



*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

---

## Mesure de l'efficacité technique des riziculteurs du bassin du fleuve Sénégal

*Estimating the technical efficiency of rice farmers in the Senegal River valley*

**Cheikh Ahmadou Bamba Ngom, Felwine Sarr et Amadou Abdoulaye Fall**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/5021>

DOI : 10.4000/economierurale.5021

ISSN : 2105-2581

### Éditeur

Société Française d'Économie Rurale (SFER)

### Édition imprimée

Date de publication : 30 septembre 2016

Pagination : 91-105

ISSN : 0013-0559

### Référence électronique

Cheikh Ahmadou Bamba Ngom, Felwine Sarr et Amadou Abdoulaye Fall, « Mesure de l'efficacité technique des riziculteurs du bassin du fleuve Sénégal », *Économie rurale* [En ligne], 355 | septembre-octobre, mis en ligne le 30 septembre 2018, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/5021> ; DOI : 10.4000/economierurale.5021

---

# Mesure de l'efficacité technique des riziculteurs du bassin du fleuve Sénégal

**Cheikh Ahmadou Bamba NGOM** • Université Gaston Berger ; Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Saint-Louis, Sénégal  
shaixunabamba@hotmail.fr

**Felwine SARR** • Université Gaston Berger, Saint-Louis, Sénégal  
felwine@gmail.com

**Amadou Abdoulaye FALL** • Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Saint-Louis, Sénégal  
aafall2@yahoo.fr

Ce travail a pour objectif de mesurer l'efficacité technique des riziculteurs du bassin du fleuve Sénégal et d'analyser les déterminants de leur inefficacité. Les estimations ont montré que, s'il avait été efficace, le riziculteur moyen aurait pu accroître sa production actuelle de 30 % sans *inputs* additionnels, contre une marge de progrès potentielle de 86 % pour le riziculteur le moins performant. Les facteurs qui impactent significativement l'efficacité sont le lieu de résidence, le genre, la taille du ménage, le niveau d'instruction, l'ethnie, la distance entre la maison et la parcelle, et le nombre de parcelles cultivées.

**MOTS-CLÉS** : efficacité technique, frontière de production stochastique, production de riz, vallée du fleuve Sénégal, système irrigué

## *Estimating the technical efficiency of rice farmers in the Senegal River valley*

*This article aims at investigating whether rice producers in Senegal have reached their maximal production regarding their available inputs and what are the determinants of their inefficiency. The estimations show that, if he were efficient, the mean producer would increase his actual output by 30% without further inputs while the less performant producer would record a potential margin of progress of 86%. The efficiency determinants are mainly the place of residence, the gender, the household size, the level of education, the ethnicity, the walking distance between the house and the plot and the number of plots farmed. (JEL: Q12, D21, L25).*

**KEYWORDS**: technical efficiency, stochastic production frontier, rice production, Senegal River valley, irrigated system

Le Sénégal constitue l'un des plus grands pays consommateurs de riz en Afrique subsaharienne. Cet aliment représente près de 50 % du volume de céréales consommées au plan national (Gergely et Baris, 2009). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (ONUAA), la consommation moyenne par personne en riz au niveau national qui était de près de 60 kg en 1995 est passée à 74 kg en 2003 avec une hausse annuelle de 1,6 kg (ISRA/DAPS/Centre du Riz pour l'Afrique, 2010). Cette consommation a progressé régulièrement au rythme de 3,5 % par an entre 1990 et 2008 en raison

de la croissance démographique, de l'urbanisation qui renforce la demande en riz et d'un niveau des prix internationaux relativement bas (Gergely et Baris, 2009). En dépit de cette forte demande, la production nationale ne peut couvrir que deux à trois mois de consommation. Face à un écart considérable entre la demande et l'offre et à un déficit de la balance commerciale grandissant, les autorités étatiques ont jugé nécessaire d'accorder plus d'attention à la filière rizicole. Selon elles, l'autosuffisance et la sécurité alimentaire du pays dépendent inéluctablement de l'extension et de l'intensification de l'agriculture irriguée

(Kanté, 1993). Depuis les indépendances, la vallée du fleuve Sénégal a été le domaine de prédilection pour l'application de cette vision de l'État car cette zone présente de fortes dotations économiques, sociales et de nombreuses ressources naturelles : l'eau y est abondante, la terre est fertile et les producteurs bénéficient d'une grande expérience en riziculture. Le Gouvernement du Sénégal, *via* le Programme national d'autosuffisance en riz (PNAR), a entamé de 2008 à 2012 des travaux dans les zones irriguées. Ces travaux entrent dans le cadre de l'obtention d'une production d'un million de tonnes de riz blanc afin de satisfaire la demande nationale en riz et de réduire les importations. Durant ces cinq années, il est prévu d'effectuer des opérations d'aménagement et de réhabilitation sur une superficie de 105 720 ha, pour un coût de plus de 320 millions d'euros (ministère de l'Agriculture, 2009). Depuis 2002, l'État dépense, en moyenne et chaque année, près de 151 millions d'euros en termes d'aménagements hydro-agricoles, soit un coût moyen à l'hectare de 3 000 euros. Les superficies aménagées entre 1981 et 2011 sont d'environ 66 250 ha par année (d'après des données de la SAED, la société publique de développement rural établie dans la vallée). En 2014, avec le Programme de relance et d'accélération de la cadence de l'agriculture sénégalaise (PRACAS), une composante du Plan Sénégal émergent (PSE), l'objectif de production a été porté à 1 080 000 tonnes de riz blanc à l'horizon 2017 pour un coût global de plus de 123 millions d'euros en termes d'aménagements en zones irriguées (ministère de l'Agriculture et de l'Équipement rural, 2014).

L'enseignement qui pourrait être tiré de ces actions de l'État est que ce dernier mise sur plus de superficies cultivables pour obtenir une plus grande production. Il est clair que cette option pourrait être une solution mais est-elle la plus efficace ? Cette question mérite d'être posée car la démarche a été la même depuis

l'introduction de la culture irriguée dans cette zone dans les années 1940 (Jamin, 1986) et bien que la production nationale couvre, jusqu'à présent, à peine trois mois de consommation. Considérant les données ci-dessus, beaucoup d'efforts et d'argent ont été consentis par l'État du Sénégal dans le domaine de l'agriculture en général et dans la filière rizicole en particulier. Cependant, les résultats n'ont pas répondu aux attentes de sécurité ou de souveraineté alimentaires. Pourtant, l'État continue à investir dans la vallée du fleuve Sénégal sans pour autant faire une évaluation rigoureuse de l'impact de ses politiques ou de ses programmes dans les filières dans lesquelles il intervient. Il ne s'agit pas simplement d'avoir plus de superficies à cultiver ou de fournir du matériel aux producteurs pour que la production puisse augmenter de manière drastique dans un court délai. L'interrogation qui émerge dès lors est de savoir si le riziculteur a atteint son niveau optimal de production grâce à l'utilisation efficace de ses facteurs de production avant de songer à engager d'autres dépenses. Autrement dit, le producteur de riz peut-il augmenter son niveau de production actuel tout en gardant inchangés l'ensemble de ses facteurs de production ?

La production de riz peut être rehaussée par l'augmentation de la surface dans laquelle le riz est cultivé, le changement technologique ou l'amélioration de l'efficacité technique (Javed *et al.*, 2010). Selon ces auteurs, la dernière option est la plus appropriée à court terme parce qu'elle ne nécessite pas davantage de superficie, une intensité culturale plus élevée et le développement de nouvelles technologies. Entre 2010 et 2011, la production (respectivement la superficie) est passée de plus de 336 000 tonnes (respectivement 56 075 ha) à près de 368 500 tonnes (respectivement 61 860 ha). Le rendement qui était de 6 tonnes/ha en 2010 a baissé à 5,96 tonnes/ha. Nous constatons que la production par rapport à la superficie a

moins évolué, malgré les efforts consentis. Or, si un rendement de huit tonnes à l'ha avait été obtenu<sup>1</sup> en 2011, en gardant la même superficie qu'en 2010, la production aurait été égale à 448 600 tonnes. Ce qui aurait permis non seulement d'améliorer la solvabilité et la sécurité alimentaire des producteurs<sup>2</sup>, mais aurait également accru leurs revenus. La différence de superficie entre 2010 et 2011 (à savoir 5 785 ha) aurait permis d'entretenir d'autres actions (surtout en saison chaude) telles que des plantations de tomates et d'oignons qui constituent les deux principales cultures de rente de la zone. En outre, l'aménagement seul des périmètres (effectué à grands frais) pour une maîtrise de l'eau dont l'objectif est d'accroître la production de riz ne saurait garantir une viabilité à long terme de la riziculture. Il est indispensable de mener des actions d'amélioration des performances des producteurs pour élever l'offre du riz afin de satisfaire une demande croissante (Kaboré, 2007). C'est pourquoi ce travail, avec comme cadre d'étude la vallée du fleuve Sénégal, se fixe comme objectif d'estimer tout d'abord les scores d'efficacité technique des riziculteurs de la zone pour ensuite étudier les facteurs déterminant cette efficacité technique.

Les premiers travaux ayant trait à la notion d'efficacité sont attribués à Koopmans (1951) et à Debreu (1951). Plus tard, Farrell (1957) distingua le concept d'efficacité technique et allocative (Amara et Romain, 2000). Selon la théorie microéconomique traditionnelle, les études d'efficacité technique ou économique n'ont pas leur raison d'être car le producteur est supposé être rationnel et « maximisateur » de profit. Par conséquent, chaque exploitant se trouverait toujours sur la frontière de production ou sur la frontière de coût. Mais en réalité, le

constat est que la majeure partie des producteurs ne se situe jamais sur les frontières de production et de coût (Nuama, 2006). Il est aussi reconnu que la plupart des agriculteurs issus des pays à revenu faible et ceux en développement opèrent en deçà de leur capacité de production potentielle (Keane *et al.*, 2009).

Par ailleurs, en parcourant la littérature concernant l'étude de l'efficacité technique au Sénégal, des chercheurs tels que Fall (2008) (estimant la productivité marginale pour les intrants de base, à savoir les semences, l'engrais, les produits phytosanitaires et la main-d'œuvre), et par la suite Diagne *et al.* (2013) (utilisant des données de panel avec un modèle à effets fixes) ont effectué une tâche similaire. Cet article prône une augmentation de la production *via* une hausse de la productivité des facteurs de production et des producteurs et non par une augmentation des superficies. Ce postulat a été la base de l'instauration de la Révolution verte dans les pays en développement. Ce qui a permis à beaucoup de pays asiatiques et sud-américains de transformer leur agriculture. Une fonction de type transcendante logarithmique simplifiée a été utilisée pour réaliser l'estimation susmentionnée. L'intérêt de cette étude est qu'elle constitue un supplément pour la littérature économique qui se rapporte à l'estimation du niveau d'efficacité technique des riziculteurs de la vallée. Elle apporte également des explications supplémentaires concernant les déterminants de l'inefficacité de ces riziculteurs. Elle formule enfin des implications de politiques destinées à améliorer le niveau d'efficacité technique des producteurs.

L'article présente, tout d'abord, les méthodes d'estimation de l'efficacité technique et d'analyse de ses déterminants ; puis, dans une seconde partie, les résultats de ces estimations. Enfin, la dernière partie est consacrée à l'interprétation des résultats obtenus.

1. Ce qui est fort possible car la variété de riz la plus utilisée dans la vallée (sahel 108) a un rendement potentiel de 10 tonnes à l'hectare.

2. Le riz sert le plus souvent à rembourser les crédits de campagne et à nourrir la famille.

## Méthodes d'estimation de l'efficacité technique

### 1. Discussions autour des modèles de frontières de production

Comme énoncé précédemment, la possibilité qu'une firme ne puisse pas allouer de manière efficace ses facteurs de production afin d'obtenir la production maximale n'a été prise en compte qu'à partir des années 1950. Dès lors, il a été question de définir ce concept d'efficacité et de l'estimer. Selon Farrell (1957), l'efficacité d'une firme peut signifier sa réussite à produire aussi largement que possible un *output* à partir d'un ensemble d'*inputs* donnés (*output expanding oriented*). Cette efficacité peut aussi être considérée comme le fait d'avoir une certaine quantité de production en utilisant le moins d'*inputs* possibles (*input saving oriented*). Cette quête de la production maximale sous-entend l'idée des productions potentielles maximales que la firme est censée obtenir, compte tenu des facteurs de production dont elle dispose. La courbe qui joint l'ensemble de ces possibilités de production a été intitulée fonction de production. Deux grandes familles de méthodes sont concurrentes dans la manière de construire la frontière et donc de calculer les efficacités techniques : les méthodes paramétriques et les méthodes non paramétriques. Dans l'approche paramétrique, on suppose que la frontière est représentable par une fonction analytique dépendant d'un nombre fini de paramètres. Dans les méthodes non paramétriques, en revanche, on ne spécifie pas d'une manière analytique particulière la frontière, mais plutôt les propriétés formelles que l'ensemble de production est censé satisfaire (Taffé 1998, cité par Ambapour 2001). Selon Bosman et Fecher (1992) cités par Ambapour (2001), dans le cas du secteur agricole, l'estimation économétrique des frontières de production paramétrique est la plus appropriée. C'est pourquoi l'attention est portée sur ce type

de fonction concernant ce travail. Au sein des frontières paramétriques peut aussi s'opérer une autre forme de distinction entre frontières déterministes et stochastiques. Farrell (1957) fut le principal instigateur de la fonction paramétrique en utilisant la forme Cobb-Douglas. Par la suite, Aigner et Chu (1968) ont lâché l'hypothèse des rendements d'échelle constants en conservant celle plus générale qu'est l'homogénéité de la fonction de production. Ils ont abouti au modèle suivant :

$$Y_i = f(X_i; \beta) e^{(-u_i)} \text{ avec } i = \{1, \dots, N\} \quad (1)$$

La variable  $Y_i$  désigne la production de la firme  $i$  ;  $f$  est la technologie de production adoptée ; les variables  $X_i$  représentent l'ensemble des *inputs* qui ont servi à produire  $Y_i$  ;  $\beta$  est le vecteur des paramètres associés à  $X_i$  à estimer ;  $u_i$  représente la variable aléatoire, positive ou nulle, traduisant l'inefficacité technique, en termes de production de  $i$ . Le ratio entre la production observée et la production estimée sur la frontière d'une firme parfaitement efficace utilisant le même vecteur d'intrants,  $X_i$ , donne une valeur de l'efficacité technique. Ainsi, le niveau d'efficacité technique de  $i$  ( $ET_i$ ) est donné par la formule suivante :

$$ET_i = \frac{f(X_i; \beta) e^{-u_i}}{f(X_i; \beta)} = e^{-u_i}$$

La limite principale de la fonction déterministe est qu'elle attribue toute déviation de la production observée par rapport à la production potentielle à l'inefficacité de l'agent producteur. Autrement dit, elle ne prend pas en compte les chocs exogènes qui sont non contrôlables par le producteur. Or il est clair que ce dernier est parfois confronté à des situations indépendantes de sa volonté. Ainsi, des améliorations ont été apportées par plusieurs auteurs (Aigner *et al.*, 1977 ; Meeusen et Van den Broeck, 1977 ; Jondrow *et al.*, 1982) pour tenir compte de ces aléas ne dépendant pas de



l'individu considéré. La nouvelle formulation de la fonction stochastique est la suivante :

$$Y_i = f(X_i; \beta) e^{(v_i - u_i)} \text{ avec } i = \{1, \dots, N\} \quad (2)$$

À présent, le terme d'erreur est scindé en deux parties ( $U$  et  $V$ ). Le terme aléatoire  $V$  mesure la variation aléatoire au niveau de l'*output* due à des facteurs qui sont hors du contrôle de l'individu. Considérant les travaux d'Aigner *et al.* (1977), les erreurs aléatoires  $v_i$  sont supposées indépendamment et identiquement distribuées, suivant  $N(0, \sigma_v^2)$  alors que les  $u_i$  sont assumées positives ou nulles suivant une distribution semi-normale ou exponentielle (Battese, 1991). Les autres paramètres ont été définis précédemment. L'expression de l'efficacité technique est identique à celle du cas de la fonction déterministe.

Battese et Coelli (1995), à la suite des travaux de Huang et Liu (1994), ont supposé que le terme  $u_i$  suit une distribution normale  $N(z_i\delta, \sigma^2)$  et ont proposé un modèle d'expression de l'inefficacité technique par la formule suivante :

$$u_i = z_i\delta + w_i \quad (3)$$

Le vecteur  $Z$  regroupe l'ensemble des variables qui sont supposées déterminer l'inefficacité technique ;  $\delta$  est le vecteur de paramètres inconnus à estimer ;  $w_i$  est un terme aléatoire suivant  $N(0, \sigma^2)$ . Il est important de remarquer que, dans la formulation (1) ou (2) et (3), les variables caractérisant la fonction de production sont distinctes de celles caractérisant l'inefficacité bien que toutes les variables participent à la détermination des scores d'efficacité technique. Les autres paramètres associés aux termes aléatoires sont  $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$  et  $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$ .

## 2. Application empirique

Dans le cadre de cette analyse, la frontière de production considérée est une fonction transcendante logarithmique simplifiée.

L'avantage de cette dernière est qu'elle est flexible, elle n'impose aucune hypothèse restrictive à l'égard de la constante ou des élasticités de la fonction de production (Donkoh *et al.*, 2013). En outre, elle permet de déceler si la combinaison entre deux facteurs de production a un effet significatif sur le niveau de production. Toutefois, la fonction translog connaît en général certaines limites : le risque de colinéarité est sévère lorsque le nombre de variables explicatives dépasse trois. Elle ne décrit la « vraie » technologie qu'au point d'approximation et à son voisinage, ce qui limite la portée des résultats obtenus. Alors que les fonctions Cobb-Douglas et CES (*Constant Elasticity of Substitution*) satisfont certaines conditions de régularité, une forme flexible telle que la fonction translog ne peut les remplir. Dans ce travail, la fonction translog simplifiée a été préférée à la fonction translog classique car cette dernière, dans la plupart des cas, présente de graves problèmes de multi-colinéarité provoquée par l'introduction des carrés des variables (Ahmad et Bravo-Ureta, 1996).

La fonction retenue prend donc la forme suivante :

$$\log Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^5 \beta_j \log X_{ji} \quad (4)$$

$$+ \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \beta_{jk} \log X_{ji} \log X_{ki} + v_i - u_i$$

Avec  $\beta_{jk} = 0$  lorsque  $j = k$  ;  $j < k$ .

On a pour le producteur  $i$  :

$Y_i$  = la production totale de riz (en kilogrammes)

$X_{1i}$  = la superficie totale (en ares) cultivée

$X_{2i}$  = la quantité totale d'engrais utilisé (en kilogrammes)

$X_{3i}$  = la quantité totale de semences utilisées (en kilogrammes)

$X_{4i}$  = la main-d'œuvre totale utilisée (en personnes - jours)

$X_{5i}$  = les autres coûts liés à la production (achat herbicides, machinerie, autres)

Avec  $\beta$  le vecteur de paramètres à estimer et  $v_i$  et  $u_i$  tels que définis précédemment.

Ces variables ont été retenues en considérant la littérature existante qui a trait à l'estimation de la fonction de production, mais également ce sont généralement ces inputs qui sont utilisés par les riziculteurs de la vallée. Il serait intéressant d'inclure la quantité d'herbicides et le coût de l'irrigation dans le modèle, mais ces variables ne figurent pas dans la base de données utilisée. Pour l'irrigation, le coût se fait par cotisation en début de campagne selon l'organisation paysanne à laquelle le producteur appartient. Ce dernier n'a aucune influence sur cette cotisation. Cependant, les dépenses en herbicides sont incluses dans « autres coûts ».

L'inefficacité technique est représentée par la formulation suivante :

$$u_i = \delta_0 + \sum_{j=1}^9 \delta_j z_{ij} + w_i \quad (5)$$

Pour le chef de ménage  $i$ , on a :

$z_{1i}$  = son lieu de résidence (0 = Podor, 1 = Dagana)

$z_{2i}$  = la taille de son ménage

$z_{3i}$  = son genre (0 = femme, 1 = homme)

$z_{4i}$  = son âge

$z_{5i}$  = son niveau d'instruction (0 = aucune instruction, 1 = instruit)

$z_{6i}$  = son ethnie (0 = autre, 1 = wolof)

$z_{7i}$  = la distance (en kilomètres) entre sa maison et sa parcelle

$z_{8i}$  = le nombre de parcelles cultivées

$z_{9i}$  = le nombre d'années de pratique de la riziculture dans la parcelle

Avec  $\delta$  le vecteur de paramètres à estimer et  $w_i$  tel défini plus haut.

La première explication donnée pour le choix des variables explicatives de la fonction de production reste valable ici. Ces variables font partie de celles qui sont les plus couramment utilisées dans la littérature pour expliquer l'inefficacité technique.

La méthode du maximum de vraisemblance est utilisée pour estimer à la fois

la fonction de production et la fonction d'inefficacité. L'estimation sera effectuée à partir du programme Frontier 4.1 de Coelli qui permet d'évaluer les paramètres des deux fonctions en une seule étape. En effet, l'estimation en deux étapes a été remise en cause : Amara et Romain (2000) et Wang et Schmidt (2002) ont montré que l'hypothèse faite dans la première étape, à savoir que le terme d'inefficacité est indépendamment et identiquement distribué, n'est pas compatible avec la recherche d'une relation avec d'autres variables socio-économiques dans une seconde étape.

### 3. Spécification d'hypothèses

Avant de s'intéresser aux résultats de l'estimation des fonctions de production et d'inefficacité, il est important de procéder à trois tests afin de voir si le modèle retenu est approprié et si l'analyse est pertinente. Il s'agit de voir si : (i) la fonction translog est la plus appropriée dans cette étude ; (ii) il y a une présence d'inefficacité technique ; et (iii) l'inefficacité technique peut être expliquée par les variables socio-économiques.

On pose ainsi les hypothèses suivantes :

$H_{01}$  : la fonction stochastique est de type Cobb-Douglas ( $\beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = \beta_{15} = \beta_{23} = \beta_{24} = \beta_{25} = \beta_{34} = \beta_{35} = \beta_{45} = 0$ ), l'hypothèse alternative étant la fonction translog.

$H_{02}$  : Le modèle ne comporte pas d'effets d'inefficacité ( $\gamma = 0$ ).

Si  $H_{02}$  est retenue, alors le modèle est considéré comme une fonction de production ordinaire dans laquelle les variables censées déterminer l'inefficacité sont intégrées dans la fonction de production qui sera estimée par la méthode des MCO.

$H_{03}$  : Les variables socio-économiques ne déterminent pas l'inefficacité ( $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = \delta_6 = \delta_7 = \delta_8 = \delta_9 = 0$ ).

Le test de ces hypothèses est effectué en calculant une statistique  $\lambda$  dont la formule est la suivante :  $\lambda = -2 * \{\ln [L(H_0)] - \ln [L(H_1)]\}$  sachant que  $[L(H_0)]$  et  $[L(H_1)]$  sont respectivement les valeurs de la



Tableau 1. Test d'hypothèses

Hypothèse nulle	Lambda	Valeur critique	Décision
$H_{01}$	28,8	17,7	$H_{01}$ rejetée
$H_{02}$	258,9 <sup>3</sup>	2,7	$H_{02}$ rejetée
$H_{03}$	357	16,3	$H_{03}$ rejetée

Source : les auteurs.

fonction de vraisemblance sous l'hypothèse nulle  $H_0$  et sous l'hypothèse alternative  $H_1$ . Le paramètre  $\lambda$  est supposé suivre une distribution de Khi Deux mixte dont le nombre de degrés de liberté est égal au nombre de restrictions imposées, c'est-à-dire la différence entre le nombre de paramètres sous les deux hypothèses (Fontan, 2008 ; Donkoh *et al.*, 2013). La valeur de  $\lambda$  calculée est comparée à la valeur critique tabulée par Kodde et Palm (1986) avec un seuil de tolérance de 5 %.

### Présentation des résultats d'estimation

Les données ont été recueillies à la suite d'une enquête effectuée dans le cadre d'un projet conduit par l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA) en partenariat avec l'Agence japonaise de coopération internationale (JICA en anglais) dans les départements de Dagana et de Podor, situés dans la région de Saint-Louis du Sénégal, sur la période allant du 7 avril au 6 août 2012. L'enquête a mobilisé 559 producteurs de riz. Après nettoyage de la base de données, l'échantillon de cette étude comporte 493 riziculteurs cultivant 642 parcelles. Les tableaux 5 et 6 (en annexe) présentent une description socio-économique des riziculteurs qui constituent l'échantillon.

Le tableau 1 fait état des résultats qui ont été obtenus à l'issue de la vérification des hypothèses posées.

Le premier test consiste à voir quelle est la spécification la plus appropriée entre la fonction Cobb-Douglas et la fonction transcendante logarithmique. La valeur de la fonction de vraisemblance obtenue après estimation de la fonction Cobb-Douglas et celle obtenue après estimation de la fonction translog<sup>4</sup> permettent d'avoir la statistique  $\lambda$  ci-dessus (28,82). Cette dernière est supérieure à la valeur critique, ce qui permet de rejeter l'hypothèse nulle. Ainsi, c'est la fonction translog qui est la plus appropriée pour cette étude.

La valeur de la fonction de vraisemblance obtenue après estimation de la fonction translog par la méthode des MCO et celle obtenue après estimation par la méthode du maximum de vraisemblance permettent d'avoir la statistique  $\lambda$  ci-dessus (258,9). Les estimations sont faites en tenant compte uniquement des variables qui entrent dans la fonction de production. Le test conduit aussi à un rejet de l'hypothèse nulle.

Pour le troisième test, le même principe que dans le deuxième test est retenu mais ici les estimations sont effectuées en considérant à la fois les variables qui expliquent la fonction de production et la fonction d'inefficacité. Les résultats obtenus aboutissent également à un rejet de l'hypothèse nulle.

En résumé, la fonction de production peut être représentée par une fonction translog. Il est noté la présence d'une inefficacité technique et que cette dernière

3. Cette valeur est directement donnée par le programme Frontier conjointement avec le nombre de restrictions qui l'accompagne

4. Ces valeurs ont été calculées ailleurs mais ne figurent pas dans le document pour des soucis de simplification.

peut être expliquée par certaines variables socio-économiques. Ce qui donne une pertinence aux estimations qui vont suivre.

Le *tableau 2* récapitule les résultats générés par le programme Frontier 4.1 à la suite de l'estimation de la fonction de production stochastique et de la fonction d'inefficacité.

Il est important de signaler que, contrairement à la fonction de type Cobb-Douglas, les paramètres ci-dessus estimés ne sont pas directement interprétables. Il convient de calculer les élasticités pour chaque facteur de production considéré en vue d'une interprétation (Lévêque et Roy, 2004 ; Fontan, 2008). Ceci est donné par la formule suivante :

$$\varepsilon_i = \frac{\partial \log(Y)}{\partial \log(X_i)} = \beta_j + \sum_j [\beta_{jk} \log(X_k)]$$

Avec  $\varepsilon_j$  l'élasticité du facteur  $j$  et les autres paramètres sont tels que définis précédemment. Le *tableau 3* donne les résultats pour chaque *input* donné.

Pour les besoins de l'interprétation, les valeurs moyennes sont considérées (Ahmad et Bravo-Ureta, 1996). Le test de Student effectué permet de conclure que tous les paramètres sont au minimum significatifs au seuil de 5 %. S'agissant de la variable « Autres coûts », en appliquant la formule des élasticités pour cet *input*,  $\sum_j [\beta_{jk} \log(X_k)] = 0$  car  $\beta_{jk} = 0$  lorsque  $j = k$ . Ce qui fait que  $\varepsilon_s = \beta_s$  et les autres paramètres (minimum, maximum et écart-type) ne peuvent pas être obtenus. La valeur des rendements d'échelle est obtenue en faisant la somme des élasticités :  $\varepsilon = \sum \varepsilon_j$ .

La somme des élasticités est égale à 1,12. Cette valeur est supérieure à l'unité. Ainsi, les riziculteurs de la zone bénéficieraient de rendements d'échelle croissants. Cela signifie que si un riziculteur augmente simultanément l'ensemble de ses facteurs de production de 1 %, alors sa production de riz va s'accroître de 1,12 %. Le *tableau 4* retrace la distribution des scores d'efficacité au sein de l'échantillon.

Les résultats de l'estimation des niveaux d'efficacité technique montrent que 15 producteurs sont techniquement efficaces (leur score d'efficacité technique est égal à 100 %), soit seulement 3 % de la taille de l'échantillon. Autrement dit, ces producteurs ont atteint leur niveau maximal de production compte tenu des intrants et de la technologie dont ils disposaient. Les autres ont des scores d'efficacité technique inférieurs à 100 %. Le *tableau 4* montre aussi que plus de la moitié des riziculteurs de l'échantillon ont enregistré des scores de plus de 75 %. Cependant, considérant la valeur élevée de l'écart-type, une disparité forte peut être notée entre les producteurs.

## Interprétation des résultats et discussion

### 1. La fonction de production

L'estimation de la production potentielle grâce à une fonction transcendante logarithmique a permis de déceler que l'interaction entre deux variables du modèle est significative. Ceci est confirmé par le rejet de l'hypothèse nulle, tous les paramètres  $\beta_{jk}$  sont différents de zéro sauf  $\beta_{14}$ . De ce fait, la fonction translog doit être retenue plutôt qu'une forme Cobb-Douglas. Même s'il est difficile de tester la significativité du paramètre obtenu pour les rendements d'échelle du fait de la forme fonctionnelle utilisée et des transformations opérées pour calculer les élasticités, des indices empiriques provenant des propos des producteurs permettent de penser qu'il existe bel et bien des rendements d'échelle croissants<sup>5</sup>. En ce qui concerne la superficie, une augmentation de 1 % de la taille de la

5. L'ex-président de l'Union d'un village de Dagana a confié lors d'un atelier qu'il est impossible d'obtenir une production qui permet de nourrir la famille, de rembourser le crédit et de vendre avec une parcelle de petite taille. Par contre, plus la taille de la parcelle est grande, plus le producteur a des chances d'atteindre ces objectifs.

Tableau 2. Résultats de l'estimation de la fonction de production stochastique et de la fonction d'inefficacité

Estimation de la fonction de production		
Variables	Paramètres	Coefficients (T de Student)
Constante	$\beta_0$	4,372(23,8) ***
LogX <sub>1</sub>	$\beta_1$	1,563(28,35) ***
LogX <sub>2</sub>	$\beta_2$	-0,193(-2,02) **
LogX <sub>3</sub>	$\beta_3$	0,063(1,23)
LogX <sub>4</sub>	$\beta_4$	-0,181(-5,34) ***
LogX <sub>5</sub>	$\beta_5$	-0,18(-8,91) ***
LogX <sub>1</sub> logX <sub>2</sub>	$\beta_{12}$	-0,035(-3,4)
LogX <sub>1</sub> logX <sub>3</sub>	$\beta_{13}$	0,047(6,95) ***
LogX <sub>1</sub> logX <sub>4</sub>	$\beta_{14}$	-0,007(-0,56)
LogX <sub>1</sub> logX <sub>5</sub>	$\beta_{15}$	-0,075(-13,92) ***
LogX <sub>2</sub> logX <sub>3</sub>	$\beta_{23}$	0,02(-2,95) ***
LogX <sub>2</sub> logX <sub>4</sub>	$\beta_{24}$	0,008(3,05) ***
LogX <sub>2</sub> logX <sub>5</sub>	$\beta_{25}$	0,046(4,09) ***
LogX <sub>3</sub> logX <sub>4</sub>	$\beta_{34}$	-0,051(-7,7) ***
LogX <sub>3</sub> logX <sub>5</sub>	$\beta_{35}$	0,025(3,48) ***
LogX <sub>4</sub> logX <sub>5</sub>	$\beta_{45}$	0,037(7,79) ***
Sigma carré	$\beta^2$	0,607(11,9) ***
Gamma	$\beta$	0,99(509640032,6) ***
Log fonction MV		-29,79
Déterminants de l'inefficacité technique		
Constante	$\beta_0$	-1,484(-2,7) *
Lieu de résidence : Dagana Référence : Podor	$\beta_1$	-0,353(-2,92) *
Taille du ménage	$\beta_2$	0,023(2,56) **
Genre : Homme Référence : Femme	$\beta_3$	1,038(2,34) **
Âge	$\beta_4$	0,001(0,03)
Niveau d'instruction : Instruit Référence : Aucune instruction	$\beta_5$	-0,238(-1,83) **
Ethnie : Wolof Référence : autre ethnie	$\beta_6$	-0,659(-4,98) *
Distance maison – parcelle	$\beta_7$	-0,056(-3,84) *
Nombre de parcelles	$\beta_8$	0,163(2,21) **
Années de pratique	$\beta_9$	0,005(0,9)

Notes : \* : significatif au seuil de 10 % ; \*\* : significatif au seuil de 5 % ; \*\*\* : significatif au seuil de 1 %.

Source : les auteurs

parcelle induit une hausse de la production en moyenne de 0,72 %, toutes choses égales par ailleurs (tableau 3). Le même raisonnement est applicable pour les autres élasticités vis-à-vis de la production. Les résultats montrent aussi que la superficie,

la quantité d'engrais et la main-d'œuvre dans une moindre mesure ont un effet beaucoup plus important sur la production.

Le croisement entre les variables renseigne sur la nature de l'effet de la combinaison de ces variables dans la production

Tableau 3. Élasticités des facteurs de production

Facteur de production	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type
Superficie totale	0,72	0,48	0,92	0,07
Quantité totale d'engrais	0,25	0,14	0,38	0,04
Quantité totale de semence	0,1	- 0,02	0,25	0,05
Main-d'œuvre totale	0,23	0,11	0,36	0,04
Autres coûts	- 0,18	-	-	-

Source : les auteurs.

Tableau 4. Distribution des niveaux d'efficacité dans la population

Niveau d'efficacité (%)	Effectif	Fréquence relative (en %)
0 – 25	11	2
25 – 50	84	17
50 – 75	149	30
75 – 100	249	51
<b>Total</b>	<b>493</b>	<b>100</b>
ET moyen		70
Minimum		14
Maximum		100
Écart-type		22

Source : les auteurs.

(Donkoh *et al.*, 2013). Lorsque le signe du coefficient (tableau 2) associé aux variables en question est positif, ces deux variables ont des effets complémentaires dans la production. Dans le cas contraire, les effets sont substituables. C'est ainsi que les effets entre l'engrais et les semences, la main-d'œuvre et les autres coûts sont complémentaires. L'effet de la superficie et celui des autres coûts sont substituables, etc. Par analogie à Bravo-Ureta et Pinheiro (1997), si le producteur moyen avait atteint le niveau d'efficacité du producteur le plus efficient (100 %), il aurait pu faire une certaine économie de ressources. Cette économie de ressources (ER) est donnée par la formule suivante :  $ER = [1 - (70/100)] * 100 = 30 \%$ . Le producteur le moins performant aurait réalisé une économie de ressources de  $[1 - (14/100)] * 100 = 86 \%$ . Le producteur moyen aurait pu obtenir un rendement de 4,32 tonnes/ha avec seulement 70 % des ressources engagées dans le processus de production s'il était efficace. Il en serait à 6,17 tonnes/ha s'il avait

utilisé ces mêmes ressources, d'où un écart de 1,85 tonne/ha. À partir de là, deux scénarii peuvent être considérés afin de dégager une option de politique qui soit plus rentable pour les riziculteurs. Les simulations sont effectuées à partir des superficies totales aménagées en 2012 et en 2013 qui sont respectivement de 116 391 ha et 119 640 ha (d'après les données de la SAED). L'hypothèse forte qui est faite ici est que l'intégralité des superficies est mise en valeur et est consacrée à la riziculture.

Le premier scénario (S1) est le suivant : la superficie de 2012 (116 391 ha) est reconduite pour 2013 mais le producteur moyen est devenu efficace et a obtenu un rendement de 6,17 tonnes/ha.

Dans le deuxième scénario (S2), la superficie totale est passée à 119 640 ha mais le rendement du producteur est resté constant (4,32 tonnes/ha).

Pour S1, la production totale en riz de la vallée du fleuve Sénégal est estimée à 718 132 tonnes alors que, pour S2,

la production s'élève à 516 845 tonnes, soit une différence ( $S1 - S2$ ) de 201 287 tonnes. En d'autres termes, une augmentation de la production totale de la vallée de 201 287 tonnes pouvait être obtenue rien qu'en rendant les riziculteurs efficaces et en conservant les mêmes superficies cultivées. À partir de cette illustration, deux enseignements peuvent être tirés : avant de songer à aménager davantage de superficies, l'État et les opérateurs privés devraient s'atteler à augmenter (i) le taux de mise en valeur des superficies aménagées qui existent déjà et (ii) à améliorer l'efficacité technique des riziculteurs qui produisent dans ces périmètres.

Le paramètre  $\gamma$  est significatif et différent de zéro (*tableau 2*). Ce qui permet de déduire que toute déviation de la production réelle par rapport à celle potentielle est due en partie à une inefficacité de l'agent. Ce qui justifie tous le sens de la détermination des facteurs impactant cette inefficacité.

## 2. La fonction d'inefficacité technique

En dehors de l'âge et du nombre d'années de pratique de riziculture dans la parcelle, les autres variables présentent des coefficients significatifs (*tableau 2*). Ainsi, le modèle retenu permet d'apporter des explications concernant l'écart moyen de 30 % qui existe entre la production observée et la production potentielle. Un signe négatif d'un coefficient signifie que la variable en question exerce un effet négatif sur l'inefficacité, donc contribue à augmenter l'efficacité de l'agent. Les variables qui agissent positivement sur l'efficacité technique sont le lieu de résidence, le niveau d'instruction, l'ethnie et la distance entre la maison et la parcelle tandis que le genre du chef de ménage, la taille du ménage et le nombre de parcelles détenues par le chef de ménage exercent un effet négatif sur son efficacité technique.

Pour ce qui est du lieu de résidence, le département de Dagana qui abrite la

majorité des riziculteurs de l'échantillon se trouve dans le Delta qui est la zone de la vallée la plus proche des structures de recherches et de développement (ISRA, Centre du Riz pour l'Afrique, SAED, etc.). Ces dernières sont parfois confrontées à des problèmes de moyens matériels et financiers qui les empêchent de parcourir toute la vallée. Ce qui fait que la plupart de leurs interventions se limitent dans le Delta. C'est aussi dans ce département que la culture du riz est la plus développée du fait des multitudes actions de l'État depuis les indépendances (Lericollais et Dia, 1995). En outre, recevoir une instruction permet au producteur d'être plus efficace. Même si la plupart des campagnes de formation et de sensibilisation qu'effectuent les organismes de recherches et de développement se font en langue locale, l'instruction semble permettre aux individus de mieux assimiler les nouvelles connaissances qui leur sont présentées, ce qui peut augmenter la probabilité d'adopter de nouvelles technologies. L'instruction peut permettre également au riziculteur de choisir les quantités d'intrants convenables et de faire un bon choix compte tenu des techniques culturelles disponibles. L'ethnie aussi participe à la réduction de l'inefficacité de l'agent. Les Wolofs sont dominants au niveau de l'échantillon. Par rapport aux Peuls et aux Toucouleurs, ils sont connus pour être beaucoup plus ouverts et réceptifs. De plus, ils capitalisent une expérience de plus d'une cinquantaine d'années de pratique de riziculture car, du fait de leur implantation géographique, ils ont été les premiers à bénéficier des aménagements publics après les indépendances. Ils se sont installés sur les terres du Delta avec l'appui de l'État, dont l'objectif était de promouvoir la riziculture. Enfin, contrairement à ce qui avait été attendu, la distance entre la maison et la parcelle contribue à l'amélioration du niveau d'efficacité technique du riziculteur. L'explication qui peut être apportée est que les producteurs qui

habitent loin de leurs champs y passent la journée alors que ceux qui ont des champs proches de leur habitation peuvent aller et venir plusieurs fois dans la journée. Ceux qui sont éloignés consacreront donc plus de temps aux activités culturelles.

Par ailleurs, les résultats ont montré que le fait que le chef de ménage soit une femme contribue à la diminution de l'inefficacité. L'explication qui pourrait être avancée après investigation est que les femmes sont plus présentes au niveau des champs et assurent la plus grande partie des activités culturelles même sur les champs possédés par les hommes. Il est donc compréhensible qu'elles maîtrisent mieux les pratiques culturelles que les hommes. En outre, elles sont les plus dynamiques au sein des regroupements d'agriculteurs. Ceci implique que l'accès difficile des femmes à la terre dans la zone serait un handicap dans la promotion de l'efficacité technique. Concernant la taille du ménage, il est important de signaler que son effet sur la productivité dépend plus de la qualité et des aptitudes des membres du ménage que de l'effectif du ménage (Ogundele et Okoruwa, 2003). Si ceux-ci ont un certain niveau d'instruction et une expérience avérée en matière de riziculture, cela va aider le chef du ménage à être plus performant. Dans le contexte de la vallée, la main-d'œuvre familiale (qui constitue la plus importante main-d'œuvre) est souvent constituée de femmes et d'enfants qui ne sont pas souvent dotés d'une grande expertise ou qui n'ont pas atteint un niveau d'instruction élevé. Enfin, il a été découvert que plus le chef de ménage dispose de parcelles à entretenir, plus il doit fournir d'effort physique et financier, moins il devient efficace.

\*

\* \*

Ce travail a estimé les scores d'efficacité technique de certains riziculteurs de la

vallée du fleuve Sénégal localisés dans les départements de Dagana et de Podor et analysé les déterminants de cette efficacité. La conclusion qui se dégage de cette analyse est que l'État et les opérateurs privés qui s'activent dans la production de riz au niveau de la vallée devraient se focaliser davantage sur l'augmentation des taux de mise en valeur des superficies existantes et sur le niveau d'efficacité technique des riziculteurs qui opèrent dans ces périmètres que d'opter pour une riziculture extensive. D'une part, l'augmentation des taux de mise en valeur ne nécessite pas d'investissements supplémentaires car les superficies aménagées existent déjà mais ne sont pas exploitées. Ces superficies pourraient être attribuées à des individus qui soient capables de le faire. D'autre part, l'enjeu majeur demeure l'augmentation de la production *via* l'accroissement de l'efficacité technique des riziculteurs afin de minimiser les gaspillages de ressources. Pour améliorer le niveau d'efficacité technique des producteurs de la zone, notre analyse des déterminants de l'efficacité apporte des éléments de réponse. Les implications de politique qui découlent de cette analyse sont les suivantes.

Les campagnes de sensibilisation et de formation pourraient être renforcées : le niveau d'instruction contribue en effet à l'amélioration du niveau d'efficacité. Ces renforcements de capacités pourraient améliorer la connaissance des producteurs sur les itinéraires techniques les plus appropriés et leur permettraient de mieux répondre aux exigences du calendrier culturel. Du fait de l'âge moyen avancé dans l'échantillon, il semble moins pertinent, à court terme, de proposer l'augmentation d'écoles, de collèges ou de lycées afin d'élever le niveau d'instruction de la zone. La formation donc ne peut passer que par des ateliers utiles et pragmatiques pour que les paysans ne puissent pas perdre de temps. Toutefois, pour des perspectives à long terme, l'enseignement technique et



la formation professionnelle aux métiers agricoles permettront de renforcer les capacités surtout des jeunes et des femmes de la zone pour qu'ils puissent mieux comprendre et respecter l'itinéraire technique et le calendrier culturel.

L'étude a montré que presque toute la déviation de la production réelle par rapport à la production frontrière est imputable à l'inefficacité des producteurs. Dès lors, ces derniers ne doivent pas se contenter de rester inactifs au manque d'informations, d'autant plus que la majeure partie de la production sert soit à rembourser des dettes, soit à nourrir la famille. De plus, l'hypothèse que les producteurs wolofs semblent être plus efficaces que les autres a été confirmée. Une des raisons évoquées est qu'ils se familiarisent plus rapidement avec les étrangers. Ce qui leur permet de côtoyer les agents de développement. Ainsi, les producteurs gagneraient à développer plus de stratégies proactives.

L'étude conclut à la nécessité d'une rationalisation du nombre de parcelles à cultiver : même si plusieurs parcelles permettent d'avoir une production plus importante, leur nombre joue en défaveur de l'efficacité. Par contre, augmenter la taille de la parcelle serait une option plus efficace car les résultats montrent que la superficie est corrélée positivement à la production et que les rendements d'échelle sont croissants.

Enfin, la dotation de moyens supplémentaires aux organismes de recherches et de développement rural peut avoir un effet positif. Cette proposition vient compléter la première car sa mise en œuvre permettra aux chercheurs et aux vulgarisateurs des acquis de la recherche d'étendre leurs interventions aux milieux les plus reculés. Ce qui servira à mieux percevoir les contraintes auxquelles les producteurs sont confrontés et apporter les solutions idoines. ■

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmad M., Bravo-Ureta B. (1996). Technical Efficiency Measures for Dairy Farms Using Panel Data: A Comparison of Alternative Model Specifications. *The Journal of Productivity Analysis*, n° 7, pp. 399-415.
- Aigner D.J., Chu S.F. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review*, n° 58, pp. 826-839.
- Aigner D.J., Lovell C.A.K., Schmidt P.J. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, n° 6, pp. 21-37.
- Amara N., Romain R. (2000). *Mesures de l'efficacité technique : revue de la littérature*. Centre de Recherche en Économie Agroalimentaire, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Série Recherche SR.00.07, pp. 1-34.
- Ambapour S. (2001). *Estimation des frontières de production et mesures de l'efficacité technique*. Bureau d'application des méthodes statistiques et informatiques, DT 02/2001, pp. 1-27.
- Battese G.E. (1991). *Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics*. Department of Econometrics University of New England, pp. 1-44.
- Battese G.E., Coelli T.J. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, vol. 20, pp. 325-332.
- Bosman N., Fecher F. (1992). *Une étude comparative de l'efficacité technique du secteur de la santé au sein des pays de l'OCDE*. Working Paper, 92/08, CIRIEC, Université de Liège.

- Bravo-Ureta B.E., Pinheiro A.E. (1997). Technical, Economic, and Allocative Efficiency in Peasant Farming: Evidence from the Dominican Republic. *The Developing Economies*, vol. XXXV, n° 1, March, pp. 48-67.
- Debreu G. (1951). *The Coefficient of Resource Utilization*. *Econometrica*, vol. 19, n° 3, July, pp. 273-292.
- Diagne M., Demont M., Seck P.A., Diaw A. (2013). Self-sufficiency policy and irrigated rice productivity in the Senegal River Valley. *Food Security The Science, Sociology and Economics of Food Production and Access to Food*, vol. 5, n° 1, pp. 55-70.
- Donkoh S.A., Ayambila S., Abdulai S. (2013). Technical Efficiency of Rice Production at the Tono Irrigation Scheme in Northern Ghana. *American Journal of Experimental Agriculture*, vol. 3, n° 1, pp. 25-42.
- Fall A.A. (2008). *Impact du crédit sur le revenu des riziculteurs de la Vallée du Fleuve Sénégal*. Thèse de Doctorat, pp. 1-357.
- Farrel M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, vol. 120, n° 3, pp. 253-290.
- Fontan C. (2008). Production et efficience technique des riziculteurs de Guinée : une estimation paramétrique stochastique. *Économie rurale*, n° 308, novembre-décembre, pp. 19-35.
- Gergely N. Barris P. (2009). *Étude sur la compétitivité du riz de la vallée du fleuve Sénégal (VFS) sur les marchés nationaux et régionaux*. Rapport définitif, Agence française de développement et G.L.G. Consultants, pp. 1-97.
- Huang C.J., Liu J.T. (1994). Estimation of a Non-Neutral Stochastic Frontier Production Function. *The Journal of Productivity Analysis*, vol. 5, pp. 171-180.
- ISRA/DAPS/Centre du Riz pour l'Afrique (2010). *Renforcement de la disponibilité et de l'accès aux statistiques rizicoles : une contribution à l'initiative d'urgence pour le riz en Afrique subsaharienne*. Rapport Sénégal, septembre, pp. 1-144.
- Jamin J.Y. (1986). *La double culture du riz dans la vallée du fleuve Sénégal : mythe ou réalité ?* Communication au séminaire aménagements hydro agricoles et systèmes de production, CIRAD, pp. 1-33.
- Javed M.I., Adil S.A., Ali A., Raza M.A. (2010). Measurement of Technical Efficiency of Rice - Wheat System in Punjab, Pakistan Using Dea Technique. *Journal of Agricultural Research*, vol. 48, n° 2, pp. 227-238.
- Jondrow J., Lovell C.A., Materov I.S., Schmidt P. (1982). On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics*, n° 19, pp. 233-238.
- Kaboré D.P. (2007). *Efficience technique de la production rizicole sur les périmètres aménagés du Burkina Faso*. Série document de travail DT-CAPES, n°2007-35, octobre, pp. 1-30.
- Kanté S. (1993). *La motorisation de la riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal*. Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal, ORSTOM éditions.
- Keane J., Page S., Kergna A., Kennan, J. (2009). *Climate Change and Developing Country Agriculture: An Overview of Expected Impacts, Adaptation and Mitigation Challenges, and Funding Requirements*. ICTSD-IPC Platform on Climate Change, Agriculture and Trade, International Centre for Trade and Sustainable Development, Geneva, Switzerland and International Food & Agricultural Trade Policy Council, Washington DC, USA, Issue Brief n° 2, pp. 1-49.
- Kodde D.A., Palm F.C. (1986). Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions. *Econometrica*, vol. 54, n° 5, September, pp. 1243-1248.
- Koopmans T.C. (1951). *Analysis of production as an efficient combination of activities*. Chapter 3, pp. 1-65.
- Lerricollais A., Dia I. (1995). *Nianga, vingt ans de culture irriguée dans la moyenne vallée du Sénégal*, pp. 1-16.
- Lévêque J., Roy W. (2004). *Quelles avancées permettent les techniques de frontière dans la mesure de l'efficience des exploitants de transport urbain ?* XIV<sup>es</sup> journées du Sésame à Pau, les 23, 24 et 25 septembre, pp. 1-19.

- Meeusen W., Van den Broeck J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, n 18, pp. 435-44.
- Ministère de l'Agriculture du Sénégal (2009). *Programme national d'autosuffisance en riz : stratégie nationale de développement de la riziculture*. Février, pp. 1-33.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement rural du Sénégal (2014). *Programme d'accélération de la cadence de l'agriculture sénégalaise (PRACAS) : les priorités à l'horizon 2017*. Juin, pp. 1-76.
- Nuama E. (2006). Mesure de l'efficacité technique des agricultrices de cultures vivrières en Côte d'Ivoire. *Économie rurale*, n° 296, novembre-décembre, pp. 1-16.
- Ogundele O.O., Okoruwa V.O. (2006). *Technical Efficiency Differentials in Rice Production Technologies in Nigeria*. African Economic Research, Nairobi, April, pp. 1-44.
- Taffé P. (1998). *Frontière d'efficacité et évaluation de la performance énergétique des bâtiments*. Thèse de Doctorat ès Sciences économiques, Université de Genève.
- Wang H.J., Schmidt P. (2002). One-Step and Two-Step Estimation of the Effects of Exogenous Variables on Technical Efficiency Levels. *Journal of Productivity Analysis*, vol. 18, pp. 129-144.

## ANNEXES

Tableau 5. Caractérisation spatiale et socio-économique des riziculteurs

	Effectif	Pourcentage
Dagana	301	61
Podor	192	39
Homme	481	98
Femme	12	2
Aucune instruction	100	20
Instruit	393	80
Wolof	206	42
Autre ethnie	287	58

Source : d'après données d'enquête.

Tableau 6. Description de certaines variables liées à la production et à l'efficacité

	Moyenne	Écart – type	Minimum	Maximum
Production (tonnes)	4,16	5,44	0,075	65,5
Superficie (ha)	0,96	1,04	0,03	10
Rendement (tonnes/ha)	4,32	1,38	0,83	6,75
Semence (kg)	110,67	132,24	2	1 400
Main-d'œuvre	106	100	4	900
Engrais (kg)	303,45	329,92	12	2800
Taille ménage	10	5	1	38
Âge	48	14	17	86
Distance (km)	3,57	5,19	0,032	52,71
Nombre parcelles	1,31	0,63	1	5
Années de pratique	10	9	1	42

Source : d'après données d'enquête.