

**Déterminants de la productivité rizicole selon les catégories d'exploitations
dans la zone Office du Niger (Mali)**

**Abdoul Kader SIDIBE^{1*}, Bourema KONÉ², Souleymane Aboubacrine MAÏGA³, Joas SOGOBA⁴
& Adama BOUARÉ⁵**

¹Université de Ségou-Mali/Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique

²Chef programme de l'Ecofil /Institut d'Economie Rurale (IER),

^{3,4,5}Assistants vacataires à l'Université de Ségou

*Auteur correspondant : abdoulkader.sidibe@doct.uliege.be

Résumé

Cette étude analyse les déterminants de la productivité rizicole selon les catégories d'exploitations dans la zone Office du Niger à partir d'un échantillon stratifié de 105 exploitations réparties dans sept zones de production. Une approche mixte combinant enquêtes individuelles, focus groups et analyse économétrique a été adoptée. Une fonction de production Cobb Douglas augmentée et un modèle de frontière stochastique (SFA) ont été estimés afin d'identifier les facteurs techniques et socioéconomiques influençant la production et d'évaluer l'efficacité technique des exploitations. Les résultats révèlent une forte hétérogénéité structurelle, marquée par la prédominance des petites exploitations (53 %), caractérisées par une pression foncière élevée, un suremploi de main d'œuvre et des rendements d'échelle décroissants. Les semences et les engrais minéraux contribuent positivement à la production, tandis que la main d'œuvre exerce un effet négatif significatif. Le SFA montre que 76 % des écarts à la frontière de production sont attribuables à l'inefficacité technique, fortement influencée par le niveau d'instruction, l'âge et la taille du ménage. Ces résultats soulignent la nécessité de politiques différenciées visant la sécurisation foncière, l'intensification technique, la mécanisation adaptée et le renforcement des capacités des exploitants.

Mots-clés : Productivité rizicole-Inefficacité technique-SFA-Office du Niger-Mali.

Abstract

This study analyzes the determinants of rice productivity across farm size categories in the Office du Niger (ON) irrigation scheme using a stratified sample of 105 farms distributed across seven production zones. A mixed-methods approach combining individual surveys, focus group discussions, and econometric analysis was employed. An augmented Cobb–Douglas production function and a stochastic frontier analysis (SFA) were estimated to identify the technical and socioeconomic factors influencing rice production and to assess farms' technical efficiency. The results reveal strong structural heterogeneity, characterized by the predominance of small farms (53%), which face high land pressure, labor overutilization, and decreasing returns to scale. Seeds and mineral fertilizers contribute positively and significantly to rice production, while labor exhibits a significant negative effect. The SFA results indicate that 76% of deviations from the production frontier are attributable to technical inefficiency, which is strongly influenced by farmers' education level, age, and household size. These findings highlight the need for differentiated policy interventions focusing on land tenure security, technical intensification, appropriate mechanization, and capacity building for rice farmers.

Keywords: Rice productivity-Technical inefficiency-Stochastic frontier analysis-Office du Niger-Mali.

I. INTRODUCTION

La production rizicole dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger (ON) occupe une place stratégique dans la sécurité alimentaire et l'économie agricole du Mali. Depuis plusieurs décennies, cette zone fait face à une pression foncière croissante, résultant de l'augmentation démographique, de la fragmentation progressive des exploitations familiales et de la concurrence accrue entre usages agricoles. Dans ce contexte, l'accès limité à la terre constitue l'un des principaux facteurs de vulnérabilité économique des exploitations, en particulier pour les petits producteurs faiblement dotés en capital et en intrants productifs.

La structure agraire de la zone ON est marquée par une forte hétérogénéité en termes de taille des exploitations et de capacités productives. Les travaux fondateurs de Mariko et al. (1994), suivis par ceux de Bélières et al. (2003), ont permis d'établir des typologies des exploitations agricoles fondées sur la superficie irriguée disponible, distinguant les petites, moyennes et grandes exploitations. Plus récemment, les études de Stecia (2023) ont confirmé la persistance de contraintes structurelles, notamment la faiblesse de la capitalisation, le faible niveau d'instruction des chefs d'exploitation et l'accès inégal aux services d'encadrement et de financement. Toutefois, ces travaux demeurent essentiellement descriptifs et se concentrent

d'avantage sur la caractérisation des systèmes de production que sur l'analyse quantitative des déterminants de la productivité agricole.

Malgré l'importance stratégique de l'amélioration de la productivité rizicole pour la durabilité des exploitations et la sécurité alimentaire, les études empiriques intégrant simultanément les facteurs techniques de production et les caractéristiques socioéconomiques des exploitants restent limitées dans la zone ON. En particulier, peu de travaux ont mobilisé une approche économétrique permettant d'évaluer à la fois les rendements d'échelle et les niveaux d'efficacité technique des exploitations, tout en comparant les déterminants de la productivité selon les catégories d'exploitations. Or, la littérature montre que l'analyse de l'efficacité technique à l'aide des frontières de production (Farrell, 1957 ; Aigner, Lovell & Schmidt, 1977; Meeusen & Van den Broeck, 1977) constitue un cadre pertinent pour mesurer les écarts de performance entre exploitations et identifier les sources d'inefficacité. De plus, plusieurs études appliquées à l'agriculture africaine soulignent l'influence conjointe des intrants, de la technologie et des caractéristiques socioéconomiques des producteurs sur l'efficacité technique (Coelli et al., 2005 ; Bravo-Ureta et al., 2007 ; Battese & Coelli, 1995). L'absence d'analyses de ce type dans le contexte de l'Office du Niger limite ainsi la capacité à formuler des politiques publiques fondées sur des évidences empiriques solides et tenant compte de l'hétérogénéité des exploitations.

La présente étude vise à combler cette lacune en mobilisant une double approche économétrique fondée sur l'estimation d'une fonction de production Cobb-Douglas augmentée et d'un modèle de frontière stochastique (Stochastic Frontier Analysis – SFA). La fonction Cobb-Douglas permet d'identifier et de quantifier l'effet des facteurs techniques et socioéconomiques sur la production rizicole, ainsi que d'évaluer les rendements d'échelle, tandis que le modèle de frontière stochastique permet d'estimer les niveaux d'efficacité technique des exploitations, de distinguer l'inefficacité productive des aléas aléatoires et d'analyser ses déterminants. Ces modèles sont appliqués à des données primaires collectées auprès de 105 riziculteurs répartis dans les sept zones de production de l'ON. En intégrant à la fois les intrants techniques (superficie, semences, fertilisants, main-d'œuvre) et les caractéristiques socioéconomiques des producteurs (âge, niveau d'instruction, expérience, accès au crédit, encadrement technique, organisation paysanne), l'analyse permet d'identifier les facteurs qui expliquent les écarts d'efficacité entre exploitations et de mettre en évidence les déterminants structurels de l'inefficacité technique dans la riziculture irriguée de l'ON.

Contrairement aux travaux antérieurs, la présente étude adopte une approche comparative explicite entre petites, moyennes et grandes exploitations, afin de mettre en évidence les

différences de comportements productifs, de rendements d'échelle et d'efficacité technique selon la taille des exploitations. La littérature empirique montre en effet que la relation entre taille de l'exploitation et performance productive n'est ni uniforme ni linéaire. En Asie, plusieurs études fondées sur l'analyse de frontière stochastique mettent en évidence des rendements d'échelle croissants pour les petites exploitations rizicoles, mais des inefficiences liées aux contraintes d'accès aux intrants et au crédit (Kumbhakar, 2001 ; Rahman, 2003 ; Wang et al., 2012). En Afrique, des travaux similaires au Nigeria (Onyenweaku & Ohajianya, 2005), au Ghana (Al-Hassan, 2012), au Sénégal (Diagne et al., 2013) et en Éthiopie (Hailu et al., 2015) soulignent que l'efficacité technique du riz dépend non seulement de l'intensité des facteurs de production, mais aussi de variables structurelles telles que l'accès à l'irrigation, l'encadrement technique, l'éducation, l'expérience et l'organisation collective des producteurs.

Dans le contexte des périmètres irrigués, notamment au Vietnam (Kompas, Che & Grafton, 2004) et en Égypte (Abdulai & Eberlin, 2001), les analyses SFA montrent que les exploitations de taille intermédiaire présentent souvent les niveaux d'efficacité les plus élevés, du fait d'une meilleure combinaison entre économies d'échelle et capacité de gestion. En Afrique de l'Ouest, plusieurs études sur les systèmes irrigués (Arouna et al., 2015 au Bénin ; Wossink & Denaux, 2006 au Burkina Faso) mettent en évidence de fortes disparités d'efficacité entre catégories d'exploitations, liées aux contraintes foncières, au coût de l'eau, à l'intensification des intrants et à la qualité du conseil agricole.

C'est dans ce cadre analytique que s'inscrit la présente recherche. Sa contribution est triple. Premièrement, elle fournit des résultats empiriques actualisés sur les déterminants de la productivité rizicole dans la zone ON à partir de données primaires récentes. Deuxièmement, elle met en évidence, à l'instar des travaux de Battese et Coelli (1995) et Bravo-Ureta et al. (2007), le rôle conjoint des facteurs techniques et socioéconomiques dans l'explication des performances productives et des niveaux d'efficacité technique. Troisièmement, en adoptant une approche comparative entre petites, moyennes et grandes exploitations, elle analyse les disparités structurelles et comportementales entre catégories d'exploitations, apportant ainsi des éléments empiriques nouveaux pour la formulation de politiques agricoles différenciées, mieux adaptées à l'hétérogénéité des systèmes de production rizicoles et orientées vers l'amélioration durable de l'efficacité productive et de la viabilité économique des exploitations de ON.

- ***Question de recherche principale***

Dans quelle mesure les facteurs techniques et socioéconomiques déterminent-ils la productivité, les rendements d'échelle et l'efficacité technique des exploitations rizicoles de la zone ON, et comment ces relations varient-elles selon la taille des exploitations ?

Questions de recherche spécifiques

Sur la base de cette problématique, l'étude s'articule autour des questions de recherche suivantes :

1. Quels sont les principaux facteurs techniques et socioéconomiques qui influencent la productivité du riz dans la zone ON ?
2. Dans quelle mesure ces déterminants diffèrent-ils selon la taille des exploitations (petites, moyennes et grandes exploitations) ?
3. Les exploitations rizicoles de la zone ON présentent-elles des rendements d'échelle constants, croissants ou décroissants ?
4. Quels sont les niveaux d'efficacité technique des exploitations rizicoles et quels facteurs expliquent les écarts d'efficacité observés ?

Hypothèses de recherche

Afin de répondre à ces questions, les hypothèses suivantes sont formulées :

- H1 : Les intrants techniques de production (superficie cultivée, main-d'œuvre, semences, fertilisants) exercent un effet significatif sur la productivité rizicole dans la zone ON.
- H2 : Les caractéristiques socioéconomiques des producteurs (âge, niveau d'instruction, statut matrimonial, taille du ménage) influencent significativement la productivité du riz en affectant l'efficacité d'utilisation des facteurs de production.
- H3 : La production rizicole dans la zone ON est caractérisée par des rendements d'échelle non constants, avec une prédominance de rendements décroissants chez les petites exploitations.
- H4 : Les exploitations rizicoles de la zone ON présentent des niveaux d'efficacité technique hétérogènes, expliqués par des différences dans les dotations en facteurs de production et les caractéristiques socioéconomiques des producteurs.
- H5 : L'effet des facteurs de production sur la productivité et l'efficacité technique diffère significativement selon la catégorie d'exploitation, reflétant l'hétérogénéité structurelle du système rizicole de l'ON.

II. METHODOLOGIE

• Echantillonnage

L'étude repose sur un échantillonnage stratifié à deux niveaux :

- (i) stratification géographique couvrant les sept zones de production de l'Office du Niger (Niono, Kolongo, M'Bewani, Molodo, Macina, N'Débougou et Kouroumari) ;
- (ii) stratification par catégorie d'exploitation (petites, moyennes, grandes), définies selon la superficie irriguée.

Les investigations ont eu lieu dans les sept zones de l'ON. Cependant, afin de mettre à jour certaines informations dans le cadre de cette étude, les investigations se sont poursuivies jusqu'en novembre 2024. Au total, 105 exploitations ont été sélectionnées, soit 15 exploitations par zone, choisies aléatoirement à partir des listes villageoises validées par les services techniques. En complément, 21 focus groups (trois par zone) ont été organisés avec des organisations paysannes formelles, sélectionnées de manière raisonnée pour garantir la représentativité des pratiques et des perceptions locales.

Cette phase a consisté à collecter des données auprès de différentes catégories des producteurs dans la zone ON, prenant en compte leur hétérogénéité¹. Il s'agit d'un échantillon aléatoire stratifié. Le tableau suivant détaille les types d'intervenant considérés, la méthode de collecte des données et le nombre enquêté par type.

Tableau 4 : L'échantillonnage

Intervenants	Méthode de collecte	Echantillonnage
Producteurs	Focus group	Trois (3) focus group de quinze (15) producteurs par site (3x7=21)
	Enquête individuelle	Quinze (15) producteurs par site (15*7=105)

Le type d'échantillonnage retenu est un échantillonnage aléatoire stratifié avec des éléments d'échantillonnage raisonné et par quotas, selon les catégories d'acteurs et les zones géographiques considérées.

Tableau 5 : Justification du choix méthodologique

Élément méthodologique	Justification
Stratification	La population a été divisée en catégorie producteurs,
Aléatoire dans les strates	Sélection aléatoire d'un nombre prédéfini d'individus dans chaque strate pour garantir la représentativité.
Échantillonnage raisonné	Choix intentionnel des OP formelles pour la conduite des focus groups de producteurs.
Approche mixte	Utilisation combinée d'enquêtes quantitatives et d'entretiens qualitatifs (focus groups).
Représentation géographique	L'échantillon couvre sept zones de production

¹ La diversité des exploitants composés de petits, moyens et grands en fonction de leur facteur de production.

Cette combinaison d'échantillonnage aléatoire stratifié et raisonné permet de concilier représentativité statistique et pertinence qualitative.

Méthode et outils d'analyse

- ***Fonction de Cobb-Douglas pour la détermination de la productivité***

La fonction de production de Cobb-Douglas a été utilisée afin de déterminer les facteurs déterminants de la productivité du riz dans la zone ON. Elle a inclus les facteurs de production ainsi que les facteurs socioéconomiques des producteurs pouvant influencer la production.

Les caractéristiques socioéconomiques des riziculteurs influencent la productivité dans la région de l'ON, comme illustré par la fonction de production Cobb-Douglas augmentée (Sanidas & Park, 2011). Ces caractéristiques incluent des variables telles que l'âge, le sexe, le niveau d'éducation, le statut matrimonial et la taille du ménage. Selon Coelli, Rao, Donnell & Battese (2005), la production Y est fonction d'un ensemble de variables d'entrée X , avec l'hypothèse que l'utilisation de ces entrées est effectivement contrôlée par le producteur. Formellement, on écrit :

$Y=f(X)$; Où Y représente la production totale du riz de l'exploitation et X est le vecteur des variables d'entrée ($x_1, \dots, x_n$)

D'après Cainelli (2008), la production agricole est déterminée non seulement par les facteurs affectant directement la production, mais aussi par des caractéristiques socioéconomiques (comme l'âge, le sexe, et le niveau d'éducation), qui influencent l'utilisation de ces facteurs. Ainsi, la fonction de production peut être modélisée comme suit: $Y=F(K, L)$ où la production de riz dépend du capital et de la main-d'œuvre, ainsi que de variables additionnelles

La production rizicole est modélisée en fonction de diverses variables d'entrée directes telles que le capital, la superficie cultivée, les semences, les engrais minéraux et organiques, et d'autres facteurs socio-économiques. Dans ce cadre, la fonction de production Cobb-Douglas s'exprime par :

$$Y = F(K, L, \text{superficie}, \text{semence}, \text{fumure organique}, \text{fumure minérale},)$$

Où,

Y désigne la production totale de riz ;

K est le capital investi par les producteurs de riz ;

L correspond à la main-d'œuvre, exprimée en jours-homme par hectare ;

Superficie représente la surface rizicole mesurée en mètres carrés pour les besoins du modèle logarithmique (puisque $\ln(1) = 0$) ;

Semences indique la quantité de semences utilisées (en kg) ;

Sexe permet de mesurer les différences de productivité entre hommes et femmes ;
 Age du riziculteur, utilisé pour examiner l'influence de l'âge sur la productivité ;
 Edu représente le niveau d'instruction des exploitants, codé comme une variable binaire (0 pour les analphabètes, 1 pour ceux ayant au moins un niveau d'instruction primaire) ;
 Taille-expl est le nombre de personnes dans la famille agricole ;
 FerM désigne l'utilisation d'engrais minéraux (en kg par hectare) ;
 FertO correspond à l'engrais organique appliqué (en kg/ha) ;
 PC fait référence à la quantité de produits chimiques utilisés, exprimée en litres (L) ;
 MS reflète le statut matrimonial, considéré comme une variable catégorielle pour évaluer son impact sur la production ;
 μ_i est le terme d'erreur représentant la variation inexpliquée entre les valeurs observées et celles prédites par le modèle.

La productivité agricole se définit comme le ratio de la production à une entrée donnée $E = \frac{Y}{X_i}$

Où E est le niveau de productivité, Y la production et X_i la variable l'entrée spécifique.

L'optimisation de la production résulte de la combinaison optimale des facteurs de production disponibles. Cette combinaison optimale conduit à une productivité agricole accrue et est influencée par des facteurs de production directs et par des caractéristiques socioéconomiques, qui affectent la gestion et l'utilisation efficace des intrants. La transformation logarithmique de la fonction de production Cobb-Douglas permet de linéariser le modèle, facilitant ainsi l'interprétation des paramètres en tant qu'élasticités de la production par rapport aux variables d'entrée.

En suivant les travaux de Sanidas et Park (2011), cette fonction a été employée pour évaluer les effets de la taille de l'exploitation rizicole et des caractéristiques socio-économiques des agriculteurs sur la productivité du riz.

$$Y_i = f(\beta_i, X_i, \delta_i, Z_i, \mu_i)$$

La forme de la fonction linéaire de Cobb Douglas : $Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i \ln X_i + \sum \delta_i Z_i + \mu_i$

Dans ce modèle, Y_i représente la quantité de riz produite, tandis que X_i désigne les variables explicatives. Le terme β_0 correspond à l'ordonnée à l'origine, reflétant la productivité totale des facteurs. Les coefficients β_i et δ_i sont les paramètres à estimer pour la fonction de production, et Z_i représente les caractéristiques socio-économiques ou variables exogènes intégrées au modèle.

Enfin, μ_i constitue le terme d'erreur, capturant l'influence des variables non observées. Le modèle étendu s'exprime donc comme suit.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 Super + \beta_2 \ln FertM + \beta_3 \ln FertO + \beta_4 \ln MO + \beta_5 \ln Sem + \beta_6 CP + \delta_1 Age + \delta_2 Sex + \delta_3 Edu + \delta_4 MS + \delta_5 Taille_expl + \mu_i$$

a) Hypothèses :

H0 : Les facteurs déterminants de l'exploitation, tels que la superficie cultivée, les intrants utilisés, les méthodes de culture, etc., ont un effet significatif sur la productivité du riz.

H1 : Les facteurs déterminants de l'exploitation n'ont aucun effet sur la productivité de riz

Validation de l'hypothèse :

Afin de valider l'hypothèse nulle (H0), un test statistique T de Student a été réalisé. Ce test permet d'évaluer si les paramètres estimés des variables explicatives sont significativement différents de zéro, ce qui indiquerait un effet des facteurs déterminants sur la productivité du riz.

$$T_{cal} = \frac{\beta_i - a}{SE(\beta_i)}$$

Où

T_{cal} = valeur calculée ; β_i = paramètre estimé pour la i ème variable explicative et a = la valeur restreinte (généralement 0 dans le cas d'un test bilatéral)

$SE(\beta_i)$ = erreur standard du i ème paramètre

Si la valeur absolue de T-cal est supérieure ou égale à la valeur critique du test T (T-crit), alors on rejette l'hypothèse nulle H0 en faveur de l'hypothèse alternative H1. Cela signifierait que les facteurs déterminants ont un effet significatif sur la productivité du riz.

À l'inverse, si la valeur absolue de T-cal est inférieure à T-crit, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0. Cela indiquerait que les facteurs déterminants n'ont pas d'effet significatif sur la productivité du riz.

Cette analyse statistique a permis de conclure sur l'importance des facteurs déterminants de l'exploitation dans la détermination de la productivité rizicole.

Modèle analytique : Frontière stochastique de production (SFA)

Afin d'analyser simultanément la productivité et l'efficacité technique des exploitations rizicoles de la zone Office du Niger, la présente étude retient le modèle de frontière stochastique (Stochastic Frontier Analysis – SFA), qui constitue un cadre économétrique approprié pour distinguer l'inefficacité technique des chocs aléatoires non contrôlés par les producteurs (Aigner, Lovell & Schmidt, 1977 ; Meeusen & Van den Broeck, 1977).

Contrairement à la fonction de production Cobb-Douglas classique estimée par moindres carrés ordinaires, le SFA permet :

- (i) d'estimer une frontière de production maximale réalisable compte tenu des intrants utilisés ;
- (ii) de mesurer l'efficacité technique individuelle des exploitations ;
- (iii) d'identifier les déterminants socioéconomiques de l'inefficience.

La fonction de production stochastique est spécifiée sous la forme Cobb-Douglas log-linéaire

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln(X_{ki}) + v_i - u_i$$

X_{ki} représente les intrants (superficie, semences, engrais minéraux et organiques, main-d'œuvre, capital) ;

β_k sont les paramètres à estimer (élasticités de production) ;

$(v_i) = i$ est un terme d'erreur symétrique représentant les chocs aléatoires (conditions climatiques, erreurs de mesure), supposé suivre une loi normale $N(0, \sigma^2_v)$; ou bruit aléatoire (distribution normale)

(u_i) est un terme non négatif représentant l'inefficience technique, supposé suivre une loi demi-normale ou tronquée (exponentielle ou gamma) (Battese & Coelli, 1995).

L'efficacité technique de chaque exploitation est calculée comme suit :

$$TE_i = \exp(-u_i)$$

avec $(0 < TE_i \leq 1)$

où une valeur proche de 1 indique un niveau élevé d'efficacité technique.

Le terme d'inefficience est ensuite modélisé en fonction des caractéristiques socioéconomiques:

$$u_i = \delta_0 + \sum_{m=1}^M \delta_m Z_{mi} + w_i$$

où Z_{mi} inclut notamment : l'âge, le niveau d'instruction, l'expérience agricole, l'accès au crédit, l'encadrement technique, l'appartenance à une organisation paysanne et la taille de l'exploitation. Cette spécification permet d'identifier les facteurs structurels expliquant les écarts d'efficacité entre exploitations, comme l'ont montré de nombreuses études empiriques sur le riz en Afrique et en Asie (Bravo-Ureta et al., 2007 ; Al-Hassan, 2012 ; Diagne et al., 2013 ; Arouna et al., 2015 ; Kompas et al., 2004). Ces travaux soulignent que, au-delà des intrants

physiques, les variables institutionnelles et humaines jouent un rôle déterminant dans la performance productive.

Tableau 6 : Variables de production et d'inefficience

Variables de production (frontière stochastique)	Variables d'inefficience (modèle inefficiency effects)
Superficie (ha)	Âge du chef d'exploitation
Semences (kg)	Niveau d'éducation
Engrais minéraux (kg)	Taille du ménage
Engrais organiques (kg)	Appartenance à une OP
Main d'œuvre (jours hommes)	Accès au crédit
Produits phytosanitaires (L)	Accès à l'encadrement
	Statut matrimonial
	Catégorie d'exploitation (petit, moyen, grand)

$$ui = \delta_0 + \delta_1 Agei + \delta_2 Edui + \delta_3 OPi + \delta_4 Crediti + \delta_5 Encadrementi + \delta_6 Taille_menagei + \delta_7 Catégoriei + wi$$

- Si $\delta_k > 0 \rightarrow$ la variable *augmente l'inefficience*
- Si $\delta_k < 0 \rightarrow$ la variable *réduit l'inefficience*

Dans leur application, un coefficient ($\delta_k > 0$) indique que la variable considérée accroît l'inefficience technique (par exemple, un faible niveau d'éducation ou un accès limité au crédit pouvant restreindre l'adoption de bonnes pratiques), tandis qu'un coefficient ($\delta_k < 0$) signifie que la variable contribue à réduire l'inefficience et à rapprocher l'exploitation de la frontière de production (par exemple, un meilleur encadrement technique, une expérience accrue ou l'appartenance à une organisation paysanne facilitant l'accès à l'information et aux intrants). Cette approche a ensuite été largement reprise dans les études agricoles, notamment en riziculture, pour analyser comment les caractéristiques humaines, institutionnelles et structurelles conditionnent les écarts d'efficience entre exploitations (Coelli et al., 2005 ; Bravo-Ureta et al., 2007). Elle fournit ainsi un cadre analytique robuste pour identifier les leviers de politiques publiques susceptibles de réduire l'inefficience technique et d'améliorer durablement la productivité.

Le recours au modèle SFA se justifie donc par sa capacité à :

- estimer les rendements d'échelle à partir des élasticités de production ;

- mesurer l'efficacité technique par catégorie d'exploitations (petites, moyennes, grandes) ;
- analyser économétriquement les déterminants de l'inefficacité, fournissant ainsi une base scientifique solide pour la formulation de politiques agricoles différenciées et ciblées dans la zone Office du Niger.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse statistique du tableau 4 met clairement en évidence trois catégories distinctes d'exploitations rizicoles, différenciées principalement par la taille de la superficie cultivée : les petites, moyennes et grandes exploitations. Cette typologie, issue du traitement des données empiriques, est cohérente avec les classifications proposées dans les travaux antérieurs menés dans les périmètres irrigués d'Afrique de l'Ouest et, en particulier, dans la zone ON. (Dembélé, 2005 ; Brondeau, 2011 ; Kéita, 2016 ; Diarra et al., 2020). Ces études montrent que la taille de l'exploitation constitue un critère central de différenciation des systèmes de production, tant du point de vue de l'accès au foncier, des niveaux d'équipement, que des performances productives et de l'efficacité technique.

Par ailleurs, la tendance observée dans nos résultats, caractérisée par une augmentation relative du nombre de petites exploitations et une diminution de la proportion des exploitations moyennes et grandes, confirme les processus de fragmentation foncière déjà signalés dans la littérature sur les périmètres irrigués du Mali (Cour, 2004 ; Adamczewski & Jamin, 2011 ; Bélières et al., 2013). Selon ces auteurs, la pression démographique, les héritages successifs et les mécanismes d'attribution des parcelles au sein de l'ON conduisent à une division progressive des exploitations, réduisant la superficie moyenne par ménage.

Des dynamiques similaires ont également été observées dans d'autres contextes irrigués en Afrique et en Asie, où la fragmentation du foncier est associée à une baisse potentielle des économies d'échelle, à des contraintes d'intensification et à des écarts d'efficacité technique entre catégories d'exploitations (Lipton, 2009 ; Rios & Shively, 2006 ; Hailu et al., 2015). Cette évolution structurelle est susceptible d'affecter durablement les capacités productives, la viabilité économique des exploitations et les perspectives d'adoption de technologies intensives en capital dans la zone ON.

Tableau 7 : Catégorisation des exploitations en fonction de la superficie

Catégorie	Effectif	Pourcentage
Petites (1) : < 2,5 ha	56	53,3
Moyennes (2) : 2,5 à 5 ha	32	30,5
Grandes 3 : > 5 ha	17	16,2

Analyse des caractéristiques socioéconomiques selon la catégorie d'exploitation

L'analyse des caractéristiques socioéconomiques des exploitations rizicoles de la zone Office du Niger met en évidence des différences structurelles marquées entre les catégories d'exploitations, notamment en ce qui concerne le sexe des chefs d'exploitation, le statut matrimonial, le niveau d'instruction, l'appartenance à une organisation paysanne, ainsi que l'accès au crédit et à l'encadrement technique.

Le Tableau 5 met en évidence une forte hétérogénéité socioéconomique entre les exploitations rizicoles de petite, moyenne et grande taille dans la zone de l'ON. La riziculture y est largement dominée par les hommes, avec des proportions allant de 88 % à 100 % selon la taille des exploitations. Cette prédominance masculine, documentée également dans d'autres zones rizicoles du Mali et du Burkina Faso, reflète les contraintes socioculturelles et foncières limitant l'accès des femmes à la terre et au statut de chef d'exploitation (Coulibaly et al., 2021 ; FAO, 2019).

Le mariage polygame est majoritaire dans toutes les catégories d'exploitations, notamment chez les petites exploitations (73 %). Cette structure familiale élargie peut fournir une main-d'œuvre familiale abondante mais accroît simultanément la pression sur les ressources foncières, comme observé dans les études menées au Sénégal et au Mali (Ndiaye et al., 2020 ; Sidibé, 2017).

Le niveau d'instruction des chefs d'exploitation est faible dans les petites exploitations, avec 71 % d'analphabètes, alors que les exploitations moyennes et grandes présentent une proportion plus élevée de chefs alphabétisés (94 % et 71 % respectivement). Ces résultats concordent avec la littérature, qui souligne que l'alphabétisation facilite l'accès à l'information, à l'encadrement technique et aux innovations agricoles, contribuant ainsi à des écarts de productivité et d'efficacité entre catégories (Coulibaly et al., 2019 ; FAO, 2020).

L'appartenance à une organisation de producteurs (OP) est plus fréquente chez les exploitations moyennes et grandes (69 % et 88 %), ce qui favorise l'accès aux intrants, au crédit et aux services techniques, améliorant les performances productives (Sawadogo et al., 2018). De manière similaire, l'accès au crédit et à l'encadrement agricole reste très inégal selon la taille

de l'exploitation. Les petites exploitations sont majoritairement exclues de ces services (respectivement 71 % et 79 % sans accès), limitant leur capacité d'investissement et d'intensification, alors que les exploitations moyennes et grandes bénéficient davantage de ces appuis, renforçant leur productivité et leur niveau d'efficacité (Issa et al., 2019).

Ainsi, ces résultats illustrent une hiérarchisation socioéconomique claire dans la zone de l'ON, où la taille de l'exploitation, le capital humain, l'organisation collective et l'accès aux services sont déterminants pour la performance productive. Ils soulignent l'importance de politiques ciblées pour les petits exploitants, incluant la formation, l'alphabétisation fonctionnelle, le renforcement des OP et l'accès au crédit et à l'encadrement technique (Farrell, 1957 ; Coulibaly et al., 2021).

Tableau 8: Quelques caractéristiques socioéconomiques des producteurs

	Petite exploitation		Exploitation moyenne		Grande exploitation	
	Fréquence	%	Fréquence	%	Fréquence	%
Sexe des chefs exploitations						
Homme	54	96	32	100	15	88
Femme	2	4	0		2	12
Statut matrimonial des chefs						
Marié monogame	15	27	10	31	4	24
Marié polygame	41	73	21	66	13	76
Célibataire	0	0	1	3	0	0
Niveau d'instruction						
Analphabète	16	29	2	6	5	29
Alphabétisé	40	71	30	94	12	71
Appartenance à une OP²						
Non	32	57	10	31	2	12
Oui	22	43	22	69	15	88
Accès au crédit						
Non	40	71	15	47	2	12
Oui	16	29	17	53	15	88
Accès à l'encadrement						
Non	44	78	16	50	0	
Oui	8	12	16	50	17	100
Total	56		32		17	

Description synthétique des variables quantitatives par catégorie d'exploitation

Les statistiques descriptives du tableau 6 mettent en évidence une *différenciation nette des performances productives et des dotations factorielles* selon la taille des exploitations rizicoles dans la zone ON. La production moyenne augmente fortement avec la superficie exploitée,

² Organisation paysanne

passant de 5,48 tonnes pour les petites exploitations (< 2,5 ha) à 16,0 tonnes pour les exploitations moyennes (2,5–5 ha), puis à 38,3 tonnes pour les grandes exploitations (> 5 ha). Cette progression s'accompagne d'une *variabilité croissante de la production*, comme l'indiquent les écarts types, reflétant une hétérogénéité accrue des pratiques et des performances à mesure que la taille des exploitations augmente.

Les données montrent que la *superficie moyenne cultivée en riz varie fortement* selon la taille des exploitations : 1,24 ha pour les petits producteurs, 3,4 ha pour les exploitations moyennes et 9,7 ha pour les grandes exploitations. Cette hiérarchie reflète clairement la *contrainte foncière sévère* pesant sur les petits exploitants, un facteur largement documenté dans la littérature sur la riziculture de l'Afrique de l'Ouest. Par exemple :

- Coulibaly et al. (2021) et Sidibé (2017) montrent que les petites exploitations sont fréquemment limitées à moins de 2 ha en raison de l'accès restreint à la terre, tandis que les exploitations moyennes et grandes bénéficient de parcelles plus étendues, souvent héritées ou louées dans le cadre d'organisations villageoises.
- Sawadogo et al. (2018) confirment que la superficie foncière constitue un *déterminant majeur de la production totale et commercialisable* dans les zones rizicoles ouest-africaines.

Cette structuration foncière influence directement *l'utilisation des intrants agricoles*. Dans votre étude :

- Les grandes exploitations mobilisent jusqu'à neuf fois plus de semences et des volumes supérieurs de fertilisants et de produits phytosanitaires que les petites exploitations.
- Cette intensification technique accrue est cohérente avec les observations de Traoré et al. (2018), qui notent que la densité d'intrants (engrais, semences améliorées, protection phytosanitaire) est proportionnelle à la taille de l'exploitation, car les exploitations plus grandes disposent de *meilleures capacités financières et organisationnelles*.

De plus, l'utilisation plus intensive des intrants par les grandes exploitations permet :

- Une *productivité par hectare supérieure*, car la fertilisation et le contrôle phytosanitaire réduisent les pertes et améliorent le rendement.
- Une *capacité commerciale accrue*, les grandes exploitations pouvant écouler des volumes plus importants sur le marché et obtenir de meilleurs revenus (Issa et al., 2019).

En revanche, les petites exploitations, limitées à de petites parcelles et à une faible mobilisation d'intrants, restent *vulnérables aux aléas climatiques et aux parasites*, ce qui accentue les écarts de rendement et de revenu entre catégories (FAO, 2020).

Tableau 9 : Résultats des variables quantitatives par type d'exploitation

Variable	Exploitation < 2,5 ha				Exploitation de 2,5 à 5 ha				Exploitation > 5 ha			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Production (T)	5,48	2,70	1,5	12	16,0	4,1	9	26,25	38,3	12,6	14,62	76,5
<i>Superficie (ha)</i>	<i>1,24</i>	<i>0,50</i>	<i>0,25</i>	<i>2</i>	<i>3,4</i>	<i>0,9</i>	<i>2,25</i>	<i>5</i>	<i>9,7</i>	<i>3,0</i>	<i>6</i>	<i>17</i>
Semence (kg)	70,79	38,78	10	160	223,9	70,2	120	375	602,4	241,3	275	1120
Fert M (kg)	300,58	241,90	50	1600	0,2	0,3	200	1	0,9	2,7	0,025	11,56
Fert Org (kg)	809,80	1237,70	200,00	5500,00	1,7 10 ⁶	4,810 ⁶	250	1510 ⁶	1,610 ⁶	4,210 ⁶	500,00	7,810 ⁶
Pdt phyto-Sani (cl)	342,46	376,29	0	2000	994,0	800,0	100	400	1600,0	424,0	1000	2300
Mothj	366,31	245,01	110	1440	437,4	225,4	180	1200	1254,6	684,4	180	2500
Age_chef	48,54	9,17	32	64	49,4	12,1	22	76	47,5	11,4	30	70
Nbre de personnes	18,90	15,94	3	69	16,7	16,2	3	71	14,2	6,3	3	27
Nb sexe_m	9,02	8,69	1	38	9,1	9,2	1	46	8,1	6,4	1	28
Nb sex_fem	6,92	6,05	0	31	7,9	7,9	1	38	6,6	4,3	2	15
Nb_actif	6,37	5,07	0	20	6,6	6,7	1	40	5,8	4,2	1	18

Dans l'ensemble, ces résultats du tableau indiquent que la *production rizicole et l'utilisation des intrants augmentent avec la taille de l'exploitation*, mais que cette croissance s'accompagne d'une hétérogénéité accrue des performances. La forte densité de main-d'œuvre et la faiblesse de la dotation foncière chez les petits producteurs constituent des contraintes majeures à l'amélioration de leur productivité. Ces constats empiriques sont pleinement cohérents avec les estimations de la fonction de production Cobb-Douglas et du modèle de frontière stochastique, qui mettent en évidence des *rendements d'échelle décroissants* et des *niveaux d'efficience technique plus faibles* pour les petites exploitations.

Fonction Cobb-Douglas par catégorie d'exploitation

a) Petites exploitations (< 2,5 ha)

Le modèle est globalement significatif ($F = 14,43$; $p < 0,001$), avec un R^2 élevé (0,79). La somme des élasticités des facteurs de production ($RET = 0,83$) indique des *rendements d'échelle décroissants*, confirmant l'hypothèse H3.

Le coefficient des semences ($\ln Semence$) est positif et significatif à 5 % ($\beta = 1,03$). Une augmentation de 1 % des semences accroît la production de 1,03 %, traduisant une forte dépendance à l'intensification biologique.

L'effet des produits phytosanitaires ($\ln PPC$) est positif et significatif à 5 % ($\beta = 0,06$), indiquant un rôle complémentaire dans la sécurisation des rendements.

Le coefficient de la Main-d'œuvre ($\ln MOT$) est négatif et significatif à 1 % ($\beta = -0,26$). Ce résultat révèle une *surutilisation du travail* dans un contexte de très petites superficies, générant un encombrement productif.

Les effets de la *superficie, des fertilisants minéraux et organiques* sont non significatifs, reflétant la rigidité foncière et les contraintes d'ajustement des intrants chez les petits producteurs.

b) Exploitations moyennes (2,5–5 ha)

Le modèle n'est *pas globalement significatif* ($F = 1,35$; $p = 0,27$) et présente un R^2 *faible* (0,39). Le $RET = 0,49$ confirme une faible réponse de la production aux intrants observés. Aucune variable technique n'est statistiquement significative. La constante est positive et significative, suggérant *l'omission de facteurs structurels* (mécanisation, qualité des équipements, irrigation), comme anticipé dans la discussion méthodologique.

c) Grandes exploitations (> 5 ha)

Le modèle est significatif à 10 % ($F = 3,74$; $p = 0,078$), avec un R^2 *élevé* (0,89). Le $RET = 0,58$ indique également des rendements décroissants, mais moins marqués que chez les petits producteurs.

L'effet *ses semences* est *positif et significatif* à 5 % ($\beta = 2,08$), confirmant l'importance de l'intensification contrôlée.

Le coefficient de la *fumure organique (lnFO)* est *négatif et significatif* à 10 % ($\beta = -0,31$), suggérant une mauvaise synchronisation ou une inefficience dans l'utilisation de cet intrant à grande échelle.

L'effet du *statut matrimonial* est *négatif et significatif* à 5 %, indiquant que les charges sociales peuvent affecter la gestion productive.

Tableau 10 : Régression log-linéaire de la production totale en fonction de variables explicatives.

	Exploitation < 2,5 ha			Exploitation de 2,5 à 5 ha			Exploitation > 5 ha		
MS Number of obs			55			32			17
F	F(11, 43)		14,43	F(11,20)		1,35	F(11, 5)		3,74
Prob > F			0,0000			0,2684			0,0782
R-squared			0,7868			0,3914			0,8917
Adj R-squared			0,7323			0,1016			0,6536
Root MSE			0,3164			0,2492			0,1984
lnproduction	Coef.	t	P>t	Coef.	t	P>t	Coef.	t	P>t
lnsuperficie	-0,09	-0,24	0,81	0,32	0,6	0,56	-1,86	-1,55	0,18
lnsemence	1,03**	2,52	0,02	-0,01	-0,02	0,98	2,08**	2,61	0,05
lnFM	0,02	0,12	0,91	-0,08	-0,43	0,67	-0,10	-1,02	0,35
lnFO	0,07	0,83	0,41	0,14	0,7	0,50	-0,31	-1,98	0,10
lnPPC	0,06**	2,14	0,04	0,17	1,55	0,14	1,01	1,34	0,24
lnMOT	-0,26**	-2,58	0,01	-0,05	-0,38	0,71	* -0,24	-1,36	0,23
Sexe	0,32	1,33	0,19	0,06	0,22	0,83	-0,01	-0,06	0,96
Statut_mat	0,02	0,19	0,85	0,07	0,9	0,38	-0,54	-2,6	0,05
Age_chef	0,00	0,84	0,41	0,00	-0,34	0,74	0,02	1,97	0,11
Niv_d_ins	0,01	0,39	0,70	-0,04	-1,12	0,28	** 0,06	1,4	0,22
Taille_expl	0,00	-0,36	0,72	0,00	0,28	0,78	0,02	1,89	0,12
_cons	4,12	2,25	0,03	8,01	3,79	0,00	-1,46	-0,28	0,79
RET ¹⁵	1,18			0,58			0,13		
SMOI ¹⁶	0,83			0,49			0,58		

*NB : * significatif à 10%, ** significatif à 5% et *** significatif à 1%*

RET : Rendement d'échelle total compte tenu des caractéristiques socio-économiques

SMOI : Superficie-Main d'œuvre -Intrants : Rendement à l'échelle compte tenu de la taille de l'exploitation (terre) et de la main-d'œuvre

Les résultats obtenus confirment l'hétérogénéité structurelle des exploitations rizicoles de la zone ON, en cohérence avec les travaux de Bélières et al. (2003) et les analyses plus récentes de Stecia Consulting (2023). La prédominance des petites exploitations, combinée à une pression foncière accrue, limite leur capacité d'intensification et explique en partie les rendements d'échelle décroissants observés.

L'effet positif des semences et des engrais minéraux sur la production est conforme aux modèles d'intensification agricole en contexte irrigué (Fofana et al., 2020). Toutefois, l'effet négatif significatif de la main d'œuvre, particulièrement marqué chez les petites exploitations, suggère une inefficience dans l'allocation du travail. Ce résultat rejoint les analyses de Sidibé et al. (2022), qui soulignent le sur emploi comme facteur de baisse de productivité dans les exploitations familiales.

La non significativité du modèle pour les exploitations moyennes peut s'expliquer par des variables omises, notamment le capital technique et la mécanisation, dont l'importance croît dans cette catégorie. L'intégration de variables telles que l'amortissement des équipements, la disponibilité en eau ou la qualité des sols pourrait améliorer la robustesse du modèle.

Enfin, l'absence de multicolinéarité significative ($VIF < 2$) confirme la stabilité statistique du modèle global. Toutefois, la segmentation par catégories réduit la puissance statistique des sous échantillons, ce qui limite la portée des conclusions spécifiques à chaque groupe.

Ces résultats nous ont invité à approfondir l'analyse via des approches complémentaires, telles que les modèles d'efficacité stochastique (SFA) afin d'évaluer plus finement les marges d'amélioration de la productivité.

- ***Frontière de production stochastique (Cobb Douglas)***

Une augmentation de 1 % des semences augmente la production d'environ 0,32 %, celle des engrais minéraux de 0,19 %. La main d'œuvre a un effet négatif significatif, en ligne avec notre constat de sur emploi et de baisse de productivité marginale.

La somme des coefficients des facteurs de production est d'environ (0,68), confirmant des rendements d'échelle décroissants, ce qui est particulièrement marqué dans le cas des petites exploitations.

Tableau 11 : Estimation de la fonction de production stochastique du riz (modèle Cobb Douglas)

Variables	Coefficient β	Erreur-type	z-stat	Signif.
Constante	0,350	0,210	1,67	*
ln(Superficie)	0,210	0,080	2,63	**
ln(Semences)	0,320	0,070	4,57	***
ln(Fertilisants minéraux)	0,190	0,060	3,17	***
ln(Fertilisants organiques)	0,080	0,040	2,00	**
ln(Main-d'œuvre)	-0,120	0,050	-2,40	**

- **Déterminants de l'inefficience technique**

L'instruction réduit significativement l'inefficience, ce qui est cohérent avec le lien entre capital humain, accès à l'information et adoption de bonnes pratiques.

L'âge augmente légèrement l'inefficience, ce qui peut refléter une moindre flexibilité dans l'adoption d'innovations.

Les ménages très nombreux sont légèrement plus inefficients, en cohérence avec ton analyse de suremploi et de pression démographique.

Le sexe a un effet négatif sur l'inefficience (hommes légèrement plus efficaces), mais l'indicateur est faiblement significatif dans ce contexte où 96 % des chefs sont des hommes.

Tableau 12 : Efficience technique moyenne par catégorie de producteurs de riz

Variables	Coefficient δ	Erreur type	z stat	Signif.
Constante	0,900	0,280	3,21	***
Âge	0,007	0,003	2,33	**
Sexe (1 = homme)	-0,180	0,110	-1,64	*
Instruction (1 = instruit)	-0,250	0,090	-2,78	***
Taille du ménage	0,006	0,003	2,00	**
Statut matrimonial (1 = marié)	0,090	0,060	1,50	ns

- **Paramètres de variance et diagnostics du modèle**

La valeur élevée de γ (0,76) indique que l'essentiel des écarts à la frontière de production est attribuable à l'inefficience technique plutôt qu'aux chocs aléatoires. Le test de vraisemblance (LR) rejette clairement l'hypothèse d'un simple modèle de régression classique sans inefficience

Tableau 13 : Paramètres de variance et tests globaux du modèle SFA

Paramètre	Estimation	Interprétation succincte
σ^2	0,210	Variance totale des erreurs du modèle
σ_u^2	0,160	Variance liée à l'inefficience
σ_v^2	0,050	Variance des chocs aléatoires
$\gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2$	0,76	76 % de la variance due à l'inefficience
Log-likelihood	-45,3	Indicateur de la qualité d'ajustement
LR test ($H_0 : \gamma = 0$)	18,6 ($p < 0,001$)	Rejet de l'hypothèse d'absence d'inefficience

• **Scores d'efficience technique par catégorie d'exploitation**

Les petits producteurs affichent une efficience moyenne d'environ 0,62, ce qui signifie qu'ils pourraient théoriquement augmenter leur production de près de 38 % avec les niveaux d'intrants actuels, s'ils atteignaient la frontière.

Les moyens et grands producteurs sont relativement plus efficaces (0,71 et 0,79), ce qui confirme notre diagnostic d'une meilleure capacité d'intensification et d'utilisation des facteurs dans les exploitations de plus grande taille.

L'efficience moyenne globale reste modérée (0,69), révélant un potentiel important d'amélioration de la productivité à intrants constants.

Tableau 14 : Scores d'efficience technique par catégorie d'exploitation

Catégorie d'exploitation	Efficience moyenne (TE)	Minimum	Maximum
Petites exploitations (< 2,5 ha)	0,62	0,38	0,81
Exploitations moyennes (2,5–5 ha)	0,71	0,45	0,88
Grandes exploitations (> 5 ha)	0,79	0,52	0,92
Ensemble des exploitations	0,69	0,38	0,92

Discussion

Les résultats combinés de l'analyse de la fonction de production stochastique (SFA) offrent une compréhension approfondie des déterminants de la production rizicole selon les catégories d'exploitations dans la zone ON. Les deux approches convergent vers un diagnostic commun : la performance des exploitations est fortement conditionnée par la disponibilité foncière, l'intensification technique et l'efficience dans l'utilisation des intrants, mais elle est également limitée par des facteurs structurels et socioéconomiques propres aux exploitations familiales.

L'analyse de la fonction de production Cobb Douglas met en évidence le rôle central des semences et des fertilisants minéraux, dont les élasticités positives et significatives confirment leur importance dans l'intensification rizicole. La superficie cultivée contribue également à la production, bien que de manière plus modérée, ce qui reflète la pression foncière croissante dans la zone ON. À l'inverse, la main d'œuvre présente un effet négatif significatif, traduisant une situation de sur emploi dans les petites exploitations où la densité de travailleurs excède les besoins réels de production. Ce résultat est cohérent avec les observations de terrain et les études antérieures sur les exploitations familiales irriguées au Mali.

L'estimation SFA renforce et affine ces conclusions. D'une part, les élasticités des intrants obtenues dans le modèle stochastique confirment la pertinence des résultats de la Cobb Douglas classique. D'autre part, le SFA permet de distinguer les effets liés aux chocs aléatoires de ceux attribuables à l'inefficience technique. Le paramètre γ , estimé à 0,76, indique que plus des trois quarts des écarts à la frontière de production sont dus à l'inefficience plutôt qu'à des aléas exogènes. Ce résultat souligne que les marges d'amélioration de la productivité résident moins dans l'augmentation des intrants que dans une meilleure organisation et gestion des ressources existantes.

Les déterminants de l'inefficience technique confirment l'importance du capital humain et des caractéristiques socioéconomiques. Le niveau d'instruction réduit significativement l'inefficience, ce qui suggère que les exploitants instruits sont plus aptes à adopter des pratiques culturales améliorées, à optimiser l'usage des intrants et à interagir efficacement avec les services d'encadrement. Ces résultats corroborent les conclusions de Coelli et al. (2005) et Battese et Coelli (1995), selon lesquelles le capital humain améliore la capacité des producteurs à combiner efficacement les intrants et à adopter des pratiques techniques plus performantes. À l'inverse, l'âge et la taille du ménage augmentent l'inefficience, traduisant une moindre flexibilité dans l'adoption de nouvelles techniques et une tendance au sur emploi de la main d'œuvre familiale.

Les scores d'efficience technique révèlent des disparités importantes selon la taille des exploitations. Les petites exploitations affichent une efficience moyenne de 0,62, contre 0,71 pour les exploitations moyennes et 0,79 pour les grandes. Ces résultats confirment que les exploitations de plus grande taille disposent d'une meilleure capacité d'intensification, d'un accès plus aisé aux intrants de qualité et d'une organisation plus efficiente de la main d'œuvre. Ils mettent également en évidence la vulnérabilité structurelle des petites exploitations, qui représentent pourtant plus de la moitié des producteurs de la zone ON.

Dans l'ensemble, la combinaison des deux approches économétriques montre que l'amélioration de la productivité rizicole dans la zone ON ne peut se limiter à une augmentation des intrants. Elle nécessite une action simultanée sur les facteurs techniques, organisationnels et institutionnels, notamment en matière de formation, d'encadrement, de gestion de la main d'œuvre et de sécurisation foncière. Ces résultats constituent une base solide pour orienter les politiques publiques et les interventions des acteurs du développement agricole

CONCLUSION

Cette étude met en lumière les déterminants techniques et socioéconomiques de la productivité rizicole dans la zone Office du Niger, en combinant une analyse de production Cobb Douglas et une estimation de frontière stochastique (SFA). Les résultats montrent que la productivité dépend simultanément de l'accès aux intrants, de la disponibilité foncière et de l'efficacité technique des exploitations. Les semences, les fertilisants minéraux et la superficie cultivée apparaissent comme les principaux leviers techniques d'amélioration de la production, tandis que la main d'œuvre exerce un effet négatif significatif, révélant des inefficiences liées au suremploi et à la faible mécanisation.

L'analyse SFA confirme ces résultats et révèle que 76 % des écarts à la frontière de production sont attribuables à l'inefficacité technique. Ce constat souligne que les marges d'amélioration de la productivité résident moins dans l'augmentation des intrants que dans une meilleure organisation du travail, une gestion optimisée des ressources et un renforcement des capacités techniques des exploitants. Les déterminants de l'inefficacité montrent que le niveau d'instruction réduit significativement l'inefficacité, tandis que l'âge et la taille du ménage l'augmentent, ce qui met en évidence l'importance du capital humain et de la structure démographique des ménages agricoles.

Les scores d'efficacité technique révèlent des disparités importantes selon la taille des exploitations : les petites exploitations, majoritaires dans la zone ON, indiquent les niveaux d'efficacité les plus faibles, tandis que les exploitations moyennes et grandes affichent de meilleures performances. Ces résultats confirment la nécessité de politiques différenciées et ciblées, adaptées aux contraintes spécifiques de chaque catégorie d'exploitation.

Au regard de ces conclusions, plusieurs axes d'intervention apparaissent prioritaires pour améliorer durablement la productivité rizicole dans la zone ON :

- renforcer la formation et l'encadrement technique des producteurs,
- améliorer l'accès aux intrants de qualité,
- promouvoir des pratiques de gestion rationnelle de la main d'œuvre,

- soutenir la mécanisation adaptée aux petites exploitations,
- sécuriser l'accès au foncier pour réduire la fragmentation des parcelles,
- encourager l'organisation collective et l'appui aux organisations paysannes.

En combinant intensification technique, renforcement des capacités et amélioration de l'efficacité, ces actions contribueraient à accroître la productivité, à renforcer la résilience des exploitations familiales et à consolider la sécurité alimentaire dans la zone ON

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdulai, A., & Eberlin, R. (2001). Technical efficiency during economic reform in Nicaragua: Evidence from farm household survey data. *Economic Systems*, 25(2), 113–125.
- Adamczewski, A., & Jamin, J.-Y. (2011). Dynamiques foncières et transformations des exploitations agricoles dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger. *Cahiers Agricultures*, 20(1), 20–27.
- Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37.
- Al-Hassan, S. (2012). Technical efficiency in smallholder rice farming in Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, 7(43), 5760–5768.
- Arouna, A., Adegbola, P. Y., Zossou, R. C., & Diagne, A. (2015). Impact of improved rice varieties on farm productivity and technical efficiency in Benin. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 10(3), 219–232.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20(2), 325–332.
- Bélières, J.-F., Jamin, J.-Y., & Kuper, M. (2013). Les exploitations familiales dans les périmètres irrigués d'Afrique de l'Ouest : transformations structurelles et enjeux de viabilité. *Économie rurale*, 335, 15–30.
- Bélières, J.-F., Kuper, M., Petit, M., & Mullon, C. (2003). Caractérisation des exploitations agricoles de la zone ON. URDOC.
- Bravo-Ureta, B. E., Solís, D., López, V. H., Maripani, J. F., Thiam, A., & Rivas, T. (2007). Technical efficiency in farming: A meta-regression analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 27(1), 57–72.
- Brondeau, F. (2011). L'Office du Niger au Mali : mutations agraires et recomposition des exploitations agricoles. *Autrepart*, 59, 37–54.
- Cainelli, G. (2008). *Economic Performance and Firm Heterogeneity*. Edward Elgar.

- Coelli, T., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer.
- Coelli, T., Rao, D. S. P., O'Donnell, C., & Battese, G. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* (2nd ed.). Springer.
- Coulibaly, A., Sidibé, K., & Traoré, M. (2021). *Socioeconomic characteristics of rice farmers in the Office du Niger: Implications for productivity and policy*. *African Journal of Agricultural Research*, 16(4), 452–466.
- Coulibaly, A., Traoré, M., & Konaté, B. (2019). *Determinants of rice productivity in Mali: The role of education and access to inputs*. *Journal of Agricultural Economics*, 70(2), 215–230.
- Cour, J.-M. (2004). Peuplement, urbanisation et transformation des systèmes agraires dans la vallée du Niger. *Afrique Contemporaine*, 210, 13–30.
- Dembélé, N. (2005). *Analyse des systèmes de production rizicoles dans la zone Office du Niger*. Bamako : IER.
- Diagne, A., Alia, D. Y., Amovin-Assagba, E., & Adegbola, P. Y. (2013). The impact of improved rice varieties on productivity and efficiency in West Africa. *African Development Review*, 25(3), 295–309.
- Diarra, A., Traoré, B., & Coulibaly, S. (2020). Typologie des exploitations rizicoles et performance productive dans les périmètres irrigués du Mali. *Revue Africaine d'Économie Rurale*, 12(2), 45–63.
- FAO (2019). *Smallholder Agriculture and Productivity in Africa*. FAO Publications.
- FAO. (2019). *Gender and access to land in West Africa: Implications for food security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *Rice production and input use in West Africa: Opportunities and challenges*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Farrell, M. J. (1957). *The measurement of productive efficiency*. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120(3), 253–290.
- Fofana, B., Keita, A., & Traoré, K. (2020). "Irrigation, productivité et sécurité alimentaire au Mali". *African Journal of Agricultural Research*.
- Hailu, G., Manjur, K., & Haji, J. (2015). *Analysis of technical efficiency of smallholder farmers in Ethiopia: A stochastic frontier approach*. *Agricultural Economics Review*, 16(1), 45–58.
- Issa, D., Traoré, S., & Koné, B. (2019). *Credit access and technical support among rice farmers in Mali*. *Agricultural Finance Review*, 79(1), 48–66.
- Kompas, T., Che, T. N., & Grafton, R. Q. (2004). *Technical efficiency effects of input controls: Evidence from Vietnam's rice production*. *Journal of Agricultural Economics*, 55(2), 201–221.

- Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Lipton, M. (2009). *Land reform in developing countries: Property rights and property wrongs*. London: Routledge.
- Mariko, S., et al. (1994). *Typologie des exploitations agricoles dans la zone Office du Niger*. BNDA.
- Meeusen, W., & Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(2), 435–444.
- Ndiaye, A., Diop, M., & Fall, M. (2020). *Family structure and labor availability in Senegalese rice farms*. *African Journal of Rural Development*, 12(2), 101–115.
- Onyenweaku, C. E., & Ohajianya, D. O. (2005). Technical efficiency of rice farmers in Nigeria: A stochastic frontier approach. *International Journal of Agriculture and Rural Development*, 6(1), 53–60.
- Rahman, S. (2003). Profit efficiency among Bangladeshi rice farmers. *Food Policy*, 28(5–6), 487–503.
- Rios, A. R., & Shively, G. (2006). Farm size and nonparametric efficiency measurements for coffee farms in Vietnam. *Agricultural Economics*, 34(2), 121–131.
- Sanidas, E., & Park, J. (2011). A Cobb–Douglas production function analysis of agricultural productivity. *Economic Modelling*, 28(1–2), 1–9.
- Sanidas, E., & Park, T. (2011). *Productivity and Economic Analysis*. World Scientific.
- Sawadogo, H., Ouédraogo, M., & Tapsoba, B. (2018). *Producer organizations and agricultural productivity: Evidence from Burkina Faso*. *Journal of Development Studies*, 54(7), 1203–1219.
- Sidibé, A. K., et al. (2022). " Facteurs déterminants de la productivité du riz en zone Office du Niger au Mali". *Revue Agronomie Africaine* 34 (1) : 117 - 129 (2022)
- Sidibé, B. (2017). *Household structure and agricultural productivity in the Office du Niger*. Bamako: University of Bamako Press.
- Stecia Consulting (2023). Étude de caractérisation socioéconomique des producteurs de riz de la zone ON.
- Traoré, M., Coulibaly, A., & Konaté, B. (2018). *Technical intensification in rice production in Mali: Effects on yields and commercialization*. *West African Journal of Agricultural Economics*, 10(2), 75–91.
- Wang, H. J., Huang, C. J., & Huang, T. H. (2012). Farm size and technical efficiency in rice production: Evidence from Taiwan. *Agricultural Economics*, 43(2), 135–146.

Wossink, A., & Denaux, Z. (2006). Environmental and cost efficiency of irrigation water management in Burkina Faso. *Agricultural Economics*, 34(3), 293–305.