

Mesure de l'efficacité technique de production des riziculteurs de la vallée du fleuve Sénégal

M. Cheikh Ahmadou Bamba Ngom,

Doctorant en sciences économiques au Laboratoire de Recherches en Economie de Saint
Louis à l'Université Gaston Berger, Tel : + 221 77 524 99 84, courriel :
shaixunabamba@hotmail.fr

Pr Mamadou Felwine Sarr

Enseignant – chercheur en économie à l'Université Gaston Berger de Saint Louis du Sénégal,
Tel : + 221 77 333 52 29, courriel : felwine@gmail.com

Dr Amadou Abdoulaye Fall

Agro – économiste, chercheur à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Tel : + 221 77
647 86 12, courriel : aafall22@yahoo.fr

Résumé

Le Sénégal constitue l'un des plus grands pays consommateurs de riz de l'Afrique de l'Ouest. Ce riz consommé provient en majorité de l'Extérieur. En effet la production nationale ne couvre que deux à trois mois de consommation dans l'année. L'Etat, pour pallier ce déficit, a consenti à beaucoup d'efforts au niveau de la vallée du fleuve Sénégal dans le but d'augmenter les moyens de production des riziculteurs afin que la production puisse s'accroître. L'objectif de ce travail a été de voir si les producteurs ont atteint leur niveau maximal de production compte tenu des moyens dont ils disposent avant de songer à leur en fournir davantage. L'estimation de la fonction de production frontière a permis de trouver que l'efficacité technique des riziculteurs de l'échantillon se trouve entre 14 et 100 % avec une efficacité technique moyenne de 70 %. L'analyse des déterminants de cette efficacité a montré que la localité (département du producteur), le genre, la taille du ménage, le niveau d'instruction, l'ethnie, la distance entre la parcelle et la maison, le nombre de parcelles détenues par le producteur impactaient significativement sur son efficacité.

Mots clés : efficacité technique ; frontière de production stochastique ; production de riz ; vallée du fleuve Sénégal.

Codes JEL : Q12, D21

I) Introduction

Le riz constitue l'aliment de base pour plus de trois milliards d'individus à travers le monde. Il constitue probablement la spéculation la plus importante dans la nutrition humaine et l'apport en calorie, contribuant à plus d'un cinquième des calories consommées à travers le monde par les individus. En Afrique Sub – Saharienne, il est consommé à grande échelle dans presque tous les pays et est cultivé dans toutes les écologies.

En ce moment où la population mondiale dépend fortement des fluctuations du marché des biens alimentaires, beaucoup de pays ont déjà supprimé ou réduit leurs exportations de riz. Ce qui renchérit considérablement les prix du riz alors que les quantités vendues s'avèrent insuffisantes pour la consommation. Un grand nombre de pays africains s'attèlent à accroître leur production et réduire les quantités importées. Ces efforts se sont malheureusement soldés par des échecs et la facture des importations augmente, contraignant ces pays à des achats extérieurs massifs au détriment d'investissements dans d'autres secteurs productifs. Aussi, le changement climatique avec comme conséquence les catastrophes naturelles, l'accès difficile à l'eau et l'érosion des sols menacent les rendements rizicoles surtout au niveau des pays asiatiques qui sont les principaux producteurs au niveau mondial (la Chine, l'Inde, et l'Indonésie) et les plus grands exportateurs (la Thaïlande et le Vietnam) (statistiques FAO, 2009). D'où la nécessité d'exploiter au maximum les ressources disponibles.

La production de riz peut être rehaussée soit en augmentant la surface dans laquelle le riz est cultivé, soit en améliorant l'efficacité des ressources existantes allouées à la production de riz. 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 (Javed et al, 2010). En outre, l'aménagement seul des périmètres (effectué à grands frais) pour une maîtrise de l'eau dans l'objectif 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 accroître les rendements et l'offre de riz afin de satisfaire une demande en croissance soutenue (Kaboré, 2007). Les premiers travaux ayant trait à la notion d'efficacité sont attribués à Koopmans (1951) et à Debreu (1951) et plus tard, Farrell (1957) distingua le concept d'efficacité technique et d'efficacité – prix (Amara et Robin, 2000). Selon la théorie micro-économique 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 dans la réalité, les études montrent le contraire. En fait, l'expérience indique que les producteurs ou les productrices en général ne se situent jamais, du moins dans leur majorité, 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 des pays en développement opèrent en deçà de leur capacité de production potentielle (Keane et al, 2009).

C'est pourquoi ce travail, avec comme cadre d'étude la vallée du fleuve Sénégal, se fixe un double objectif : D'abord il sera question d'estimer les scores d'efficacité technique des riziculteurs de la zone pour ensuite étudier les facteurs déterminant cette efficacité technique. Fall (2008) (estimant la productivité marginale pour les intrants variables de base (semence, engrais, produits phytosanitaires et main d'œuvre), et par la suite Diagne et al (2013) (en utilisant des données de panel avec un modèle à effets fixes) ont effectué une tâche similaire. Cependant ils ont utilisé d'autres méthodes d'estimation différentes. L'originalité de ce travail – ci est que ce dernier a utilisé des données en coupe transversale (sur une seule période) en estimant en une unique étape les scores d'efficacité technique et les déterminants de cette dite efficacité. Une fonction de type transcendante logarithmique simplifiée a été utilisée pour atteindre cet objectif. L'intérêt de cette étude est qu'elle constitue un supplément pour la littérature économique qui a trait à l'estimation du niveau d'efficacité technique des riziculteurs de la vallée ; cette littérature qui est quasi inexistante.

Le riz occupe la plus grande part dans les achats de produits céréaliers du Sénégal. Il représente près de 50 % du volume de céréales consommées au plan national (Baris, 2009). En outre la consommation moyenne par tête en riz depuis 2003 au niveau national est de 74 kg, avec une hausse annuelle de 1,56 kg (ISRA/DAPS/Centre du Riz pour l'Afrique, 2010). Cette dite consommation a progressé régulièrement au rythme de 3,5 % par an entre 1990 et 2008 à cause de la croissance démographique, de l'urbanisation qui renforce la demande en riz, et d'un niveau des prix internationaux relativement bas (Baris, 2009). Du fait de la forte demande, la production nationale ne peut couvrir que deux à trois mois de consommation. Face à un écart énorme entre la demande et l'offre et à un déficit extérieur grandissant, il était impératif pour les autorités étatiques de reconsidérer la filière rizicole et de porter un regard plus attentionné à son égard. Selon elles, l'autosuffisance et la sécurité alimentaires du pays dépendent inéluctablement de l'extension et de l'intensification de l'agriculture irriguée (Kanté, 1993). La vallée du fleuve Sénégal a été le domaine de prédilection de la nouvelle orientation de l'Etat concernant la filière rizicole. Ce choix se justifie car cette zone présente

de fortes disponibilités physiques, économiques et sociales ; elle comptabilise 65 % de la production nationale de riz sur 34 % des terres cultivées (PINORD, 2007). Le Gouvernement du Sénégal, via le Programme National d'Autosuffisance en Riz, a entamé depuis 2008 jusqu'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. Durant ces cinq années, des opérations d'aménagement et de réhabilitation seront effectuées concernant une superficie de 105 720 ha, pour un coût de 214 022 millions de francs CFA (PNAR, 2009). En moyenne, depuis 2002, l'Etat dépense chaque année 99 022 000 000 F CFA en termes d'aménagements hydro agricoles, soit un cout moyen à l'hectare de 1 971 186 F CFA. Les superficies aménagées entre 1981 et 2011 s'élèvent en moyenne à 66 250 ha par année (d'après données SAED, la société publique de développement rural établie dans la vallée).

L'enseignement qui pourrait être tiré de ces actions de l'Etat 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 vers les années 1940 (Jamin, 1986). Alors que jusqu'à présent la production nationale couvre à peine deux à trois mois de consommation. Considérant les données officielles, beaucoup d'efforts et d'argent ont été consentis par l'Etat 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'Etat 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 potentiel 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 ?

Le reste de ce travail sera organisé de la manière suivante :

Dans la deuxième section les méthodologies d'estimation de l'efficacité technique et d'analyse de ses déterminants seront exposées ; ensuite dans la troisième section, il sera question de la description des données et de la présentation des résultats des estimations. La

quatrième section sera consacrée à l'interprétation des résultats obtenus, aux discussions et la dernière section conclut le travail.

II) Méthodes d'estimation de l'efficacité technique

II.1) Typologie de la fonction de production frontière

Comme énoncé précédemment, la possibilité qu'une firme ne puisse pas allouer de manière efficace ses ressources productrices 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 nouveau concept et de l'estimer. Selon Farrell (1957), l'efficacité d'une firme signifie sa réussite à produire aussi large que possible un output à partir d'un ensemble d'inputs donnés. Cette quête de la production maximale interpelle l'idée des productions potentielles 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 frontière. 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 supposé satisfaire (Taffé 1998, cité par Ambapour 2001). Selon Bosman et Frecher (1992) à travers Ambapour (op.cit.), 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 dans cette analyse. Au sein des frontières paramétriques aussi peut s'opérer une autre forme de distinction entre frontières déterministes et frontières stochastiques. Farrell fut le principal instigateur de la fonction paramétrique en utilisant la forme Cobb – Douglas. Une amélioration a été apportée par la suite par Aigner et Chu (1968) qui ont relâché l'hypothèse des rendements d'échelle constants au profit de celle de l'homogénéité de la fonction de production. Ils ont abouti au modèle suivant :

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

La variable Y_i désigne la production de la firme i ; les variables X_i ($i = 1, \dots, N$) désignent l'ensemble des inputs qui ont servi à produire Y_i ; β est le vecteur des paramètres associés à

X_i à estimer ; f est la technologie de production adoptée ; 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 estimation de l'efficacité technique. Ainsi le niveau d'efficacité technique de i est donné par la formule suivante :

$$ET_i = e^{-U_i}$$

La limite principale de cette spécification 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 contraintes qui sont indépendantes de sa volonté comme par exemple une pompe d'irrigation tombée en panne, une invasion d'oiseaux dévastateurs, etc. Ainsi, des améliorations ont été apportées par plusieurs auteurs (Aigner, Lovell, et Schmidt en 1977, Meusen et Van Den Boeck en 1977, Jondrow et al. En 1982) pour tenir en compte ces aléas ne dépendant pas du ressort de l'individu considéré. La nouvelle formulation est la suivante :

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

A présent le terme d'erreur est scindé en deux parties (U et V). Le terme aléatoire V est maintenant associé aux facteurs aléatoires qui ne sont pas sous le contrôle de l'individu. Les erreurs aléatoires V_i ($i = 1, \dots, N$) sont supposées indépendamment et identiquement distribuées, suivant $N(0, \sigma_v^2)$ alors que les U_i ($i = 1, \dots, N$) sont assumées positives ou nulles suivant une distribution semi – normale ou exponentielle (Battese, 1991). Les autres variables ont été définies précédemment.

L'expression de l'efficacité technique est identique à celle dans le cas de la fonction déterministe. Cependant la différence réside au niveau des valeurs obtenues dans les deux cas. Le score d'efficacité obtenu pour une même base de données est plus élevé avec la fonction stochastique qu'avec la fonction déterministe du fait de la non prise en compte de cette dernière du terme exogène.

Battese et Coelli (1995), à la suite des travaux de Huang et Liu (1994), 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'efficacité technique ; δ 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 celles figurant dans la production servent à déterminer le niveau d'efficacité.

II.2) Application empirique

L'estimation de la frontière de production se fera à l'aide d'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. Ainsi la fonction peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^5 \beta_j \ln X_j + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \beta_{jk} \ln X_j \ln X_k + V_i - U_i \quad (4)$$

Avec $\beta_m = 0$ lorsque $j = k$ et $m = 6, \dots, 15$.

On a :

Y_i = la production totale de riz (en kilogrammes) du producteur i

X_1 = la superficie totale (en ares) cultivée du producteur i

X_2 = la quantité totale d'engrais utilisé (en kilogrammes) du producteur i

X_3 = la quantité totale de semence utilisé (en kilogrammes) du producteur i

X_4 = la main d'œuvre totale utilisée (en personnes / jours) du producteur i

X_5 = les autres couts liés à la production (achat herbicides, machinerie, autres)

Avec β le vecteur de paramètres à estimer et V et U ont été définies précédemment.

L'inefficacité technique est représentée par la formulation suivante :

$$U_i = \delta_0 + \sum_{t=1}^9 z_t \delta_t + W_i \quad (5)$$

z_1 = la localité du chef de ménage (0 = Podor, 1 = Dagana)

z_2 = la taille du ménage

z_3 = le genre du chef de ménage (0 = femme, 1 = homme)

z_4 = l'âge du chef de ménage

z_5 = le niveau d'instruction du chef de ménage (0 = aucune instruction, 1 = instruit)

z_6 = l'ethnie du chef de ménage (0 = autre, 1 = wolof)

z_7 = la distance (en kilomètres) entre la maison et la parcelle

z_8 = le nombre de parcelles cultivées par le chef de ménage

z_9 = le nombre d'années de pratique de la riziculture dans la parcelle

Avec δ le vecteur de paramètres à estimer et W_i tel défini plus haut.

A partir de ce moment, U_i est supposée suivre une distribution normale $N(z_i\delta, \sigma^2)$ (Battese et Coelli, 1995). Les autres paramètres associés aux termes aléatoires sont $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ et $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$.

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 implémenté par Coelli qui permet d'évaluer les paramètres de la fonction de production et ceux de la fonction d'inefficacité en une seule étape. En effet l'évaluation en deux étapes a été battue en brèche par plusieurs auteurs (Amara et Robin, 2000 ; Wang et Schmidt, 2002 ; Bamlaku et al.) après les années 1990. Ceux – ci ont soutenu que l'hypothèse faite dans la première étape à savoir que le terme d'inefficacité était indépendamment et identiquement distribué n'était pas compatible avec la quête d'une relation éventuelle avec d'autres variables socio – économiques qui s'opère dans la seconde étape.

III) Le niveau d'efficacité technique dans la vallée du fleuve Sénégal

III.1) Description des données de l'étude

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 en partenariat avec l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA en anglais) dans les départements de Dagana et de Podor sur la période allant du 07 avril au 06 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 mobilisant 642 parcelles. Le tableau suivant retrace quelques caractéristiques socio – économiques ayant trait aux riziculteurs de l'échantillon :

Tableau 1 : 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 ethnies	287	58

Il faut noter qu'au sein de la population instruite se trouvent ceux qui sont alphabétisés et ceux qui ont été à l'école, qu'elle soit arabe, coranique ou française. Les autres ethnies sont les peulhs, les toucouleurs, les sérères et les maures. Le tableau ci-dessous résume le reste des variables qui entrent dans la détermination de la production maximale et de l'efficacité technique :

Tableau 2 : Description de certaines variables liées à la production et à l'efficacité

	Moyenne	Ecart – 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	1400
Main d'œuvre	106	100	4	900
Engrais (kg)	303,45	329,92	12	2800
Taille ménage	10	5	1	38
Age	48	14	17	86
Distance (km)	3,57	5,19	0,032	52,71
Nbre parcelles	1,31	0,63	1	5
Années de pratique	10	9	1	42

La main d'œuvre est exprimée en nombre de personnes / jour et « années de pratique » désigne le nombre d'années maximal qu'a effectué un riziculteur dans au moins une de ses parcelles. Elle pourrait symboliser en quelque sorte l'expérience du producteur en riziculture. La lecture de ce tableau rend compte d'une population très hétérogène. Ceci est témoigné par la valeur élevée de l'écart – type qui avoisine la moyenne, voire la dépassant dans certains cas. La quantité de semence semble respecter la norme – SAED qui est de 120 kg à l'ha alors que la quantité d'engrais est loin du compte car la SAED préconise 400 kg à l'ha. Le nombre de personnes/jour est relativement plus élevé car celui suggéré est de 90 personnes / jour pour une parcelle d'un hectare. Le respect de ces recommandations techniques permettrait d'aboutir à un rendement de 6 tonnes à l'ha selon la SAED.

Afin de mieux étayer l'analyse, une catégorisation des riziculteurs de l'échantillon a été effectuée en tenant compte des indicateurs suivants pour chaque riziculteur : le niveau de production (en kg), la superficie (en ha), la main d'œuvre utilisée, la taille du ménage, l'âge, le nombre d'années de pratique de riziculture dans au moins une des parcelles, le cheptel et le stock de matériels. La classification par nuées dynamiques effectuée permet d'obtenir le tableau d'analyse de la variance (ANOVA) ci-dessous. Le terme « gros matériel » désigne les matériels lourds tels que les tracteurs, les charrues, les batteuses et les bâtiments de stockage

de la production. Le vocable « petit matériel » regroupe les pulvérisateurs, les groupes moto pompe (GMP) et les houes. Ces indicateurs, centrés et réduits, affichent tous un niveau de significativité au seuil de 1 %. Ce qui permet d'affirmer qu'ils peuvent servir de manière appropriée à classer les riziculteurs.

Tableau 3 : Analyse de la variance

	Classe		Erreur		F	Signification
	Moyenne des carrés	ddl ¹	Moy. Carrés	Ddl		
Production totale	137,366	2	0,443	490	309,796	0,000
Superficie totale	147,309	2	0,403	490	365,973	0,000
Main d'œuvre	32,651	2	0,871	490	37,494	0,000
Taille du ménage	33,508	2	0,867	490	38,641	0,000
Age	17,434	2	0,933	490	18,686	0,000
Années pratique	5,635	2	0,981	490	5,744	0,003
Bovins	24,393	2	0,905	490	26,968	0,000
Caprins	21,113	2	0,918	490	23,000	0,000
Ovins	18,381	2	0,929	490	19,788	0,000
Asins	65,665	2	0,736	490	89,239	0,000
Equins	19,567	2	0,921	490	21,234	0,000
Volaille	18,046	2	0,931	490	19,392	0,000
Charrette	91,551	2	0,631	490	145,056	0,000
Gros matériel	25,151	2	0,904	490	27,819	0,000
Petit matériel	54,680	2	0,781	490	70,025	0,000

Ainsi trois classes ont été obtenues et se répartissent de la manière suivante :

Tableau 4 : Typologie des riziculteurs de l'échantillon

Classe	Effectif	Pourcentage
Grands producteurs	59	12
Producteurs moyens	130	26
Petits producteurs	304	62
Total	493	100

¹ Degré de liberté

Les grands producteurs : ils sont caractérisés par une production une superficie et une main d'œuvre élevées avec des moyennes respectives de 19,6 tonnes, 4,1 ha et 279 hommes/jour. Le nombre de bovins y est relativement élevé.

Les producteurs moyens : ils enregistrent une production et superficie moyennes largement en deçà de celles obtenues par les premiers. Cependant, sauf les bovins, ils ont un cheptel et un stock de matériels plus fournis que les premiers.

Les petits producteurs : ce sont les moins nantis en considérant les moyens de production dont ils disposent.

La domination de la dernière catégorie en termes d'effectifs traduit la faiblesse en dotation factorielle surtout en matériels agricoles dont les riziculteurs de la zone sont confrontés. Rares sont ceux qui disposent de matériels lourds nécessaires pour une bonne exécution de l'itinéraire technique. Parfois les producteurs ont recours à la location de matériels ou en cas de manque de matériel, sautent l'activité concernée. Par exemple, beaucoup d'entre eux se limitent uniquement à l'offset et pratiquent très rarement le labour.

Avant de passer à l'estimation des coefficients du vecteur δ , quelques hypothèses sont émises concernant l'effet des variables sur l'inefficacité :

Localité : effet négatif, beaucoup d'interventions ont été effectuées dans ces zones par les structures de recherches et de développement en vue de sensibiliser les producteurs aux bonnes pratiques et leur fournir de nouvelles technologies de production ;

Genre : effet négatif, dans ces zones, le chef de ménage est généralement de genre masculin. Ainsi il bénéficie la plupart du temps de l'accès à la terre, des sessions de stage et de formation organisées par les structures d'encadrement et de développement et d'autres activités liées aux processus de production.

Niveau d'instruction : effet négatif, l'instruction permet au producteur d'assimiler les formations qui lui sont dispensées et de maîtriser l'itinéraire technique ;

Ethnie : effet négatif, du fait des mentalités et des attitudes différentes, les communautés diffèrent de part leur réaction face à l'influence extérieure ;

Taille du ménage : effet négatif car elle peut constituer une main d'œuvre supplémentaire qui pourrait aider le chef de ménage ;

Age : effet positif, plus le chef de ménage prend de l'âge, plus ses facultés physiques et mentales s'amenuisent ;

Distance : effet positif, rares sont les riziculteurs qui disposent de véhicules, la plupart des moyens de locomotion sont des charrettes, une distance importante conduirait à saper la motivation des riziculteurs ;

Nombre de parcelles : effet positif, jouer sur plusieurs tableaux est parfois difficile compte tenu du matériel rudimentaire dont disposent ces producteurs ;

Années de pratique : effet négatif, beaucoup d'années de pratique conduisent à la maîtrise du terrain, des techniques de production et des bonnes pratiques.

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 ; vice versa.

III.2) Estimation des scores d'efficacité technique

Avant de passer aux résultats obtenus à l'issue de l'estimation, 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 :

- La fonction translog est la plus appropriée dans cette étude ;
- Il y a une présence d'inefficacité technique ;
- L'inefficacité technique peut être expliquée par les variables socio économiques.

Ces vérifications sont opérées en posant respectivement les hypothèses suivantes :

H_{01} : la fonction stochastique est de type Cobb – Douglas ($\beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{10} = \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = \beta_{15} = 0$).

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

Dans ce cas de figure 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 estimable 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 λ 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 fonction de vraisemblance sous l'hypothèse nulle H_0 et sous l'hypothèse alternative H_1 . Le paramètre λ 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 du nombre de paramètres sous les deux hypothèses (Fontan, 2008 ; Bäckman et al ; Donkoh et al, 2013). La valeur de λ calculée est comparée à la valeur critique tabulée par Kodd et Palm (1986) avec un seuil de tolérance de 5 %. Le tableau suivant fait état des résultats qui ont été obtenus :

Tableau 5 : Tests d'hypothèses

Hypothèse nulle	λ	Valeur critique	Décision
H_{01}	28,82	17,67	H_{01} rejetée
H_{02}	258,94 ²	2,7	H_{02} rejetée
H_{03}	357,03	16,27	H_{03} rejetée

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 translog³ permettent d'avoir la statistique λ 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 λ ci-dessus (258,94). 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.

² Cette valeur est directement donnée par le programme Frontier avec le nombre de restrictions qui va avec.

³ Ces valeurs ont été calculées ailleurs mais ne figurent pas dans le document pour des soucis de simplification.

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

Le tableau suivant récapitule les résultats générés par le programme FRONTIER à la suite de l'estimation de la fonction de production stochastique :

Tableau 6 : Résultats de l'estimation de la fonction de production stochastique

Variables	Paramètres	Coefficients
Constante	β_0	4,372(23,8) ***
LnX₁	β_1	1,563(28,35) ***
LnX₂	β_2	-0,193(-2,02) **
LnX₃	β_3	0,063(1,23)
LnX₄	β_4	-0,181(-5,34) ***
LnX₅	β_5	-0,18(-8,91) ***
LnX₁LnX₂	β_6	-0,035(-3,4)
LnX₁LnX₃	β_7	0,047(6,95) ***
LnX₁LnX₄	β_8	-0,007(-0,56)
LnX₁LnX₅	β_9	-0,075(-13,92) ***
LnX₂LnX₃	β_{10}	0,02(-2,95) ***
LnX₂LnX₄	β_{11}	0,008(3,05) ***
LnX₂LnX₅	β_{12}	0,046(4,09) ***
LnX₃LnX₄	β_{13}	-0,051(-7,7) ***
LnX₃LnX₅	β_{14}	0,025(3,48) ***
LnX₄LnX₅	β_{15}	0,037(7,79) ***
Sigma carré	σ^2	0,607(11,9) ***
Gamma	Γ	0,99(509640032,6) ***
Log fonction MV		-29,79

Les valeurs entre parenthèses sont les ratios de student

* : significatif au seuil de 10 %

** : significatif au seuil de 5%

*** : significatif au seuil de 1 %

A la suite de l'estimation, la fonction de production de riz dans la vallée du fleuve Sénégal peut s'écrire de la manière suivante :

$$\ln Y_i = 4,372 + 1,563 \ln X_1 - 0,193 \ln X_2 - 0,181 \ln X_4 - 0,18 \ln X_5 + 0,047 \ln X_1 \ln X_3 - 0,075 \ln X_1 \ln X_5 + 0,02 \ln X_2 \ln X_3 + 0,008 \ln X_2 \ln X_4 + 0,046 \ln X_2 \ln X_5 - 0,051 \ln X_3 \ln X_4 + 0,025 \ln X_3 \ln X_5 + 0,037 \ln X_4 \ln X_5$$

Le tableau suivant retrace la distribution des scores d'efficacité au sein de l'échantillon :

Tableau 7 : Distribution des niveaux d'efficacité dans la population

Niveau d'efficacité (%)	Effectif	Pourcentage
0 – 25	11	2
25 – 50	84	17
50 – 75	149	30
75 – 100	249	51
Total	493	100
ET moyen		70
Minimum		14
Maximum		100
Ecart – type		22

Les résultats de l'estimation des niveaux d'efficacité technique renseignent que 15 producteurs sont techniquement efficaces (leur score d'efficacité technique est égale 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 efficacités techniques inférieures à l'unité.

Le rendement d'échelle est égal à la somme des élasticités des facteurs de production significatifs. Il s'élève à 1,009. Ce chiffre est sensiblement égal à l'unité. La conclusion est que les rendements d'échelle sont constants au niveau des producteurs de la VFS.

Le paramètre γ est significatif et différent de zéro. 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.

III.3) Déterminants de l'inefficacité technique

L'estimation de la fonction d'inefficacité permet d'obtenir les résultats confinés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Résultats de l'estimation de la fonction d'inefficacité technique

Variables	Paramètres	Coefficients
Constante	δ_0	-1,484(-2,7)*
Localité	δ_1	-0,353(-2,92)*
Taille du ménage	δ_2	0,023(2,56) **
Genre	δ_3	1,038(2,34) **
Age	δ_4	0,001(0,03)
Niveau d'instruction	δ_5	-0,238(-1,83) **
Ethnie	δ_6	-0,659(-4,98)*
Distance	δ_7	-0,056(-3,84)*
Nombre de parcelles	δ_8	0,163(2,21) **
Années de pratique	δ_9	0,005(0,9)

Dès lors, l'inefficacité technique peut s'exprimer sous la forme suivante :

$$U_i = 0,023 \text{ (taille du ménage)} - 0,353 \text{ (localité)} + 1,038 \text{ (genre)} - 0,238 \text{ (niveau d'instruction)} - 0,659 \text{ (ethnie)} - 0,056 \text{ (distance)} + 0,163 \text{ (nombre de parcelles)} - 1,484$$

Une étude comparative conduit à séparer l'échantillon entre habitants de Dagana et de Podor ; entre instruits et non instruits ; entre wolofs et autres ethnies et entre grands producteurs, producteurs moyens et petits producteurs afin d'estimer le niveau d'efficacité technique au sein de chaque groupe. Le tableau ci contre résume les résultats obtenus au sein de chaque groupe :

Tableau 9 : Comparaison du niveau d'efficacité technique au sein de certains groupes socio - économiques

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Effectif
Dagana	74	21	22	100	301
Podor	66	22	12	100	192
Instruits	72	22	14	100	393
Non instruits	77	18	21	97	100
Wolofs	78	19	22	100	206
Autres ethnies	66	23	15	100	287
Grands producteurs	80	18	31	99	59
Producteurs moyens	72	23	13	100	130
Petits producteurs	71	22	21	100	304

IV) Interprétation des résultats et discussions

IV.1) La fonction de production

L'estimation de la production potentielle grâce à une fonction transcendante logarithmique a permis de déceler une relation significative lorsque les variables sont croisées entre elles. Ceci est confirmé par le rejet de l'hypothèse nulle (le coefficient est égal à zéro) des paramètres β_m (avec $m = 6, \dots, 15$) sauf β_8 . Ce qui veut dire que la restriction en une fonction de production de type Cobb – Douglas demeure insuffisante dans ce cas de figure. En ce qui concerne les variables explicatives prises individuellement, seul le coefficient relatif à la quantité de semence utilisée s'est révélé non significatif. En guise d'interprétation de ces résultats, concernant la superficie, une augmentation supplémentaire d'un are de la taille de la parcelle

induit une hausse de la production de 1,563 kg. Le même raisonnement est applicable pour les autres élasticités vis-à-vis de la production. Le coefficient lié aux semences s'est montré positif mais non significatif. Il est impensable voire impossible qu'une production de riz se fasse sans cet élément. La fonction transcendante logarithmique a permis de pallier ce manquement en mettant en exergue d'autres relations significatives qui impliquent cette variable. Même si cette dernière, de manière individuelle, n'a pas été significative, elle l'est devenue lorsqu'elle a été combinée à d'autres. La relation quantité de semence – main d'œuvre (respectivement quantité de semence – autres couts) est significative et négative (respectivement positive). Le croisement entre les variables renseigne sur la nature de l'effet de la combinaison de ces variables dans la production (Donkoh et al, 2013). Lorsque le signe du coefficient associé aux variables en question est positif, cela veut dire 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 couts sont complémentaires. L'effet de la superficie et celui des autres couts sont substituables, etc.

IV.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 ont enregistré des coefficients significatifs. En ce qui concerne le nombre d'années de pratique de riziculture dans la parcelle, son assimilation à l'expérience est donc fautive. Ainsi le modèle retenu permet d'apporter des explications concernant l'écart de 30 % qui prévaut entre la production observée et la production potentielle.

La variable localité a enregistré une élasticité négative. Ceci confirme l'hypothèse annoncée. L'explication est facile à trouver parce que le département de Dagana se trouve dans le Delta qui est la localité de la vallée la plus proche des structures de recherches et de développement (ISRA, AFRICARICE, SAED, ANCAR, 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 milieu où la culture du riz est la plus développée du fait des multitudes actions de l'Etat depuis les indépendances (Lericollais et Dia, 1995).

Les résultats ont montré que le genre du chef de ménage accroît l'inefficacité de celui-ci. En d'autres termes, être une femme contribue à la diminution de l'inefficacité. Ce qui va à l'encontre de ce qui était attendu. 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 au niveau des 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.

Le niveau d'instruction, tel attendu, a enregistré un coefficient de signe négatif. Il est vrai que la plupart des campagnes de formation et de sensibilisation qu'effectuent les organismes de recherches et de développement se font en langue locale, cependant l'instruction éveille les facultés mentales de l'individu à assimiler de manière rapide les nouvelles connaissances acquises. Elle permet à l'individu d'avoir un esprit d'ouverture et de discernement. Ce qui joue en faveur de l'adoption des nouvelles technologies. L'instruction permet au riziculteur de choisir les quantités d'intrants convenables et de faire un bon choix compte tenu des techniques culturelles disponibles (Bamlaku et al.).

L'ethnie aussi participe à la réduction de l'inefficacité de l'agent. Les wolofs sont dominants au sein de l'échantillon. Ils sont localisés en majorité dans le département de Dagana. Les attributs conférés à ces individus par rapport aux peuls et aux toucouleurs (habitant en majorité à Podor) sont que les premiers sont beaucoup plus ouverts et réceptifs que les derniers qui sont réservés et conservateurs. Ils bénéficient d'un double avantage en l'occurrence la proximité vis-à-vis des organismes agricoles et ruraux et de ces aptitudes comportementales précitées. Aussi, les wolofs capitalisent une expérience de plus d'une cinquantaine d'années de pratique de riziculture du fait qu'ils ont été les premiers à bénéficier des aménagements publics après les indépendances. Ils ont colonisé les terres du Delta sous l'appui de l'Etat dont l'objectif était de promouvoir la riziculture en ces temps.

L'effet de la taille du ménage a été anticipé négatif alors qu'il est positif en réalité. Il est important de signaler que l'effet de la taille du ménage 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) est souvent constituée de femmes et d'enfants qui ne sont pas souvent expérimentés ou qui n'ont pas atteint un niveau d'instruction élevé.

La distance entre la maison et la parcelle joue en faveur de la réduction du niveau d'inefficacité du producteur. Pourtant les attentes étaient qu'elle soit un facteur impactant

positivement l'inefficacité. L'explication qui peut être apportée dans ce sens est que les producteurs qui habitent loin de leurs champs y passent la journée alors que ceux qui sont proche de leur habitation ont la latitude d'aller et de revenir. Ceux qui sont éloignés consacrent plus de temps aux activités culturelles et sont moins dérangés par d'autres problèmes familiaux.

Le nombre de parcelles détenues par le riziculteur a enregistré effectivement le signe espéré. Plus le chef de ménage dispose de parcelles à entretenir, plus il fournit d'efforts et d'argent, moins il devient efficace.

L'étude comparative reportée au niveau du tableau 9 vient confirmer les résultats obtenus antérieurement et les interprétations faites précédemment. En effet en moyenne, les producteurs de Dagana et les wolofs sont respectivement plus efficaces que les producteurs de Podor et les autres ethnies. Cependant, un résultat contraire a été enregistré entre les instruits et les non instruits. En tenant compte de la typologie effectuée, les grands producteurs enregistrent une efficacité moyenne largement supérieure à celle des autres classes. La possession de moyens de production conséquents semble influencer positivement sur le niveau d'efficacité technique des riziculteurs de la zone.

V) Conclusions et recommandations

Ce travail s'est attelé à estimer les scores d'efficacité technique de certains riziculteurs de la vallée du fleuve Sénégal localisés dans les départements de Dagana et de Podor et à analyser les déterminants de cette efficacité. Un score moyen supérieur à ceux constatés dans Fall (2008) et Diagne et al (2013) a été obtenu (70 % contre 63 % et 55 à 60 %). En outre, une explication supplémentaire des raisons de l'inefficacité technique a été apportée par l'introduction dans le modèle des variables localité (zone, chez Fall et Diagne et al. et non significative), genre, niveau d'instruction, ethnie (non significative chez Fall), taille du ménage, distance entre la maison et la parcelle, nombre de parcelles détenues par le producteurs qui se sont révélées statistiquement significatives.

Comment faire pour améliorer le niveau d'efficacité technique des producteurs de la zone ? Les déterminants apportent des éléments de réponse à cette interrogation. Les solutions proposées sont les suivantes :

L'augmentation des campagnes de sensibilisation et de formation : en effet il a été découvert que le niveau d'instruction contribue à l'amélioration du niveau d'efficacité. Ce qui fait qu'il est souhaitable à la limite d'accroître les séances de formation et de sensibilisation pour les producteurs afin qu'il puisse savoir l'utilité de l'itinéraire technique et répondre aux exigences du calendrier cultural. Du fait de l'âge moyen avancé dans l'échantillon, il semble absurde 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 beaucoup de temps.

La quête de la bonne information par les producteurs : l'étude a montré que toute la déviation de la production réelle par rapport à la production frontière était quasiment imputable à leur inefficacité. Dès lors ils ne doivent plus se contenter d'attendre d'autant plus que la majeure partie de la production sert soit à rembourser des dettes, soit à nourrir la famille. En plus l'hypothèse que les producteurs wolofs étaient 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 le producteur doit abandonner un certain comportement attentiste et rechercher les moyens qui lui permettent d'augmenter sa production.

La rationalisation du nombre de parcelles à cultiver : même si plusieurs parcelles permettent d'avoir une production plus importante, elles jouent en défaveur de l'efficacité. Par contre augmenter la taille de la parcelle serait plus intéressant car il a été découvert que la superficie est corrélée positivement à la production.

La dotation de moyens supplémentaires aux organismes de recherches et de développement rural : cette proposition vient compléter la première. Elle est importante car lorsqu'elle se réaliserait, les chercheurs et les formateurs pourraient étendre leurs interventions aux milieux les plus reculés. Ce qui leur permettrait de bien mesurer les contraintes auxquelles les producteurs sont confrontés et d'apporter les solutions idoines.

Références

Amara N. et R. Romain (2000), *Mesures de l'efficacité technique : revue de la littérature*, Centre de Recherche en Economie 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.

Bäckman S, K. M. Z. Islam and J. Sumelius, *Determinants Of Technical Efficiency Of Rice Farms In North - Central And North-Western Regions In Bangladesh*, University of Helsinki, pp 73 – 95.

Barris N. G. P. (2009), *Etude 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.

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. and T. J. Coelli (1995), *A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data*, *Empirical Economics*, vol. 20, pp 325 – 332.

Debreu G. (1951), *The Coefficient of Resource Utilization*, *Econometrica*, Vol. 19, No. 3, July, pp. 273-292.

Diagne M, M. Demont, P. A. Seck and A. Diaw (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, No. 1, pp 55 – 70.

Donkoh S. A, S. Ayambila and S. Abdulai (2013), *Technical Efficiency of Rice Production at the Tono Irrigation Scheme in Northern Ghana*, *American Journal of Experimental Agriculture*, Vol. 3, No. 1, pp 25 – 42.

Fall A. A. (2008), *Impact du crédit sur le revenu des riziculteurs de la Vallée du Fleuve Sénégal*, PhD thesis, pp 1 – 357.

Farrel M. J. (1957), *The measurement of productive efficiency*, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 120, No. 3, pp. 253 - 290.

Fontan C. (2008), *Production et efficience technique des riziculteurs de Guinée : Une estimation paramétrique stochastique*, *Economie rurale*, Numéro 308, Novembre – Décembre, *Varia*, pp 19 – 35.

Hang C. J. and J. T. Liu (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, S A Adil, A Ali and M. A. Raza (2010), *Measurement Of Technical Efficiency Of Rice - Wheat System In Punjab, Pakistan Using Dea Technique*, *Journal of Agricultural Research*, Vol. 48, No. 2, pp 227 – 238.

Kaboré D. P. (2007), *Efficiencia técnica de la producción rizícola sur los perímetros aménajados del Burkina Faso*, sèrie 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*, in Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal, ORSTOM éditions.

Keane, J., Page, S., Kergna, A., and 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 No.2, pp 1 – 49.

Kodde D. A. and F. C. Palm (1986), *Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions*, *Econometrica*, Volume 54, Issue 5, September, pp 1243 – 1248.

Koopmans T. C. (1951), *Analysis of production as an efficient combination of activities*, chapter 3, pp 1 – 65.

Nuama E. (2006), *Mesure de l'efficacité technique des agricultrices de cultures vivrières en Côte-d'Ivoire*, *Économie rurale*, No. 296, Novembre-décembre, pp 1 – 16.

Programme d'appui aux Initiatives du NORD (2007), *Charte de Qualité du Riz de la vallée du Fleuve Sénégal*, mars, pp 1 – 67.

Programme National d'Autosuffisance en Riz (PNAR) (2009), *Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture*, Ministère de l'Agriculture du Sénégal, Février, pp 1 – 33.

Wang H. J. and P. Schmidt (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.