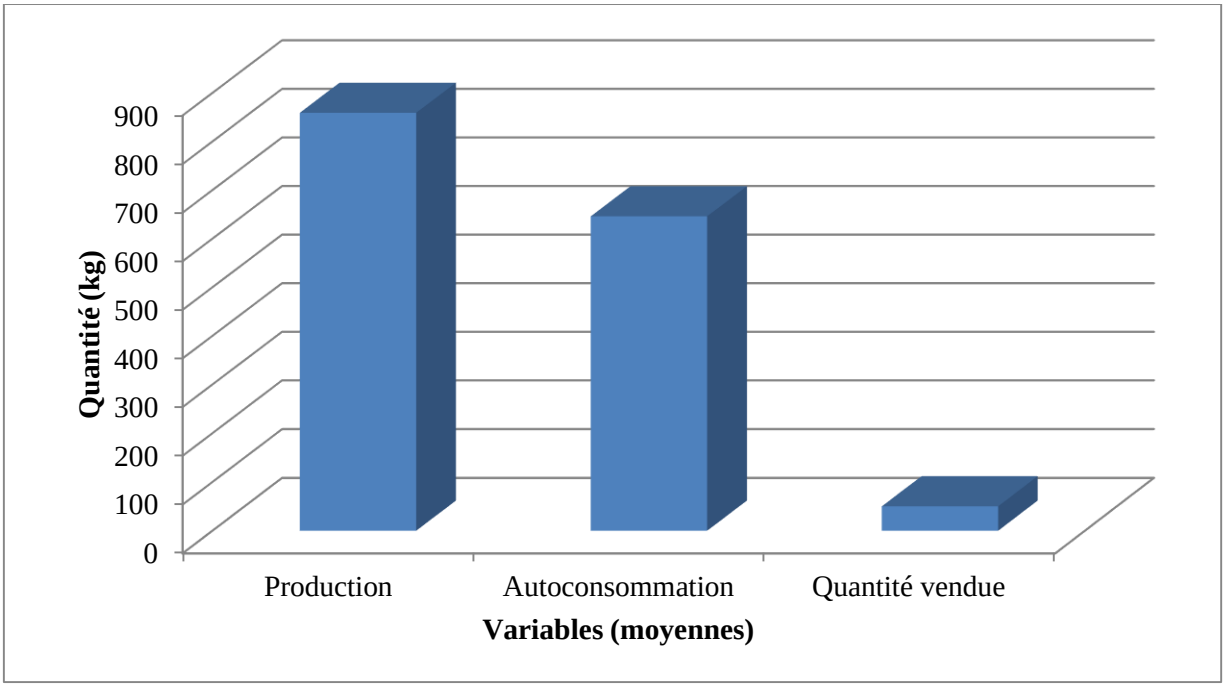

Figure 4-1: Production moyenne, autoconsommation moyenne et quantité vendue moyenne de mil
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

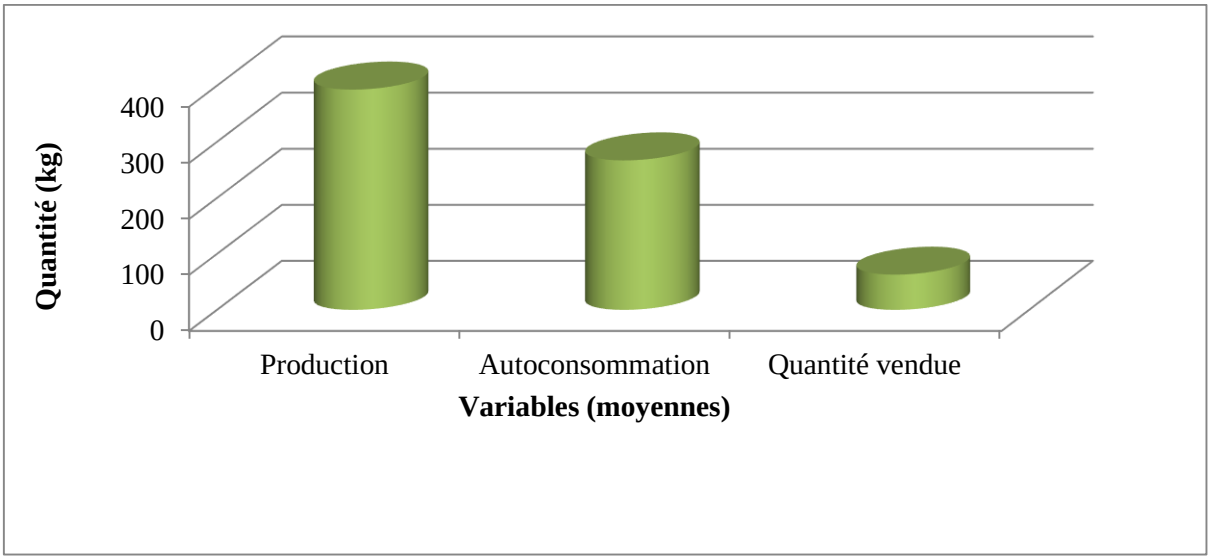

Figure 4-2: Production moyenne, autoconsommation moyenne et quantité vendue moyenne de sorgho
Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

La production moyenne est de 859 kg pour le mil et 393 kg pour le sorgho. Les quantités vendues sont très faibles (6% en moyenne pour le mil et 16% pour le sorgho), confirmant le statut de cultures vivrières de ces spéculations.

Le tableau 4-1 présente les rendements du mil et du sorgho. Pour le mil, le rendement moyen est de 445 kg/ha et pour le sorgho il est de 352 kg/ha. Ces chiffres sont relativement faibles et sont inférieurs aux moyennes nationales de 2013 qui sont de 571 kg/ha pour le mil et 846 kg/ha pour le sorgho (DAPSA, 2014). Contrairement à l'échantillon, au niveau national le rendement moyen du sorgho est supérieur à celui du mil. La faiblesse des rendements de l'échantillon résulte de plusieurs facteurs dont la faible utilisation des semences certifiées, le faible niveau d'utilisation des intrants et la baisse de la fertilité des sols. Il y a aussi une faible incitation à investir dans le mil et le sorgho du fait de leur statut de cultures vivrières. Selon les données du MAER (2014), au niveau national, les céréales d'une manière générale ont enregistré une baisse de production en 2013. La production brute a baissé de 15% par rapport à 2012 et de 20% comparée à la moyenne des cinq précédentes années. Cette baisse, plus marquée pour le mil et le sorgho, est imputable à la réduction des superficies et à la mauvaise pluviométrie. En effet, la saison des pluies s'est installée tardivement dans certaines zones entrainant des retards de 15 à 30 jours dans le démarrage des cultures. Cela est préjudiciable aux espèces photopériodiques comme le mil et le sorgho traditionnels qui n'ont pas pu développer un potentiel végétatif permettant d'assurer une bonne production de grains.

Tableau 4-1: Rendements du mil et du sorgho

Statistiques	Mil	Sorgho
Moyenne (kg/ha)	445	352
Écart-type	264	253
Nombre d'observation	445	232

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

Les figures 4-3 et 4-4 montrent les productions moyennes et rendements moyens du mil et du sorgho, par département.

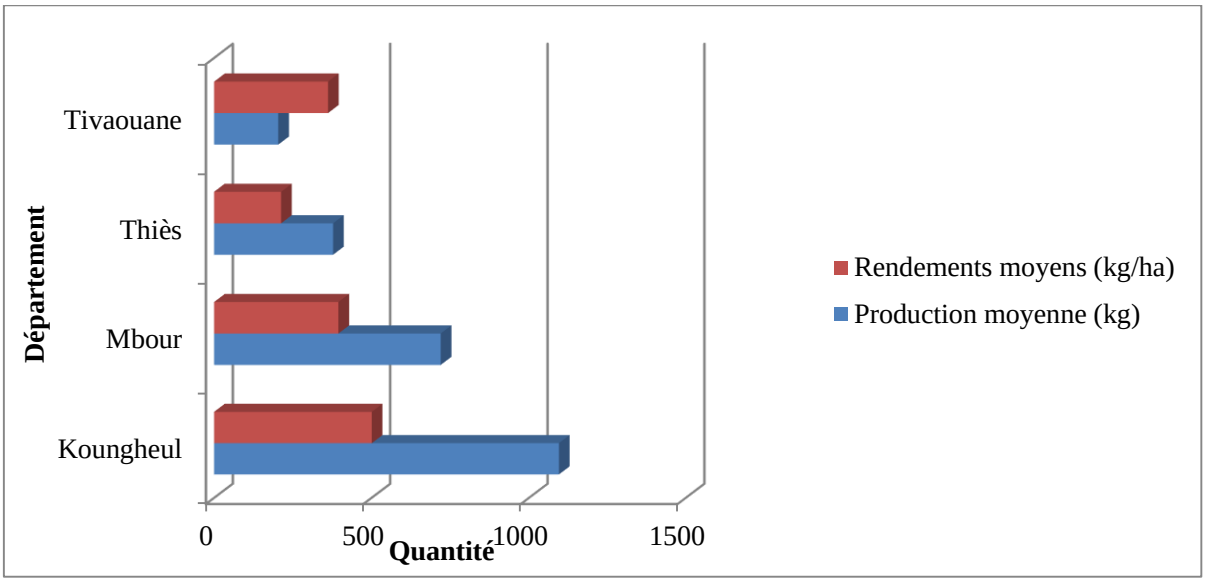

Figure 4-3: Production et rendements moyens du mil, par département

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

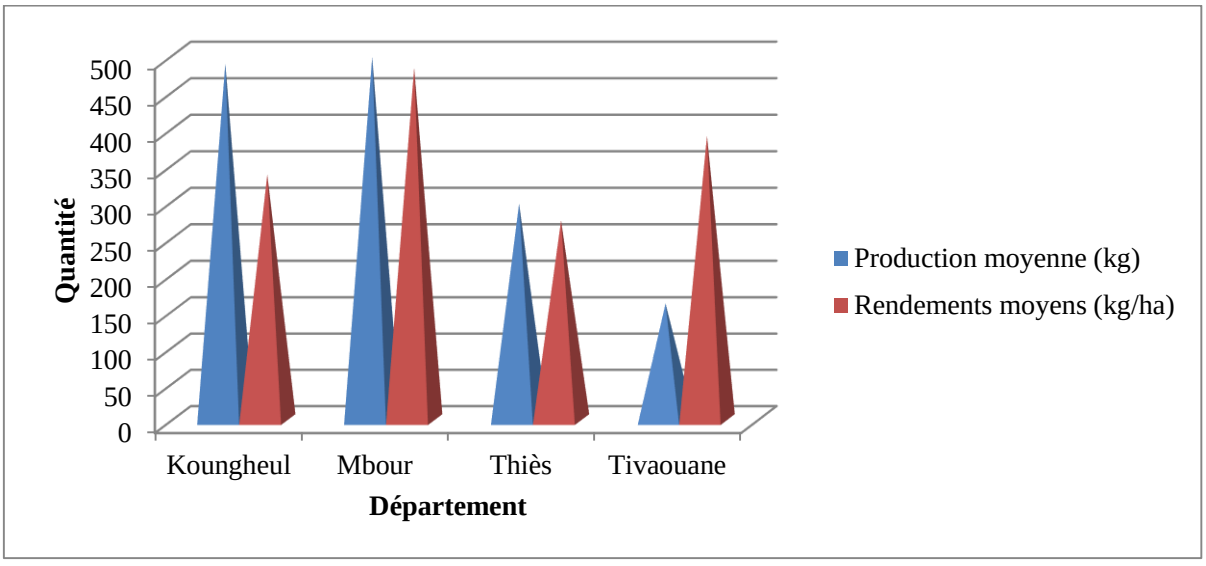

Figure 4-4: Production et rendements moyens du sorgho, par département

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Les rendements et les niveaux de production sont hétérogènes entre les régions. Koungheul reste une zone de prédilection du mil (production supérieure à 1000 kg en moyenne), alors que ces cultures connaissent de plus faibles niveaux de production dans la région de Thiès. Les rendements sont aussi plus élevés dans le département de Koungheul ; ils s'élèvent à 501 kg/ha contre 395 pour le département de Mbour, 213 pour Thiès et 362 pour Tivaouane. Ce résultat est peut être surprenant dans la mesure où il a été montré que les semences certifiées sont plus adoptées dans la région de Thiès. Il semble que dans cette région, malgré l'adoption des semences certifiées, les conditions ne sont pas réunies pour avoir de bonnes récoltes.

S'agissant du sorgho, les résultats sont quelque peu différents de ceux du mil, comme l'illustre la figure 4-4. La production est supérieure dans le département de Mbour (498 kg en moyenne et les rendements y sont plus élevés aussi (483 kg/ha), suivi de Tivaouane (390 kg/ha). La situation du sorgho est différente de celle du mil car dans le département de Mbour, les producteurs sont encadrés par des techniciens, notamment dans le village de Pointe Sarène. Cela a permis d'avoir des résultats relativement bons.

Dans le tableau 4-2, nous avons la description des rendements du mil en fonction du statut d'adoption. Ainsi, en moyenne les adoptants des semences certifiées ont des rendements supérieurs à ceux des non adoptants. Ils sont en moyenne de 465 kg/ha pour les adoptants, avec un maximum de 1,5 tonne/ha. Pour les non adoptants, la moyenne est de 442 kg/ha avec aussi un pic de 1,5 tonne/ha. Pour le sorgho, la désagrégation des rendements par statut d'adoption est présentée dans le tableau 4-3. Le rendement moyen des adoptants est de 451 kg/ha et celui des non adoptants 338 kg/ha. Quel que soit le quartile considéré, le rendement moyen des adoptants est supérieur à celui des non adoptants. Toutefois, que ça soit pour le mil ou le sorgho, ce surplus ne peut être attribué à l'adoption des semences certifiées sans la prise en compte d'autres facteurs déterminant à la fois les rendements et l'adoption. Il est aussi important de souligner le niveau faible de ces rendements, quel que soit le quartile. Ces chiffres sont loin du potentiel des variétés améliorées de mil et de sorgho qui peuvent atteindre un rendement de trois tonnes à l'hectare en conditions de station.

Tableau 4-2: Rendements du mil, par statut d'adoption

Statistiques	**Rendements adoptants (kg/ha)**	**Rendements non adoptants (kg/ha)**
Moyenne	465	442
Premier quartile	250	246
Deuxième quartile	400	400

Troisième quartile	600	600
Écart-type	288	261
Nombre d'observations	55	390

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Tableau 4-3 : Rendements du sorgho, par statut d'adoption

Statistiques	**Rendements adoptants**	**Rendements non adoptants**
Moyenne	451	338
Premier quartile	233	175
Deuxième quartile	400	280
Troisième quartile	600	450
Écart-type	308	243
Nombre d'observations	29	203

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014

Les niveaux de rendements montrent que la seule promotion de l'adoption des variétés améliorées ne garantit pas une augmentation significative des productions. Le potentiel de ces variétés ne peut être exploité que si les conditions réelles sont proches de celles des stations de recherche ; ce qui est loin d'être le cas. La dégradation des sols dans le bassin arachidier, le non-respect des itinéraires techniques (date de semis, labour, binage, sarclage) et le faible niveau d'utilisation des intrants (tableaux 4-4 et 4-5) font que les rendements des variétés améliorées n'atteignent même pas la moitié de leur potentiel. Dans l'échantillon, seuls 37% des producteurs utilisent l'engrais NPK contre 6% pour l'urée. Les producteurs qui parviennent à avoir plus d'une tonne à l'hectare sont la plupart du temps encadrés par des techniciens agricoles ou alors ce sont des producteurs semenciers qui sont tenus de respecter les itinéraires techniques, sous la supervision du Service Officiel de Contrôle (SOC).

Tableau 4-4: Niveau d'utilisation des intrants pour la production de mil

Variable	**Observations**	**Moyenne (kg/ha)**	**Écart-type**
Semence	445	4,0	1,3
NPK	445	31,2	67,0
Urée	445	2,4	12,5
Engrais organiques	445	70,2	410,0
Produits phytosanitaires	445	0,7	10,6

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

Tableau 4-5: Niveau d'utilisation des intrants pour la production de sorgho

Variable	Observations	Moyenne (kg/ha)	Écart-type
Semences	232	6,8	2,40
NPK	232	6,7	27,20
Urée	232	0,5	6,70
Engrais organiques	232	2,6	39,90
Produits phytosanitaires	232	0,6	8,70

Source : Enquête ISRA/BAME, 2014

Les quantités d'intrants déclarées par les producteurs de l'échantillon montrent qu'ils sont loin de respecter les recommandations de la recherche. La moyenne de 4 kg de semence de mil par hectare correspond à la dose recommandée. Pour le sorgho, en moyenne les producteurs utilisent 6,8 kg de semences par hectare alors que la dose recommandée est de 8 kg/ha. Pour le NPK et l'urée, les moyennes sont de 31,2 kg/ha et 2,4 kg/ha pour le mil, 6,7 kg/ha et 0,5 kg/ha pour le sorgho. Pourtant, les recommandations sont de 150 kg de NPK et 100 kg d'urée par hectare. L'utilisation d'engrais organiques est faible mais, pour le mil, elle est caractérisée par un écart-type élevé qui pourrait indiquer des erreurs de mesure. La protection des cultures contre les ravageurs (insectes) semble également être négligée car les produits phytosanitaires sont faiblement utilisés. Toutefois, il y a d'autres techniques de lutte comme la résistance variétale (utilisation de variétés tolérantes), et les techniques culturales, tels que l'arrachage et l'incinération des plants malades (ISRA, 2005). Tous ces résultats permettent de comprendre la faiblesse des rendements du mil et du sorgho. Les recommandations ne sont pas respectées et pour causes il y a le faible accès à l'information sur les itinéraires techniques et le manque de moyens financiers pour l'achat d'intrants. Comme le montrent les figures 4-3 et 4-4, les quantités achetées d'intrants sont faibles par rapport aux quantités utilisées. En effet, les producteurs s'approvisionnent plus dans leurs stocks personnels et leurs réseaux sociaux plutôt que dans le marché.

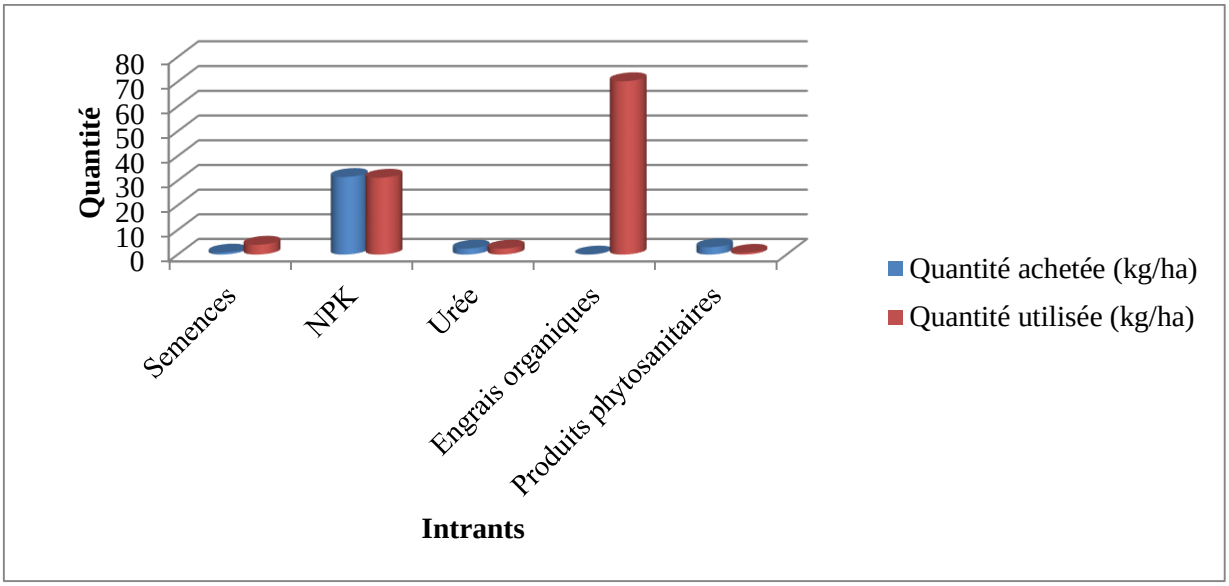

Figure 4-5: Achats et utilisation d'intrants pour le mil

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014.

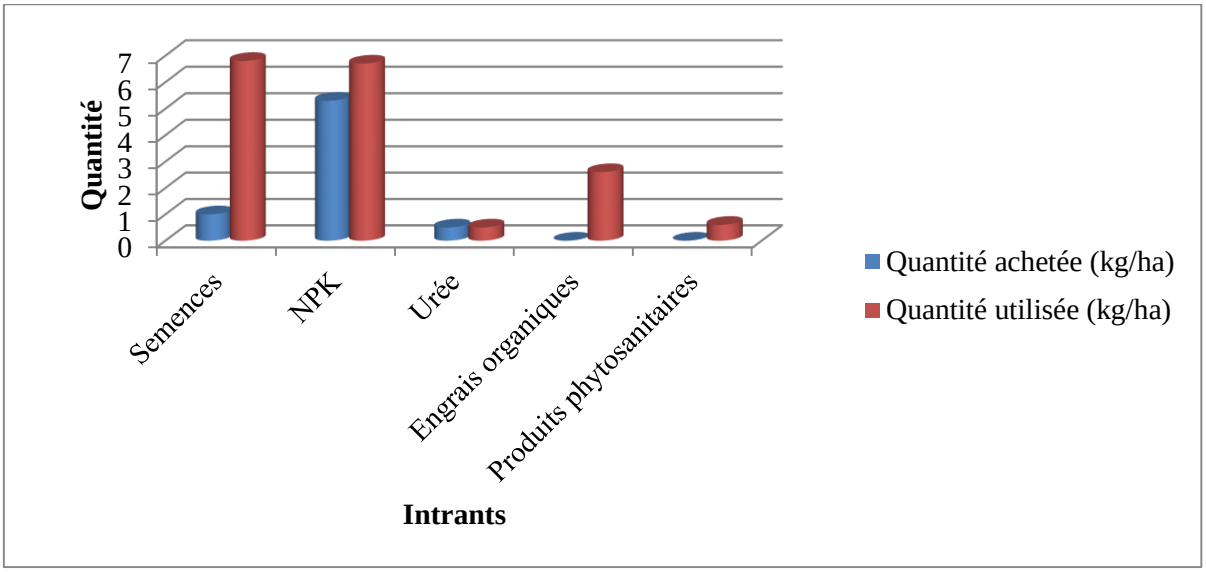

Figure 4-6: Achats et utilisation d'intrants pour le sorgho

Source : Auteure, à partir de Enquête ISRA/BAME, 2014.

Pour mieux comprendre les rendements des adoptants des semences certifiées de mil et de sorgho, le niveau d'utilisation des intrants est désagrégé par statut d'adoption dans le tableau 4-6.

Tableau 4-6: Niveau d'utilisation des intrants par statut d'adoption des semences certifiées de mil

Variable	Moyenne non adoptants (kg/ha)	Moyenne adoptants (kg/ha)	Différence	Statistique t
Semence	4	3,6	-0,4*	2,44
NPK	28,5	50,3	21,8*	-2,27
Urée	1,7	7,9	6,2***	-3,5
Engrais organiques	65,4	104	38,6	-0,65
Produits phytosanitaires	0	5,5	5,5***	-3,6

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteure

Tableau 4-7: Niveau d'utilisation des intrants par statut d'adoption des semences certifiées de sorgho

Variable	Moyenne non adoptants (kg/ha)	Moyenne adoptants (kg/ha)	Différence	Statistique t
Semence	7	5,3	1,7***	3,7
NPK	6	10,9	-4,8	-0,9
Urée	0,6	0	0,6	0,4
Engrais organiques	0	20	-20**	-2,7
Produits phytosanitaires	0,7	0	0,7	0,4

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

À l'image des statistiques sur l'échantillon total, la désagrégation par statut d'adoption fait aussi état d'un faible niveau d'utilisation des intrants. Concernant le mil, les adoptants des semences certifiées utilisent une plus grande quantité de NPK, d'urée et d'engrais organiques que les non adoptants. Les différences sont toutes significatives au seuil de 5% sauf pour l'utilisation de l'engrais organique. En moyenne, les adoptants des semences certifiées utilisent aussi une plus grande quantité de produits phytosanitaires que les non adoptants et la différence est significative au seuil de 0,1%. S'agissant des quantités de semences, la tendance est différente des autres types d'intrants car les adoptants utilisent en moyenne moins de semences que les non adoptants. En effet, les non adoptants respectent en moyenne la dose de 4 kg de semences par hectare alors que les adoptants sèment en moyenne 3,6 kg à l'hectare. La situation est pareille dans le cas du sorgho où les adoptants utilisent moins de semences par hectare que les non adoptants. Une explication de ce résultat pourrait être un besoin d'économie de la part des adoptants. Les semences certifiées de mil étant achetées par sac de 4 kg et celles du sorgho par sac de 8 kg les producteurs peuvent décider d'utiliser moins que les doses recommandées pour emblaver une plus grande superficie et ne pas avoir

des restes de semences sous la main. Par exemple, pour emblaver 2,5 hectares de mil en respectant les recommandations de la recherche, le producteur doit utiliser 10 kg de semences. Cependant, avec les conditionnements disponibles sur le marché en 2013, il ne peut qu'acheter deux sacs de 4 kg pour un total de 1000 FCFA ou 3 sacs de 4 kg pour un total de 1500 FCFA, sachant qu'il restera 2 kg de semences non utilisées. Si ce producteur est sous contrainte budgétaire (ce qui est souvent le cas) et a une vision myope[15] , il sera plus optimal pour lui d'acheter deux sacs de 4 kg pour les 2,5 hectares et emblaver ainsi 3,2 kg par hectare, au lieu des 4 kg. Cette stratégie, combinée au bas niveau d'utilisation des intrants, aura pour conséquence des rendements très en deçà du potentiel des variétés améliorées. Cela pose la problématique du conditionnement des semences certifiées. Des sacs de différentes tailles (8 kg, 4 kg, et 1 kg par exemple) pourraient donner plus de flexibilité aux producteurs. Ce conditionnement améliorerait le respect des doses de semences et par conséquent les rendements.

L'étude des caractéristiques de la production du mil et du sorgho a montré que dans le département de Koungheul et la région de Thiès, les niveaux de production de ces cultures restent encore faibles pour relever le défi de la sécurité alimentaire. Les rendements déclarés sont largement inférieurs au potentiel des variétés générées par la recherche. Il a été montré que ceux qui utilisent les semences certifiées ont en général des rendements plus élevés que ceux qui ne les utilisent pas. Cependant, le lien de causalité ne peut être établi sans une évaluation d'impact pouvant isoler l'effet de l'adoption des semences certifiées, objet de la partie qui suit. Les modèles utilisés sont l'appariement par les scores de propension et le modèle à changement de régime.

4.2. Application des méthodes d'évaluation d'impact

4.2.1. Les étapes de l'appariement parles scores de propension

Caliendo et Kopeining (2008), puis Abadie et Imbens (2015), ont décrit la procédure pour appliquer la méthode de l'appariement par les scores de propension. Nous la décrivons en cinq étapes. Les quatre premières peuvent être conduites sans recours au vecteur de résultats noté Y.

[15] Le reste peut être utilisé l'année suivante comme semence certifiée si la multiplication n'a pas encore atteint le niveau R2.

a). L'estimation des scores de propension

Dans cette première étape du processus, deux choix doivent être faits. Le premier porte sur le modèle à utiliser pour estimer les probabilités. Généralement, c'est le probit ou le logit. Asymptotiquement, les deux modèles se valent ; cependant, dans les échantillons de taille finie, le logit est plus adapté si la distribution de la variable de traitement est concentrée autour de 0 ou 1. Le deuxième choix porte sur les variables à inclure dans le modèle. Elles doivent déterminer à la fois le traitement et la variable résultat (Smith et Todd, 2005). Les variables ne doivent être ni affectées par le traitement ni par son anticipation. Comme le soulignent Caliendo et Kopeining (2008), elles doivent être soit fixées dans le temps, soit mesurées avant le traitement. Il est aussi important de ne pas inclure des variables dont certaines valeurs prédisent parfaitement le succès ($D = 1$) ou l'échec ($D = 0$) (Heckman et al., 1998).

b). Les techniques d'appariement

Asymptotiquement, toutes les techniques d'appariement doivent aboutir au même résultat. Mais dans les échantillons de taille finie, le choix d'une technique spécifique peut être décisif, dépendant des caractéristiques des données. Les principales techniques d'appariement sont décrites ci-dessous.

— *La méthode du plus proche voisin*

C'est l'algorithme le plus populaire et relativement le plus simple. Chaque individu du groupe de contrôle est choisi comme partenaire de l'individu traité le plus proche en termes de score de propension (Caliendo et Kopeinig, 2008). Cette méthode est caractérisée par quelques spécificités. Par exemple, elle peut se faire sans ou avec remplacement. Dans le premier cas, un individu du groupe de contrôle ne peut être utilisé qu'une seule fois comme partenaire d'un individu traité. Dans le second cas, il peut être utilisé plusieurs fois. Le choix entre ces deux techniques résulte d'un arbitrage entre biais et variance (Smith et Todd, 2005, Imbens et Wooldridge, 2009). L'appariement sans remplacement, du fait qu'il utilise un plus grand nombre d'observations, réduit la variance de l'estimateur ; par contre il peut augmenter le biais car des observations avec des scores de propension très différents peuvent être appariées. Quant à l'appariement avec remplacement, il réduit le biais car uniquement les observations du groupe contrôle qui ont des probabilités proches de celles du groupe témoin sont utilisées. Mais il augmente la variance car, dans certains cas, seul un petit nombre d'observations du groupe contrôle sera utilisé. Cette situation survient quand il y a peu de non traités

comparables aux traités. Toutefois, selon Abadie et Imbens (2006), la méthode avec remplacement produit un appariement de meilleure qualité car il augmente l'ensemble des partenaires possibles. En outre, il accroît les possibilités d'apparier toutes les observations, traités et contrôles, de telle sorte que l'estimateur obtenu se rapproche de l'ETM (Effet de Traitement Moyen).

— *La méthode du « compas » et du « rayon »*

Un des risques de la méthode du plus proche voisin est la possibilité d'un mauvais appariement si le plus proche voisin est éloigné de l'individu traité. Pour éviter cela, il est possible d'imposer une distance maximale entre de potentiels individus à apparier. C'est exactement ce que fait la méthode du « compas »[16]. La difficulté est que le choix de la distance demeure arbitraire. Dehajia et Wahba (2002) ont proposé une transformation de cette méthode appelée l'appariement par « rayon »[17]. La méthode proposée consiste à utiliser non pas une seule observation du groupe de contrôle qui satisfait la distance, mais toutes les observations qui sont dans le rayon. En augmentant le nombre de partenaires potentiels, cette méthode contribue à réduire le biais.

— *Stratification et appariement*

Cette méthode consiste à subdiviser les observations en strates dans lesquelles les moyennes des scores de propension des traités et des non traités ne sont pas significativement différentes (Rosenbaum et Rubin, 1984 ; Abadie et Imbens, 2015). L'effet du traitement est estimé dans chaque strate et l'estimateur est obtenu en faisant la moyenne de ces effets spécifiques aux strates, pondérée par la distribution des scores de propension dans chaque strate. Il n'y a pas d'indication sur le nombre de strates ; l'essentiel est de subdiviser autant que possible pour avoir une homogénéité des probabilités dans chacune d'elles.

— *La méthode kernel et l'appariement linéaire local*

Contrairement aux méthodes précédentes qui utilisent uniquement un certain nombre d'individus parmi les non traités pour construire le groupe de comparaison. La méthode kernel et l'appariement linéaire local sont des estimateurs non paramétriques utilisant une moyenne pondérée de tous (ou presque) les individus du groupe contrôle. Un avantage de cette méthode est la réduction de la variance résultant de l'utilisation d'un plus grand nombre d'observations. Son inconvénient est la possibilité de voir le biais augmenter du fait de

[16] Caliper matching
[17] Radius matching

mauvais appariements. La méthode kernel peut être comprise comme une régression de Y_{i0} sur une constante, avec des poids de kernel dépendant de la distance entre chaque observation du groupe de contrôle et l'observation du groupe de traitement pour lequel le contrefactuel est en train d'être construit. La constante estimée donne une estimation de la moyenne du contrefactuel. L'appariement linéaire local se différencie de la méthode kernel dans la mesure où, en plus de la constante, elle inclut une transformation linéaire des scores de propension (Smith et Todd, 2005). Heckman et al. (1998) ont dérivé les propriétés asymptotiques de ces deux méthodes.

c). Le support commun et la qualité de l'appariement

L'appariement doit être fait sur le support commun ; c'est-à-dire l'intervalle des probabilités estimées commune au groupe de traitement et de contrôle. Les observations qui ont des valeurs extrêmes comme scores de propension doivent tout simplement être éliminées (Abadie et Imbens, 2015).

La méthode des scores de propension produit naturellement un estimateur biaisé du fait justement que les données ne proviennent pas d'une expérience randomisée. Pour limiter ce biais, il est nécessaire de faire un appariement de qualité ; autrement dit de comparer des observations comparables. Quatre critères permettent généralement de juger la qualité de l'appariement :

— *Le biais standardisé moyen*

Pour chaque variable, le biais standardisé moyen est la différence des moyennes d'échantillon du groupe de traitement et de contrôle, divisée par la racine carrée de la somme des variances de la variable explicatives dans chaque groupe. Un bon appariement doit avoir un biais standardisé moyen inférieur à 5% sur toutes les variables (Rubin, 2002).

— *Le test de significativité*

C'est le test classique de la qualité de l'appariement. Il s'agit de comparer les moyennes des variables explicatives entre le groupe traité et le groupe contrôle. Après appariement, ces différences ne doivent pas être significatives.

— *Significativité jointe et pseudo-R^2*

Cette étape consiste à estimer une seconde fois les scores de propension sur l'échantillon des observations appariées et de comparer ensuite les pseudo-R^2 avant et après appariement. Le dernier doit être faible car le traitement est supposé aléatoire conditionnellement à X (Sianesi, 2004). Un autre moyen de juger de la qualité de l'appariement consiste à faire un test de ratio

de vraisemblance sur la significativité jointe de toutes les variables dépendantes, avant et après appariement. Ce test ne doit pas être rejeté avant appariement mais il doit l'être après.

— *Le test de stratification*

Il s'agit de diviser les observations en strates, dépendant des scores de propension. L'objectif est que dans chaque strate, la moyenne des scores de propension du groupe de traitement, ne soit pas significativement différente de la moyenne des scores de propension du groupe de contrôle. Cette stratification permet aussi de tester l'hétérogénéité de l'impact en calculant l'ETT pour chaque strate.

d). Robustesse des résultats

La méthode de l'appariement par les scores de propension repose sur une hypothèse principale qui est l'indépendance conditionnelle du traitement. Malheureusement, il n'existe aucun test pour vérifier cette hypothèse. Il y a juste quelques méthodes qui sont proposées pour rendre les résultats plus crédibles s'ils restent invariants à d'autres spécifications du modèle. Par exemple, Abadie et Imbens (2015) suggèrent de subdiviser le vecteur X en deux parties : un vecteur X_p de pseudo-résultats et un vecteur X_r contenant les variables explicatives restantes. Ensuite, il faudra estimer l'effet du traitement sur ce vecteur de pseudo-résultats, avec comme variables explicatives le vecteur X_r. Si l'indépendance conditionnelle est valide, l'effet du traitement doit être a priori nul. Dans le cas contraire, il y aurait des doutes sur la validité de cette hypothèse, et donc du modèle de manière générale.

e). Estimation de l'impact

La dernière étape de la procédure consiste à utiliser le vecteur Y, qui a été absent des étapes précédentes, pour calculer l'effet du traitement sur l'échantillon d'observations appariées, partageant le support commun. En pratique, l'estimateur non paramétrique du PSM est calculé comme suit :

$$\alpha_{APSP} = E\left[\left(Y_{i1} \mid D_i = 1, p(X_i)\right) - \sum_{j\in\{D_j=0\}} w(i,j)(Y_{j0} \mid D_j = 0, p(X_j))\right] \qquad (4.1)$$

Où $w(i,j)$ est la pondération attribuée au j-ème individu non traité. Le poids devrait être d'autant plus grand que l'individu j et l'individu i sont le plus proches en termes de scores de propension. L'effet moyen estimé est une différence de moyennes pondérées entre le groupe des traités et le groupe des non traités.

Cette étape comprend aussi le calcul de la variance de l'effet du traitement. Ce calcul est souvent fait sans prendre en compte le fait que les scores de propension ne sont pas observés

mais estimés. Ainsi, Abadie et Imbens (2006) ont proposé une méthode de calcul de cette variance tenant compte de l'estimation des scores de propension. Ils ont souligné le fait que la méthode du bootstrap n'est généralement pas valide dans l'appariement par les scores de propension, notamment quand la méthode du plus proche voisin est utilisée.

4.2.2. Spécification empirique des modèles

L'objectif de cette sous-partie est de présenter les variables et les méthodes d'estimation des deux modèles d'évaluation d'impact décrits au chapitre 2. Le choix des variables a été fondé sur la théorie des déterminants de l'adoption des technologies agricoles et sur les résultats du chapitre 3 qui ont permis d'identifier les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et/ou de sorgho. La première variable dépendante est le rendement (du mil et du sorgho) obtenu en divisant la quantité produite (en kilogrammes) par la superficie emblavée (en hectares). La sécurité alimentaire est mesurée à travers deux dimensions qui sont la disponibilité et l'accessibilité de la nourriture. Selon la FICR (2005, p. 9), « la disponibilité de la nourriture au niveau national, régional et/ou local signifie que la nourriture est physiquement disponible parce qu'elle a été produite, traitée, importée ou transportée ». Le niveau des rendements peut par exemple être un indicateur de cette disponibilité. Quant à l'accessibilité de la nourriture, elle est définie comme « la façon dont les gens peuvent obtenir la nourriture disponible » (FICR, 2005, p.9). La nourriture est accessible par une combinaison d'éléments comme la production domestique, les stocks, les achats, les trocs, les cadeaux ou encore les aides alimentaires. L'accessibilité de la nourriture dépend des revenus des ménages, de la répartition de ces revenus au sein de la famille et du prix des denrées. Dans nos estimations, compte-tenu des données disponibles, les dépenses alimentaires du ménage sont utilisées comme indicateur de mesure de la sécurité alimentaire. Les dépenses alimentaires sont la somme des dépenses du ménage en aliments sur le dernier mois et la valeur des produits autoconsommés sur la même période. Elles englobent à la fois le critère de disponibilité et le critère d'accessibilité de la nourriture. Le Programme Alimentaire Mondiale (2014) a proposé les dépenses alimentaires comme un des indicateurs de mesure de la sécurité alimentaire.

a). L'appariement par les scores de propension (PSM)

Les scores de propension vont être estimés avec le modèle logit, plus adapté aux données du fait de la présence d'un grand nombre de non adoptants. Deux méthodes seront utilisées pour l'appariement : celle du plus proche voisin (choix de 5 voisins) avec remplacement et la

méthode kernel. Les autres méthodes ont été testées mais celle du proche voisin a produit les meilleurs résultats en termes de qualité de l'appariement.

b). Le modèle à changement de régime (ESR)

Dans le modèle à changement de régime, le choix des variables à inclure dans le vecteur des variables instrumentales Z et celui des variables explicatives X est important. En effet, pour que le modèle soit identifié il faut qu'il y ait au moins une variable du vecteur Z qui ne soit pas dans le vecteur X. Cette variable peut être considérée comme un instrument déterminant l'adoption des semences certifiées. Suivant l'exemple de Suri (2011) qui avait pris la distance par rapport à un vendeur de fertilisants comme instrument, l'existence d'un vendeur de fertilisants dans le village est incluse dans le vecteur Z mais pas dans X. Le deuxième instrument est le contact avec une ONG qui est sorti comme un déterminant significatif de l'adoption dans le chapitre 3. Ces deux instruments peuvent être considérés comme exogènes une fois que l'utilisation des engrais chimiques est prise en compte dans le modèle ainsi que les autres variables pouvant découler du contact avec une ONG comme l'accès au crédit et la formation agricole.

L'estimation se fait théoriquement en deux étapes. La première est l'estimation du modèle probit des déterminants de l'adoption. L'estimation des probabilités d'adoption permettra de calculer les inverses des ratios de Mills λ_1 et λ_0, utilisés dans la seconde étape du processus d'estimation. Cependant, selon Lokshin et Sajaia (2004), cette estimation en deux étapes est inefficace car les écarts-types estimés ne sont pas convergents. Ils recommandent l'utilisation du « Full Information Maximum Likelihood Method » (FIML) qui permet d'estimer simultanément le modèle probit et les deux équations de rendement. Nous allons suivre cette recommandation.

De manière générale, les statistiques descriptives des variables des deux modèles sont présentées dans les tableaux 4-8 et 4-9 pour le mil, et les tableaux 4-10 et 4-11 pour le sorgho. La plupart des variables sont identiques.

Tableau 4-8: Variables du PSM (mil)

Nom	Description	Oui (%)
certifmil	Adoption des semences certifiées de mil	12,4
cont_ong	Contact avec une ONG	6,5
sexe	Sexe	26 (femme)
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	31,6
formation1	Éducation arabe	57
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	10,5
f_agricole	Formation/stage agricole	6,5
cont_op	Contact avec une OP	20
obtention_credit	Obtention d'un crédit	24
koungheul	Département de Koungheul	64,5
mbour	Département de Mbour	12,8
thies	Département de Thiès	7,4

Source : calculs de l'auteur

Tableau 4-9: Variables de l'ESR (mil)

Variables discrètes			
Nom	**Description**	**Oui (%)**	**Observations**
cont_ong	Contact avec une ONG	6,5	445
sexe	Sexe	26	445
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	31,6	445
formation1	Éducation arabe	57	445
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	10,5	445
f_agricole	Formation/stage agricole	6,5	445
cont_op	Contact avec une OP	20	445
obtention_credit	Obtention d'un crédit	24	445
koungheul	Département de Koungheul	64,5	445
mbour	Département de Mbour	12,8	445
thies	Département de Thiès	7,4	445
vendeur_fert	Existence d'un vendeur de fertilisants dans le village	6,5	445
revenus_nonagri	Existence revenus non agricoles	62,25	445

Variables continues				
Nom	**Description**	**Moyenne**	**Écart-type**	**Observations**
lrend_mil (variable dépendante)	*Logarithme rendement mil*	*6*	*0,6*	*445*
sup_cer	Superficie emblavée en céréales (ha)	3	3,1	445
age	Age (ans)	48	14,7	445
NPK_hect	Quantité NPK par hectare (kg/ha)	31	66,9	445
uree_hect	Quantité urée par hectare (kg/ha)	2	12,5	445
sem_hect	Quantité semences par hectare	4	1,3	445
mofam_hect	Main-d'œuvre familiale par hectare	2	2,1	445
nbrmat_hect	Nombre de matériels agricoles par	1	1	445

	hectare			
ldep_alim (variable dépendante)	*Logarithme dépenses alimentaires du ménage*	*11*	*0,46*	*439*
taille_men	Taille du ménage	11,6	5,4	445
ltotal_prod	Logarithme production totale	7,4	1,3	445
sup_owned	Superficie possédée	7,7	10	442

Source : calculs de l'auteur

Tableau 4-10: Variables du PSM (sorgho)

Variables discrètes				
Nom	**Description**	**Oui (%)**	**Observations**	
certifsorg	Adoption d'une semence certifiée de sorgho	12,5	232	
cont_ong	Contact avec une ONG	6,9	232	
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	31,47	232	
sexe	Sexe	18,53 (femme)	232	
formation1	Éducation arabe	54,74	232	
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	13,36	232	
f_agricole	Formation/Stage agricole	4,31	232	
obtention_credit	Obtention d'un crédit	20,69	232	
cont_op	Contact avec une OP	15,09	232	
Kaffrine	Région de Kaffrine	54,74	232	
Variables continues				
Nom	**Description**	**Moyenne**	**Écart-type**	**Observations**
lrend_sorg (variable dépendante)	*Logarithme rendement sorgho*	*5,62*	*0,71*	*232*
nbr_mat	Nombre de matériels agricoles possédés	3,09	1,91	232
mo_fam	Taille main-d'œuvre familiale	6,82	4,62	231
Age	Age	50,22	15,1	231
supmilsorg_v	Superficie emblavée en mil et sorgho dans le village	63,28	38,67	232

Source : calculs de l'auteure

Tableau 4-11: Variables de l'ESR (sorgho)

Variables discrètes			
Nom	**Description**	**Oui (%)**	**Observations**
cont_ong	Contact avec une ONG	6,9	232
sexe	Sexe	18,53 (femme)	232
formation1	Éducation arabe	54,74	232
formation2	Éducation primaire et/ou	13,36	232

	secondaire			
f_agricole	Formation/stage agricole	4,31	232	
obtention_credit	Obtention d'un crédit en 2013	20,69	232	
cont_op	Contact avec une OP	15,09	232	
revenus_non_agri	Existence de revenus non agricoles	59,91	232	
vendeur_fert	Existence vendeur de fertilisants dans le village	9,05	232	
kaffrine	Région de Kaffrine	54,74	232	
koungheul	Département de Koungheul	54,74	232	
mbour	Département de Mbour	9,48	232	
Thies	Département de Thiès	15,09	232	
certifsorg	Adoption semences certifiées de sorgho	12,5	232	
Variables continues				
Nom	**Description**	**Moyenne**	**Écart-type**	**Observations**
lrend_sorg	Logarithme rendement mil	5,63	0,71	232
ldep_conso	Logarithme dépenses alimentaires	11,44	0,78	232
sup_cer	Superficie emblavée en céréales (ha)	3,65	3,94	232
NPK_hect	Quantité NPK par hectare (kg/ha)	6,68	27,17	232
uree_hect	Quantité urée par hectare (kg/ha)	0,54	6,76	232
sem_hect	Quantité semences par hectare (kg/ha)	6,81	2,45	232
mofam_hect	Main-d'œuvre familiale par hectare	2,22	2,79	231
nbrmat_hect	Nombre de matériels agricoles par hectare	1,03	1,70	232
age	Age	50,23	15,10	231
agesq	Age au carré	2749,62	1555,81	231
supmilsorg_v	Superficie emblavée en mil et sorgho dans le village	63,28	38,69	232
taille_exp	Taille du ménage	14,67	10,04	232
sup_owned	Superficie possédée	8,64	12,73	230
ltotal_prod	Logarithme production totale	7,44	1,20	232

Source : calculs de l’auteure

4.3. Impact de l'adoption des semences certifiées sur les rendements

4.3.1. Impact de l'adoption des semences certifiées de mil selon le PSM

4.3.1.1. Les scores de propension

Les résultats du modèle logit d'estimation des scores de propension sont présentés dans l'Annexe 2. Les variables incluses dans le modèle sont globalement significatives.

Avant de passer à l'impact proprement dit de l'adoption, il est utile d'évaluer la qualité de l'appariement.

4.3.1.2. La qualité de l'appariement

La qualité de l'appariement a été évaluée selon plusieurs critères, suivant Rubin (2002), Kassie et al. (2011) et Bekele et al. (2014). D'abord, le tableau 4-12 et le tableau 4-13 présentent les résultats des tests de significativité des différences de moyennes des variables explicatives avant et après appariement.

Tableau 4-12 : Test de différences de moyenne avant appariement (mil)

		Moyenne			
Nom de la variable	**Description**	**Adoptants**	**Non adoptants**	**Biais (%)**	**p>t**
formation1	Enseignement arabe	0,4	0,59**	-39,6	0,006
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	0,16	0,09	19,5	0,139
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	0,62	0,35***	54,7	0,000
sexe	Sexe	0,17	0,27	-26,6	0,083
age	Age	51,02	47,58	25,1	0,104
f_agricole	Formation/Stage agricole	0,31	0,031***	79,1	0,000
obtention_credit	Obtention d'un crédit	0,42	0,22***	44,1	0,001
cont_op	Contact avec une OP	0,25	0,19	15,3	0,268
koungheul	Département de Koungheul	0,31	0,69***	-82,1	0,000
mbour	Département de Mbour	0,36	0,09***	66,8	0,000
thies	Département de Thiès	0,18	0,06***	38,1	0,001

Source : calculs de l'auteure

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Le tableau 4-12 met en évidence des différences significatives entre adoptants et non adoptants des semences certifiées de mil. D'abord le taux d'utilisation d'engrais chimiques diffère entre les groupes : 62 % des adoptants utilisent des engrais chimiques alors qu'ils sont 35% chez les non adoptants. Aussi, les adoptants ont plus bénéficié d'une formation stage/agricole et ont un plus grand nombre de bénéficiaires de crédit en 2013. Les effets fixes

département sont également différents entre adoptants et non adoptants. Par rapport aux producteurs enquêtés dans la région de Thiès, ceux de Koungheul adoptent moins les semences certifiées de mil ; ce qui confirme les résultats discutés dans le chapitre 3. Ces différences significatives des moyennes des variables explicatives sont supposées être à la base de l'auto sélection dans l'adoption.

Tableau 4-13: Test de différences de moyennes après appariement (mil)

		Moyenne			
Nom de la variable	**Description**	**Adoptants**	**Non adoptants**	**Biais (%)**	**p>t**
formation1	Enseignement arabe	0,43	0,41	4,10	0,84
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	0,16	0,16	1,20	0,96
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	0,57	0,53	9,30	0,66
sexe	Sexe	0,18	0,17	4,00	0,83
age	Age	50,06	51,98	-13,90	0,45
f_agricole	Formation/Stage agricole	0,22	0,23	-2,30	0,92
obtention_credit	Obtention d'un crédit	0,37	0,38	-1,80	0,93
cont_op	Contact avec une OP	0,27	0,26	2,00	0,93
koungheul	Département de Koungheul	0,35	0,29	13,20	0,52
mbour	Département de Mbour	0,31	0,27	9,20	0,69
thies	Département de Thiès	0,20	0,20	2,50	0,92

Source : calculs de l'auteure

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Après l'appariement, aucune différence significative n'est notée entre les moyennes des variables explicatives. Cela permet de dire que les groupes traités et non traités sont comparables sur le plan des variables observables.

La figure 4-7 illustre le biais standardisé après appariement pour le mil. Il est représenté par les petits cercles avant appariement et par les petites croix après.

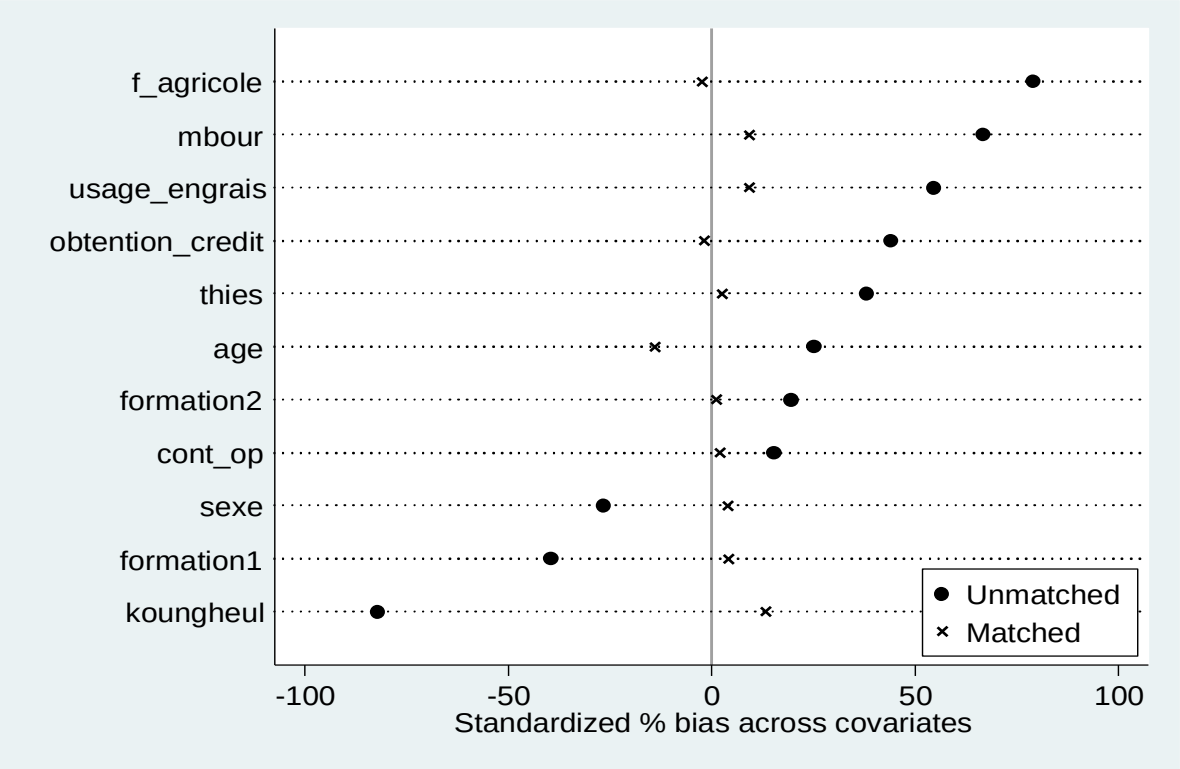

Figure 4-7 : Biais standardisé avant et après appariement
Source : calculs de l'auteure
Note : « Unmatched » désigne l'échantillon des producteurs non appariés et « Matched » celui des producteurs appariés. Le biais standardisé est en abscisses.

La figure 4-7 montre une importante réduction du biais standardisé après appariement. Avant appariement, sa valeur est la plupart du temps supérieure à 10% et va jusqu'à plus de 50% pour des variables comme la formation/stage agricole et l'obtention d'un crédit en 2013. Après appariement, les deux effets fixes des départements de Koungheul et Mbour, ainsi que l'âge et l'usage d'engrais pourraient encore avoir un biais standardisé moyen supérieur à 5%. Ce sont les meilleurs résultats qui ont pu être obtenus sur cet échantillon.

Comme suggéré par Caliendo et Kopeing (2008), le tableau 4-14 présente d'autres critères d'évaluation de la qualité de l'appariement, en l'occurrence le test de maximum de vraisemblance, le pseudo-R2 et le biais moyen.

Tableau 4-14: Indicateurs qualité avant et après appariement

Échantillon	**Pseudo R2**	**LR chi2**	**p>chi2**	**Biais moyen**
Non appariés	0,324	107,82	0	44,6
Appariés (plus proche voisin)	0,024	3,23	0,987	5,8

Source : calculs de l'auteure

Les résultats indiquent une bonne qualité de l'appariement des producteurs de mil. En effet le pseudo-R2 est faible après appariement (2,4%). En outre, les tests de maximum de vraisemblance sont rejetés avant l'appariement mais pas après. Le biais moyen est aussi très réduit par rapport à l'échantillon des non appariés.

Le dernier critère à vérifier pour la qualité de l'appariement est la condition du support commun. Ce dernier est représenté par la figure 4-8.

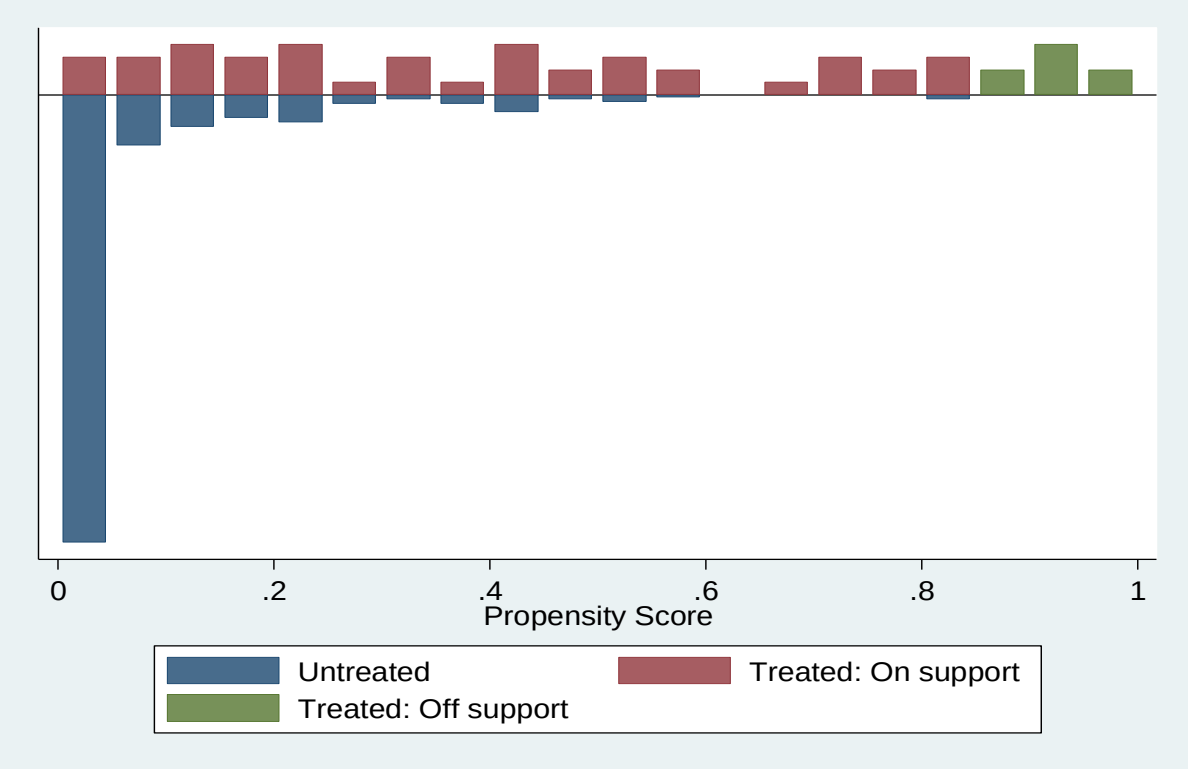

Figure 4-8: Distribution des scores de propension et support commun
Source : calculs de l'auteure
Note : « Untreated » fait référence aux non adoptants (le groupe contrôle) ; « Treated : On support » fait référence aux adoptants qui sont dans le support commun et « Treated : Off support » désigne les adoptants qui sont hors du support commun.

La première remarque sur la distribution des scores de propension parmi les producteurs de mil est sa concentration autour de 0, traduisant le faible taux d'adoption des semences certifiées. Le support commun est toutefois satisfait avec une superposition des probabilités des traités et des non traités. Il y a une perte de 6 adoptants, c'est-à-dire 11% des traités ou 1,3% des observations.

Les différents critères d'évaluation de la qualité de l'appariement ont été remplis par le modèle. En outre, le support commun est respecté. Tout cela permet donc de calculer l'Effet de Traitement sur les Traités ou l'ETT.

4.4.1.3. Résultats du PSM (mil)

Selon les résultats du PSM, les semences certifiées de mil ont un impact positif sur les rendements (tableau 4-15). L'effet est significatif au seuil de 5% ; le coefficient est égal à 0,27 selon la méthode du plus proche voisin et 0,29 selon la méthode kernel. D'après ces chiffres, les semences certifiées de mil augmenteraient les rendements de 31 à 33,6%[18].

Tableau 4-15: ETT selon le PSM (variable dépendante=log rendement mil)

Variable dépendante	Traités	Contrôles	ETT	Écarts-types estimés	t-stat
Log rendement mil (plus proche voisin)	5,88	5,61	0,27*	0,13[19]	2,14
Log rendement mil (kernel)	5,88	5,59	0,29*	0,13	2,2

Significatif au seuil de *5%
Source : calculs de l'auteure

4.3.2. Impact de l'adoption des semences certifiées de mil selon l'ESR

L'utilisation de la méthode de l'appariement par les scores de propension a permis de montrer que l'adoption des semences certifiées de mil est avantageuse pour les producteurs dans les zones étudiées. Cependant, la limite de cette méthode est l'hypothèse de sélection sur les observables. Cela justifie le recours à l'ESR dont les résultats sont présentés ci-dessous.

Les résultats de l'estimation de l'équation de sélection et celles des rendements sont présentés dans l'Annexe 2. Le tableau 4-16 donne l'ETM, l'ETT et la valeur du coefficient de corrélation ρ (rho).

Tableau 4-16: ETM et ETT selon le modèle de régime (variable dépendante=log rendement mil)

Type impact	Valeur	Écarts-types estimés	P>z
ETM	0,5181***	0,1689	0,00
ETT	0,5742***	0,1614	0,00
rho	-0,48***	0,12	0,00

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteur

[18] Exemple : en termes de pourcentage, le rendement augmente de ($e^{0,29}$-1)*100= 33,6%.
[19] Écarts-types robustes d'Abadie et Imbens

En tenant compte de la sélection sur les non observables dans l'adoption des semences certifiées, le coefficient de l'ETM est 0,52 et celui de l'ETT 0,57 (tableau 4-16). En d'autres termes, l'effet de traitement moyen est une augmentation des rendements de 68% tandis que l'ETT est une augmentation des rendements de 77%. Les deux effets sont significatifs au seuil de 0,1%. Comparés à ceux du PSM, les résultats du modèle de régime donnent un impact plus élevé de l'adoption des semences certifiées. En effet, le signe négatif de rho signifie que les variables non observables qui augmentent les rendements sont corrélées aux variables non observables qui diminuent l'adoption des semences certifiées. Donc, ce sont les agriculteurs les moins productifs (c'est-à-dire qui ont les plus faibles rendements) qui ont tendance à adopter les semences certifiées. Dans ce cas, le fait de ne pas en tenir compte conduit à une sous-estimation de l'impact de l'adoption ; d'où l'effet plus élevé observé avec le modèle de régime. Des interactions ont été introduites pour tester la variation de l'impact en fonction du sexe, de l'accès au crédit et de la formation agricole mais les coefficients ne sont pas significatifs.

4.3.3. Impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho selon le PSM

L'estimation des scores de propension ainsi que l'évaluation de la qualité de l'appariement sur l'échantillon des producteurs de sorgho sont présentées dans les Annexes 1 et 2. Les résultats sont en général comparables à ceux du mil et la qualité de l'appariement permet de calculer l'impact selon la méthode du PSM. Le tableau 4-17 contient l'Effet de Traitement sur les Traités selon cette méthode. L'ETT est significatif au seuil de 1% selon la méthode du plus proche voisin. Il est égal à 0,43, ce qui signifie que l'impact sur les adoptants est une augmentation des rendements de 54%.

Tableau 4-17: ETT selon le PSM (variable dépendante= log rendement sorgho)

Variable dépendante	Traités	Contrôles	ETT	Écarts-types estimés	t-stat
Log rendement sorgho (plus proche voisin)	5,85	5,39	0,43**	0,17	2,58
Log rendement sorgho (kernel)	5,85	5,51	0,34	0,18	1,87

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : Calculs de l'auteur

4.3.4. Impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho selon l'ESR

Les résultats du modèle à changement de régime évaluant l'impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho sont présentés dans le tableau 4-18. En tenant compte de la sélection sur les variables non observables, l'ETT et l'ETM augmentent considérablement et

sont tous les deux significatifs au seuil de 0,1%. Les valeurs de l'ETT (1,36) et de l'ETM (1,42) traduisent que l'adoption des semences certifiées de sorgho mènent à des rendements quatre fois plus élevés que ceux des non adoptants. À l'instar des résultats pour le mil, la valeur négative de rho signifie une sous-estimation de l'impact quand le PSM est utilisé. Ici aussi, des interactions ont été introduites pour tester la variation de l'impact mais les coefficients ne sont pas significatifs. De façon générale, ces résultats montrent que l'adoption des semences certifiées de sorgho est bénéfique pour les producteurs car elles permettent d'atteindre des rendements beaucoup plus élevés.

Tableau 4-18: ETM et ETT selon l'ESR (variable dépendante=log rendement sorgho)

Type impact	Valeur	Écarts-types estimés	P>z
ETM	1,42***	0,20	0,00
ETT	1,36***	0,24	0,00
rho	-0,97***	0,03	0,00

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteure

4.4. Impact de l'adoption des semences certifiées sur la sécurité alimentaire

Étant donné l'existence de facteurs non observables à l'origine de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho, seul le modèle à changement de régime a été utilisé pour évaluer l'impact de l'adoption des semences certifiées sur les dépenses alimentaires du ménage, indicateur de la sécurité alimentaire. Le tableau 4-19 montre un effet positif de l'adoption des semences certifiées de mil.

Tableau 4-19: Impact de l'adoption des semences certifiées de mil sur les dépenses alimentaires

Type impact	Valeur	Écarts-types estimés	t
ETM	0,22*	0,09	2,44
ETT	0,19*	0,08	2,37
Rho	-0,34*	0,12	-2,83

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteur

Avec un coefficient de 0,22, l'ETM est une augmentation des dépenses alimentaires de 25%. L'ETT est quant à lui une augmentation de 21% (coefficient de 0,19). Les deux effets sont significatifs au seuil de 5%. Le coefficient rho demeure négatif comme dans le cas des rendements, signifiant que ce sont les producteurs dont les ménages ont les niveaux de consommation les plus bas qui ont plus tendance à adopter les semences certifiées de mil dans les zones d'étude. Les résultats de l'impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho sont présentés dans le tableau 4-20. L'ETM et l'ETT sont tous les deux significatifs au seuil

de 1%. L'ETM (0,59) traduit une augmentation des dépenses alimentaires de 80% et l'ETT correspond à un doublement des dépenses alimentaires.

Tableau 4-20: Impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho sur les dépenses alimentaires

Type impact	Valeur	Écarts-types estimés	P>z
ETM	0,59**	0,26	0,026
ETT	0,84***	0,29	0,004
rho	-0,89***	0,14	0,000

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteur

Les résultats sur la sécurité alimentaire sont assez cohérents si nous prenons en compte l'augmentation des rendements occasionnée par l'adoption des semences certifiées. L'augmentation des dépenses alimentaires peut provenir de deux sources : soit le surplus de rendement est vendu, ce qui donne des revenus supplémentaires au producteur pour consommer plus ; soit ce surplus est autoconsommé et là encore cela augmente les dépenses alimentaires puisque l'autoconsommation a été valorisée. Cependant, l'impact de l'adoption sur la sécurité alimentaire pourrait être mieux mesuré si les dépenses alimentaires étaient évaluées sur l'année (d'une récolte à une autre) ; ce qui permettrait de mieux capter l'effet de l'autoconsommation et éliminer certains effets conjoncturels comme la baisse de la consommation alimentaire durant la période de soudure.

Les différents résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau 4-21 pour le mil et le tableau 4-22 pour le sorgho.

Tableau 4-21: Synthèse de l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil

Variables dépendantes	ETT (PSM)	ETT (ESR)	ETM (ESR)
Log rendement mil	0,27*	0,57***	0,52***
Log dépenses alimentaires		0,19*	0,22*

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteur

Tableau 4-22: Synthèse de l'impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho

Variables dépendantes	ETT (PSM)	ETT (ESR)	ETM (ESR)
Log rendement sorgho	0,43**	1,36***	1,42***
Log dépenses alimentaires		0,84***	0,59***

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%
Source : calculs de l'auteur

Les estimations économétriques montrent que les semences certifiées de mil et de sorgho ont un impact positif sur les rendements et la sécurité alimentaire des ménages. Cela est en cohérence avec ce qui est démontré dans la littérature sur l'impact de l'adoption des variétés améliorées (Wu et al, 2010 ; Abdulai et Huffman, 2014 ; Khonje et al., 2015 ; Zeng et al., 2015). Ali et al. (2015) ont trouvé qua l'adoption des semences certifiées de blé augmente les rendements de 20 à 30 kg par hectare. Par ailleurs, les adoptants ont un taux de pauvreté de 6 à 7% inférieur à celui des non adoptants. La taille de l'effet que nous avons trouvé est importante mais elle varie selon le modèle utilisé. Shiferaw al. (2014) avaient trouvé cette variation de l'impact de l'adoption des variétés améliorées de blé en utilisant le PSM et l'ESR. Cependant, l'impact de l'adoption des semences certifiées, certes significatif, ne permet pas encore d'atteindre le potentiel de variétés améliorées générées par la recherche. L'augmentation des productions et la sécurité alimentaire doivent être renforcées par la mise en place de mesures d'incitations pour l'utilisation des intrants de qualité et le respect des itinéraires techniques. C'est seulement dans ce cas que le potentiel des variétés améliorées pourra être pleinement exploité.

Conclusion du chapitre

Les producteurs des zones étudiées font preuve de faibles performances par rapport au potentiel des technologies disponibles, notamment les variétés améliorées de mil et de sorgho. Les rendements faibles ont, entres autres, comme facteurs d'explication, le niveau bas d'utilisation des intrants et le non-respect des itinéraires techniques.

La méthode de l'appariement par les scores de propension, utilisée dans ce chapitre, est largement présente dans la littérature. Toutefois, malgré ses avantages, certaines critiques ont été formulées à son encontre à cause de sources de biais potentielles. Ces limites ont justifié l'utilisation du modèle à changement de régime qui permet de prendre en compte la sélection sur les non observables.

Les résultats économétriques ont montré que l'adoption des semences certifiées a un impact positif sur les rendements et les dépenses alimentaires du ménage. Ainsi, les semences certifiées de mil et de sorgho améliorent la sécurité alimentaire des ménages en agissant sur la disponibilité (augmentation des rendements) et l'accessibilité de la nourriture (hausse des dépenses alimentaires). Elles constituent donc un moyen incontournable de lutte contre la pauvreté surtout que ce sont les agriculteurs les moins productifs qui utilisent ces semences dans les zones d'étude. Les résultats varient cependant d'un modèle à un autre. Toutefois, ils prouvent la nécessité de continuer la promotion de ces semences certifiées afin qu'elles soient adoptées par un grand nombre de producteurs. Le point le plus important reste l'accès à l'information sur les caractéristiques des variétés améliorées, leur disponibilité et leurs coûts. Les services d'encadrement doivent aussi être assurés pour que le potentiel de ces innovations puisse être pleinement exploité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le Plan Sénégal Émergent (PSE) considère l'agriculture comme un secteur stratégique de l'économie sénégalaise. Cela fait suite au besoin de relancer ce secteur qui occupe 49,5% de ménages du pays mais qui n'a contribué qu'à hauteur de 15,3% au PIB en 2015. Cette faible contribution est le résultat de rendements et d'une production faibles. L'État du Sénégal a introduit une suite de réformes politiques en vue de rehausser la productivité agricole. Cette ambition est matérialisée dans la Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale selon laquelle « les orientations du secteur agricole portent sur la création d'un environnement attractif et incitatif en milieu rural qui vise la transformation de l'agriculture familiale en appuyant la promotion de l'exploitation agricole familiale par le passage de systèmes extensifs de production à des systèmes intensifiés, diversifiés, durables et respectueux des ressources naturelles ». Le secteur agricole est ainsi considéré comme un moteur de croissance dans le PSE. Cette vision du PSE est opérationnalisée par le Programme de Relance et d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) qui va s'inscrire parmi les projets structurants du PSE. La vision du PRACAS est la construction d'une agriculture compétitive, diversifiée et durable.

Cette thèse avait pour objectifs d'identifier les facteurs d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho et d'évaluer l'impact de l'adoption sur les rendements et la sécurité alimentaire des ménages agricoles dans le bassin arachidier du Sénégal. Les travaux reposaient sur deux hypothèses de recherche. La première est que le groupe dans lequel vit le producteur a un impact significatif sur l'adoption des semences certifiées. La seconde hypothèse est que l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho a un impact positif sur les rendements et les dépenses alimentaires des ménages.

L'hypothèse selon laquelle les décisions d'adopter une technologie ne sont pas totalement individuelles mais dépendent plutôt des caractéristiques du groupe du producteur nous a poussé à utiliser le Modèle Multiniveaux ou Modèle Hiérarchique Généralisé (HGLM) pour identifier les facteurs d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. L'estimation des effets aléatoires a permis de faire des inférences au-delà des modalités strictement observées dans l'étude. Le modèle HGLM a servi à étudier simultanément les relations dans et entre des groupes de données hiérarchiques : les producteurs et les villages. Dans ce modèle, une constante a permis d'identifier les différences de la variable dépendante entre les villages.

Concernant l'évaluation de l'impact de l'adoption, deux méthodes non expérimentales ont été utilisées car l'adoption n'est pas aléatoire. Les producteurs choisissent d'utiliser les semences certifiées selon des caractéristiques qui leur sont endogènes ; ce qui entraîne un biais de sélection. L'appariement par les scores de propension, une méthode non paramétrique, a d'abord été utilisé. La technique consiste à créer, à partir du groupe de contrôle (les non adoptants) et le groupe de traitement (les adoptants), deux groupes de producteurs qui sont similaires sur un ensemble de variables données. Cette similitude est mesurée par la probabilité d'adoption ou p-score, qui est une fonction de l'ensemble de variables observables supposées affecter l'adoption des semences certifiées de mil ou de sorgho. Cependant, du fait de l'hypothèse de la sélection sur les observables qui est restrictive, une méthode paramétrique, en l'occurrence le modèle à changement de régime, a aussi été choisie pour l'évaluation d'impact. Les données utilisées dans cette thèse proviennent de trois sources différentes : une enquête auprès d'un échantillon de producteurs des départements concernés, une enquête communautaire auprès des chefs de village et des entretiens avec les acteurs de la filière semencière au Sénégal. L'analyse de ces données a permis d'atteindre les résultats saillants.

L'étude de l'organisation de la filière des semences certifiées de céréales au Sénégal a montré qu'elle fonctionne dans un cadre réglementaire régi par une loi, trois décrets d'application et la réglementation de la CEDEAO-CILSS. Cependant, le constat est que ces réglementations tardent à être appliquées, ce qui entraîne la porosité de la filière infiltrée par des acteurs à la recherche de rentes. En effet, avec le programme de subventions de l'État, le segment de la commercialisation et de la distribution de semences comporte des intervenants qui ne vendent pas des semences certifiées mais qui bénéficient pourtant des subventions. Cela crée un problème d'incitations à la multiplication des semences certifiées. Nos résultats ont montré que le Sénégal est autosuffisant en semences certifiées de sorgho. S'agissant du mil, l'autosuffisance n'est pas encore atteinte mais le gap était seulement de 339 tonnes en 2015. Toutefois, un problème d'accès et d'informations se pose quant aux endroits où ces semences sont disponibles.

Le désengagement de l'État de la filière semencière a laissé la place à de nouveaux acteurs qui ont des actions localisées à travers le territoire. La transition vers une filière des semences certifiées de céréales structurée n'est pas encore assurée sauf pour le riz dans la vallée du fleuve Sénégal où le secteur privé a pu trouver sa place et le taux d'adoption des semences certifiées est presque de 100%. Un meilleur fonctionnement de la filière est indispensable

pour une augmentation du taux d'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Cela permettra une structuration de l'offre et de la demande pour atteindre un bon fonctionnement du marché. Il est nécessaire d'appliquer les réglementations nationale et régionale car elles permettent d'identifier les acteurs de la filière et donc de pouvoir coordonner toutes les activités. La possession d'une carte professionnelle, comme l'exige le règlement de la CEDEAO, doit être rigoureusement respectée pour la traçabilité des transactions. Les multiplicateurs doivent aussi pouvoir bénéficier de crédit pour collecter les semences certifiées de mil et de sorgho afin qu'elles ne se retrouvent pas sur les marchés, mélangées aux semences « tout-venant ». L'information sur la disponibilité de ces semences est aussi très importante pour augmenter les taux d'adoption. La vente doit donc être élargie sur tout le territoire national. Le conditionnement des sacs de semences de mil et de sorgho doit aussi être revu pour faciliter la commercialisation. En effet, la création de sacs de 1 kg par exemple pourrait permettre aux producteurs qui possèdent moins d'un hectare de terres d'utiliser les semences certifiées.

Les semences certifiées de mil et de sorgho sont faiblement adoptées par les producteurs des départements de Koungheul, Thiès, Mbour et Tivaouane. Le taux d'adoption des semences certifiées de mil est de 13% et celui du sorgho 18%. Il varie en fonction des départements et celui de Koungheul enregistre le plus faible niveau. Malgré le fait d'avoir été bénéficiaires de projets de diffusion de variétés améliorées de mil et de sorgho dans le cadre du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest, certains villages comme Ida Mouride ou Sine Mactar (département de Koungheul) ont des taux d'adoption de 0%. Les producteurs bénéficiaires évoquent le manque d'encadrement survenu à la fin du projet pour justifier l'arrêt de l'utilisation des semences certifiées. La majorité des producteurs tirent leurs semences de leurs stocks personnels. L'argument qu'ils avancent le plus pour expliquer ce faible recours aux semences certifiées est la non connaissance des variétés améliorées, il est suivi du problème de disponibilité. Pourtant l'analyse de l'offre et de la demande a montré que l'offre de semences certifiées de sorgho est supérieure à la demande alors que le gap est faible pour le mil. Donc, le problème serait un manque d'informations sur l'existence et l'offre des semences certifiées.

L'analyse des déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho par les méthodes économétriques a montré cinq principaux facteurs : le contact avec une ONG, la formation/stage agricole, l'obtention d'un crédit, l'usage d'engrais chimiques et le sexe. La formation/stage agricole a le plus fort impact car elle augmente la probabilité d'adoption de

6,3 points de pourcentage. Le fait d'être une femme diminue quant à lui la probabilité d'adoption de 1,5 point de pourcentage. Au-delà de ces facteurs, ce travail met en exergue l'importance de l'effet du groupe auquel appartient le producteur sur l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho. Dans le cas spécifique de notre zone d'étude, le fait d'adopter en groupe réduit les risques d'attaques des oiseaux granivores sur les épis de mil ou de sorgho car ils mûrissent tous en même temps. Cela explique donc l'interdépendance des décisions d'adoption des producteurs d'un même village. Ces résultats ont des implications majeures. D'abord, les effets de groupes sont importants dans l'adoption et il faut les exploiter pour être plus efficace. Ainsi, les acteurs de l'appui-conseil doivent toucher un grand nombre de personnes dans les villages d'intervention. L'idée doit être d'informer et d'encadrer le maximum de personnes dans un nombre limité de villages et non d'informer peu de personnes sur un grand nombre de villages comme ce qui se fait actuellement. Par exemple, les systèmes de production de semences communautaires sont des initiatives à mettre à grande échelle pour toucher un grand nombre de producteurs et réduire les délais de livraison des semences. Ensuite, des stages de formation sur les itinéraires techniques peuvent être organisés régulièrement à des heures qui permettront une participation des femmes. Pour cela, le dispositif de l'Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural doit être renforcé par la présence d'un nombre plus élevé de Conseillers Agricoles et Ruraux sur le terrain. Dans certaines communes rurales il n'y a qu'un seul CAR qui doit intervenir dans près de vingt villages. La suggestion est d'avoir au moins cinq CAR par commune rurale. Ces derniers devront sensibiliser les populations sur les caractéristiques des variétés améliorées, surtout les vertus organoleptiques qui constituent un critère de choix qualitatif très important. Sur cet aspect, les femmes constituent un public qu'il faudra particulièrement cibler.

La production du mil et de sorgho dans les zones d'étude est caractérisée par un faible niveau d'utilisation des intrants et un non-respect des itinéraires techniques recommandés par la recherche agricole. Le résultat est des niveaux de rendements bas. La moyenne est en effet de 445 kg/ha pour le mil et 352 kg pour le sorgho. Le rendement moyen des adoptants des semences certifiées de mil est de 465 kg/ha et celui des non adoptants 442 kg/ha. Pour le sorgho, la moyenne des rendements est de 451 kg pour les adoptants et 338 kg pour les non adoptants. Les rendements des adoptants sont ainsi loin des rendements potentiels des variétés améliorées de mil et de sorgho qui peuvent aller jusqu'à trois tonnes à l'hectare. Comme souligné, cela s'explique, entre autres, par l'application de doses d'engrais largement inférieures aux quantités recommandées. En outre, les adoptants des semences certifiées de

mil et de sorgho utilisent des quantités de semences inférieures, en moyenne, à celles utilisées par les non adoptants, pour des raisons d'économie.

Les résultats économétriques ont fait état d'un impact positif de l'adoption des semences certifiées de mil sur les rendements et les dépenses alimentaires des ménages, quel que soit la méthode utilisée. S'agissant des rendements du mil, l'effet du traitement sur les traités peut aller jusqu'à 77%. Quant aux rendements du sorgho, l'ETT implique que les rendements des adoptants sont quatre fois plus élevés que celui des non adoptants. Concernant la sécurité alimentaire, l'adoption des semences certifiées de mil a un effet de traitement moyen qui est de 25% d'augmentation des dépenses alimentaires et l'effet de traitement sur les traités est de 21% d'augmentation. L'adoption des semences certifiées de sorgho a quant à elle un ETM égal à une augmentation des dépenses alimentaires de 80% tandis que l'ETT équivaut à un doublement des dépenses alimentaires. Il est donc utile de continuer à investir dans la recherche et la diffusion des variétés améliorées de mil et de sorgho pour une atteinte de la sécurité alimentaire. Des mesures d'accompagnement sont toutefois nécessaires pour que le potentiel de ces variétés soit pleinement exploité par les producteurs. Dans le contexte du bassin arachidier, cela passe en premier par l'accroissement de la fertilité des sols dégradés. Il devient urgent de développer un programme national de restauration des sols qui tienne compte des innovations technologiques pour améliorer le niveau de production du mil et du sorgho. Faciliter l'accès aux intrants, notamment les engrais, pourrait aussi permettre d'augmenter le rendement des semences certifiées en milieu paysan. Ensuite, l'existence de débouchés avec la mise en place d'un marché régulier et une filière professionnalisée, fera du mil et du sorgho, en plus de leur vocation de culture de subsistance, des cultures permettant aux acteurs de la chaine de valeur de former des revenus agricoles substantiels. C'est ainsi que la mise à l'échelle des initiatives autour de la panification peuvent définitivement régler les contraintes liées à la commercialisation du mil et du sorgho au Sénégal. Des contrats de commercialisation formels devraient conduire les acteurs de la production et de la transformation à valoriser la production locale de mil et de sorgho. Par exemple une mise à l'échelle de l'expérience du Projet d'Appui aux Filières Agricoles avec les contrats producteurs-opérateurs de marché pourrait permettre une intensification de la production en vue de son accroissement.

Le travail effectué dans cette thèse fait face à certaines limites qui ouvrent des perspectives de recherche. D'abord un manque de données sur l'offre et la demande de semences certifiées de mil et de sorgho s'est posé dans l'étude de l'organisation de la filière des semences certifiées

de céréales. Une collecte de données pour connaître l'offre et la demande de semences certifiées de mil et de sorgho serait utile pour la mise en place de politiques favorables à un meilleur fonctionnement de la filière. Une autre limite est le faible nombre de villages que nous avons étudiés alors que ce nombre est décisif dans le modèle hiérarchique pour calculer les écarts-types entre villages. Cette taille limitée de l'échantillon s'explique par des moyens insuffisants pour effectuer des enquêtes à grande échelle. Les données auront quand même permis de trouver des résultats en cohérence avec les caractéristiques de la production de mil et de sorgho au Sénégal.

Nous avons montré qu'il y a un effet de groupe dans l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho mais cet effet n'est pas identifié. Cela pourrait être de l'apprentissage social, un moyen de gestion des risques ou des effets contextuels liés au fait que les membres d'un même village partagent des caractéristiques communes comme l'accès à certains services. Le fait que les décisions d'adoption des producteurs d'un même village soient dépendantes pourraient aussi résulter d'une hétérogénéité non observée, c'est-à-dire des caractéristiques non observées d'un producteur sont à la fois corrélées au nombre d'adoptants dans le village et sa décision d'adopter. Ainsi, les décisions d'adoption des membres d'un même village peuvent être corrélées sans qu'il n'y ait aucun effet social en jeu. Cependant, dans cette thèse, ce sont les entretiens avec les producteurs qui ont fait sortir cette dépendance et justifié l'utilisation du modèle hiérarchique. Une piste de recherche consisterait donc à identifier la nature des effets de groupe constatés par l'utilisation d'autres modèles comme ceux de l'apprentissage social. Cela permettrait de mieux définir les recommandations sur les méthodes de diffusion adaptées au milieu d'étude.

LISTE DES REFERENCES

Abadie, A., & Imbens, G.W. (2006). Large sample properties of matching estimators for average treatment effects. *Econometrica, 74*(1), 235-267.

Abadie, A., & Imbens, G.W. (2015). Matching on the estimated propensity score. *National Bureau of Economic Research*, August 2015, 26 pages.

Abdulai, A., & Huffman, W. (2014). Adoption and impact of soil and water conservation technology: An endogenous switching regression application. *Land Economics, 90*(1), 26-43.

Adegbola, Y. Patrice. (2010). *Economic analyses of maize storage innovations in Southern Benin*. Thèse de Doctorat, Wageningen University, Wageningen, NL. 191p.

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie. (2013). *Recensement Général de la Population et de l'habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage*. Rapport, 36p.

Aïtchedji, C.C., Coulibaly, O., & Quenum, B.Y. (2002). Rentabilité financière et économique des technologies améliorées de production du niébé. *Bulletin de la recherche Agronomique, 37*, 16p.

Alene, D. A., & Manyong, V.M. (2007). The effects of education on agricultural productivity under traditional and improved technology in northern Nigeria: an endogenous switching regression analysis. *Empirical Economics, 32*(1), 141-159.

Ali, A., Rahut, D.B., Behera, B., & Imtiaz, M. (2015). Farmer's access to certified wheat seeds and its effect on poverty reduction in Pakistan. *Journal of Crop Improvement, 29* (2), 247-265. doi: 10.1080/15427528.2015.1004147.

Alwang, J., & Siegel, P.B. (2003). Measuring the impact of agricultural research on poverty reduction. *Agricultural Economics, 29*(2003), 1-14.

Asfaw, S., Shiferaw, B., Simtowe, F., & Haile, G. M. (2011). Agricultural techonololgy adoption, seed access constraints and commercilization in Ethipoia. *Journal of Developpement and Agricultural Economics, 3*(9), 436-447.

Association Sénégalaise pour la Promotion du Développement à la Base. (2009*). Mise en place d'un schema de financement des cereales locales et de la sous filiere semences d'arachide*. Rapport final GREC, 81p.

Awotide, B.A., Alene, A.D., Tahirou, A., & Manyong, V.M. (2015). Impact of agricultural technology on asset ownership: the case of improved cassava varieties in Nigeria. *Food Security, 7*, 1239-1258.

Awotide, B.A., Karimov, A.A., & Diagne, A. (2016). Agricultural technology adoption, commercialization and smallholder rice farmers' welfare in rural Nigeria. *Agricultural and Food Economics, 4*(3), 1-24. doi 10.1186/s40100-016-0047-8.

Bandiera, O., & Rasul, I. (2006). Social networks and technology adoption in northern Mozambique. *The Economic Journal, 116*(october), 869-902.

Banque Mondiale. (2008). *L'Agriculture au service du développement*. Rapport sur le développement dans le monde (abrégé), 36p.

Bauer, D. J., & Sterba, S. K. (2011). Fitting Multilevel Models With Ordinal Outcomes: Performance of Alternative Specifications and Methods of Estimation. *Pschylogical Methods, 16*(4), 373-390.

Becerril,J., & Abdulai, A. (2009). The impact of improved maize varieties on poverty in Mexico: A propensty score matching approach. *World Development*, *38*(7), 1024-1035. doi:10.1016/j.worlddev.2009.11.017.

Besley, T., & Case, A. (1997). Diffusion as a learning process: evidence from HYV cotton. *Mimeo*, Princeton University.

Besley, T., & Case, Anne. (1993). Modeling technology adoption in developing countries. *The American Economic Review*, *83*, 396-402.

Birba, O., & Diagne, A. (2012). Determinants of adoption of internet in Africa : Case of 17 sub-Saharan countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, *23*, 463-472.

Biswanger, H.P. (1981). Attitudes towards risk: Theoretical implications of an experiment in rural India. *The Economic Journal*, *91*(364), 867-890.

Björklund, A., & Moffit, R. (1987). The estimation of wage gains and welfare gains in self-selection models. *Review of Economics and Statistics*, *69*(1), 42-49.

Blundell, R., & CostaDias, M. (2000). Evaluation methods for non experiemental data. *Fiscal studies*, *21*(4), 427-468.

Brand, J. E. (2010). Civic returns to higher education: A note on heteregeneous effects. *Social Forces*, *89*(2), 417-434.

Brand, J. E., & Xie, Y. (2010). Who benefits most from college? Evidence for negative selection in heterogenous economic returns to higher education. *American Sociological Review*, *75*(2), 273-302.

Caliendo, M., & Kopeinig, S. (2008). Some practical guidance for the implentation of propensity score matching. *Journal of Economic Surveys*, *22*(1), 31-72.

Cameron, L. A. (1999). The importance of learning in the adoption of high yielding variety seeds. *American Journal of Agricultural Economics*, *88*, 83-94.

Card, D., (1990). The impact of the Mariel Boatlift ont the Miami labor market. *Industrial and Labor Relations Review*, *43*, 2, 245-257.

Card, D., (2001). Estimating the return to schooling: progress on some persistent econometric problems. *Econometrica*, *69*(5), 1127-1160.

Carneiro, P. (2003). Evaluating education policies when the rate of return varies across individuals. *Cuadernos de Economìa*, *40*(21), 516-529.

Carneiro, P., & Lee, S. (2004). Comparative advantage and schooling. Working paper

Carneiro, P., Heckman, J., & Vytlacil, E. (2011). Estimating marginal returns to education. *American Economic Review*, *101*, 2754-2781.

Chirwa, W. E. (2005). Adoption of fertilizer and hybrid seeds by smallholder maize farmers in southern Malawi. *Development Southern Africa*, *22*(1), 1-12.

Cobb-Clark, D. A., & Crossley, T. (2002). Econometrics for summative evaluation. Discussion paper, 42p.

Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest. (2008). *Réglement C/Reg.4/05/2008 portant harmonisation des règles régissant le contrôle de qualité, la certification et la commercialisation des semences végétales et plants dans l'espace CEDEAO*.

Conley, T., & Udry, C. (2001). Social learning through networks: the adoption of new agricultural technologies in Ghana. *American Journal of Agricultural Economics, 83*(3), 668-673.

Clay, E. (2002). Trade and Food Security: Conceptualizing the Linkages. Expert Consultation, FAO, Rome.

Croppenstedt, A., Demeke, M., & Meschi, M. M. (2003). Technology adoption in the presence of constraints: The case of fertilizer demand in Ethiopia. *Review of Development Economics*; *7*(1), 58-70.

Cungara, B., & Darnhofer, I. (2011). Assessing the impact of improved agricultural technologies on household income in rural Mozambique. *Food Policy, 36*, 378-390.

Darré, J-P. (1985). Du discours scientifique au dialogue entre praticiens : rupture et emprunts. *Formation Emploi, 12*, 11-16.

Darré, J-P. (1985). Enseignement, développement et système de pensée en agriculture. *Agriscope, 6*, 134-143.

Darré, J-P. (1985). Les Dialogues entre agriculteurs : Etude comparative dans deux villages français (Bretagne et Lauragais). *Langage et Société, 33*, 43-64.

Davidson, R., & Mackinnon, J. G. (2004). *Econometric theory and methods*. Oxford University Press.

de Janvry, A., & Sadoulet, E. (2002). World poverty and the role of agricultural technology: direct and indirect effects. *The Journal of Development Studies, 38*, 1-26

Degnet, A., & Mekbib, G. H. (2013). The impact of cooperatives on agricultural technology adoption: Empirical evidence from Ethiopia. *Food Policy, 38,* 82-91

Dehejia, H. R., & Wahba, S. (2002.) Propensity score matching methods for non-experimental causal studies. *Review of Economics and Statistics, 84*(1), 151-161.

Dehejia, R. (2005). Practical propensity score matching: A reply to Smith and Todd. *Journal of Econometrics, 125*, 355-364.

Dehejia, R. H., & Wahba, S. (1999). Causal effects in nonexperimental studies: reevaluating the evaluation of training programs. *Journal of the American Statistical Association, 94*(448), 1053-1062.

Dehejia, R. H., & Wahba, S. (2002). Propensity score matching methods for nonexperiemantal studies. *Review of Economics and Statistics, 84*(1), 151-161.

Dethier, J.J., & Effenberger, A. (2012). Agriculture and development: A brief review of the literature. *Economic Systems, 36*(2012), 175-205.

Dhrifi, A. (2014). Agricultural productivity and poverty alleviation : What role for technological innovation. *Journal of Economic and Social Studies*, 4(1), 139-158.

Diagne, A. & Demont, M. (2007).Taking a new look at empirical models of adoption: Average treatment effect estimation of adoption rates and their determinants. *Agricultural Economics, 37*, 201-210.

Diederen, P., Meijl, H.V., Wolters, A. & Bijak, K. (2003). Innovation adoption in agriculture: innovators, early adopters and laggards. *Cahiers d'économie et sociologie rurales, 67*, 30-49.

Dièye, Papa Nouhine.(2006). Note sur la chaine de valeur mil au Sénégal. *Rapport ISRA.*

Direction de la Prévision et des Etudes Economiques. (2016). *Situation Economique et Financière en 2015 et Perspectives en 2016*. Rapport, 39p.

Doss C. R., & Morris, M.L. (2001). How does gender affect the adoption of agricultural innovations? The case of improved maize technology in Ghana. *Agricultural Economics, 25*, 27-39.

Duflo, E., Glennerster, R., & Kremer, M. (2007). Using randomization in development economics research: a toolkit. Discussion paper number 6059, Centre for Economic Policy Reasearch, 92 pages.

Duflo, E., Kremer, M., & Robinson, J. (2008). How high are rates of return to fertilizer? Evidence from field experiments in Kenya. *American Economic Review, 98*(2), 482-488.

Duteurtre, G., Faye M. D., & Dièye, P.N. (Dir.), *2010. « L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché ».* Isra, Karthala, Paris, 456 p.

Fafchamps, M., & Gubert, F. (2007). Risk sharing and network formation. *American Economic Review, 97*(2), 75-79.

Fall, A. A., & Lô, M. (2009). *Etude de référence sur les céréales : mil, sorgho, maïs et fonio au Sénégal*. Rapport pour le Projet PPAAO/WAAPP.

Fall, A.A., Lagnane, O., & Ndiaye, A. (2009). *La chaîne de valeur mil&sorgho: options stratégiques de développement au Sénégal*. Rapport Projet de Croissance Economique/USAID.

Faye, J., Ba, C. O., Dieye, P. N., & Dansokho, M. (2007). *Implications structurelles de la libéralisation sur l'agriculture et le développement rural au Sénégal (1950 – 2006).* Rapport final première phase du programme RuralStruc.

Faye, M D. (1997). *Évaluation économique des technologies relatives à la production de niébé dans le centre nord du bassin arachidier*. Rapport de titularisation, ISRA, Dakar.

Faye, Salimata. (2010). *Effets des chocs socioéconomiques et sanitaires sur les acquisitions cognitives des élèves : une application des modèles linéaires hiérarchiques à des données de l'éducation primaire au Sénégal*. (Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop,Dakar, Sénégal, 305p.).

Feder, G. (1980). Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. *Oxford Economic Papers, 32*(2), 263-282.

Feder, G. (1982). Adoption of interrelated agricultural innonvations: complementarity and the impacts of risk, scale and credit. *American Journal of Agricultural Economics*, 94-101.

Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic development and cultural change*, 255-298.

Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge. (2005). *Comment évaluer la sécurité alimentaire ? Guide pratique pour les sociétés nationales africaines*. Suisse, Genève, 75p.

Food and Agriculture Organization. (2014). *Food and Nutrition in Numbers*. FAO, Rome, 249p.

Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (1995). Learning by doing and learning from others: human capital and technical change in agriculture. *Journal of Political Economy, 103*(6), 1176-1209.

Fuentes-Barrientos, J. C., & Berg, E. (2013). Impact assessment of agricultural innovations: a review. *Agronomia Colombiana*, *31*(1), 120-130.

Gaye, A.T., Lo, H.M., Sakho-Jimbira, S., Fall, M.S & Ndiaye, I. (2015). *Sénégal: revue du contexte socio-économique, politique et environnemental*. Rapport, 88p.

Gelman, A., & Hill, J. (2007). *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press, 650p.

Ghimire, R., & Huang, W. (2015). Household wealth and adoption of improved maize varieties in Nepal: a double-hurdle approach. *Food Security*, 7, 1321-1335. doi : 10.1007/s12571-015-0518-x

Ghimire, R., Huang, W., & Shrestha, R.B. (2015). Factors Affecting Adoption of Improved Rice Varieties among Rural Farm Households in Central Nepal. *Rice Science*, *22*(1), 35-43. doi: 10.1016/S1672-6308(14)60278-X

Giné, X., & Yang, D. (2007). Insurance, Credit, and Technology Adoption: Field Experimental Evidence from Malawi. Working paper

Gollin, D., Parente, S., & Rogerson, R. (2002). The role of agricculture in development. *Economic Development Across Time and Space*, *92(*2), 160-164.

González, V., Ibarrarán, P., Maffioli, A., & Rozo, Sandra. (2009). The impact of technology adoption on agricultural productivity: the case of the Dominican Republic. Inter-American Development Bank Washington, D.C. Office of Evaluation and Oversight Working paper.

Granier, L. (2006). *Les conventions locales de gestion des ressources naturelles et de l'environnement: Légalité et cohérence en droit sénégalais*. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, 44 p.

Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, *25*(4), 501-522.

Heckman, J. (1976). The common structure of statistical models of truncation, sample selection and limited dependant variables and a simple estimator for such models. *Annals of Economic and Social Measurement*, *5*(4), 475-492.

Heckman, J., & Li, X. (2003). Selection bias, comparative advantage and heterogeneous returns to education : Evidence from China in 2000. Working paper, Institute for Labor Market Policy Evaluation.

Heckman, J., & Vytacil, E. (1998). Instrumental variables methods for the correlated random coefficient model. *The Journal of Human Resources*, 974-987.

Heckman, J., & Vytacil, E. (2000). The relationship between treatment parameters within a latent variable framework. *Economic letters*, *66*, 33-39.

Heckman, J., & Vytlacil, E. (2001). Policy relevant treatment effects ». *AEA Papers and Proceedings*, *91*(2), 107-111.

Heckman, J., Tobias, J. L., & Vytlacil, E. (2001). Four parameters of interest in the evaluation of social programs. *Southern Economic Journal*, *68*(2), 210-223.

Heckman, J.J., Ichimura, H., & Todd, P. (1998). Matching as an econometric evaluation estimator. *Review of Economic Studies*, 65, 261-294.

Imbens, G. W. (2015). Matching methods in practice. *The Journal of Human Resources*, *50*(2), 373-419.

Imbens, G. W., & Angrist, J. D. (1994). Identification and estimation of local average treatment effects. *Econometrica*, *62*(2), 467-475.

Imbens, G.W., & Wooldridge, J.M. (2009). Recent Development in the Econometrics of Program Evaluation. *Journal of Economic Literature*, *45*(1), 5-86. doi=10.1257/jel.47.1.5.

ISRA, ITA, Cirad. (2005). *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal: 1964-2004*. Sénégal : ISRA, ITA, Cirad.

ISRA-BAME (2012). *Analyse de la compétitivité des filières céréalières par zone agro-écologique au Sénégal: une application de la Matrice d'Analyses des Politiques (MAP)*. Rapport ISRA/BAME, 109p.

ISRA-BAME. (2014). *Etudes sectorielles du premier pôle sectoriel prioritaire du FONGIP : Etude de la filière mil et sorgho*. Rapport, 36p.

Jack, K.B. (2013). Constraints on the adoption of agricultural technologies in developing countries. Literature review, Agricultural Technology Adoption Initiative, J-PAL (MIT) and CEGA (UC Berkeley), 69p.

Just, R. E., & Zilberman, D. (1983). Stochastic structure, farm size and technology adoption in developping agriculture. *Oxford Economic Papers*, *35*, 307-328

Kabore, Paul Daniel. (2011). *Analyse des mécanismes de diffusion des technologies agricoles améliorées et innovations dans l'espace CEDEAO*. Rapport CORAF.

Kabunga, N. S., Dubois, T., & Quaim, M. (2014). Impact of tissue culture banana technology on farm household income and food security in Kenya. *Food policy*, *35*, 25-34.

Kapur, S. (1994). Technological diffusion with social learning. *Journal of Industrial Economics*, *XLIII*(2), 173 – 195.

Kassie, M., Shiferaw, B., & Muricho, G. (2011). Agricultural technology, crop income and poverty alleviation in rural Uganda. *World Development*, *39*(10), 1784-1795.

Kesley, J. (2013). *Constraints on the adoption of agricultural technologies in developping countries. Literature review*. Agricultural Technology Adoption Initiative, J-PAL (MIT) and CEGA (UC Berkley).

Keyser, J.C., Eillitä, M., Dimithe, G., Ayoola, G., & Sène, L. (2015). *Towards an Integrated Market for Seeds and Fertilizers in West Africa*. Rapport, 64p.

Khonje, M., Manda, J., Alene, A. D., & Kassie, M. (2015). Analysis of adoption and impacts of improved maize varieties in Eastern Zambia. *World Development*, *66*, 695-710.

Langyintuo, A.S., & Mekuria, M. (2008). Assessing the influence of neighborhood effects on the adoption of improved agricultural technologies in developing agriculture. *AfJARE*, *2*(2), 151-169.

Lawrence, P. G., Sanders, J. H., & Ramasway, S. (1999). The impact of agricultural and household technologies on women: a conceptual and qualitative analysis in Burkina Faso. *Agricultural Economics*, *20*, 203-214.

Lee, L. (1978). Unionism and wage rates : a simultaneous equation models with qualitative and limited dependant variables. *International Economic Review*, *19*(2), 415-433.

Lokshin, M., & Sajaia, Z. (2004). Maximum likelihood estimation of endogenous switching regression models. *The Stata Journal*, *4*(3), 282-289.

Manski, C. F. (1993). Identification of endogenous social effects: the reflection problem. *The Review of Economic Studies*, 60(3), 531-542.

Marra, M., Pannell, D. J., & Grahim, A. A. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems, 75*, 215-234.

Mendola, M. (2007). Agricultural technology adoption and poverty reduction: A propensity-score matching analysis for rural Bangladesh**.** *Food Policy, 32*, 372–393.

Ministère de l'Agriculture et de l'Equipemen Rural. (2015*). Bilan des campagnes agricole et de commercialisation 2014/2015 et programme agricole 2015/2016*. Rapport, 73p

Ministère de l'Agriculture et de l'Equipemen Rural. (2016*). Bilan des campagnes agricole et de commercialisation 2015/2016 et programme agricole 2016/2017*. Rapport, 29p.

Ministère de l'Agriculture et de l'Equipemen Rural. (2016*). Bilan des campagnes agricole et de commercialisation 2013/2014 et programme agricole 2014/2015*. Rapport, 47p

Minten, B., & Barret, C.B. (2008). Agricultural technology, productivity and poverty in Madagascar. *World Development*, *36*(5), 797-822. doi:10.1016/j.worlddev.2007.05.004

Moffit, R. (2007). Estimating marginal treatment effects in heterogeneous populations. Working papers, the Jonhs Hopkins University, Department of Economics, No. 239 [rev].

Mulubrhan, A., Asfaw, S., & Shiferaw, B. (2012). Welfare impacts of maize–pigeonpea intensification in Tanzania. *Agricultural Economics, 00*, 1-17.

Munshi, K. (2004). Socila learning in a heterogeneous population: Techonology diffusion in the Indian Green Revolution. *Journal of Development Economics, 73*, 185-213.

Munshi, K., & Myaux, J. (2006). Social norms and the fertilyty transition. *Journal of Development Economics, 80*, 1-38.

Muzari, W., Gatsi, W., & Muvhunzi, S. (2012). The impacts of technoloy adoption on smallholder agricultural productivity in Subsaharan Africa: A review. *Journal of Sustainable Development*, 5(8), 69-77.

Nakano, Y., Tsusaka, T.W., Aida, T., & Pede, V.O. (2005). The impact of training on technology adoption and productivity of rice farming in Tanzania: Is farmer-to-farmer extension effective? *JICA RI Working Paper*, No 90, 40p.

Negatu, W., & Parikh, A. (1999). The impact of perception and other factors on the adoption of agricultural technology in the Morert and Jiru Woreda (district) of Ethiopia. *Agricultural Economics, 21*, 205-216.

Nguezet, P.M.D., Diagne, A., Okoruma, V.O., Ojehomon, V. (2011). Impact of improved rice technology (NERICA varieties) on income and poverty among rice farming households in Nigeria: a Local Average Treatment Effect Approach. *Quaterly Journal of International Agriculture*, *50*(3), 267-291.

Nkamleu, G.B., & Adesina, A.A. (2000). Determinants of chemical input use in peri-urban lowland systems: bivariate probit analysis in Cameroun. *Agricultural Systems, 63*, 111-121.

Ogada, M.J., Mwabu, G., & Muchai, D. (2014). Farm technology adoption in Kenya: a simultaneous estimation of inorganic fertilizer and improved maize variety adoption decisions. *Agricultural and Food Economics*, 2-12.

Olivier de Sardan, J-P. (1995). *Antrophologie et développement : Essai en socio-anthropologie du changement social*. Marseille, APAD ; Paris, Karthala, Editeur, 1995, 221p. Collection : Hommes et sociétés.

Organisation de Coopération et de Développement Economiques. (2005) *La mesure des activités scientifiques et technologiques : Manuel d'Oslo*. OCDE.

Pamuk, H., Bulte, E., & Adekunle, A.A. (2014). Do decentralized innovation systems promote agricultural technology adoption? Experimental evidence from Africa. *Food Policy*, *44*(2014), 227-236.

PAPSEN (2014). Le secteur semencier dans la moyenne Casamance. Aperçu sur l'organisation et les limitations de la filière des semences de riz. Rapport, 43p.

Pitt, M. M. (1983). Farm level fertilizer demand in Java: a meta-production function approach. *American Journal of Agricultural Economics*, *65*, 502-508.

Pitt, M. M., & Sumodiningrat, G. (1991). Risk, schooling and the choice of seed technology in developing countries: a meta-profit function approach. *International Economic Review, 32* (2), 457-473.

Rabe-Hesketh, S & Skrondal, A. (2008). *Prediction in Multilevel Logistic Regression*. Fall North American Stata Users' Group Meetings 2008 3. Stata Users Group.

Rabe-Hesketh, S., & Skrondal, A. (2006). Multilevel modelling of complex survey data. Journal of the Royal Statistical Society Series A. *Royal Statistical Society*, *169*(4), 805-827.

Rahman, S., & Shankar, B. (2009). Profits, supply and HYV adoption in Bangladesh. *Journal of the Asia Pacific Economy*, *14*(1), 73-89.

Raudenbush, S., & Byrk, A. S. (1986). A hierarchical model for studying school effects. *Sociology of Education*, *59* (1), 1-17.

République du Sénégal, Octobre 2012. *Stratégie Nationale de Développement Economique et Social 2013-2017.*

République du Sénégal. (1994). *Loi n^{o} 94.81 du 23 décembre 1994 relative à l'inscription des variétés, à la production et au commerce des semences ou plants*.

République du Sénégal. (1997). *Décret n° 97- 616 du 17 juin 1997 portant réglementation de la production, de la certification et du commerce des semences et des plants.*

République du Sénégal. (2004). *Loi d'Orientaton Agro-Sylvo-Pastorale*. Loi n° 2004-16 du 4 juin 2004 portant loi d'orientation agro-sylvo-pastorale.

République du Sénégal. (2010). Programme de développement de la chaîne de valeur mil&sorgho.

République du Sénégal. (2012). *Catalogue des espèces et variétés cultivées au Sénégal*.

République du Sénégal. (2013). *Nouvelle Alliance pour la Sécurité Alimentaire et la Nutrition (NASAN).Document de politique.*

République du Sénégal. (2014*). Plan Sénégal Émergent (PSE).* Document de politique économique et sociale.

République du Sénégal. (2014). Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) : *Les priorités à l'horizon 2017*. 76p.

Rogers, E.M. (1963). *Diffusion of Innovations*. 1st edition, New York, The Free Press.

Rogers, E.M. (2003). *Diffusion of Innovations*. 5th edition, New York, The Free Press.

Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, *70*(1), 41-55.

Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1984). Reducing bias in observational studies using subclassification on the propensity score. *Journal of the American Statistical Association*, *79*(387), 516-524.

Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1985). The bias due to incomplete matching. *Biometrics*, *41*(1), 103-116.

Rosenzweig, F. (2010). Microecnomics of technology adoption. *Annual Review of Economics*, 43p.

Rubin, D. B. (1973). Matching to remove bias in observational studies. *Biometrics*, 29(1), 159-183.

Rubin, D. B. (2001). Using propensity scores to help design observational studies: application to the tobacco litigation. *Health Services and Outcomes Research Methdodology*, *2*, 169-188.

Sadoulet, Elisabeth., & de Janvry, Alain. (1995). *Quantitative Development Policy Analysis*. The John Hopkins University Press Baltimore and London.

Sall, Moussa. (2010). Projet pilote sur la valorisation des céréales locales en panification. *Rapport final PPAAO/WAAPP*.

Savadogo, K., (2016). *Méthodes économétriques d'évaluation d'impact des programmes sociaux*. Cours au programme Master d'économie agricole du PTCI.

Shapiro, B., Brorsen, B.W., & Doster, D. H. (1992). Adoption of double-cropping soybeans and wheat. *Southern Journal of Agricultural Economics*.

Shiferaw, B., Kassie, M., Jaleta, M., & Yirga, C. (2014). Adoption of improved wheat varieties and impacts on hoousehold food security in Ethiopia. *Food Policy, 44*, 272-284.

Singh, I., Squire, L., & Strauss., J.,(1986). Agricultural household models - extensions, applications and policy. *The Johns Hopkins University Press, Baltimore.*

Smale, M., Just, R. E., & Leathers, H. D. (1994). Land allocation in HYV adoption models : an investigation of alternative explanations. *American Journal of Agricultural Economics*, *76*, 535-546.

Smith, J. A., & Todd, P. E. (2005). Does matching overcome Lalonde's critique of non-experimental estimators? *Journal of Econometrics*, *125*, 305-353.

Snijders, T. A.B., & Bosker, Roel J. (1999). *Multilevel analysis : An introduction to basic and multilevel modeling*. SAGE Publications, 111 p.

Stads, G., & Sène, L. (2011). *Recherche et innovation agricole du secteur privé au Sénégal : Tendances récentes relatives aux ressources financières et humaines et aux politiques gouvernementales*. Rapport d'étude.

StataCorp. 2010. Stata: Release 10. Statistical Software. College Station, TX: StataCorp LP

StataCorp. 2013. Stata: Release 13. Statistical Software. College Station, TX: StataCorp LP.

Suri, T. (2011). Selection and comparative advantage in technology adoption. *Econometrica, 79*, 159-209.

Taylor, J.E., & Adelman, I. (2003). Agricultural household models: Genesis, evolution and extensions. *Review of Economics of the Household*, *1*(1), 33-58.

Thuo, M.W., Bravo-Ureta, B.E., Obeng-Asiedu, K., & Hathie, I. (2014). The adoption of agricultural inputs by smallholders farmers: The case of an improved groundnut seed and chemical fertilizer in the Senegalese Groundnut Basin. *The Journal of Developing Areas*, *48*(1), 61-82. doi: 10.1353/jda.2014.0014.

Udry, C. (2010). The economics of agriculture in Africa : Notes toward a research program.. *African Journal of Agriculture and Resource Economics, 5*, 18p.

United Nations. (2005). *Designing household survey samples: practical guidelines. United Nations Publications*, 264p.

USAID/PCE (2009). *La chaine de valeur : options stratégiques pour une relance de la filière semencière au Sénégal*. Rapport, 98p.

Vaillant, J. (2010). *Eléments de statistique*. Fichier de cours, 79p.

Valente, V., & Oliveira, A. T. (2011). Application of HLM to data with multilevel structure. *Discussiones Mathematicae Probability and Statistics*, *31*, 87-101.

Verhofstadt, E., & Maertens, M. (2014). Can agricultural cooperatives reduce poverty? Heterogeneous impact of cooperative membership on farmer's welfare in Rwanda. *Applied Economic Perspestives and Policy*, *37*(1), 86-106.

Washington, M., Wirimayi, G., & Shepherd, M. (2012). The impacts of technology adoption on smallholder agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: A review. *Journal of Sustainable Development*, *5*(8), 69-77.

Woltman, H., Feldstain, A., Mackay C. J., & Rocchi, M. (2012). An introduction to hierarchical linear modelling.. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, *8*(1), 52-69.

Wooldridge, J.M. (1997). On two stage least squares estimation of the average treatment effect in a random coefficient model ». *Economic Letters, 56*, 129-133.

Wooldridge, J.M., (2002). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press, Cambridge, MA.

Wu, H., Ding, S., Pandey, S., & Tao, D. (2010). Assessing the impact of technology adoption on farmers' well-being using propensity score matching analysis in rural China. *Asian Economic Journal*, *24*(2), 141-160.

Xie, Y., Brand, J. E., & Ben, J. (2011). *Estimating heterogeneous treatment effects with observational data*. Report 11-729, Populations Studies Center, University of Michigan.

Yu, B., Nin-Pratt, A., Funes, J., & Gemessa, S. A. (2011). Cereal production and technology adoption in Ethiopia. *ESSP II Working Paper 31*.

Zeng, D., Alwang, J., Norton, G.W., Shiferaw, B., Jaleta, M., & Yirga, C. (2015). Ex post impacts of improved maize varieties on poverty in rural Ethiopia. *Agricultural Economics*, *46*(2015), 515-526.

ANNEXES

Annexe 1 : Évaluation de la qualité de l'appariement dans l'échantillon des producteurs de sorgho

Tableau 5-1: Test de différence de moyennes avant appariement (sorgho)

		Moyenne			
Nom de la variable	**Description**	**Adoptants**	**Non adoptants**	**Biais (%)**	**p>t**
cont_ong	Contact avec une ONG	0,10	0,06	13,80	0,45
nbr_mat	Nombre de matériels agricoles possédés	2,10	3,24	-62,80***	0,00
mo_fam	Taille de la main-d'œuvre familiale	5,10	7,07	-46,70*	0,03
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	0,28	0,32	-9,20	0,65
sexe	Sexe	0,07	0,20	-38,60	0,09
Age	Age	56,35	49,33	55,10*	0,02
formation1	Éducation arabe	0,28	0,59	-65,60***	0,00
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	0,31	0,11	50,30***	0,00
f_agricole	Formation/Stage agricole	0,24	0,01	70,80***	0,00
obtention_credit	Obtention d'un crédit	0,17	0,21	-10,40	0,61
cont_op	Contact avec une OP	0,07	0,16	-29,8	0,184
Kaffrine	Région de Kaffrine	0,03	0,62	-159,6	0,00
supmilsorg_v	Superficie emblavée en mil et sorgho dans le village	38,3	66,86	-95,4	0,00

Source : calculs de l'auteur

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Tableau 5-2: Test de différence de moyennes après appariement (sorgho)

		Moyenne			
Nom de la variable	**Description**	**Adoptants**	**Non adoptants**	**Biais (%)**	**p>t**
cont_ong	Contact avec une ONG	0,13	0,21	-27,90	0,49
nbr_mat	Nombre de matériels agricoles possédés	1,96	2,03	-4,30	0,86
mo_fam	Taille de la main-d'œuvre familiale	4,70	4,71	-0,40	0,98
usage_engrais	Utilisation engrais chimiques	0,13	0,14	-1,90	0,93
sexe	Sexe	0,09	0,04	12,90	0,56
Age	Age	56,91	54,19	21,40	0,44
formation1	Éducation arabe	0,30	0,33	-5,50	0,85
formation2	Éducation primaire et/ou secondaire	0,26	0,24	4,40	0,90

f_agricole	Formation/Stage agricole	0,13	0,06	21,80	0,43
obtention_credit	Obtention d'un crédit	0,13	0,13	0,00	1,00
cont_op	Contact avec une OP	0,04	0,02	8,20	0,62
Kaffrine	Région de Kaffrine	0,04	0,03	2,40	0,88
supmilsorg_v	Superficie emblavée en mil et sorgho dans le village	34,95	36,10	-3,80	0,84

Source : calculs de l'auteur
Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

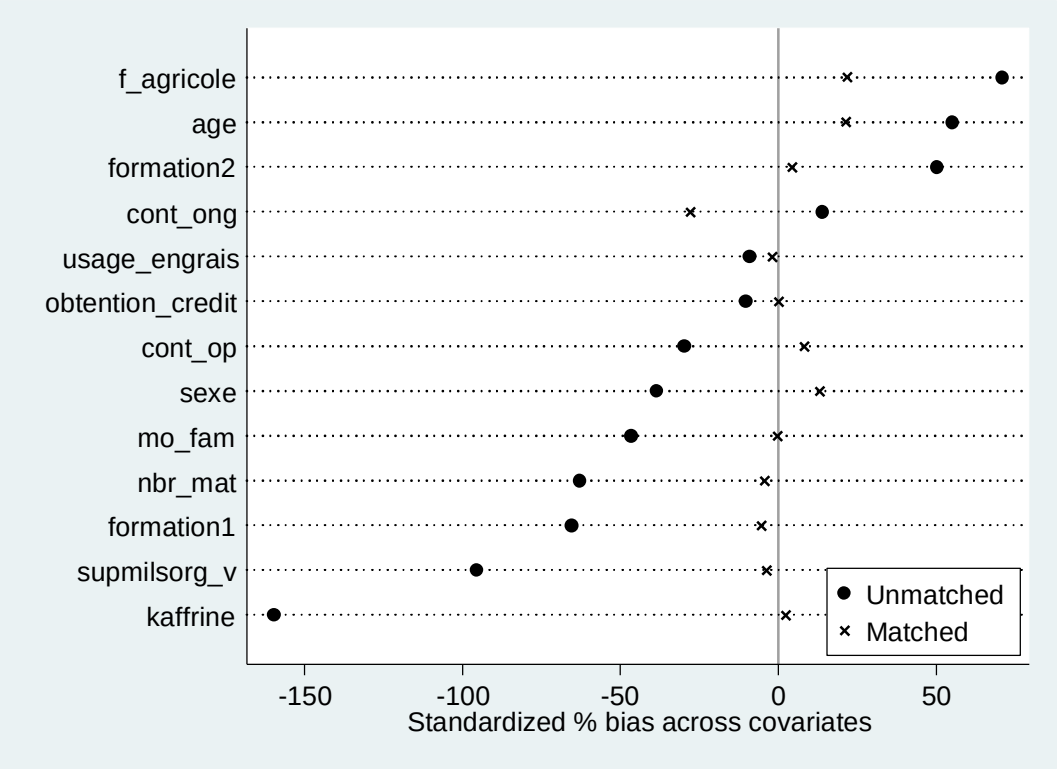

Figure 5-1: Biais standardisé moyen avant et après appariement (sorgho)
Source : calculs de l'auteure
Note : « Unmatched » désigne l'échantillon des producteurs non appariés et « Matched » celui des producteurs appariés. Le biais standardisé est en abscisses.

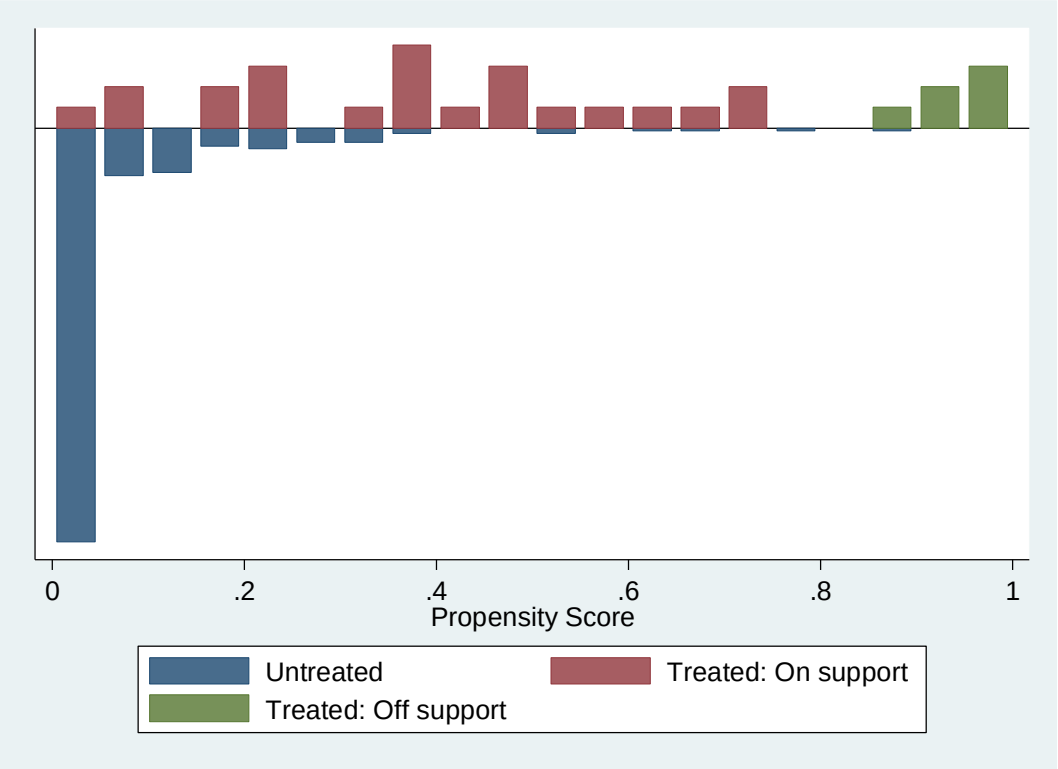

Figure 5-2: Distribution des scores de propension et support commun (sorgho)
Source : calculs de l'auteure
Note : « Untreated » fait référence aux non adoptants (le groupe contrôle) ; « Treated : On support » fait référence aux adoptants qui sont dans le support commun et « Treated : Off support » désigne les adoptants qui sont hors du support commun.

Tableau 5-3: Indicateurs qualité avant et après appariement (sorgho)

Échantillon	Ps R2	LR chi2	p>chi2	Biais moyen
Unmatched	0,463	80,77	0.000	54,5
Matched	0,058	3,67	0,994	8,8

Source : calculs de l'auteure

Annexe 2 : Résultats détaillés des modèles d'évaluation d'impact

Tableau 5-4: Estimation des scores de propension par le modèle logit (mil)

certifmil	Coefficient	Ecarts-types estimés	z	P>z
formation1	-0,470	0,455	-1,03	0,302
formation2	-0,665	0,597	-1,11	0,266
usage_engrais	1,571***	0,445	3,53	0,000
sexe	-0,518	0,550	-0,94	0,346
Age	-0,0368*	0,0152	-2,42	0,016
f_agricole	2,094	0,565	3,71	0,000
obtention_credit	1,202*	0,472	2,54	0,011

cont_op	1,119*	0,498	2,25	0,025
koungheul	-1,916**	0,682	-2,81	0,005
mbour	1,714*	0,672	2,55	0,011
thies	1,272	0,734	1,73	0,083
Nombre d'observations	443,00			
LR chi2(11)	107.40			
Prob>chi2	0,0000			
Pseudo R2	0,3232			

Source : calculs de l'auteur

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Tableau 5-5: Estimation des scores de propension par le modèle logit (sorgho)

certifsorg	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**z**	**P>z**
kaffrine	-7,56***	1,79	-4,22	0,00
cont_ong	0,09	0,86	0,11	0,91
nbr_mat	-0,33	0,22	-1,52	0,13
mo_fam	-0,06	0,12	-0,51	0,61
usage_engrais	1,46	0,93	1,58	0,12
Sexe	-1,72	1,09	-1,58	0,11
Age	0,00	0,03	0,03	0,98
formation1	-0,50	0,70	-0,72	0,47
formation2	0,10	0,77	0,14	0,89
f_agricole	3,78***	1,17	3,22	0,00
obtention_credit	1,43	0,91	1,58	0,12
cont_op	-1,97	1,23	-1,6	0,11
supmilsorg_v	-0,05***	0,02	-2,68	0,01
_cons	-1,67	1,74	-0,96	0,34
Nombre d'observations	230,00			
LR chi2(11)	80,09			
Prob>chi2	0,00			
Pseudo R2	0,46			

Source : calculs de l'auteur

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Tableau 5-6: Estimation du modèle à changement de régime pour les rendements (mil)

Nombre d'observations = 443

Wald chi2 (21) = 196,92

Prob>chi2 (21)=0,0000

Variables	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**z**
Variable dépendante : logarithme rendement mil			
sup_cer	-0,021*	0,009	-2,34
NPK_hect	0,001	0,001	1,16
uree_hect	0,003	0,002	1,66
sem_hect	0,010	0,027	0,35
mofam_hect	-0,012	0,022	-0,54
nbrmat_hect	0,101**	0,037	2,72
sexe	0,043	0,074	0,58
Age	0,006**	0,002	2,57
formation1	-0,027	0,071	-0,39
formation2	-0,161	0,111	-1,45
f_agricole	-0,268	0,178	-1,5
cont_op	0,085	0,075	1,13
obtention_credit	0,027	0,083	0,32
koungheul	0,619***	0,119	5,19
mbour	0,220	0,121	1,82
thies	-0,193	0,130	-1,49
certifmil#			
c,f_agricole			
1	0,005	0,225	0,02
c,obtention_credit			
1	0,040	0,146	0,28
c,NPK_hect			
1	0,002	0,001	1,58
c,sexe			
1	-0,077	0,208	-0,37
certifmil	0,462**	0,171	2,7
_cons	5,067	0,208	24,32
Variable dépendante : certifmil			
formation1	-0,418*	0,214	-1,95
formation2	-0,265	0,293	-0,9
f_agricole	1,454***	0,278	5,23
sexe	-0,688**	0,262	-2,63
cont_ong	0,894***	0,284	3,14
vendeur_fert	1,672***	0,254	6,6
obtention_~t	0,730***	0,198	3,69
_cons	-1,454***	0,185	-7,86

/athrho	-0,523	0,154	-3,39
/lnsigma	-0,529	0,038	-14,11
Variable	**Coefficient**	**Écarts-type estimés**	**IC à 95%**
Rho	-0,480***	0,119	[-0,678 ;-0,217]
sigma	0,589***	0,022	[0,547 ; 0,634]
lambda	-0,283***	0,076	[-0,431 ;-0,134]
Wald test of indep. Eqns. (rho=0): chi2(1)=11,51		**Prob>chi2=0,0007**	

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Tableau 5-7: Estimation du modèle à changement de régime pour les rendements (sorgho)

Nombre d'observations : 230
Wald chi2(20) : 233,03
Prob > chi2 = 0,0000

Variable	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**Z**
Variable dépendante: lrend_sorg			
sup_cer	-0,004	0,015	-0,3
NPK_hect	0,003***	0,001	2,99
uree_hect	0,000	0,002	-0,14
sem_hect	0,056***	0,019	3,02
mofam_hect	0,011	0,027	0,42
nbrmat_hect	0,074	0,040	1,86
sexe	-0,176	0,132	-1,33
Age	-0,007	0,014	-0,47
agesq	0,000	0,000	0,31
formation1	-0,060	0,096	-0,62
formation2	-0,052	0,146	-0,36
f_agricole	-0,749***	0,271	-2,76
cont_op	0,018	0,112	0,16
obtention_credit	-0,044	0,127	-0,34
koungheul	0,102	0,213	0,48
mbour	-0,402	0,267	-1,5
thies	-0,266**	0,125	-2,13
supmilsorg_v	0,001	0,002	0,48
certifsorgho#			
c.supmilsorg_v			
1	0,002	0,008	0,31
certifsorgho	1,265**	0,488	2,59
_cons	5,251	0,415	12,65
Variable dépendante: certifsorgho			
f_agricole	2,013***	0,396	5,08
sexe	-0,774***	0,278	-2,78

cont_ong	0,055	0,167	0,33
vendeur_fert	2,505***	0,304	8,23
obtention_credit	0,595**	0,267	2,23
kaffrine	-2,173***	0,251	-8,67
_cons	-1,417	0,219	-6,46
/athrho	-2,104***	0,478	-4,4
/lnsigma	-0,376***	0,054	-6,92
Variable	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**IC à 95%**
rho	-0,971***	0,028	[-0,995 ; -0,823]
sigma	0,687***	0,037	[0,617 ; 0,764]
lambda	-0,666***	0,049	[-0,762 ; -0,571]
Wald test of indep. eqns. (rho = 0): chi2(1) =19,38 Prob > chi2 = 0,0000			

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Source : calculs de l'auteure

Tableau 5-8: Estimation du modèle à changement de régime pour les dépenses alimentaires (mil)

Nombre d'observations = 435
Wald chi2 (21) = 282,55
Prob>chi2 (21)=0,0000

Variable	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**z**
Variable dépendante : ldep_alim			
taille_men	0,02***	0,003	6,09
revenus_nonagri	-0,02	0,03	-0,76
sup_owned	0,001	0,002	0,53
ltotal_prod	0,051*	0,021	2,44
sexe	-0,007	0,04	-0,16
age	-0,005	0,06	-0,72
age_sq	0,000	0,000	0,69
formation1	0,010	0,04	0,26
formation2	0,16*	0,06	2,51
obtention_credit	0,08	0,04	1,83
tivaouane	-0,55***	0,067	-8,19
mbour	-0,40***	0,93	-4,37
thies	-0,014*	0,071	-2,05
certifmil#			
c.obtention_credit			
1	-0,23*	0,10	-2,27
c.sexe			
1	-0,11	0,12	-0,92
certifmil	0,30***	0,10	3,02

_cons	10,7***	0,21	49,8
Variable dépendante: certifmil			
formation1	-0,42*	0,21	-2,04
formation2	-0,26	0,30	-0,90
f_agricole	1,36***	0,28	4,81
sexe	-0,59*	0,24	-2,46
cont_ong	0,99***	0,26	3,77
vendeur_fert	1,73***	0,28	6,20
obtention_credit	0,72***	0,20	3,58
_cons	-1,46	0,18	-8,22
/athrho	-0,36	0,14	-2,62
/lnsigma	-1,02	0,04	-21,97
Variable	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**IC à 95%**
Rho	-0,35**	0,12	[-0,562 ; -0,091]
sigma	0,35***	0,01	[0,327 ; 0,393]
lambda	-0,12**	0,04	[-0,212 ; -0,037]
Wald test of indep. eqns. (rho = 0): chi2(1) = 6,84 Prob > chi2 = 0,0089			

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Source : calculs de l'auteure

Tableau 5-9: Estimation du modèle à changement de régime pour les dépenses alimentaires (sorgho)

Number of obs : 245
Wald chi2(17) : 149,26
Prob > chi2 = 0,0000

Variable	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**z**
Variable dépendante: ldep_alim			
taille_exp	0,020***	0,005	4,09
revenus_non_agri	-0,105	0,077	-1,37
sup_owned	-0,006	0,003	-1,93
ltotal_prod	0,097*	0,047	2,04
sexe	-0,165	0,110	-1,5
age	-0,006	0,014	-0,41
agesq	0,000	0,000	0,65
formation1	-0,014	0,107	-0,13
formation2	0,289**	0,125	2,31
usage_engrais	0,198	0,113	1,75
f_agricole	-0,373	0,214	-1,74
cont_ong	0,075	0,189	0,4
obtention_credit	0,124	0,117	1,06
kaffrine	0,411**	0,160	2,57

certifsorgho#				
c.supmilsorg_v				
1	-0,008	0,008	-1,02	
certifsorgho	1,339**	0,519	2,58	
_cons	9,983***	0,505	19,79	
Variable dépendante: certifsorgho				
f_agricole	1,971***	0,359	5,49	
sexe	-0,053	0,276	-0,19	
cont_ong	0,713	0,603	1,18	
vendeur_fert	2,172***	0,593	3,66	
obtention_credit	0,392	0,285	1,38	
kaffrine	-1,755***	0,371	-4,73	
_cons	-1,239	0,306	-4,05	
Variable	**Coefficient**	**Écarts-types estimés**	**IC à 95%**	
rho	-0,891***	0,142	[-0,992 ; -0,078]	
sigma	0,645***	0,065	[0,529 ; 0,785]	
lambda	-0,574***	0,126	[0-,820 ; -0,329]	
Wald test of indep. eqns. (rho = 0): chi2(1) = 9,21 Prob > chi2 = 0,0023				

Test significatif au seuil de * 5%, ** 1%, ***0,1%

Source : calculs de l'auteure

Annexe 3 : Procédure d'agrément et d'admission au contrôle d'un Opérateur Privé Semencier

Le bénéfice du contrôle est réservé aux personnes physiques ou morales autorisées par décision du Ministère chargé de l'Agriculture, sur avis de la DA/DISEM (Direction de l'Agriculture/Division des Semences), à produire des semences telles que décrites par les articles 2 et 3 du décret n°97-616 du 17 Juin 1997.

Agrément

Le processus d'agrément d'un Opérateur Privé Semencier débute par le dépôt, par celui-ci, d'une demande d'agrément au niveau de la DRDR de la région dans laquelle il compte mener un programme de production de semences. La demande précise la ou les catégories d'agrément auxquelles l'OPS postule. Les différentes catégories possibles sont les suivantes :

- Production de semences
- Collecte
- Conditionnement

- Commercialisation

Il est possible de combiner différentes catégories d'agréments dans une seule demande.

Dès réception d'une demande, la DRDR concernée enclenche la procédure d'instruction de celui-ci. Elle émet un avis par rapport aux critères de la ou des catégories d'agrément conformément à la réglementation. Cette instruction est effectuée selon les étapes suivantes :

- Vérification sur le terrain de la capacité technique de l'opérateur ;
- Vérification des parcelles et terres qui doivent être exploitées ;
- Vérification de la possession d'équipements adéquats ;
- Vérification de la capacité économique : disponibilité de moyens d'achat d'intrants et capacité de transporter les semences produites jusqu'au point de collecte.

Le dossier ainsi instruit est transmis à la DISEM pour examen. Un avis d'agrément ou de refus d'agrément est communiqué au demandeur. Un agrément est valable pour une année et est renouvelable pour une année.

Annexe 4 : Questionnaires

ISRA-BAME

Enquête d'adoption des variétés améliorées de mil et de sorgho

Questionnaire producteur

Nom de l'enquêteur : ……
Région :…… ……
Arrondissement : …….
Village : ……..
Heure de début :…….

Date enquête : |____|____|____|
Département : …….
Communauté rurale :…….
Zone agro-écologique : …….
Heure de fin :……

Texte introductif

Bonjour, je m'appelle…….. . Je représente l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) et aujourd'hui je viens vous voir pour m'entretenir avec vous sur votre activité agricole, notamment les variétés que vous cultivez. Les informations que vous me donnerez serviront ensuite à approfondir la recherche sur les pratiques agricoles des paysans. Elles permettront aussi d'identifier vos besoins et contraintes en matière de variétés afin de pouvoir les lever. Vous pourrez me parler en toute confiance car votre identité restera strictement confidentielle.

Merci de votre attention, nous pouvons maintenant commencer.

RESULTAT DU REMPLISSAGE

Complet avec 1er producteur (trice) tiré (e)……..…….……...1
Rempli avec producteur (trice) de remplacement/refus……..…..2
Rempli avec producteur (trice) de remplacement/producteur (trice) tiré (e) non trouvé (e)……3
Incomplet……...…….……...4

Section A : Identification de l'exploitation agricole

Sous-section A0 : Identification du chef d'exploitation

A01. Nom du chef d'exploitation :……..……

A02. Numéro de téléphone du chef d'exploitation :……...

A03. Sexe : □ Féminin □ Masculin

A04. Age (en années révolues) : |__|__|

Sous-section A1 : Caractéristiques sociodémographiques du chef d'exploitation

A1.1	A1.2	A1.3	A1.4	A1.5	A1.6	A1.7	A1.8	A1.9	A1.10	A1.11
Situation matrimoniale (Code 1)	Ethnie (Code 2)	Nombre d'enfants biologiques	Taille de l'exploitation	Nombre de ménages dans l'exploitation	Taille du ménage du chef d'exploitation	Niveau Instruction (Code 3)	Activité principale (Code 4)	Activité secondaire (Code4)	Superficie possédée en 2013(ha)	Superficie exploitée en 2013 (ha)

Code1= Code situation matrimoniale 1=Célibataire (jamais marié) ; 2=Marié (e) monogame ; 3=Marié (e) polygame ; 4=Veuf (ve) ; 5 = Divorcé (e)

Code2=**Code ethnie** : 1=Wolof ; 2=Lébou; 3=Sérère ; 4=Halpulaar ; 5=Diola ; 6=Mandingue ; 7=Socé ; 8=Bambara ; 9=Autre ethnie sénégalaise (préciser).

Code3 = Code niveau d'instruction 1 = Aucune formation ; 2 = Arabe ; 3 = Primaire ; 4 = Secondaire et plus ; 5 = Alphabétisation ; 6= Autre (préciser)

Code4=**Code activité** : 1=Agriculture ; 2=Élevage ; 3=Exploitant forestier ; 4=Pêche ; 5=Commerçant ; 6=Employé dans le privé ; 7=Employé dans le public ; 8=Chef d'entreprise ; 9=Autre (préciser)

Sous-section A2 : Composition du ménage

A2.1.	A2.2		A2.3	A2.4	A2.5
Numéro du membre	**Lien avec le chef d'exploitation** Époux/épouse…01 Coépouse. ...02 Enfant biologique..03 Petits-enfants…...04 Père/mère.….05 Frère/soeur..06 Neveu/nièce..07 Grands-parents…08 Oncle/tante…09	Beaux-parents…..10 Gendre/belle-fille….11 Cousin/cousine..…12 Enfant confié……13 Beau-fils/belle-fille…14 Beau-frère/belle-soeur..15 Ex-époux/ex-épouse….16 Autre parent……17 Sans lien…….18	Sexe 1=Féminin 2=Masculin	Age (en années révolues)	Est actif (tive) dans votre exploitation ? 1=Oui 2=Non
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Sous-section A3 : Organisations entretenant ou ayant entretenu des relations avec l'exploitation agricole

A3.1	A 3.2	A3.3	A3.4	A3.5	A3.6
Nom Structure/organisation	Type Structure (Code 5)	Code de Structure/organisation (Code 6)	Type de relation (Code7)	Durée des relations (en années)	Bénéficie encore de l'assistance 1=oui, 2=non

Code 5 = **Code Type de structure** : 1=Étatique ; 2=Privé ; 3=Développement

Code 6 =Code Structure/Organisation : 1=Recherche ; 2= Vulgarisation ; 3= Élevage ; 4=Eaux et forêt, 5=Structure financière, 6=OP ; 7=ONG ; 8= Projets (lister…) ; 9 = Autres (à préciser)

Code 7 = Code Type relation : 1=Don de semences, 2=Achat de semences par l'institution, 3=Vente de semences par l'institution, 4 =Encadrement technique effectué par l'institution, 5 =Formations, 6 = Crédit, 7 = Octroi de matériels (équipements agricoles), 8= Vente d'engrais, 9 = Don d'engrais, 10 =cadre de concertation et de planification ; 11=Autres (à préciser),

A3.7. Avez-vous reçu une formation professionnelle diplômante ? |__| 1=Oui 2=Non

A3.8. Si oui, laquelle ?…….

A3.9. Avez-vous bénéficié de formation(s)/stages agricole(s) ? |__| 1=Oui 2=Non → **Passez à A3.12**

A3.10. Si oui : Combien de fois ? |__|

A3.11. Quel type de formation ?……

A3.12. Êtes-vous actuellement membre d'une organisation ?

1= Oui →***Poser A3.13 et passer à A3.15*** 2= Non → ***Passez à A3.14*** 3= Jamais → ***Passez à A3.15***

A3.13. Si oui, à quel type d'organisation ? |__| (Code8)

A3.14 A quel type d'organisation avez-vous appartenu dans le passé ? |__| (Code9)

A3.15 Y a-t-il un autre membre du ménage qui fait partie d'une organisation ?

1= Oui 2= Non 3= Jamais

Code8=Code organisation : 1=Organisation paysanne ; 2 = ONG ; 3 = Association religieuse ; 4=Association Politique ; 5=Association culturelle ; 6 = GIE ; 7 = Coopérative ; 8 = Autres (à préciser)

Code9=Code organisation dans le passé : 1=Aucune ; 2=Organisation paysanne ; 3 = ONG ; 4 = Association religieuse ; 5=Association Politique ; 6=Association culturelle ; 7 = GIE ; 8 = Coopérative ; 9 = Autres (à préciser

Sous-section A4 : Accès au crédit

Année	Obtention de crédit ? 1=Oui 2=Non	Source du crédit (Code 9)			Montant du crédit FCFA	Mode de remboursement 1=échelonné 2=à terme	Montant à rembourser	Délai de remboursement	Usage principal du crédit (Code10)		
		Première source	Deuxième source	Troisième source					Premier usage	Deuxième usage	Troisième usage
A4.1	**A4.2**	**A4.3**	**A4.4**	**A4.5**	**A4.6**	**A4.7**	**A4.8**	**A4.9**	**A4.10**	**A4.11**	**A4.12**
2012											
2013											

Code 9 = Source de crédit : 1=programme crédit, 2=banque, 3=institution de microfinance ; 4=projets, 5=ONG, 6=Commerçants, 7=habitant du village, 8=habitant d'un autre village, 9=Organisation paysanne, 10=Autre (à précision)

Code 10 = Usage crédit : 1=achat de semences, 2=achat d'engrais, 3=achat de produits phytosanitaires, 4=opérations agricoles, 5=achat de matériel agricole ; 6=entretien/réparation matériel agricole ; 7=commerce, 8=soins, 9=nourriture, 10=cérémonies, 11=autres dépenses (préciser)

Section B : Variétés cultivées

B1.1 Combien de champs avez-vous cultivé lors de la dernière campagne agricole ? |__|

B1.2 Quelle est la superficie totale que vous avez cultivée en 2013 ? |__|__| ha

B1.3 Depuis combien d'années cultivez-vous le mil ? |__|__| ans

B1.4 Depuis combien d'années cultivez-vous le sorgho ? |__|__| ans

B1.5 Depuis combien d'années cultivez-vous l'arachide ? |__|__| ans

Sous-section B2. Caractéristiques des champs

Numéro du champ	Mode de tenure (Code 1)	Distance au village (km)	Numéro d'ordre de la parcelle	Culture principale (Code 2)	Cultures associées (Code 2)		
					Culture 1	Culture 2	Culture 3
B2.1	**B2.2**	**B2.3**	**B2.4**	**B2.5**	**B2.6**	**B2.7**	**B2.8**
1							
2							
3							
4							

Code 1= Code mode de tenure : 1=Propriétaire, 2=Locataire, 3= Terre affectée par la communauté rurale,4= Cession temporaire (prêté pour un temps) 5=Cession définitive (don), 6=métayage, 7=Autre (préciser en décrivant ce mode de tenure)
Code 2 = Code Culture:1 = Arachide ; 2= Mil ; 3= Sorgho ; 4 = Niébé ; 5 = Fonio ; 6= Maïs ; 7=Autres (à préciser) **NB : les cultures associées sont citées par ordre d'importance.**

Sous-section B3 : Type de semences de mil/sorgho utilisées

B3.1 Quelles variétés de mil connaissez-vous ?

……
……

B3.2 Quelles variétés de sorgho connaissez-vous ?

……
……

Adoption des variétés améliorées

	1=Oui 2=Non (*Mettre le code*)	**Si Non, pourquoi ? (Code 3)**
B3.3. Avez-vous déjà cultivé des variétés améliorées de mil ?		
B3.4. Avez-vous déjà cultivé des variétés améliorées de sorgho ?		

Code 3=Code raison non adoption : 1=Ne connaît pas ; 2=Trop cher ; 3=Semences non disponibles ; 4=Faible accès aux fertilisants ; 5=Non adaptées aux conditions climatiques ; 6=Non résistantes aux maladies ; 7=Cycle long ; 8=Charge de travail importante ; 9=Mauvais goût ; 10=Autres (préciser)

Passer à B3.17 si B3.3=Non et B3.4= Non, sinon continuer avec B3.5

B3.5. Quel est votre nombre d'années d'expérience avec les variétés améliorées de mil et/ou de sorgho ? |___|___|

Utilisation des variétés améliorées

	1=Oui 2=Non 3=Campagne 2013 est ma première adoption *(Mettre le code*)	**Si Non, pourquoi (Code 4)**
B3.6. Continuez-vous à cultiver des variétés améliorées de mil ?		
B3.7. Continuez-vous à cultiver des variétés améliorées de sorgho ?		

Code 4=Code abandon des variétés améliorées : 1=Trop cher ; 2=Semences non disponibles ; 3=Faible accès aux fertilisants ; 4=Non adaptées aux conditions climatiques ; 5=Sol non approprié ; 6=Non résistantes aux maladies ; 7=Cycle long ; 8=Charge de travail importante ; 9=Mauvais goût ; 10=Autres (préciser)

→ **Passer à B3.17 si B3.6=Non et B3.7=Non, sinon poursuivre avec B3.8**

B3.8. Quelles sont les raisons pour lesquelles vous cultivez des variétés améliorées ? **Entourer les bonnes réponses**

1. Durée du cycle
2. Rendements plus élevés
3. Résistance aux maladies
4. Production plus facile à commercialiser
5. Meilleur goût
6. Les amis et/ou parents les cultivent
7. Autre (préciser)

B3.9. Avez-vous eu des problèmes d'adaptation avec ces variétés ? |___|

1=Oui 2=Non → **Passer à B3.12**

B3.10. Si oui, quelles sont les trois principaux problèmes que vous avez eus à rencontrer ?

……

B3.11. Quelles sont les solutions trouvées face à ces problèmes ?

……

B3.12. Avez-vous bénéficié de mesures d'accompagnement pour la culture de variétés améliorées ? |___|

1=Oui 2=Non → **Passez à B3.14**

B3.13. Quelles sont-elles ? (Entourer les bonnes réponses)

1. Visite d'encadreur
2. Fournitures d'intrants
3. Formation
4. Autres (préciser)

B3.14 Trouvez-vous que les variétés améliorées de mil et/ou sorgho sont disponibles dans votre environnement ? |___|

1=Oui 2=Non 3=Ne sait pas

B3.15 Rencontrez-vous des difficultés si vous voulez vendre votre production de mil et/ou sorgho ? |___|

1=Oui 2=Non → **Passez à B3.17**

B3.16 Quelles sont-elles ? (Entourer les bonnes réponses)

1. Prix trop faible
2. Accès aux marchés difficiles
3. Paiements tardifs
4. Pas de moyens de stockage des récoltes
5. Pas de clients
6. Autres (préciser)

B3.17 Quels types de variétés de mil avez-vous cultivé en 2013 ? (Code 5) |___|

B3.18 Quels types de variétés de sorgho avez-vous cultivé en 2013 ? (Code5) |___|

Variétés de mil cultivées ces cinq dernières années

Année	Variété (Code 6)	Provenance (Code 7)	Semences certifiées ? 1=Oui 2=Non
B3.19	**B3.20**	**B3.21**	**B3.22**
2009			
2010			
2011			
2012			
2013			

Code 5= Code types de variétés cultivées en 2013 : 1=Traditionnelles uniquement ; 2=Améliorées uniquement ; 3=Traditionnelles et améliorées.
Code 6 = Code variété de mil : 1 = Traditionnelle (préciser) ; 2= Souna 3 ; 3= IBV 8001 ; 4= IBV 8004 ; 5= IBMV 8402 ; 6= ISMI 9507 ; 7= Gawana ; 8=Thialack 2 ; 9=Autre (préciser) ; 10=Ne sait pas
Code 7= Provenance des semences : 1=Stock personnel ; 2=Recherche ; 3=Vulgarisation, 4= Achat au marché ; 5=Achat chez des privés ; 6 = ONG ; 7=Don de la famille et/ou amis ; 8=Service de l'État ; 9=Organisation paysanne ; 10=Autre (préciser)

Type de variétés de sorgho cultivées ces cinq dernières années

Année	Variété (Code 8) (*il est possible de mettre plusieurs codes)*	Provenance des semences (Code 7)	Semences certifiées ? 1=Oui 2=Non
B3.23	**B3.24**	**B3.25**	**B3.26**
2009			
2010			

2011			
2012			
2013			

Code 7= Provenance des semences : 1=Stock personnel ; 2=Recherche ; 3=Vulgarisation, 4= Achat au marché ; 5=Achat chez des privés ; 6 = ONG ; 7=Don de la famille et/ou amis ; 8=Service de l'État ; 9=Organisation paysanne ; 10=Autre (préciser)
Code 8= Code variété de sorgho : 1=Traditionnelle (préciser) ; 2= CE 145-66 ; 3=CE 151-262 ; 4=CE 180-33 ; 5=CE 196-7-2-1 ; 6=F2-20 ; 7= Faourou ; 8=Nguinthe ; 9=Nganda ; 10=Darou ; 11=Autre (à préciser) ; 12=Ne sait pas

B3.27. À quelle distance se trouve le vendeur d'engrais le plus proche de votre lieu de résidence ?

Entourer la bonne réponse

1. Dans le village……1
2. Moins d'1 km…….2
3. De 1 à 2 km……3
4. De 3 à 5 km……4
5. Plus de 5 km……...5

Section C : Productions, revenus et charges agricoles

Sous-section C1 : Production et revenus agricoles

Production et commercialisation lors de la campagne 2013

NB : les superficies emblavées sont demandées pour chaque type de variété cultivée parmi les spéculations listées

Spéculations	Type de variété 1=Traditionnelle 2=Améliorée/certifiée	Superficie emblavée	Mode de tenure (Code 2)	Production (kg)	Quantité autoconsommée	Quantité vendue en kg	Prix de vente du kg	Lieu de vente (Code 3)	Moyens de transport au lieu de vente (Code 4)
C1.1.	**C1.2**	**C1.3**	**C1.4**	**C1.5**	**C1.6**	**C1.7**	**C1.8**	**C1.9**	**C1.10**
Mil									

Sorgho									
Arachide									
Maïs									
Niébé									
Fonio									
Autres (préciser)									

Code 2=Code mode de tenure de la superficie emblavée : 1=Propriétaire ; 2=Locataire ; 3= Terre affectée par la communauté rurale ; 4= Cession temporaire (prêté pour un temps) ; 5=Cession définitive (don) ; 6=métayage ; 7=Autre (préciser en décrivant ce mode de tenure)
Code 3= Code lieu de vente : 1=village ; 2=autre village ; 3=Marché ; 4=Bana-bana ; 5=Grossiste/demi-grossiste ; 6=Autre (préciser)
Code 4= Code Moyen de transport : 1= Pied ; 2 = véhicule personnel ; 3 = véhicule de location ; 4= transport en commun ; 5 = traction animale ; 6 = vélo ; 7 = Autre (préciser)

Sous-section C2 : Intrants variables

Charges variables d'exploitation pour le mil lors de la campagne 2013

Intrants	Quantité achetée (kg)	Quantité utilisée (kg)	Provenance (Code 1) (*Maximum trois principales sources*)			Prix unitaire pour quantité achetée (FCFA/kg)	Mode de paiement 1=comptant 2=crédit
			Provenance 1	Provenance 2	Provenance 3		
C2.1	**C2.2**	**C2.3**	**C2.4**	**C2.5**	**C2.6**	**C2.7**	**C2.8**
Semences							
NPK							
Urée							
Engrais organiques							
Produits phytosanitaires							

Code 1=Code provenance des intrants : 1=Stock personnel ; 2=Recherche ; 3=Vulgarisation, 4= Achat au marché ; 5=Achat chez des privés/amis ; 6 = ONG ; 7=Don de la famille et/ou amis ; 8=Service de l'État ; 9=Organisation paysanne ; 10=Autre (préciser)

Charges variables d'exploitation pour le sorgho lors de la campagne 2013

Intrants	Quantité achetée (kg)	Quantité utilisée (kg)	Provenance (Code 1) (*Maximum trois principales sources*)			Prix unitaire (FCFA/kg)	Mode de paiement 1=comptant 2=crédit
			Provenance 1	Provenance 2	Provenance 3		
C2.9	**C2.10**	**C2.11**	**C2.12**	**C2.13**	**C2.14**	**C2.15**	**C2.16**
Semences							
NPK							
Urée							
Engrais organiques							
Produits phytosanitaires							

Équipement agricole durant la campagne 2013

Équipement	Fabrication 1-artisan neuf 2-artisan occasion 3-industriel	Disponibilité 1-propre 2-location 3-emprunt	État 1-bon 2-moyen 3-mauvais	Année d'acquisition	Prix d'achat	Financement 1-crédit formel 2-crédit informel 3-revenus propres 4-autres
C2.17	**C2.18**	**C2.19**	**C2.20**	**C2.21**	**C2.22**	**C2.23**

Main-d'œuvre familiale utilisée dans les travaux agricoles de la campagne 2013

Opérations culturales	Filles/Femmes		Garçons/Hommes	
	Nombre	Nombre de jours	Nombre	Nombre de jours
C2.24	**C2.25**	**C2.26**	**C2.27**	**C2.28**
Préparation du sol/offset				
Semis/Labour				
Récolte				

C2.30. Trouvez-vous que votre main-d'œuvre familiale a été suffisante en 2013 ? |___| **1**=Oui **2**=Non

C2.31 Avez-vous utilisé de la main d'œuvre extérieure pour les travaux agricoles de la campagne 2013-2014 ? (Entourer la bonne réponse)

1= Oui → **Remplir le tableau** 2 = Non → **Passez à C2.39**

Main-d'œuvre extérieure utilisée pour les travaux agricoles

Opérations culturales	Filles/Femmes		Salaire total (FCA)	Garçons/Hommes		Salaire total (FCFA)
	Nombre	Nombre de jours		Nombre	Nombre de jours	
C2.32	**C2.33**	**C2.34**	**C2.35**	**C2.36**	**C2.37**	**C2.38**
Préparation du sol/offset						
Semis/Labour						
Récolte						

C2.39. Avez-vous d'autres charges d'exploitation pour le mil ?|___| 1=Oui 2=Non

Si Oui, remplir le tableau suivant

Autres charges d'exploitation pour le mil

Charges supportées par l'exploitation	**Coût total (FCFA)**
C2.40	**C2.41**
1. Transport des récoltes	
2. Entretien des animaux de trait	
3. Mise en sac/botte	
4. Location matériel agricole	
5. Autres charges (à préciser)	

C2.42. Avez-vous d'autres charges d'exploitation pour le sorgho ? |___|

1=Oui 2=Non

Si oui, remplir le tableau suivant

Autres charges d'exploitation pour le sorgho

Charges supportées par l'exploitation	Coût total (FCFA)
C2.43	**C2.44**
1. Transport des récoltes	
2. Entretien des animaux de trait	
3. Mise en sac/botte	
4. Location matériel agricole	
5. Autres charges (à préciser)	

Sous-section C3 : Stockage des récoltes

C3.1 Avez-vous stocké du mil après la campagne 2013 ? |__|

1= Oui → **Remplir le tableau ci-dessous** 2 = Non

C3.2 Avez-vous stocké du sorgho après la campagne 2013 ? |__|

1= Oui → **Remplir le tableau ci-dessous** 2 = Non

Moyens de stockage par spéculation

Spéculations	Type ou Mode de stockage (Code 2)	Moyens de stockage (Code 3)	Quantité stockée (kg)	Coût FCFA	Durée de stockage (en mois) par produit
C3.3	**C3.4**	**C3.5**	**C3.6**	**C3.7**	**C3.8**
Mil					
Sorgho					

Code 2= **Code type ou mode de stockage** : 1=grenier ; 2=chambre ; 3=magasin ; 4= stockage collectif ; 5=Autre (préciser)
Code 3= **Code Moyen de stockage** : 1=personnel ; 2=familial ; 3=locatif ; 4=Autre (préciser)

Section D : Revenus et dépenses du ménage

D1 Disposez-vous de revenus non agricoles ? |__|
1 = Oui 2 = Non → **Passez à D4**

Revenus non agricoles

Sources de revenu	**Montant reçu au cours du dernier mois (FCFA)**
D2	**D3**
1. Salaire reçu	
2. Loyer reçu	
3. Commerce	
4. Artisanat	
6. Pension	
7. Assurance	
9. Transfert	
10. Autre (préciser)	

D4 : Durant le mois précédent, combien votre ménage a-t-il dépensé pour les produits suivants ?

Produits	**Montant (FCFA)**
Alimentation	
Eau	
Électricité	
Santé	
Savon	
Charbon de bois	
Bois de chauffe	
Scolarité	
Téléphone	
Transport	
Appareils et accessoires de loisirs	
Cérémonie	
Habillement	
Entretiens et reparation	
Carburant	

Pétrole	
Batterie (lampe torche)	

D5 : Durant le dernier mois, combien votre ménage a-t-il consommé des produits que vous cultivez ou que vous élevez, pêchez, chassez, cueillez?

Produits	Quantité consommée (en kg)	Valeur de la quantité consommée (FCFA)
Mil		
Sorgho		
Arachide		
Niébé		
Maïs		
Fonio		
Fruits et legumes		
Produits de la pêche		
Gibier		
Produits de la cueillette		
Autres (préciser)		

OBSERVATIONS :

DATE ET SIGNATURE DE L'ENQUETEUR

Questionnaire communautaire

Module A : Identification du village

A0.	Région :	A1.	Département : . . . . .
A2.	Village :	A3.	Date de l'interview : . . . . .
A4.	Enquêteur :	A5.	Durée de l'interview :

Module B : Liste des personnes répondantes

Numéro d'ordre	**Nom et prénom des personnes qui ont fourni des réponses pour le questionnaire communautaire**	**Sexe Masculin 1 Féminin 2**	**Fonction principale occupée dans le village (Code 1)**	**Depuis combien d'années [NOM] vit dans la communauté**
B1	B2	B3	B4	B5

Code 1=Code Fonction principale occupée dans le village : 1=Chef de village ; 2=Conseiller rural ; 3=Notable ; 4=Personnel enseignant ; 5=Personnel de santé ; 6=Agent d'encadrement agricole ; 7= Homme d'affaires ; 8=Chef religieux ; 9=Membre Organisation Paysanne.

Module C : Population et Économie

C1	Nombre de concessions dans le village	|__|__|__|	C4	Quelles sont les deux grands groupes ethniques du village en ordre d'importance ?	1._____ 2._____
C2	Nombre de ménages dans le village	|__|__|__|	C5	Y a-t-il des périodes de l'année où le village est inaccessible par la route ? Oui, toute l'année car route impraticable……..1 Oui, à la saison des pluies car route impraticable….2 Non……3	|___|
C3	Nombre de personnes dans le village	|__|__|__|	C6	À quelle distance se trouve la route bitumée la plus proche du village ? Dans le village……1 Moins d'1 km…….2 De 1 à 2 km……..3 De 3 à 5 km……4 Plus de 5 km……..5	|___|

Module D : Existence et accessibilité aux services sociaux

Numéro d'ordre	Type d'infrastructure	Combien de [SERVICE] y a-t-il dans le village ?	À quelle distance se trouve le [SERVICE] le plus proche ? Dans le village……1 Moins d'1 km…….2 De 1 à 2 km……..3 De 3 à 5 km……4 Plus de 5 km……..5 Si 1, allez à la ligne suivante	Quel est le principal moyen qu'on utilise dans le village pour se rendre au [SERVICE] le plus proche ? Pied……1 Charrette……..2 Vélo/bicyclette….3 Motocyclette……..4 Voiture……..5 Autre (préciser)…….6
D0	D1	D2	D3	D4
1	École primaire	|___|	|___|	|___|
2	Collège d'enseignement moyen	|___|	|___|	|___|
3	Lycée	|___|	|___|	|___|
4	Daara	|___|	|___|	|___|
5	Case de santé	|___|	|___|	|___|
6	Dispensaire/poste de santé	|___|	|___|	|___|
7	Maternité	|___|	|___|	|___|
8	Pharmacie ou dépôt de médicament	|___|	|___|	|___|
9	Banque/institution de microfinance	|___|	|___|	|___|
10	Forage	|___|	|___|	|___|
11	Bornes fontaines publiques	|___|	|___|	|___|

12	Centre d'appui au développement local	|___|	|___|	|___|
13	Banque céréalière	|___|	|___|	|___|
14	Centre de stockage des récoltes	|___|	|___|	|___|
15	Route latéritique	|___|	|___|	|___|
16	Piste de production	|___|	|___|	|___|
17	Marché permanent	|___|	|___|	|___|
18	Marché hebdomadaire	|___|	|___|	|___|
19	Service de vulgarisation ou conseil agricole	|___|	|___|	|___|

Module E : Agriculture

E1	Est-ce qu'il y a un (des) agent (s) d'encadrement agricole qui intervient (interviennent) dans la communauté rurale ? Oui……..1 Non……2	|___|	E6	Existe-t-il des vendeurs de semences certifiées dans la communauté rurale ? Oui……1 Non…….2	|___|
E2	À quelle structure appartient-il ?		E7	Si non, à quelle distance se trouve le vendeur de semences certifiées le plus proche ? Moins de 2 km…….1 De 3 à 5 km……2 Plus de 5 km……3	|___|
E3	À quelle fréquence cet (ces) agent (s) visite (nt)-il les villages ? Très fréquent……1 Fréquent……2 Souvent…….3 Rarement……4 Jamais……5	|___|	E8	Y a-t-il des vendeurs de fertilisants dans la communauté rurale ? Oui……1 Non……..2	|___|
E4	Existe-il des groupement ou associations (GIE, GPF, OP) agricoles dans la communauté rurale ? Oui……..1 Non…….2	|___|	E9	Si non, à quelle distance se trouve le vendeur de fertilisants le plus proche ? Moins de 2 km……1 De 3 à 5 km……2 Plus de 5 km …….3	|___|
E5	Si oui, combien sont-ils ?	|___|	E11	Y a-t-il des agriculteurs de la communauté rurale qui cultivent des variétés améliorées de mil et/ou sorgho ? Oui……1	|___|

				Non……..2	
E12	Pratique-t-on le métayage dans la communauté rurale ? Oui……..1 Non…….2	|___|	E16	Quelle appréciation faites-vous de la qualité des sols de la communauté rurale Fertiles……1 Moyennement fertiles……2 Dégradées…….3 Pauvres……4	|___|
E13	Ces métayers sont-ils nombreux ? Plus de moitié….1 La moitié……2 Moins de la moitié…..3 Quelques-uns……4	|___|	E17	Quelle appréciation faites-vous de la superficie des terres cultivables de la communauté rurale? Insuffisant…….1 Suffisant…….2	|___|
E15	Combien reçoit en moyenne un manœuvre agricole par jour de travail ?		E18	Selon vous, les contraintes à l'adoption des variétés améliorées se situent-ils plus du côté de l'offre ou de celui de la demande ? Offre……..1 Demande…….2	|___|
E15.1	Montant pour un homme adulte (FCFA)	|___|___|___|	E19	Expliquez	
E15.2	Montant pour une femme adulte (FCFA)	|___|___|___|	E20	Que faire pour augmenter l'adoption des variétés améliorées de mil et de sorgho ?	
E15.3	Montant pour un enfant de moins de 15 ans (FCFA)	|___|___|___|			

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE vi

Liste des tableaux viii

Liste des figures x

Liste des annexes xi

SIGLES ET ACRONYMES xiv

INTRODUCTION GÉNÉRALE 17

Chapitre 1 : Cadre institutionnel de la diffusion des semences certifiées de céréales au Sénégal 25

1.1. Concepts et définitions 26

1.2. La législation semencière au Sénégal 28

1.3. L'organisation actuelle de la filière des semences de céréales 31

1.3.1. Acteurs 31
1.3.2. Segments 31
1.3.3. Organisation des acteurs 34
1.3.4. Relations entre acteurs 35
1.3.5. Efficacité de la filière 39

1.4. Le système sénégalais de transfert des technologies : cas des semences de céréales 46

1.4.1. Institutions d'intervention 46
1.4.2. Les méthodes d'intervention 47
1.4.3. Résultats des méthodes d'intervention 49

Conclusion du chapitre 50

Chapitre 2 : Cadre méthodologique de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho et leur impact 51

2.1. Cadre général de l'analyse : fonctions et technologies de production 52

2.2. Revue de littérature sur l'adoption et l'impact de l'adoption des technologies agricoles 53

2.2.1. Les facteurs d'adoption des technologies agricoles 53
2.2.2. L'impact de l'adoption des technologies agricoles 60

2.3. Modélisation de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho 72

2.3.1. Présentation du modèle 73
2.3.2. Spécification empirique 76

2.4. Modélisation de l'impact de l'adoptiondes semences certifiées de mil et de sorgho 77

2.4.1. Le modèle d'appariement par les scores de propension (PSM) 78
2.4.2 Le modèle à changement de régime (ESR) 80

2.5. Les données utilisées 84

2.5.1. Présentation de la zone d'étude 84
2.5.2. Méthodologie des enquêtes 85
2.5.3. Collecte et traitement des données 90

Chapitre 3 : Les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et sorgho : une analyse multiniveaux. 92

3.1. Les résultats de la recherche sur les variétés améliorées de mil et de sorgho au Sénégal 93

3.2. Statistiques descriptives 95

3.3. Les déterminants de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho 106

3.3.1. Résultats économétriques 108
3.3.2. Effets des variables et discussions 113
Conclusion du chapitre 119

Chapitre 4 : Impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho sur les rendements et la sécurité alimentaire 120

4.1. Caractérisation de la production de mil et de sorgho 121

4.2. Application des méthodes d'évaluation d'impact 129

4.2.1. Les étapes de l'appariement par les scores de propension 129
4.2.2. Spécification empirique des modèles 134
4.3. Impact de l'adoption des semences certifiées sur les rendements 139

4.3.1. Impact de l'adoption des semences certifiées de mil selon le PSM 139
4.3.2. Impact de l'adoption des semences certifiées de mil selon l'ESR 143
4.3.3. Impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho selon le PSM 144
4.3.4. Impact de l'adoption des semences certifiées de sorgho selon l'ESR 144
4.4. Impact de l'adoption des semences certifiées sur la sécurité alimentaire 145

Conclusion du chapitre 148

CONCLUSION GÉNÉRALE 149

LISTE DES REFERENCES 155

ANNEXES 165

Annexe 1 : Évaluation de la qualité de l'appariement dans l'échantillon des producteurs de sorgho 165

Annexe 2 : Résultats détaillés des modèles d'évaluation d'impact 167

Annexe 3 : Procédure d'agrément et d'admission au contrôle d'un Opérateur Privé Semencier 173

Annexe 4 : Questionnaires 175