

Adoption des innovations technologiques sur la performance rizicole au Sénégal

Adoption of technological innovations on rice-growing performance in Senegal

Babacar Ndiaye¹, Blaise Waly Basse², Vincent Mendy³

¹ Département Economie et Gestion, Université Amadou Mahtar Mbow, Sénégal, babacar.ndiaye@uam.edu.sn

² Département Economie et Gestion, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal, bwbasse@zig.univ.sn

³ Laboratoire de Recherche en Sciences économiques et sociales (LARSES), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal, vincentmendy54@gmail.com

RÉSUMÉ. Cette recherche tente d'évaluer l'impact de l'adoption des innovations technologiques sur la performance rizicole au Sénégal. Étant donné la nature endogène du processus d'adoption, nous avons utilisé un modèle de frontière stochastique endogène. Les résultats révèlent que l'adoption unique des variétés améliorées et/ou certifiées n'a pas d'impact significatif sur l'efficacité technique des riziculteurs. L'impact des techniques de gestion durable des terres bien que faible, est statistiquement significatif. Cependant, la combinaison des deux types d'innovations améliore considérablement la performance des agriculteurs. Ainsi, pour améliorer l'efficacité technique des riziculteurs, l'adoption simultanée de ces technologies devrait être privilégiée, vu leur caractère complémentaire.

ABSTRACT. This study assesses the impact of the adoption of technological innovations on rice-growing performance in Senegal. Given the endogenous nature of the adoption process, we used an endogenous stochastic frontier model. The results reveal that adopting improved or certified varieties alone does not significantly impact farmers' technical efficiency. The impact of sustainable land management practices remains small but significant. However, combining both types of innovations significantly improves farmers' performance. Thus, to improve farmers' technical efficiency, the simultaneous adoption of these technologies should be favored, given their complementary nature.

MOTS-CLÉS. Adoption, Endogénéité, Efficacité Technique, innovations technologiques, gestion durable des terres, variétés améliorées, impact.

KEYWORDS. Adoption, Endogeneity, Technical Efficiency, technological innovations, sustainable land management, improved varieties, impact.

Introduction

Au Sénégal environ 1,2 millions de personnes se trouvent en situation d'insécurité alimentaire aigüe [FAO 23]. Avec un modèle de consommation extraverti, le pays compte davantage sur les importations de produits alimentaires [IRG 10] qui sont estimées en 2019 à 357,3 milliards de FCFA [ANS 22].

En raison de sa production insuffisante par rapport à une demande sans cesse croissante, le riz constitue une denrée stratégique dans l'alimentation des populations. Ces importations sont estimées à 957 729 tonnes en 2019 pour une valeur de 207,6 milliards de FCFA [ANS 22] alors que la production nationale est de 1 155 730 tonnes de riz paddy [DAP 21] soit 736 381¹ tonnes de riz blanc. Ces chiffres révèlent que plus de la moitié des besoins alimentaires en riz est fournie par l'extérieur montrant ainsi la dépendance du pays et donc sa vulnérabilité face aux chocs extérieurs. Cette situation montre l'importance de relancer la politique agricole vers les nouvelles technologies dans un contexte de changement climatique.

¹ Cette valeur est obtenue sur la base théorique de 66% de l'équivalence de riz paddy-riz blanc qui généralement n'est pas atteint dans le contexte sénégalais.

Le Sénégal a mis en oeuvre des programmes d'innovations à travers des formations ou transferts de technologies dont l'objectif est de promouvoir la productivité, l'accroissement des revenus et la sécurité alimentaire chez les ménages agricoles [CEN 24]. La diffusion de technologies à haut rendement (semences améliorées ou certifiées) qui est considérée comme un instrument efficace capable d'accroître la productivité agricole dans les pays en développement [ASF 12], est l'une des offres d'innovations les plus répandues au Sénégal. Toutefois, les résultats obtenues par les producteurs adoptant ces technologies s'écartent considérablement du potentiel productif.

En effet comme l'attestent certaines études [ISR 20], il n'y a pratiquement pas de différence en termes de rendement entre les adoptants des variétés certifiées de riz et les témoins. Une conclusion hâtive serait donc de considérer inefficaces ces variétés dans le processus d'amélioration de la performance rizicole ; ce qui pourrait expliquer leur faible taux d'adoption qui est de moins de 14% pour le riz pluvial et 43% pour le riz irrigué [DAP 21]. La variabilité de la pluviométrie, le manque de maîtrise de l'itinéraire technique (fertilisation, désherbage, ...), la dégradation progressive des terres et les dégâts causés par les oiseaux granivores et les insectes sont autant de facteurs qui peuvent réduire la productivité. Ainsi, la complexité du processus d'innovation dans le domaine agricole exige une certaine complémentarité ou substituabilité des technologies [BIR 20]. L'introduction par exemple d'une nouvelle variété exige plus l'utilisation d'engrais et de traitements [BON 89]. Aussi l'utilisation de certains produits peut modifier les besoins en matériel et en travail : l'apparition des herbicides a supprimé le sarclage. En plus certains changements organisationnels peuvent être un préalable pour l'innovation technique : organiser et sécuriser l'approvisionnement en intrants ou en matériel végétal.

Par ailleurs, l'échec de certains programmes d'innovation visant la hausse des rendements (fertilisants, variétés améliorées...) est dû au fait que l'on n'intègre pas dans ces programmes les efforts de conservation de la superficie et de l'eau [YES 08]. Ce manque de gestion efficace des surfaces cultivables peut donc en partie expliquer la variabilité des rendements qui vacillent souvent d'une année à l'autre.

Au regard de la complexité du secteur agricole, une évaluation d'impact des politiques d'innovation entreprises dans ce domaine permet de tirer des leçons quant à l'efficacité des moyens et stratégies déployés car les insuffisances d'évaluation préalable des programmes déjà exécutés se traduisent souvent par une certaine incohérence de ces politiques par rapport à la réalité du terrain [GAR 18]. C'est dans cette logique que s'inscrit cet article qui entreprend un travail d'évaluation des innovations agricoles sur la performance rizicole sous un marché de la main d'œuvre défaillant. La question de recherche est donc relative au choix entre l'adoption simultanée ou séparée des semences améliorées (certifiées) et des pratiques de gestion durable des terres pour améliorer la productivité.

Les travaux qui se sont intéressés à l'analyse des déterminants de la performance des producteurs à partir de l'efficacité technique dans le domaine agricoles prennent en compte plusieurs variables distinctes. D'abord, une partie des travaux intègre les variables comme le niveau d'instruction, l'ethnie, la taille du ménage, la distance entre la parcelle et la maison [NGO 16]. Ensuite, une autre partie de la littérature prend en compte la pratique de l'irrigation, les techniques de production et les caractéristiques du personnel d'appui agricole [KEA 16]. Enfin, une dernière partie de la littérature prend en compte les variables comme l'appartenance à une organisation paysanne, l'équipement, l'expérience, le régime foncier, la durée de vie des matériaux, l'utilisation de la fumure organique et des produits phytosanitaires, l'encadrement, l'âge et le sexe [COU 17] ; [DOU 23] ; [NDI 22]. Ces travaux abordent l'analyse de l'efficacité et de ses déterminants sous l'hypothèse d'indépendance entre les termes d'erreur et les facteurs de production. Ce postulat est une limite dans la mesure où il y a une forte probabilité de voir, soit le choix des inputs influencé par le niveau d'efficacité d'un producteur, soit la présence d'endogénéité des déterminants. C'est dans cette perspective que ce papier tente d'apporter une contribution à la littérature en cherchant à examiner l'aspect complémentaire des technologies à haut rendement et les pratiques culturelles innovantes sur le niveau de performance des producteurs au Sénégal.

Quand bien même certains travaux proposent une évaluation de l'impact des innovations sur le rendement ou sur l'efficacité technique des producteurs dans le contexte sénégalais [BAS 15]; [NDI 21], le concours de ce papier est double. D'une part, ce papier propose la vérification empirique à partir d'un modèle de frontière stochastique endogène qui intègre les différents niveaux d'adoption des innovations comme déterminants endogènes. Le choix d'une telle méthodologie réside dans le fait que les procédures à deux étapes qui tentent de corriger le problème d'endogénéité peuvent conduire à des estimations incohérentes des niveaux d'efficacité technique si le terme d'erreur standard et le terme d'inefficience sont corrélées [KAR 17]. Cette méthode permet de relâcher l'hypothèse forte d'indépendance des facteurs de production qui en réalité peuvent être inter-dépendants. On note aussi dans les travaux précédents, la présence d'une forte probabilité, surtout dans le domaine agricole, que le choix des facteurs de production dépende du niveau d'efficacité des producteurs [CEN 24] ou que ce choix soit ajusté en fonction des chocs aléatoires [KUM 18]. Plus encore, certains déterminants de l'efficacité technique peuvent être endogènes [OLI 22]. D'autre part, l'utilisation de certaines semences améliorées trop exigeantes en pratique culturale et l'implémentation dans la parcelle de certaines pratiques de gestion durable de terre font appel à une main d'œuvre qualifiée. Ainsi, le choix de la main d'œuvre dépend du type de semences et des caractéristiques de la parcelle. Ce ciblage du type de main d'œuvre selon les objectifs de production est une réalité dans le monde paysan où les producteurs peuvent faire face à une contrainte d'accès à une catégorie de facteur travail nonobstant la disponibilité des ouvriers agricoles. Donc, faire fi de cette interdépendance des facteurs de production peut conduire à des estimations biaisées.

Les données utilisées sont issues de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA) 2018-2019 de la DAPSA réalisée dans le cadre de la deuxième année d'appui du Programme d'Enquête Agricole Intégrée (*AGRISurvey*) de la FAO. L'échantillon est composé de 782 ménages dont 265 adoptent uniquement les variétés améliorées ou certifiées comme innovations, 439 pratiquent au moins une technique de gestion durable des terres et seulement 154 ménages combinent les deux types de technologies.

Le papier est structuré comme suit. La première section présente la revue de la littérature sur l'importance des innovations dans la productivité agricole. La deuxième section présente la méthodologie. La troisième section présente les résultats et les discussions. La conclusion présente une synthèse de la recherche et les implications de politiques économiques.

1. Rôle des innovations agricoles dans l'amélioration de la productivité et la lutte contre la pauvreté

Dans le domaine agricole, l'innovation est perçue comme une nouvelle idée, une méthode pratique ou technique qui permet d'accroître de manière durable la productivité et le revenu agricole [ADA 82]. Cette définition sous-tend que l'innovation doit inéluctablement contribuer à la hausse de la production et donc à l'amélioration du bien-être des ménages agricoles à travers la hausse de leurs revenus. L'accroissement de la productivité agricole a toujours été une thématique pertinente dans l'analyse économique et plusieurs travaux ont tenté de mettre en évidence son importance dans le processus de lutte contre la pauvreté.

Du fait que la plupart des pauvres dans le monde vivent dans les zones rurales et dépendent directement de l'agriculture comme moyens de subsistance, ce secteur contribue plus efficacement à la réduction de la pauvreté que les autres secteurs non-agricoles [SAL10]; [THI 03]. Le cas des pays asiatiques est un exemple illustratif avec une croissance qui s'accompagne d'une hausse de la productivité agricole. Conscients donc de l'importance de l'agriculture dans le processus de lutte contre la pauvreté, plusieurs recherches se sont intéressées aux déterminants qui peuvent améliorer la performance agricole et par conséquent l'amélioration du bien-être des ménages. Ainsi selon [ZEL 98], l'accroissement de la productivité n'est pas une chose évidente, mais elle dépend de plus en plus de l'adoption de technologies agricoles à haut rendement. L'adoption des technologies améliorées apparaît

donc importante pour un décollage du secteur car il est, en effet, démontré que l'augmentation de la surface cultivée n'est pas l'unique solution pour augmenter la production [JAV 10].

Plusieurs travaux soutiennent que l'adoption des technologies améliorées favorisent l'accroissement de la productivité agricole [ADE 09]; [MEN 07]; [NGU 11]. Selon l'analyse de la Banque Mondiale en 2008, l'adoption de technologies à haut rendement, tels que les variétés qui ont conduit à la révolution verte en Chine, pourrait conduire à une augmentation significative de la productivité agricole en Afrique et stimuler l'économie de transition vers une économie agro-industrielle à productivité élevée. En évaluant l'impact potentiel de l'adoption des technologies améliorées de légumes sur la pauvreté des ménages ruraux agricoles à travers l'analyse de leurs effet sur les dépenses de consommation, il existe un impact positif et significatif de cette adoption sur les dépenses de consommation en Tanzanie et en Ethiopie [ASF 12].

En étudiant l'impact des variétés SAHEL sur la pauvreté au Sénégal, Basse [BAS 15] montre que ces variétés ont un impact positif et significatif sur l'intensité et la profondeur de la pauvreté. Ndiaye et Kabou [NDI 21] montrent que la combinaison de l'engrais et des variétés améliorées permet d'augmenter la sécurité alimentaire des ménages sénégalais. Aussi, selon le rapport de la direction régionale du développement rural en 2001, les rendements rizicoles annuels sur l'ensemble de la Vallée du Fleuve Sénégal (VFS) sont passés en moyenne de 4,9 t/ha en 1994/95 à 5,1 t/ha en 1999/2000 du fait que les producteurs ont atteint un niveau élevé de technicité avec une pratique d'intensification basée sur une appropriation des innovations technologiques au plan cultural.

Toutefois certains travaux révèlent que l'impact positif des technologies agricoles n'est pas toujours évident car les performances techniques d'une technologie, fut-elle en milieu rural, ne suffisent pas pour démontrer son impact sur les performances des adoptants [HON 99]. L'étude menée par l'institut sénégalais de recherches agricoles révèle qu'aucune différence n'est notée en termes de rendement entre les adoptants de variétés améliorées ou certifiées et les non-adoptants [ISR 20]. Ce résultat prouve que dans le processus d'adoption, il faut combiner un package de technologies pour obtenir leur efficacité [BUR 20]. Ces résultats mitigés concernant l'impact des technologies améliorées dans le domaine agricole exigent un approfondissement de l'analyse afin de déterminer dans quelles conditions ces innovations peuvent porter les résultats attendus.

2. Méthodologie

2.1. Description générale du modèle et test d'endogénéité

Sur la base des informations reçues, soit d'un producteur qui a déjà adopté une technologie, soit de la part des structures de vulgarisation sur les caractéristiques des technologies agricoles, les producteurs sont capables de faire une évaluation et d'anticiper le gain lié à leur adoption. Ainsi, les riziculteurs prennent en compte les coûts supplémentaires que peut générer la technologie en termes de temps et de main d'œuvre qualifiée [BAS 22]. De ce point de vue, les producteurs peuvent décider ou non d'adopter ces technologies ; ce qui est un comportement endogène. Pour réduire ce potentiel biais d'endogénéité, l'estimation de l'efficacité technique et les techniques de variables instrumentales sont combinées [KAR 17]. Les différentes technologies adoptées par les producteurs sont intégrées dans le modèle comme déterminants endogènes de l'efficacité technique.

La structure de ce modèle à variables explicatives endogènes se présente comme suit:

$$y_i = x'_{1i}\beta + v_i - u_i ; x_i = Z_i\delta + \varepsilon_i \quad [1]$$

avec y_i le logarithme de la production du $i^{\text{ème}}$ individu ; x_{1i} un vecteur de variables endogènes et exogènes ; x_i un vecteur $p \times 1$ de toutes les variables endogènes (sauf y_i) ; $Z_i = I_p \otimes z'_i$ où z'_i est un $q \times$

1 vecteur de toutes les variables exogènes ; v_i et ε_i les termes d'erreur aléatoire et $u_i \geq 0$ le terme d'erreur unilatérale qui capte l'inefficacité.

La variable x_{2i} est un vecteur de variables endogènes et exogènes ; le terme d'inefficacité u_i est une fonction de x_{2i} et d'une composante aléatoire spécifique au producteur u^* :

$$u_i = \sigma_u(x_{2i}, \varphi_u)u^* \quad [2]$$

$\sigma_{ui} = \sigma_u(x_{2i}, \varphi_u) > 0$ et $u_i^* > 0$ est indépendant de v_i et ε_i conditionnellement à x_i et z_i . Dans ce cas, bien que le terme u_i ne soit pas indépendant de x_i , u_i et v_i le sont maintenant conditionnellement à x_i et z_i ; laquelle indépendance conditionnelle est valable entre u_i et ε_i .

Suivant la décomposition de Cholesky de la matrice de variance-covariance de $(\varepsilon'_i ; v_i)'$, l'équation de la frontière peut alors s'écrire² :

$$y_i = x'_{1i}\beta + \eta'(x_i - Z_i\delta) + e_i \quad [3]$$

Avec $e_i = w_i - u_i$; $w_i = \sigma_{vi}\sqrt{1-\rho'}\tilde{w}_i = \sigma_{wi}\tilde{w}_i$; $\sigma_{wi} = \sigma_{cw}\sigma_w(.; \varphi_w)$ est dissociable de sorte que $\sigma_{cw} > 0$ représente une fonction du terme constant et $\sigma_w(.; \varphi_w)$ une fonction de toutes les variables affectant σ_{wi} sauf le terme constant de sorte que $\sigma_w(.; \varphi_w) = 1$ lorsque $\varphi_w = 0$ et $\eta = \sigma_{cw}\Omega^{-\frac{1}{2}}\rho/\sqrt{1-\rho'\rho}$. La variable Ω est la matrice variance-covariance de ε_i ; σ_{vi}^2 est la variance de v_i et ρ le vecteur représentant la corrélation entre ε_i et v_i .

La relation suivante permet de prédire le niveau d'efficacité :

$$E[\exp(-su_i)|e_i]^s = \left(\frac{1-\Phi(s\mu_i^* - \mu_i^*/\sigma_i^*)}{1-\Phi(-\mu_i^*/\sigma_i^*)} \exp\left(-s\mu_i^* + \frac{1}{2}\sigma_i^{*2}\right) \right)^s \quad [4]$$

$$\text{Avec } \mu_i^* = \frac{-se_i\sigma_{ui}^2}{\sigma_i^2} \text{ et } \sigma_i^{*2} = \frac{\sigma_{wi}^2\sigma_{ui}^2}{\sigma_i^2}$$

En plus d'estimer les paramètres, un test d'endogénéité est réalisé pour corriger, au besoin, le biais de sélection. Pour cela, il est nécessaire de vérifier la significativité conjointe des composantes de η . Si les composantes sont conjointement significatives, alors il y a l'existence d'endogénéité. En revanche, si la significativité conjointe des composantes est rejetée alors la correction pour l'endogénéité n'est pas nécessaire et donc l'efficacité peut être estimée par les modèles de frontières traditionnels.

Les hypothèses du test se présentent comme suit :

H_0 : La correction d'endogénéité n'est pas nécessaire

H_a : Il y a présence d'endogénéité et la correction est nécessaire

2.2. Spécification économétrique

Nous réalisons les estimations de l'impact de l'adoption des innovations agricoles sur la performance des riziculteurs, à partir d'un modèle d'équations simultanées composé de la fonction de production stochastique [1] et de l'équation d'inefficacité [2]. Pour ce faire, une fonction de type Cobb-Douglas est spécifiée et dont la forme linéarisée se présente comme suit :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Sup}_i + \beta_2 \text{Sem}_i + \beta_3 \text{MO}_i + \beta_4 \text{Eng}_i + v_i - u_i \quad [5]$$

² Voir [KAR 17b] pour plus de détails sur les différents calculs et les hypothèses.

Y_i est le logarithme de la production de la $i^{ième}$ observation et les facteurs de production sont respectivement la superficie, la quantité de semence, la main-d'œuvre et la quantité d'engrais.

Pour tenir en compte les différents niveaux d'adoption (traitement) et déterminer l'impact de chaque niveau, nous estimons trois spécifications du système d'équations [1]-[2]. L'équation [2] est ainsi modélisée comme une fonction de trois ensembles différents de facteurs explicatives comme suit :

$$u_i = \gamma_1 + \sum_{k=1}^k \delta_k X_k + \alpha_1 T_1 + \mu_i \quad [6.1]$$

$$u_i = \gamma_2 + \sum_{k=1}^k \delta_k X_k + \alpha_2 T_2 + \mu_i \quad [6.2]$$

$$u_i = \gamma_3 + \sum_{k=1}^k \delta_k X_k + \alpha_3 T_3 + \mu_i \quad [6.3]$$

Avec X_k les k déterminants exogènes de l'efficacité technique et T_n ($n=1 ; 2 ; 3$) les trois niveaux d'adoption. T_1 concernent ceux qui adoptent uniquement les variétés améliorées ; T_2 ceux qui utilisent au moins une pratique de GDT et T_3 l'adoption simultanée des variétés améliorées et les pratiques de GDT.

2.3. Description des données et des variables des modèles

Nous utilisons les données de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA) 2018-2019 de la DAPSA réalisée dans le cadre de la deuxième année d'appui du Programme d'Enquête Agricole Intégrée (*AGRISurvey*) de la FAO. L'enquête a couvert l'ensemble des régions et des départements du pays, à l'exception des départements de Dakar, Pikine et Guédiawaye exclus du champ de l'enquête du fait de la faiblesse voire l'inexistence de l'activité agricole pluviale. La méthode de sondage à deux degrés est utilisée, avec comme unités primaires (UP) les districts de recensement ruraux (DR) et comme unités secondaires (US) les ménages agricoles. Le tirage de l'échantillon s'est fait selon un processus de sondage aléatoire en deux étapes. La première étape consiste à tirer un échantillon d'unités primaires (DR), par la méthode de tirage avec probabilités inégales et avec remise (PIAR) ; la probabilité de tirage de chaque UP étant proportionnelle à sa taille exprimée en nombre de ménages agricoles.

La deuxième étape consiste à sélectionner dans chaque unité primaire (DR) tirée au 1er degré, un échantillon constant d'unités secondaires (ménages agricoles) par la méthode de tirage avec probabilités égales et sans remise (PESR). Avec une erreur maximale de 10%, la taille de l'échantillon obtenue est de 6340 ménages agricoles, répartis dans 1260 DRs et les 42 domaines d'étude (départements). Notre étude portant uniquement sur les ménages qui pratiquent la riziculture, nous avons obtenu après nettoyage un échantillon composé de 782 ménages dont 111 adoptent uniquement les variétés améliorées ou certifiées comme innovations, 285 pratiquent au moins une technique de gestion durable des terres, 154 ménages combinent les deux types de technologies et 232 qui constituent le groupe contrôle n'utilisant aucune technologie.

Les innovations à évaluer concernent les variétés de semences améliorées ou certifiées et les pratiques de gestion durable des terres. Quant aux pratiques de gestion durable des terres (GDT), les techniques culturelles suivantes ont été adoptées par les ménages de l'échantillon : construction de digues ou diguettes, de canaux de drainage, mise en place des brise-vents, des gabions et des cordons pierreux. Bien qu'il existe d'autres types de pratiques de GDT, celles suscitées sont utilisées par les ménages pratiquant la riziculture dans notre échantillon. Selon ces deux types d'innovations, nous introduisons trois types d'adoptants correspondant aux trois niveaux de traitement comme résumé dans le tableau 1.

Facteurs de production	Variables	Description
	Superficie	Superficie en hectare
	Engrais	Quantité d'engrais en kg
	Main d'œuvre	Main d'œuvre homme-jour
	Semence	Quantité de semence en kg
Déterminants de l'efficacité technique	T_1	Variable binaire prenant 1 si le producteur adopte au moins une variété améliorée et/ou certifiée et 0 s'il n'adopte aucune innovation
	T_2	Variable binaire prenant 1 si le producteur adopte au moins une pratique de GDT et 0 s'il n'adopte aucune innovation
	T_3	Variable binaire prenant 1 si le producteur adopte à la fois une variété améliorée et/ou certifiée et une pratique GDT et 0 sinon
	Age	Age du chef de ménage
	Appartenance à une Organisation Paysanne (OP)	Variable binaire prenant 1 si le producteur adhère à une OP et 0 sinon
	Education	Variable binaire prenant 1 si le producteur a au moins atteint le secondaire et 0 sinon
	Sexe	Variable binaire prenant 1 si le producteur est un homme et 0 sinon
Variables instrumentales	Taille du ménage (IV1)	Instrument de la main d'œuvre : variable continue exprimée en nombre de personnes dans le ménage
	Formation (IV2)	Instrument de l'adoption des variétés améliorées/certifiées : variable binaire prenant 1 si le producteur a subi une formation spécifique en agriculture et 0 sinon
	Aléas (IV3)	Instrument de l'adoption des pratiques GDT : variable binaire prenant 1 si la parcelle est sujette à au moins un aléa environnemental ³ et 0 sinon

Tableau 1. Variables du modèle

3. Résultats

L'estimation du modèle de frontière stochastique à variables endogènes a permis d'obtenir les résultats concernant les facteurs de production, les différents niveaux de traitement ainsi que les différents tests d'endogénéité.

3.1. Tests d'endogénéité et déterminants de la main d'œuvre et des traitements

Les résultats des tests d'endogénéité montrent que la correction d'endogénéité est bien nécessaire quel que soit le niveau de traitement. Ainsi, les résultats du tableau 2 montrent que l'hypothèse nulle d'absence d'endogénéité est rejetée à 1% dans les trois estimations réalisées correspondant aux trois niveaux d'adoption. Cela révèle que quel que soit le type d'innovations, l'adoption relève d'un processus non aléatoire et dépend de certaines caractéristiques inobservables des producteurs. En plus, le choix de la main d'œuvre n'est pas exogène et dépend aussi bien des facteurs observables qu'inobservables. L'arbitrage du producteur en fonction de ses dotations détermine le niveau ou le type de main d'œuvre qu'il engage.

³ Les aléas considérés comme pouvant « instrumentaliser » l'adoption des techniques de GDT sont : érosion éolienne ou hydrique, ruissellement des eaux, pente trop élevée, salinité.

Hypothèses	Estimation 1	Estimation 2	Estimation 3
H_0 : correction d'endogénéité n'est pas nécessaire	Rejet de H_0 à 1%	Rejet de H_0 à 1%	Rejet de H_0 à 1%
H_a : Présence d'endogénéité et correction nécessaire			

Tableau 2. Tests d'endogénéité

Dans les modèles de frontières stochastiques endogènes, le vecteur des instruments \mathbf{w} est composé des instruments externes \mathbf{z} (de dimension q au moins égal au nombre de variables endogènes) et de toutes les autres variables exogènes du modèle. Il ressort de l'analyse du tableau 3 que pour l'estimation 1, la taille du ménage, la taille de la superficie, la formation agricole et l'appartenance à une organisation de producteurs sont statistiquement significatifs au seuil de 1% et sont donc corrélés avec la main d'œuvre confirmant ainsi l'endogénéité de ce facteur de production dont le choix dépend de beaucoup de paramètres en fonction des objectifs de production, de la composition et des préférences du ménage. Pour l'estimation 2, en plus des variables suscitées, nous notons une relation significative entre la main d'œuvre et les variables sexe, aléas environnementaux, quantité de semence et engrais. Ainsi, plus la superficie est élevée, plus le besoin en main d'œuvre se fait sentir. L'utilisation de la mécanisation étant très faible, le recours à la force physique reste le facteur travail le plus utilisé.

Selon la [DAP 21], 1,5% seulement des ménages détiennent les équipements comme la billonneuse, le pulvérisateur, la motopompe, le motoculteur, le tracteur et la décortiqueuse en 2019 et 19% possèdent une souleveuse, dont la version attelée reste la plus répandue. Les travaux d'entretien comme le binage ou sarclage, la surveillance des oiseaux granivores entre autres exigent une présence régulière dans les champs et plus l'espace est vaste plus la demande en main d'œuvre est importante. Cela montre qu'il y a un lien étroit dans le choix des facteurs de production qui généralement étaient supposés indépendants.

En outre, les variables « taille du ménage » et le « genre homme » ont un effet positif sur la quantité de travail. En d'autres termes, un ménage avec un grand nombre de personnes dispose naturellement d'une main d'œuvre familiale importante. Le plus souvent dans ces ménages ruraux toutes personnes présentes dans la famille pendant cette période de cultures participent aux travaux, ce qui augmente en nombre la quantité de travail. Toutefois, cet accroissement de la main d'œuvre n'est pas toujours synonyme d'effet positif sur le niveau de production.

Dans certains cas, il y a une présence des enfants ou des adultes à capacités productives réduites dues soit à leur état physique ou au manque d'expérience ou de maîtrise des travaux champêtres. Les hommes ayant plus d'autorité, sont plus enclin à mobiliser les membres de la famille pour le travail ; ce qui montre l'effet positif du fait que le ménage soit dirigé par un homme sur la quantité du travail. Le fait que le chef de ménage subisse une formation agricole ou appartienne à une organisation paysanne réduit la quantité de main d'œuvre à utiliser en raison de la préférence par rapport à une main d'œuvre qualifiée ayant une certaine maîtrise des pratiques culturales. Ce qui fait qu'un producteur pourrait être confronté à une pénurie de main d'œuvre qualifiée malgré l'abondance de la main d'œuvre disponible. Sa formation le poussant à appliquer certaines pratiques culturales spécifiques va donc réduire l'utilisation de la main d'œuvre à celle qualifiée et ayant la maîtrise de ces pratiques. Nous pouvons comprendre l'existence d'une relation inverse entre la quantité de travail et les aléas environnementaux dans l'estimation 2 concernant l'adoption des GDT. En effet, ces aléas concernent les érosions, les problèmes de salinité, de ruissellement des eaux ou de pente trop élevée. Pour faire face à ces aléas, il faut une main d'œuvre qualifiée capable de mettre en œuvre des pratiques comme les GDT ; donc une main d'œuvre réduite.

ivr1_Lmo	Estimation 1	Estimation 2
Taille (IV1)	0,099*** (0,013)	0,108*** (0,010)
Formation (IV2)	-0,834*** (0,232)	-
Aléas (IV3)	-	-0,031*** (0,081)
Superficie	0,224*** (0,056)	0,023* (0,039)
Engrais	-0,024 (0,021)	0,061*** (0,019)
Semence	-0,077 (0,049)	0,204*** (0,039)
Age	-0,004 (0,005)	0,002 (0,003)
Appartenance à une OP	-0,318*** (0,088)	0,071 (0,080)
Education	-0,096 (0,097)	0,120 (0,074)
Sexe	0,627 (0,137)	0,412*** (0,093)

Tableau 3. Déterminants de la main d'œuvre

NB : *** : significativité à 1% ; ** : significativité à 5% et * : significativité à 10%

Le tableau 4 présente les résultats sur les déterminants de l'adoption des technologies à haut rendement (variétés améliorées et/ou certifiées).

ivr2_T1	Coefficients	Ecart-type	P> z	[IC 95%]
Taille	0,002	0,005	0,693	-0,008 0,013
Formation	0,246**	0,096	0,010	0,058 0,435
Superficie	0,039*	0,023	0,077	-0,004 0,083
Engrais	0,019**	0,009	0,030	0,002 0,035
Semence	-0,015	0,020	0,455	-0,053 0,024
Age	-0,001	0,002	0,417	-0,005 0,002
Appartenance à une OP	0,626***	0,037	0,000	0,554 0,698
Education	-0,049	0,040	0,223	-0,128 0,030
Sexe	-0,020	0,057	0,729	-0,132 0,092

Tableau 4. Déterminants de l'adoption des technologies à haut rendement (T₁)

Il ressort de l'analyse du tableau 4 que la formation qui constitue l'instrument externe, la superficie, l'engrais et l'appartenance à une organisation de producteurs influencent l'adoption des semences améliorées ou certifiées. Les formations agricoles portant souvent sur les itinéraires techniques et les innovations agricoles permettent aux participants d'avoir plus de connaissance sur ces technologies. Ces formations offrent aux producteurs une certaine perception sur les caractéristiques des semences comme la disponibilité, l'adaptabilité, la précocité et la productivité [ISS 17]; ce qui accroît la probabilité d'adoption. Ainsi, plus les producteurs perçoivent l'intérêt des semences améliorées et maîtrisent leurs exigences à travers les formations, plus ils auront tendance à les adopter. La superficie influence positivement l'adoption des semences améliorées ou certifiées. Ce résultat corrobore celui de Sarr et al. [SAR 18] selon lequel l'effet positif de la superficie sur l'exposition au traitement s'explique par le fait que dans les programmes de multiplications de semences, les acteurs ciblent les agriculteurs qui disposent d'une plus grande superficie. Sanghare et al. [SAN 23] ont le même résultat par le fait que les producteurs qui disposent de grandes surfaces peuvent se permettre de faire l'expérimentation de production de la nouvelle variété sur une partie de la superficie sans grand risque de perte.

En effet, la diversification des variétés ou même des spéculations est une pratique courante chez les producteurs pour minimiser les risques. Cela est d'autant plus pertinent pour les producteurs qui possèdent de vastes rizières qu'ils n'auront aucune inquiétude à tester les nouvelles variétés. L'adoption des technologies à haut rendement est aussi corrélée à l'appartenance à une organisation de producteurs. Ce résultat est en phase avec celui de Sarr et al. [SAR 18] qui démontrent que les organisations paysannes

étant les seules éligibles pour accéder au crédits de campagne offerts, donnent plus de chance aux membres d'accéder aux variétés améliorées souvent plus coûteux.

Concernant les déterminants de l'adoption des pratiques de GDT, les résultats présentés dans le tableau 5 révèlent qu'en dehors de l'instrument (aléas environnementaux), la superficie, la semence, le niveau d'éducation et le fait que le ménage soit dirigé par un homme influencent la probabilité d'adopter les techniques de GDT.

ivr3_T2	Coefficients	Ecart-type	P> z	[IC	95%]
Taille	-0,007	0,005	0.150	-0,0165	0,0025
Aléas (IV3)	0,683***	0,039	0.000	0,607	0,760
Superficie	0,069***	0,018	0.000	0,032	0,105
Engrais	-0,014	0,009	0.114	-0,032	0,003
Semence	-0,033*	0,019	0.081	-0,070	0,004
Age	0,003	0,002	0.105	-0,0005	0,006
Appartenance à une OP	0,054	0,038	0.157	-0,021	0,129
Education	0,066*	0,036	0.064	-0,004	0,136
Sexe	-0,106**	0,045	0.018	-0,194	-0,018

Tableau 5. Déterminants des pratiques GDT

Les facteurs environnementaux (érosion, salinité, pente forte, stagnation d'eau) poussent les producteurs à adopter les pratiques de GDT. Cet effet significatif au seuil de 1% montre que cette variable est un bon instrument. Ces facteurs étant les principales causes de la dégradation des terres, une manière de lutter contre ce fléau est d'adopter des techniques culturales permettant d'endiguer le phénomène. Ainsi, les producteurs confrontés à ces aléas sont inéluctablement obligés d'adopter la GDT au risque de perdre leurs parcelles. Une plus grande superficie offre également la chance d'adopter les pratiques de GDT.

En outre, pour les technologies de GDT nécessitant plus d'espace pour les installations, l'existence d'une grande superficie motive leur adoption [ADJ 22]. Aussi, le niveau d'instruction favorise l'adoption des technologies de GDT. Ce résultat confirme celui d'Adebiyi et al. [ADE 19] qui trouvent que les producteurs les mieux instruits utilisent la fumure organique. Toutefois, Sale et al. [SAL 14] trouvent que le niveau d'instruction a un effet dissuasif sur la probabilité d'adoption. Cela est dû au fait que le statut socio-professionnel des producteurs instruits ne leur permet pas de consacrer assez de temps à une technique contraignante. L'adoption des technologies de GDT est négativement influencée par la quantité de semence et le fait que le chef de ménage soit un homme. Ce résultat va à l'encontre de celui de Tey et al. [TEY 17] qui ont montré que la variable sexe masculin des producteurs influencent positivement l'adoption de technologies de GDT. Certains facteurs peuvent expliquer la relation inverse entre l'adoption des pratiques de GDT et le fait que le ménage soit dirigé par un homme. Dans le cas de la riziculture, nous constatons que les femmes sont beaucoup plus présentes dans les rizières et s'occupent plus des activités de gestion des terres agricoles telles que l'application de la fumure organique ou d'autres activités de traitements de la parcelle. Elles sont donc plus ouvertes ou plus motivées que les hommes à adopter des approches écologiques pour renforcer la sécurité alimentaire ou la résilience familiale. En plus, certains programmes de vulgarisation des innovations ciblent spécifiquement les femmes, augmentant ainsi leur probabilité d'adopter ces innovations.

La corrélation négative entre la quantité de semence peut s'expliquer par le fait que les producteurs n'ayant pas assez de moyens pour appliquer les pratiques de GDT parfois onéreuses se résignent à mettre des quantités importantes de semences pour pallier aux dégâts que les aléas environnementaux pourraient causer.

3.2. Estimation de la frontière de production

Les différentes estimations du modèle montrent un effet significatif de la superficie sur le niveau de production. Ce résultat corrobore celui de Coulibaly et al. [COU 17] qui trouvent un coefficient plus élevé de la superficie comparée aux autres facteurs de la production. D'autres résultats similaires sont obtenus avec l'existence d'une relation positive entre la superficie utilisée et la production obtenue [FON 08] et [DOU 23]. En d'autres termes, l'augmentation de la superficie contribue plus à accroître la production que les autres facteurs de production. Intuitivement ce résultat apparaît logique car l'on s'attend à ce que l'augmentation de la surface cultivable s'accompagne d'une augmentation du niveau de production.

En revanche, d'autres travaux montrent un effet négatif de la superficie sur la production [NUA 06]. Ce résultat se justifie par le fait que la diversité d'activités de l'exploitant peut l'empêcher de bien entretenir les parcelles et donc perdre une partie de sa production. Étant donné que l'augmentation de la surface suppose un temps supplémentaire de travail, son apport sur la production dépend fortement du temps d'entretien consacré.

Pour ce qui est de l'engrais, on note qu'il est sans effet sur le niveau de production concernant les traitements T_1 et T_2 . De même, il a un impact réduit mais significatif au niveau de T_3 . Il faut noter que l'utilisation de l'engrais est très réduite dans la production rizicole notamment dans la basse Casamance où, selon la base de données utilisée dans cette recherche, il y a un faible recours aux engrais. Cette situation peut inhiber son effet sur l'ensemble de la population des riziculteurs étudiée. Un résultat similaire est noté dans l'étude de Doumbia et al. [DOU 23] qui trouvent que le phosphate diammonique a un effet négatif sur le niveau de production. Cela résulte du fait que la plupart des producteurs utilisent des combinaisons incorrectes mélangeant des engrais minéraux et organiques sans respecter l'itinéraire technique de production qui exige le respect de la dose, du mode et de la période d'application. En conséquence, le respect de la dose et de la périodicité est alors indispensable pour que l'engrais apporte son effet positif sur le niveau de la production. Ces combinaisons incorrectes de l'engrais peut découler du fait que parmi les producteurs, certains ont des connaissances limitées sur l'utilisation et la gestion des engrais [OB 015]. L'amélioration des connaissances des agriculteurs en matière d'utilisation des engrais par le biais de formations agricoles constitue donc une condition préalable à une gestion scientifique des engrais [PAN 18].

Les résultats du tableau 6 montrent que la variable semence a un effet non significatif pour les estimations 1 et 3 et négatif pour le niveau 2 contrairement à nos attentes. La qualité de la semence utilisée ou la technique de repiquage peuvent expliquer ce résultat. En effet, les techniques traditionnelles de repiquage consistent à mettre plusieurs plants dans un même poquet empêchant ainsi les tiges de s'épanouir en les étouffant ; ce qui pourrait amoindrir le nombre de graines qu'elles pouvaient contenir car certaines variétés de riz ont besoin de plus d'espace aéré pour mieux produire. C'est un des problèmes que la technique de riziculture intensive cherche à pallier. Un résultat similaire négatif au seuil de 5% est obtenu par Doumbia et al. [DOU 23] qui expliquent que les producteurs ne respectent pas souvent les normes indiquées et n'en font pas bon usage comme recommandées par l'itinéraire technique de production.

Quant à la main d'œuvre, les résultats sont mitigés selon les différentes estimations, ce qui montre le caractère complexe de ce facteur de production. Utilisé du début à la fin du processus de production, son choix par le producteur demande une certaine ingéniosité et un arbitrage pour chaque niveau. Ce choix détermine son caractère endogène car tout au long du processus il fait l'objet d'un choix raisonné en fonction des aléas qui se présentent au producteur. Il existe une relation entre les chocs aléatoires et le choix des facteurs de production notamment la main d'œuvre. Lorsque ces chocs interviennent avant le choix des inputs, les producteurs peuvent en réponse à ces aléas positifs ou négatifs, ajuster leur choix d'intrants conduisant ainsi à une interdépendance entre le terme d'erreur aléatoire v et les facteurs x de production [KUM 18]. L'apport de la main d'œuvre sur la production dépend donc de la qualité du travail engagé. Nous pouvons donc comprendre qu'un producteur qui décide d'engager une main d'œuvre

familiale peu expérimentée aux techniques culturales se retrouve dans une situation de baisse de production.

Traitements	Variables	Modèle Endogène	Modèle Exogène
T₁	Variable Dépendante : Production		
	Superficie	0,756*** (0,049)	1,001*** (0,012)
	Engrais	0,013 (0,018)	0,052*** (0,008)
	Semence	0,020 (0,029)	0,019 (0,016)
	Main d'œuvre	0,245*** (0,075)	-0,086*** (0,016)
T₂	Variable Dépendante : Production		
	Superficie	0,993*** (0, 014)	0,975*** (0,012)
	Engrais	0,004 (0, 011)	-0,006 (0,009)
	Semence	-0, 053** (0,029)	-0,019 (0,019)
	Main d'œuvre	0, 028 (0,034)	-0,049** (0,016)
T₃	Variable Dépendante : Production		
	Superficie	1,001*** (0,011)	1,012*** (0,012)
	Engrais	0,030*** (0,008)	0,050*** (0,008)
	Semence	0,020 (0,016)	0,021 (0,015)
	Main d'œuvre	-0,048* (0,026)	-0,087*** (0,016)

Tableau 6. Estimations des facteurs de production

3.3. Impact de l'adoption des innovations agricoles

Les résultats du tableau 7 montrent que l'adoption des semences améliorées et/ou certifiées n'a pas d'impact significatif sur l'efficacité technique des producteurs. Aussi bien pour le modèle qui prend en compte l'endogénéité que celui qui suppose l'exogénéité du traitement, l'effet n'est pas significatif.

Insig2u (variance de u)	Modèle Endogène	Modèle Exogène
Variétés améliorées/certifiées (T₁)	0,122 (0,557)	-0,113 (0,148)
Age	0,357* (0,005)	0,007 (0,005)
Appartenance à une OP	-0,131 (0,557)	0,159 (0,141)
Education	-0,126 (0,284)	0,078 (0,114)
Sexe	0,102 (0, 248)	0,196 (0, 142)

Tableau 7. Estimation du modèle sous T₁

En effet, on note la dégradation continue et l'appauvrissement des sols à cause des actions anthropiques notamment les pratiques culturales peu conservatrices des terres et la salinisation. Ainsi, l'adoption seule des variétés à haut rendement ne suffit pas pour améliorer la productivité. Il est aisé de comprendre qu'un producteur dont la parcelle est sujette à des aléas comme l'érosion ou la salinité du sol ne peut avoir un rendement élevé même s'il adopte des variétés à haut potentiel. Dans ce cas, l'adoption de ces variétés doit s'accompagner de certaines actions d'amélioration de la qualité des sols ou d'entretien notamment le binage, le désherbage, entre autres, pour espérer un résultat conséquent.

Les résultats du traitement T_3 présentés dans le tableau 9 confirment cet argument. L'adoption conjointe des variétés et la pratique de GDT réduisent considérablement l'inefficacité technique des producteurs avec une réduction de la variance de l'inefficacité d'environ 35% pour le modèle qui contrôle l'endogénéité. En supposant exogène le processus d'adoption (modèle comparatif), l'impact est beaucoup plus grand réduisant la variance d'inefficacité d'environ 63%. Cette approche, le plus souvent utilisée dans la littérature pour les travaux qui prennent en compte les déterminants de l'inefficacité technique dans les modèles de frontières stochastiques peut conduire, selon les cas, à surestimer ou sous-estimer l'impact.

En effet, ceux qui adoptent les variétés améliorées peuvent le faire parce qu'ils se voient moins performants. Si la sélection endogène des adoptants de ces technologies qui apparaissent moins performants que les non-adoptants n'est pas pris en compte, on pourrait être amené à sous-évaluer et à conclure que les programmes de diffusion de ces innovations n'a pas d'impact [CEN 24]. En revanche, nous pouvons nous retrouver dans une situation où le groupe des adoptants (GDT par exemple vu le coût élevé de leur mise en œuvre) est composé des producteurs disposant de gros moyens pour améliorer leur performance et le groupe des non-adoptants composé de producteurs à moyens limités et peu performants. La différence entre ces deux groupes peut conduire à une surévaluation de l'impact de l'adoption.

En ne contrôlant pas ces différences en termes de caractéristiques observables et inobservables entre les adoptants et les non adoptants, l'impact peut être surestimé. Ce même résultat est observé dans le traitement 2 où il y a un faible impact lorsque l'endogénéité est contrôlée (0,068) contre un effet largement plus élevé pour le modèle exogène avec une réduction de la variance de l'inefficacité de 17%.

Insig2u (variance de u)	Modèle endogène	Modèle exogène
Adoption des pratiques de GDT	-0,068* (0,133)	-0,177** (0,128)
Age	0,013** (0,006)	0,013** (0,006)
Appartenance à une OP	-0,098 (0,143)	0,098 (0,143)
Education	0,016** (0,136)	0,028 (0,135)
Sexe	0,361** (0,172)	0,250 (0,167)

Tableau 8. Estimation du modèle sous T_2

L'impact très faible de l'adoption des pratiques de GDT trouve son explication dans le fait que les adoptants n'ont pas accompagné ces pratiques de l'utilisation des variétés à haut rendements. On peut comprendre qu'un producteur qui dispose de terres fertiles non sujettes aux aléas naturels peut ne pas obtenir un rendement élevé s'il utilise comme semence des variétés très peu productives ayant un faible rendement.

Il relève de ces résultats que la combinaison de deux types d'innovation contribue plus à améliorer le niveau d'efficacité technique. Il est donc préférable de combiner des packages et non d'opter pour une adoption unilatérale. L'adoption unique d'une technologie peut ne pas conduire à améliorer la productivité si les conditions préalables de son efficacité ne sont pas établies et cela peut donc décourager les producteurs. Ainsi, il devient logique de comprendre le faible taux d'adoption que déplorent les agents de la vulgarisation notamment ceux de l'ISRA qui, chaque année, procèdent à des homologations des dizaines de variétés non adoptées par les agriculteurs. Par conséquent, la combinaison de l'engrais et les variétés améliorées de semence contribue efficacement à élever le niveau d'efficacité technique des producteurs [NDI 21].

Insig2u (variance de u)	Modèle endogène	Modèle exogène
Combinaison T ₁ et T ₂ : (T ₃)	-0,348** (0,244)	-0,634*** (0,142)
Age	0,008 (0,005)	0,008 (0,005)
Appartenance à une OP	0,143 (0,120)	0,277** (0,117)
Education	0,071 (0,114)	0,049 (0,114)
Sexe	0,226 (0, 144)	0,214 (0,142)
Efficacité technique Moyenne	0,568	0,903
Efficacité technique Minimum	0,155	0,496
Efficacité technique Maximum	0,970	1

Tableau 9. Estimation du modèle sous T₃

Les résultats du tableau 9 révèlent que l'efficacité technique moyenne est d'environ 57% pour le modèle endogène et le producteur le plus efficace étant à 97% de sa capacité de production. Cela montre que les producteurs sont très en deçà de leur niveau optimal de production et qu'en moyenne ils peuvent encore accroître leur production d'environ 43% en maintenant le même niveau d'inputs.

Toutefois, en considérant le modèle exogène cette efficacité se situe à 90,3 % très largement supérieure à celle du modèle endogène. Cela révèle que l'on peut surestimer le niveau de performance des producteurs si l'on ne tient pas compte du caractère endogène des facteurs de production et des déterminants de l'inefficacité. Les producteurs ne sont donc pas aussi efficaces lorsque l'on ignore l'hypothèse d'endogénéité [KAR 17].

Concernant les autres déterminants de l'efficacité technique, nous remarquons que dans les estimations 1 et 2, l'âge contribue à réduire le niveau d'efficacité technique. En d'autres termes, plus le producteur prend de l'âge, plus il a tendance à devenir moins efficace sur le plan technique. Ce résultat corrobore celui de Ndiaye et Diallo [NDI 22] qui considèrent que les producteurs âgés sont plus conservateurs par rapport aux nouvelles technologies existantes. Etant attachés aux pratiques traditionnelles, ces producteurs ne pourront pas améliorer leur niveau d'efficacité technique car ces pratiques ne contribuent pas à l'amélioration de la performance.

Toutefois, l'âge peut contribuer à améliorer la performance d'un producteur jusqu'à ce qu'il commence à perdre de la force physique. C'est en ce sens qu'il peut être assimilé à l'expérience car les jeunes de moins de vingt ans ne peuvent pas être plus efficaces que ceux qui ont une expérience de plusieurs années dans la pratique de l'agriculture [BAT 96] et [DOU 23]. Cet effet positif sur la performance peut néanmoins s'atténuer avec le poids de l'âge ; ce qui pourrait expliquer le fait que dans un échantillon dominé par les producteurs dépassant la cinquantaine, l'effet sur la performance sera négatif, justifiant ainsi ici ce résultat. L'échantillon ainsi constitué dispose de ses propres caractéristiques.

En effet l'âge moyen de notre échantillon est de 53 ans, les plus âgés ayant 65 ans. Ainsi, l'appartenance à un groupement, à une organisation paysanne ou à une association, intuitivement supposée améliorer le niveau d'efficacité technique, n'a aucun impact significatif sur la performance des producteurs dans toutes les estimations du modèle endogène spécifié. Ce résultat est en contradiction avec la plupart des résultats trouvées dans la littérature ([CHO 17]; [COU 17]; [NUA 06]).

Le simple fait d'appartenir à une organisation n'améliore pas directement le niveau de performance des producteurs mais leur offre l'opportunité de bénéficier des formations dans l'utilisation de ces innovations. De ce point de vue, l'appartenance apparaît alors plutôt comme un instrument exposant les producteurs aux innovations. Ainsi dans les modèles où l'adoption n'est pas incluse parmi les déterminants, il est logique que l'effet de l'appartenance soit significativement positif. En revanche, cet effet disparaît lorsque les deux variables sont toutes deux incluses comme déterminants dans le modèle ; ce qui est le cas dans cette recherche.

Par ailleurs, le fait d'avoir un niveau d'études secondaires ou universitaires n'a pas d'effet significatif sur la performance des riziculteurs. Il est souvent attendu de ce facteur un effet positif et significatif sur la performance car ceux qui ont un certain niveau d'études pouvaient plus facilement assimiler les techniques. Cette intuition n'est pas toujours vérifiée et certaines études trouvent même un effet négatif du niveau d'instruction sur l'efficacité technique. En ce sens, Ndiaye et Diallo [NDI 22] justifient leur résultat négatif par le fait que les producteurs éduqués cherchent à diversifier leurs sources de revenus en se détournant de l'activité agricole ou en y consacrant moins de temps. Abdulai et al. [ABD 18] abordent dans le même en affirmant que ceux qui n'ont pas reçu d'enseignement formel disposaient suffisamment de temps pour s'occuper de leur exploitation alors que ceux scolarisés ou ayant un emploi ne s'occupaient de leur exploitation que le week-end. Par conséquent, le niveau d'instruction peut avoir un effet négatif, positif ou nul selon le niveau de consécration des connaissances de l'exploitant dans la production agricole.

Conclusion

Ce papier analyse, d'une part, l'impact de l'adoption des innovations agricoles sur la performance rizicole des exploitants et, d'autre part, les facteurs qui peuvent influencer le niveau d'efficacité technique. Il ressort de cette analyse que l'impact des technologies à haut rendement est loin d'être une réalité dans le contexte sénégalais et se révèle nul sur le niveau d'efficacité technique des riziculteurs. De même, les pratiques de GDT réduisent de très peu l'inefficience. En revanche, une combinaison des technologies améliore considérablement l'efficacité technique des riziculteurs. Plus le chef de ménage est avancé en âge, plus son niveau d'efficacité technique baisse.

Concernant les facteurs de production, il ressort que la superficie, comparée aux autres facteurs, possède la plus grande élasticité et contribue donc plus à accroître la production.

De ces résultats, deux implications politiques économiques sont formulées :

- L'importance de sensibiliser les producteurs sur la complémentarité des innovations : Compte tenu du caractère complémentaire des innovations, des actions de vulgarisation et de développement du secteur rizicole doivent être orientées vers l'encouragement et la sensibilisation des producteurs sur l'importance de combiner des pratiques pour être plus performants. L'échec d'adoption d'une technologie tant loué pour son potentiel peut pousser certains producteurs à abdiquer et décourager les potentiels nouveaux adoptants.
- L'importance de lutter contre l'appauvrissement et la dégradation des sols. A partir des pratiques de GDT contribuant à améliorer le niveau d'efficacité et en même temps de lutter contre la dégradation des sols, il semble important d'accompagner et d'encourager les producteurs vers l'adoption. Pour ce faire, des programmes de vulgarisation de ces pratiques et d'assistance des producteurs dans leurs installations peuvent être menés.

Cette recherche souffre néanmoins d'un certain nombre de limites. Sur le plan méthodologique, les instruments utilisés pour les variables endogènes se basent uniquement le raisonnement. Toutefois, ce raisonnement est appuyé dans la littérature par certains auteurs comme Kubitza et Krishna [KUB 20] selon qui, pour identifier les variables instrumentales potentielles, il est possible de réfléchir aux variables qui influencent directement l'adoption des technologies comme les variables environnementales (comme la pente des parcelles, les précipitations, la qualité des sols) et économiques (comme les prix du marché), mais aussi les caractéristiques des ménages agricoles (comme l'accès à l'information, l'accès au crédit, l'épargne et l'aversion au risque). De plus, les types de variétés améliorées ou certifiées ne sont pas connus. Enfin, l'étude est menée sur les données d'une période ; ce qui peut ne pas refléter le niveau d'efficacité moyen des producteurs. Par conséquent, l'une des perspectives de recherche consiste à s'intéresser à une analyse dynamique de l'efficacité à travers un modèle de frontière stochastique intégrant les données de panel.

Références bibliographiques

- [ABD 18] ABDULAI, S., NKEGBE, P. K., DONKOH, S. A., « Assessing the technical efficiency of maize production in northern Ghana : the data envelopment analysis approach », *Cogent Food & agriculture*, n° 1, 1512390, 2018.
- [ADA 82] ADAMS, A., «Barriers To Product Innovation in Small Firms : Policy Implications», *European Small Business Journal*, vol. 1, n°1, p. 67-86, 1982.
- [ADE 19] ADEBIYI, K. D., MAIGA-YALEU, S., ISSAKA, K., AYENA, M., YABI, J. A., «Déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de gestion durable des terres dans un contexte de changement climatique au Nord Bénin : Cas de la fumure organique», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, n°2, 2019.
- [ADE 09] ADEKAMBI, S., DIAGE, A. A., SIMTOWE, F. P., BIAOU, G., «The Impact of Agricultural Technology Adoption on Poverty : The Case Of, NERICA Rice Varieties in Benin», International Association of Agricultural Economists' conference, Beijing, China, 2009.
- [ADJ 22] ADJIBA, S. T. C., ADEGBOLA, Y. P., & YABI, J. A., «Genre, diffusion et adoption des technologies de gestion durable des terres dans les petites exploitations familiales des pays en voie de développement : Une revue», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.15, n°5, p. 2118-2140, 2022.
- [ANS 22] ANSD, Situation économique et sociale du Sénégal 2019, Rapport, Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANS), 2022.
- [ASF 12] ASFAW, S., KASSIE, M., SIMTOWE, F., LIPPER, L., «Poverty reduction effects of agricultural technology adoption : a micro-evidence from rural Tanzania», *Journal of Development Studies*, vol.48, n°9, p.1288-1305, 2012.
- [BAS 22] BASSE, B. V., MBAYE, S., DIOP, O., « Impact des bonnes pratiques agricoles sur le rendement des cultures d'anacarde (noix de cajou) au Sénégal», *Science, Technologie, Développement*, vol.2, n°1, 2022.
- [BAS 15] BASSE, B. W., Impact de l'adoption des variétés améliorées de riz SAHEL sur la pauvreté au Sénégal : Approche de l'effet marginal de traitement (MTE), Thèse de doctorat unique ès sciences économiques, Université Gaston Berger de Saint-Louis, 2015.
- [BAT 96] BATTESE, G. E., MALIK, S. J., GIL, M. A., «An investigation of technical inefficiencies of production of wheat farmers in four district of Pakistan», *Journal of Agricultural Economics*, n° 47, p.37-49, 1996.
- [BIR 20] BIRU, W. D., ZELLER, M., & LOOS, T. K., «The impact of agricultural technologies on poverty and vulnerability of smallholders in Ethiopia : A panel data analysis», *Social Indicators Research*, vol.147, n°2, p.517-544, 2020.
- [BON 89] BONNY, S., DAUCE, P., «Les nouvelles technologies en agriculture. Une approche technique et économique», *Cahiers d'Economie et sociologie rurales*, vol13, n°1, p.5-33, 1989
- [CEN 24] CENTORRINO, S., PÉREZ-URDIALES, M., BRAVO-URETA, B., WALL, A., «Binary endogenous treatment in stochastic frontier models with an application to soil conservation in El Salvador», *Journal of Applied Econometrics*, vol. 39, n°3, p.365-382, 2024.
- [CHOU 17] CHOUKOU, M. M., ZANNOU, A., BIAOU, G., & AHOHUENDO, B., «Analyse de l'efficacité économique d'allocation des ressources dans la production du maïs au Kanem-Tchad». *Revue Marocaine de Science Agronomique*, vol.5, n°2, p.200-209, 2017
- [COU 17] COULIBALY, A., SAVADOGO, K., DIAKITE, L., «Les déterminants de l'efficience technique des riziculteurs de l'office du Niger au Mali», *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, vol.6, n°2, 2017.
- [DAP 21] DAPSA, Les exploitations agricoles de type familial au Sénégal. Mise en application avec les données de l'Enquête Agricole, Rapport final de l'enquête de 2019, Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles (DAPSA), 2021.
- [DOU 23] DOUMBIA D., DIALLO D., & TRAORE, D. M., «Déterminants de l'efficacité technique des producteurs d'arachide du Mali : Cas de la zone de Kita», *International Journal of Economic Studies and Management (IJESM)*, 2023.
- [FAO 23] FAO, Perspectives de récolte et situation alimentaire, Rapport mondial quadrimestriel No. 3, Rome, 2023.
- [FON 08] FONTAN, C., «Production et efficience technique des riziculteurs de Guinée : Une estimation paramétrique stochastique», *Économie rurale*, n° 308, p.19-35, 2008.
- [GAR 18] GARAMBOIS, N., EL OUAAMARI, S., FERT, M., RADZIK, L., «Politique hydro-agricole et résilience de l'agriculture familiale. Le cas du Delta du fleuve Sénégal», *Revue internationale des études du développement*, vol.4, n° 236, p.109-135, 2018.
- [HON 99] HONLONKOU, N. A., Impact économique des techniques de fertilisation des sols : Cas de la jachère Mucuna au Sud du Bénin, Thèse de doctorat, Université de Côte d'Ivoire, 1999.

- [IRG 10] IRG, Rapport de l'étude sur la distribution du riz importé au Sénégal, Rapport, USAID/IRG, 2010.
- [ISR 20] ISRA, Rapport d'activités ISRA 2020, Rapport final, Institut Sénégalaise de Recherches Agricoles (ISRA), 2020.
- [ISS 17] ISSOUFOU, O. H., BOUBACAR, S., ADAM, T., YAMBA, B., «Déterminants de l'adoption et impact des variétés améliorées sur la productivité du mil au Niger», *African Crop Science Journal*, vol.25, n° 2, 2017.
- [JAV 10] JAVED, M. I., ADIL, S. A., ALI, A., RAZA, M. A., «Measurement of technical efficiency of rice—wheat system in Punjab». *Journal of Agricultural Research*, vol.48, n° 2, p.227-238, 2010.
- [KAR 17] KARAKAPLAN, M. U., «Fitting Endogenous Stochastic Frontier Models in Stata», *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata*, vol.17, n° 1, p.39-55, 2017.
- [KAR 17] KARAKAPLAN, M. U., KUTLU, L., «Endogeneity in panel stochastic frontier models : An application to the Japanese cotton spinning industry». *Applied Economics*, vol.49, n° 59, p.5935-5939, 2017.
- [KEA 16] KEA, S., LI, H., PICH, L., «Technical Efficiency and Its Determinants of Rice Production in Cambodia», *Economies*, vol.4, n°4, p.1-17, 2016.
- [KUB 20] KUBITZA, C., KRISHNA, V. V., «Instrumental variables and the claim of causality : Evidence from impact studies in maize systems», *Global Food Security*, 26, 100383, 2020.
- [KUM 18] KUMBHAKAR, S. C., PARAMETER, C. F., ZELENYUK, V., Stochastic frontier analysis : foundations and advances, Working Paper Series, No. WP02/2018, 2018.
- [MEN 07] MENDOLA, M., «Agricultural technology adoption and poverty reduction : A propensity-score matching analysis for rural Bangladesh», *Food Policy*, vol.32, n°3, p.372-393, 2007.
- [NDI 21] NDIAYE, B., KABOU, A. B., «Adoption des nouvelles technologies rizicoles sur l'efficacité technique au Sénégal», *Science, Technologie, Développement*, vol.1, n° 1, 2021.
- [NDI 22] NDIAYE, I., DIALLO, M. A., «Efficacité technique des exploitations agricoles familiales de mil dans le bassin arachidier du Sénégal», *Agronomie Africaine*, vol.34, n° 2, p.199-213, 2022.
- [NGO 16] NGOM, C. A. B., SARR, F., FALL, A. A., «Mesure de l'efficacité technique des riziculteurs du bassin du fleuve Sénégal», *Économie rurale*, n°355, p.91-105, 2016.
- [NGU 11] NGUEZET, P. M. D., DIAGNE, A., OKORUWA, V. O., OJEHOMON, V., «Impact of improved rice technology (nerica varieties) on income and poverty among rice farming households in nigeria : a local average treatment effect (late) approach», *Quarterly Journal of International Agriculture*, vol.50, n°3, p.267-291, 2011.
- [NUA 06] NUAMA, E., «Mesure de l'efficacité technique des agricultrices de cultures vivrières en Côte-d'Ivoire», *Économie rurale*, n° 296, p.39-53, 2006.
- [OBO 15] OBOUR, P. B., DADZIE, F. A., KRISTENSEN, H. L., RUBÆK, G. H., KJELDSSEN, C., & SABA, C. K. S., «Assessment of farmers' knowledge on fertilizer usage for peri-urban vegetable production in the Sunyani Municipality, Ghana», *Resources, Conservation and Recycling*, n° 103, p.77-84, 2015.
- [OLI 22] OLIVEIRA, K. L. P. D., ANDRADE, B. B. D., SILVA E SOUZA, G. D., & CASTRO, B. S. D., «Endogeneity in stochastic production frontier with one and two-step models : an application with municipal data from the brazilian agricultural census», *Pesquisa Operacional*, n° 42, e243504, 2022.
- [PAN 18] PAN, D., ZHANG, N., «The Role of Agricultural Training on Fertilizer Use Knowledge : A Randomized Controlled Experiment», *Ecological Economics*, n° 148, p.77-91, 2018.
- [SAL 10] SALAMI, A., KAMARA, A. B., BRIXIOVA, Z., Smallholder Agriculture in East Africa : Trends, Constraints and Opportunities, Working Papers, Series N° 105, African Development Bank, Tunis, Tunisia, 2010.
- [SAL 14] SALE, A., FOLEFACK, D., OBWOYERE, G., LENA WATI, N., LENDZEMO, W., WAKPONOU, A., «Changements climatiques et déterminants d'adoption de la fumure organique dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.8, n°2, 2014.
- [SAN 23] SANGARE, Y., TANGARA, M. B., DIALLO, F., SIDIBE, Y., «Déterminants de l'adoption des variétés de semences améliorées de riz Gambiaka Suruni en zone Office du Niger au Mali», *African Scientific Journal*, vol.3, n° 17, p.546-556, 2023.
- [SAR 18] SARR, N. S. D., BASSE, B. W., FALL, A. A., «Taux et déterminants de l'adoption de variétés améliorées de riz au Sénégal», *Économie rurale*, n° 365, p.51-68, 2018.
- [TEY 17] TEY, Y. S., LI, E., BRUWER, J., ABDULLAH, A. M., BRINDAL, M., RADAM, A., ISMAIL, M. M., DARHAM, S., «Factors influencing the adoption of sustainable agricultural practices in developing countries : a review», *Environmental Engineering and Management Journal*, vol.16, n° 2, p.337-349, 2017.

- [THI 03] THIRTLE, C., LIN, L., & PIESSE, J., «The Impact of Research-Led Agricultural Productivity Growth on Poverty Reduction in Africa, Asia and Latin America», *World Development*, vol.31, n°12, p.1959-1975, 2003.
- [YES 08] YESUF, M., & Köhlin, G., Market Imperfections and Farm Technology Adoption Decisions, Environment for Development, Discussion Paper Series, 2008.
- [ZEL 98] ZELLER, M., DIAGNE, A., & MATAYA, C., Market access by smallholder farmers in Malawi : Implications for technology adoption, agricultural productivity, and crop income, *Agricultural Economics*, n° 19, p.219-229, 1998.