

Effects of Irrigation Modes on Technical Efficiency of Rice Farmers in Mali

Diakalidia Kouyate¹, Kimseyinga Savadogo² & Franck Cachia³

Abstract

This study utilized a Stochastic Frontier Analysis to determine the effect of irrigation modes on Technical Efficiency of rice farmers in Mali. The survey data have been collected from 552 farmers in three rice mainly production regions during the campaign 2014-2015. The translog model is used to fit data using frontier 4.1 and Stata 14 software. The results indicate that coefficient of irrigation by immersion is significant and positive which imply it influences negatively the Technical Efficiency. Meanwhile the coefficient of irrigation with total water mastery by gravity which is significant and negative influences positively the Technical Efficiency. Variables such as ownership to Segou's region, chemical fertilizer also influence positively technical efficiency, but the use of organic fertilizer have a negative influence on technical efficiency which might be explained by the insufficient quantity and bad use of it. The average Technical Efficiency of 0.67 which suggesting potential production gains with available resources and existing technologies.

Keywords : Stochastic Frontier, Technical Efficiency, irrigation modes, Rice, Mali

1. Introduction :

En Afrique subsaharienne, la faible croissance de la production agricole coexiste avec une croissance démographique exponentielle. De ce constat, on assiste à une demande alimentaire de plus en plus croissante (Banque Mondiale, 2007). Pour assurer la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté, l'agriculture ouest africaine devra croître jusqu'à un taux minimum de 4 % par an, soit plus de deux fois le taux atteint les décennies précédentes (Banque Mondiale, 2007). La pression démographique a entraîné la rupture avec les systèmes traditionnels de jachère, les éléments nutritifs du sol subissent une réduction à un taux alarmant, ce qui conduit inévitablement à une dégradation de l'environnement et de la sécurité alimentaire (Smaling et al., 2002). Cette situation constitue alors un défi majeur pour la croissance de la production agricole. Afin de trouver une solution à ces problèmes, toutes les actions devraient être orientées vers l'augmentation de la productivité des facteurs de production.

Pour faire face à la croissance démographique, l'agriculture africaine doit relever un grand défi dans les prochaines années : elle doit tripler son rendement et quintupler la productivité du travail (FAO⁴, 1995). Cela implique des changements radicaux dans les systèmes agraires et les modes d'exploitation du milieu.

Les pays peuvent entreprendre une intensification de la production par l'irrigation pour répondre à ces fortes demandes alimentaires afin d'assurer la sécurité alimentaire sans pour autant étendre les superficies (Lutz et al., 2000). L'expansion du grand hydraulique est actuellement coûteux, étant donné que la rentabilité économique de ces aménagements n'est pas assurée (Labey, 2000).

Dans de nombreux pays du monde, dont le Mali, l'agriculture irriguée est pratiquée pour améliorer le rendement. La dotation du Mali en ressources naturelles, principalement sa disponibilité en eau, confère au Mali un avantage comparatif relatif dans la production de riz, comparé aux concurrents régionaux et internationaux. Le Mali est de loin le pays de la sous-région qui a le plus de ressources sol/eau pour l'irrigation (Moris, 1987).

¹ Économiste-Agricole, Bamako-Mali, kouyate.88@gmail.com

² Professeur, Université Ouaga 2, Ouagadougou, Burkina Faso

³ Expert en Statistiques Agricoles et Environnementales à l'Observatoire économique et statistique d'Afrique subsaharienne (AFRISTAT)

⁴ Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

Avec près de 2,200,000 ha de terres cultivables dont plus de 1,800,000 ha dans la seule vallée du fleuve Niger (PNUD⁵, 1982), le Mali peut être considéré comme le grenier potentiel capable de fournir la quantité de céréales nécessaire à toute l'Afrique de l'Ouest.

Au Mali, le riz contribue pour environ à 5% du PIB (CSCR⁶, 2012). Compte-tenu de la forte augmentation de la population évaluée à 14 500 000 habitants (RGPH⁷, 2009), le Mali n'est pas encore un exportateur net de riz. Les superficies cultivées en riz ont varié de 196 631 ha en 1990 à 420 751 ha en 2015. Ces dernières années, les gouvernements successifs ont fait du développement des aménagements hydro agricoles leur priorité. Ainsi, le riz est un atout important pour l'économie malienne et une filière locomotive pour l'agriculture avec une augmentation remarquable de la production du riz à partir de 2008/2009. Cette tendance à la hausse s'est maintenue jusqu'en 2014/2015 avec une production de près de 2166 830 tonnes de riz paddy (CPS/SDR⁸, EACI⁹, 2014/2015).

Le riz est la principale céréale importée au Mali. La moyenne annuelle des importations de riz au Mali sur la période 2014 s'élève à 231 785 tonnes. L'essentiel du riz importé provient de l'Asie (76% du total). La Birmanie, l'Inde la Thaïlande et le Pakistan sont les principales sources d'importation du riz au Mali avec 25%, 15%, 14% et 13% respectivement. Les données indiquent qu'en moyenne, le Mali dépense par an plus de 85 milliards FCFA¹⁰ dans l'importation de riz (DNCC¹¹, 2014). Grâce à l'adoption des itinéraires techniques de production intensive (maîtrise du plan d'eau, repiquage, variétés à paille courte, engrais etc.), des Systèmes de Riziculture Intensive (SRI) et à l'application de prix incitatifs à l'achat au niveau des producteurs, la production du riz est en plein essor dans le pays. Cependant, l'augmentation de la production n'a pas rempli, et de loin, l'objectif politique de faire du pays un exportateur net de riz. Lançon (2009) indique que le besoin de larges importations est fondamentalement lié à un changement des habitudes alimentaires plus qu'à un déclin dans la production, la consommation croisse à un rythme plus élevé que la production. L'augmentation des consommations de riz s'est faite de manière spectaculaire.

Selon USDA¹² (2015), la consommation de riz par tête en ville au Mali est de 95 kg/an. Le riz devient ainsi la première céréale consommée en zone urbaine. A Bamako (la capitale) plus de la moitié de la consommation est assurée par les importations. Il a été noté aussi que de manière générale, les populations rurales se nourrissent de plus en plus de riz importé (30% des consommations en 2007 contre moins de 10% dans les années 1990).

Face à ce changement des habitudes alimentaires et à la crise alimentaire induite par la flambée des prix internationaux en 2008, le Mali à l'instar de certains États de la sous-région a réagi énergiquement à cette crise en adoptant des mesures de court, moyen et long terme de relance de la production agricole. C'est ainsi que le gouvernement dans son programme de Politique de Développement Agricole (PDA¹³) a élaboré la stratégie de réhabilitation et de développement des aménagements hydro agricoles dans les sous-secteurs agricoles reposant sur les principes directeurs suivants : i) mise en place d'un programme de recherche et expérimentation en irrigation, ii) redéfinition du rôle des intervenants, iii) appropriation du processus d'identification, de mise en place et de gestion des investissements par les bénéficiaires, iv) priorité à la maîtrise totale de l'eau, v) gestion optimale et durable des aménagements, vi) intensification et diversification de la culture irriguée, vii) développement des aménagements de proximité, viii) promotion de l'irrigation privée, ix) formation des gestionnaires et des exploitants des aménagements.

C'est ainsi que les aménagements hydro agricoles sont considérés aujourd'hui comme l'un des moyens efficaces de valorisation des potentialités agricoles locales. Cela contribue à la mobilisation des ressources et favorise le développement local. La Politique de Développement Agricole (PDA) a accordé la primauté en matière d'investissements aux aménagements hydro agricoles avec maîtrise de l'eau. Les stratégies dans ce domaine portent prioritairement sur le développement des exploitations familiales (EF) et la promotion de l'entrepreneuriat Agricole, notamment dans les zones de grande irrigation.

⁵ Programme des Nations Unies pour le Développement

⁶ Cadre Stratégique pour la Croissance et la Réduction de la Pauvreté

⁷ Recensement Générale de la Population et de l'Habitat

⁸ Cellule de Planification et de Statistique/Secteur du Développement Rural

⁹ Enquête Agricole de Conjoncture Intégré aux conditions de vie des ménages

¹⁰ Franc de la Communauté Financière Africaine

¹¹ Direction Nationale du Commerce et de la Concurrence

¹² United States Department of Agriculture

¹³ Politique de Développement Agricole

La promotion des aménagements de proximité (submersion contrôlée, bas-fonds, petits périmètres irrigués, périmètres maraîchers, etc.), facteur de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté au niveau local, constitue une composante majeure de la stratégie de développement de l'irrigation.

L'adoption du riz irrigué constitue une grande opportunité économique pour les paysans et cela contribue à assurer leur subsistance alimentaire et permettre à l'État de réduire les coûts d'importation de nombreuses denrées alimentaires dont le riz. Sans techniques de mécanisation poussées, l'irrigation permet d'obtenir de rendements élevés, comme en Australie (9,5 tonnes/ha) et (8,7 tonnes/ha) en Égypte (CORAF¹⁴, 2009).

L'exploitation des périmètres irrigués mobilise beaucoup de main d'œuvre (producteurs, artisans, commerçants d'intrants, ouvriers, divers agents de prestation de service, etc.) et contribue ainsi à l'amélioration des conditions de vie de tous ceux qui sont impliqués dans cette exploitation et constitue une source potentielle de revenu pour l'État et les autorités locales (Chakravorty, 2000). La riziculture étant la principale activité exercée sur ces zones propices, il faudra y installer le type d'irrigation le plus adapté tant au niveau technique qu'économique.

Cependant, plusieurs types d'irrigation pour la culture du riz sont utilisés au Mali : (i) la riziculture avec maîtrise totale de l'eau (grands, moyens et petits périmètres irrigués) ; (ii) la riziculture avec maîtrise partielle de l'eau (submersion contrôlée dans les plaines inondables, bas-fonds mares et lacs aménagés) ; (iii) la riziculture en submersion libre (plaines inondables, bas-fonds mares et lacs non aménagés) et (iv) la riziculture pluviale. Le système utilisé dépend des potentialités agronomiques des terres et des moyens financiers disponibles. Le rendement moyen varie de 1,053 T/ha à 4,086 T/ha (CORAF¹⁵, 2009) ; ces rendements moyens sont en dessous du rendement potentiel¹⁶ qui est de 10 à 11T/ha selon l'Institut d'Économie Rurale (IER¹⁷). Selon Bos et Nugteren (1990), l'effet de l'irrigation sur les rendements des cultures, ou le travail nécessaire pour l'irrigation, peuvent différer considérablement d'une région à une autre.

Afin de contribuer à la réflexion sur l'effet des modes d'irrigation sur l'efficacité de la production du riz au Mali d'une part et des autres facteurs déterminants sur l'efficacité de production du riz irrigué d'autre part, la présente recherche se propose d'apporter des éléments de réponse aux questions ci-après : quel est le niveau d'efficacité technique des producteurs du riz au Mali? Les modes d'irrigation ont-ils un effet sur l'efficacité technique des producteurs du riz au Mali ?

Dans le but de répondre à ces questions, l'objectif global de cette étude est d'analyser les effets des modes d'irrigation sur l'efficacité technique de la production du riz au Mali. Cette analyse de l'efficacité sera conduite à travers un modèle de frontière de production stochastique. Pour ce fait, nous nous fixons comme objectifs spécifiques suivants :

- ❖ Déterminer le niveau du score d'efficacité technique des producteurs du riz au Mali ;
- ❖ Analyser les effets des différents modes d'irrigation sur l'efficacité technique des producteurs du riz.

Pour atteindre ces objectifs, nous testerons les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : les riziculteurs utilisant des systèmes d'irrigation sont techniquement inefficaces

Hypothèse 2 : les modes d'irrigation affectent l'efficacité technique des producteurs du riz au Mali.

Le reste du papier s'articule autour de cinq grandes parties. La deuxième présente une revue de la littérature théorique et empirique existante sur le sujet, ainsi que le cadre théorique adopté. La troisième partie, présente le modèle adopté. La quatrième partie porte sur l'estimation du modèle et l'analyse des résultats. Les Résultats et discussions seront présente dans la cinquième partie. Enfin la sixième partie fera l'objet de conclusion et la formulation de certaines recommandations ainsi que certaines limites en vue d'approfondir et d'améliorer cette analyse.

2. Étude empirique sur l'efficacité technique de production

Dans cette partie nous présenterons cadre théorique retenu pour cette analyse ainsi que des études empiriques faisant les liens entre l'irrigation et l'efficacité technique de la production du riz.

➤ Le concept d'efficacité technique dans la théorie économique : mesure et modèles théoriques

¹⁴Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles

¹⁵Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles

¹⁶ Le rendement de riz provenant des parcelles expérimentales sans contraintes physiques, biologiques ou économiques et gérées selon les techniques culturales les plus appropriées aux conditions de la période de culture et de l'écologie de la parcelle

¹⁷ Institut d'Économie Rural

Selon la théorie économique, le concept d'efficacité fait référence à l'optimum de Pareto. Piot (1994) signale que les premières études de l'efficacité, dite technique, des producteurs ont été réalisées par (Koopmans, 1951) et (Debreu, 1951).

Koopmans propose une définition de l'efficacité dans une logique parétienne : s'il est technologiquement impossible d'augmenter un output et/ou réduire un input sans simultanément réduire au moins un autre output et/ou augmenter au moins un autre input, le plan de production choisi par la firme est techniquement efficace ». Cette définition est reprise par tous les auteurs s'intéressant à l'approche de l'efficacité et certains parlent même de l'efficacité Pareto-Koopmans (Thanassoulis, 2001; Ray, 2004).

Depuis que la fonction stochastique de production de frontière a été proposée indépendamment par Aigner, *et al.* (1977) et Meeusen et Van den Broeck (1977), il y a eu des recherches considérables pour étendre et appliquer le modèle. La fonction de production de la frontière stochastique postule l'existence d'inefficacités techniques de production des entreprises lorsqu'elles produisent un output donné (Battese et Coelli, 1995). La plupart des fonctions de production théorique de la frontière stochastique n'ont pas explicitement formulé un modèle pour expliquer ces inefficacités techniques en termes de variables explicatives apprises.

Des auteurs comme Pitt et Lee (1981) et Kalirajan (1981) dans des études empiriques ont adopté une approche en deux étapes, dont la première consiste à la spécification et à l'estimation de la fonction stochastique de production frontière et la prédiction des scores d'inefficacité technique, sous l'hypothèse qu'ils sont identiquement distribués. La seconde étape implique la spécification d'un modèle de régression des scores d'inefficacité technique. Deux approches d'analyse ont permis le perfectionnement de cette mesure : la première approche est dite paramétrique stochastique et la deuxième est dite non paramétrique déterministe. L'approche non paramétrique déterministe utilise la programmation mathématique pour ses estimations. Tandis que l'approche paramétrique stochastique généralement appelée Stochastic Frontier Analysis (SFA) utilise seul la technique économétrique afin d'estimer une fonction de production présumée (Cobb-Douglas, Translog, Constant Elasticity of Substitution, ...). Le modèle paramétrique déterministe et sa version déterministe stochastique (SFA) est présenté de manière succincte ci-dessous

Soit N firmes produisant l'output Y à partir de l'input X , ce processus de production peut être représenté par la relation fonctionnelle suivante : $Y = f(\beta, X) + \eta$ où β est un vecteur de paramètre inconnus à estimer et η représente l'écart entre l'output Y observé et l'output Y^* estimé. Cette approche est dite paramétrique déterministe car tout écart entre la valeur observée et celle estimée est attribué à des inefficacités. Ceci ne fait que certains facteurs aléatoires tels que les aléas climatiques, les pénuries des intrants ou un mauvais rendement des machines, ne sont pas pris en compte alors qu'ils sont susceptibles d'affecter les performances de la firme et par conséquent, sont indice d'efficacité au même titre que les facteurs contrôlables par le processus de production. Ces arguments sont à l'origine du développement de l'approche stochastique ou d'erreur composée, initialement proposée par Aigner, *et al.* (1977), Meeusen et Van den Broeck (1977) et améliorée par Jondrow, *et al.* (1982) pour permettre l'estimation de l'indice d'efficacité technique spécifique à chaque firme (Amara & Romain, 2000). Selon cette approche, le terme d'erreur est composé de deux parties indépendantes, soit une composante purement aléatoire (v) et qui se distribue de chaque côté de la frontière de production (two-sided error term), et une composante représentant l'inefficacité technique (u) . C'est en raison de cette décomposition que l'approche est appelée « Stochastic Frontier Analysis (SFA) ». Le terme d'inefficacité (u) est supposé positif, réparti d'un seul côté de la frontière (il contribue toujours à limiter la production par rapport à l'optimum) et suit une distribution semi-normale ou exponentielle.

➤ Présentation du modèle théorique

Comme présenté dans la revue de littérature, à la suite des travaux de Farrell (1957), différentes méthodes ont été adoptées pour l'estimation de l'efficacité technique. Cette étude adopte l'approche de frontière stochastique comme il est préféré à cause de sa stochasticité inhérente (Aigner, *et al.*, 1977; Meeusen et Van den Broeck, 1977). La SFA mesure la variabilité de la production en fonction de principaux facteurs de production, un terme d'erreur aléatoire non-négatif (u) qui représente une mesure de l'inefficacité technique, une erreur aléatoire symétrique (v) pour tenir compte des effets des chocs exogènes, la mesure des erreurs et tout autre effet (bruit) statistique. La forme structurelle de la frontière de production stochastique est représentée par la relation suivante

$$Y_i = f(X_i; \beta) \exp(\varepsilon_i) = f(X_i; \beta) \exp(v_i - u_i) \quad (1)$$

Avec $i = 1, \dots, N$ et $\varepsilon_i = v_i - u_i$; Y_i est l'output du i -ème producteur

X_i est un vecteur des inputs et d'autres variables explicatives associées avec le i -ème producteur et β est un vecteur de paramètres inconnus. ε_i Est le terme d'erreur qui est composé de deux éléments indépendants v_i et u_i tels que $\varepsilon_i = (v_i - u_i)$. v_i est l'erreur aléatoire, et u_i est le terme d'erreur de l'inefficacité non-négative. On suppose donc une inefficacité inhérente au processus de production, présenté dans la modélisation par le terme $u_i - v_i$; v_i est généralement supposé être indépendamment, identiquement et normalement distribué, avec une moyenne zéro et une variance constante $\sigma_v^2, [v_i \sim N(0, \sigma_v^2)]$. Différentes distributions pour u_i sont proposées dans la littérature (Aigner, Lovell, & Schmidt, 1977 ; Stevenson, 1980 ; Greene, 1980). Cependant dans le modèle proposé par Battese et Coelli (1995), les termes d'erreurs u_i sont supposés être indépendamment distribués par troncation (à 0) de la distribution normale avec une moyenne $Z_i \delta$ et de variance σ_u^2 tel que l'effet de l'inefficacité est défini comme :

$$U_i = \delta_0 + \sum_{j=1}^7 \delta_j Z_{ji} + w_i \quad (2)$$

Avec w_i un terme d'erreur aléatoire avec les propriétés usuelles. Z_i est un vecteur ($P \times 1$) des variables explicatives avec l'effet de l'inefficacité technique qui pourra inclure les facteurs socio-économiques et les caractéristiques de gestion de l'exploitation. Z_i doit être spécifié pour inclure les variables spécifiques à l'exploitation et certaines variables spécifiques à la parcelle, comme les intrants. δ est un vecteur ($P \times 1$) de paramètres inconnus à estimer. Considérant l'hypothèse de la distribution aléatoire des erreurs, la procédure d'estimation est basée sur la méthode du Maximum de vraisemblance en une étape (single-stage¹⁸). Cette méthode sera utilisée pour l'estimation des paramètres du modèle (1), (2) et l'efficacité technique (ET). Ainsi sont obtenus :

$$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2 \text{ Et } \gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2 = \sigma_u^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$$

Avec $0 < \gamma < 1$. Le paramètre γ varie entre zéro et un ; ainsi Battese et Corra (1977) ont défini σ^2 comme étant la somme de la variance du terme représentant l'inefficacité et celle du terme aléatoire et γ comme la part du terme d'inefficacité dans la variance totale. Ainsi, pour $0 < \gamma < 1$, la variabilité de la production reflète à la fois la présence d'inefficacité technique et de chocs aléatoires (erreurs stochastiques).

La mesure de l'efficacité technique du i -ème producteur désignée par ET_i est définie comme le rapport entre la production théorique estimée (Y_i) compte-tenu des niveaux d'inputs utilisés par ce producteur et la frontière de production optimale ou maximale Y_i^* . En d'autres termes c'est le rapport entre la moyenne de production du i -ème producteur compte tenu de la valeur des inputs X_i , et l'effet de son inefficacité technique, u_i correspondant à la moyenne de production s'il n'y avait pas de l'inefficacité de production (Battese et Coelli, 1988). Ainsi l'efficacité technique est exprimée par :

$$ET_i = \frac{E(Y_i | X_i, u_i)}{E(Y_i | X_i, u_i = 0)} = \frac{Y_i}{Y_i^*} = \frac{f(X_i; \beta) \cdot \exp(v_i - u_i)}{f(X_i; \beta) \cdot \exp(v_i)} = \exp(-u_i) \quad (3)$$

Une fois estimés les paramètres du modèle selon la procédure définie plus haut, le terme d'inefficacité technique pour chaque producteur peut être déterminés directement.

On remarque par ailleurs que l'écart relatif entre la production théorique et la production optimale est égal au négatif du terme d'inefficacité technique. En effet, en prenant le logarithme de ET, on voit que $\log(ET) = \log \frac{Y}{Y^*} = -u$.

➤ Modes d'irrigation et efficacité technique de la production du riz : résultats empiriques

Hossain et Rahman (2012) ont estimé l'efficacité technique des producteurs de riz dans le district de Naogaon au Bangladesh en utilisant l'approche de la frontière stochastique. L'étude a révélé que l'efficacité technique moyenne de l'agriculture de riz est de 79,58% dans la zone d'étude. L'étude a observé que l'utilisation appropriée du travail, des semences, des engrais, des insecticides et de l'irrigation peut augmenter le niveau d'efficacité technique de la production de riz dans la zone d'étude.

¹⁸ Procédure d'estimation en une (single-stage) (Kumbhakar, et al., 1991; Reifschneider et Stevenson, 1991) qui autorise l'estimation simultanée des paramètres dans les modèles de l'inefficacité et stochastique

Shantha et al. (2013) ont étudié l'efficacité technique de l'agriculture de riz dans un vaste programme d'irrigation au Sri Lanka. Au total, 357 producteurs de Paddy sous le réservoir Nagadeepa ont été choisis au hasard pour recueillir des informations pertinentes. Appliquant la fonction de production de frontière stochastique translog, l'étude a constaté que l'efficacité technique moyenne des agriculteurs sélectionnés est de 72.80%.

(Nelson, 1979), dans ses travaux identifie trois rôles cruciaux que l'irrigation peut jouer dans l'augmentation de la production de riz. Ces rôles sont entre autres : a) faciliter la contrainte en augmentant l'intensité de la culture du riz supplémentaire pendant l'hiver et la saison sèche, b) compléter avec les engrais et les variétés modernes, elle augmente de manière significative les rendements de riz par rapport à l'agriculture pluviale, c) une meilleure gestion de l'eau enfin de maintenir celle-ci à son niveau adéquate sous les plantes du riz.

Audibert (1997), a mené une étude d'efficience sur la riziculture au Mali. Les résultats montrent que l'âge était non significatif dans le modèle d'inefficience technique, que les activités vivrières traditionnelles et le mauvais état de santé avaient un effet négatif sur l'efficience technique. Cependant l'aménagement moderne des parcelles, la taille du ménage et la bonne cohésion sociale avaient un effet positif sur l'efficience technique.

Kané et Hamadoun (2013), ont étudié les déterminants de l'efficacité technique des riziculteurs maliens. Ils ont utilisé un modèle paramétrique stochastique avec la méthode du maximum de vraisemblance. Leur résultat a donné un score moyen d'efficacité technique de 0,65.

Coulibaly et al. (2017) ont étudié les déterminants de l'efficience technique des riziculteurs de l'Office du Niger au Mali. La fonction de production de frontière Cobb-Douglas appliquée à un échantillon de 130 producteurs a permis de constater un score moyen d'efficience technique de 0,66. Le résultat montre que la variable augmentant le niveau d'inefficience est l'accès au crédit. En revanche, l'expérience, l'équipement, l'appartenance à une organisation paysanne et la location sont identifiées comme déterminants de l'efficience technique des riziculteurs de l'Office du Niger.

Hasnain et al. (2015), ont mesuré l'efficacité technique de la production du riz Boro dans le district du Meherpur au Bangladesh en utilisant l'approche de la frontière stochastique. Avec la spécification translog appliquée sur un échantillon de 115 producteurs, le score moyen d'efficacité technique était de 0,89. Main d'œuvre, engrais, pesticides, semences, et irrigation ont été identifiées comme principaux déterminants de l'efficacité.

Pour Ali (1995), l'offre accrue de l'eau sur les terres partiellement irriguées augmente les rendements des cultures et par conséquent, l'interruption de l'approvisionnement en eau due à la fermeture imprévue des canaux ou des pannes de pompes augmentent l'inefficacité technique des agriculteurs rizicoles au Pendjab (Pakistan).

Selon Abid et Shah (1998) les exploitations avec un mode d'irrigation suffisant en eau par canal se sont avérés avoir une meilleure efficacité technique que ceux qui utilisent exclusivement de l'irrigation par pompage ou pratique irrigation mixte. Ce résultat montre que l'abondance de l'eau du canal d'irrigation a un impact positif sur l'efficacité technique. Cette étude a mesuré que les agriculteurs dépendant exclusivement du mode d'irrigation par canal sont environ 6 fois plus rentables que ceux qui utilisent autre mode d'irrigation.

3. Méthodes d'estimation

A travers la revue de littérature deux fonctions de production peuvent être admises dans le cadre de notre recherche. La fonction de production Cobb-Douglas et la fonction de production transcendantale logarithmique (Translog). La première impose une certaine rigidité dans la forme fonctionnelle (dans la combinaison des facteurs de production) et repose sur certaines hypothèses restrictives, comme des élasticités de substitution unitaires ou des rendements d'échelle constants. Par ailleurs, les fonctions de production de type Cobb-Douglas aboutissent à des élasticités indépendantes des quantités de facteurs utilisées. La fonction Translog en revanche permet de décrire une gamme plus importante de technologies de production. Elle permet également, à la différence de la fonction Cobb-Douglas, d'estimer les élasticités de substitution entre facteurs. Enfin, les élasticités dépendront du niveau de l'utilisation des facteurs. Aux vues des différentes littératures, les modèles empiriques pour la présente étude sont spécifiés ainsi :

➤ Spécification de la fonction Cobb-Douglas

Le modèle Cobb-Douglas résulte de l'exclusion des termes quadratiques et d'interaction entre inputs X.

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln(X_{ij}) + \varepsilon_i \quad (4)$$

➤ Spécification de la fonction Translog

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln(X_{ij}) + 0.5 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \beta_{ij} \ln(X_{ij}) \ln(X_{ik}) + (v_i - u_i) \quad (5)$$

Où $i=1, \dots, N$ avec $[v_i \sim N(0, \sigma_v^2)]$, i : est le producteur du riz ; Y_i : le rendement du riz en kg ; X_{ij} : est la quantité j utilisée par le producteur i ; les β sont les paramètres inconnus et $(v_i - u_i)$ représente les termes d'erreur composé.

Dans la présente étude, les inputs utilisés dans la régression comprennent le rendement Y du riz (kg), la quantité de semence utilisée (kg), le coût total d'engrais utilisée (FCFA), et la main d'œuvre exprimée en hommes/jours.

❖ Spécification du modèle de l'inefficacité technique :

$$U_i = \delta_0 + \sum_{j=1}^7 \delta_j Z_{ji} + w_i \quad (6)$$

Où w_i sont les bruits stochastiques ; Z_{ji} désigne les variables exogènes qui sont les facteurs affectant le score d'efficacité ; δ_0 et δ_k sont les coefficients estimés ; si δ_k est négatif indique une relation positive entre les facteurs affectant et le score d'efficacité, à l'inverse, s'il est positif montre une relation négative entre le score d'efficacité et les facteurs affectant.

Dans la présente étude, les différents modes d'irrigation identifiés qui sont utilisés avec le mode d'irrigation par pompage comme variable de référence ; le types d'engrais utilisés avec la non utilisation d'engrais comme variable de référence ; les variables sociodémographiques suivantes sont aussi utilisées: l'âge de l'exploitant (année), son genre (une variable binaire prenant la valeur 1 pour l'homme), le niveau d'instruction avec la variable non instruite comme variable de référence , l'appartenance à une région avec la région de Mopti comme variable de référence.

4. Estimation et discussion

Cette partie présente la procédure d'estimation du modèle de frontière stochastique. Quelques tests de spécification de la forme fonctionnelle sont réalisés, de même que des tests sur les déterminants de l'inefficacité. Ces tests sont faits sous différentes hypothèses nous permettant de faire le choix d'une forme fonctionnelle représentant la technologie de production ainsi que des tests de la spécification du modèle explicatif de l'inefficacité. Ils porteront sur les hypothèses suivantes :

H_0 : $\beta_{11} = \beta_{22} = \beta_{33} = \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{23} = 0 \rightarrow$ Spécification Cobb-Douglas

H_1 : $\exists_{ij} / \beta_{ij} \neq 0 \rightarrow$ Spécification Translog

H_{02} : $\gamma = \delta_0 = \delta_1^1 = \dots = \delta_1^3 = \delta_2 = \delta_3^1 = \dots = \delta_3^3 = \delta_4 = \delta_5 = \delta_6 = \delta_7 = 0 \rightarrow$ Absence d'effets d'inefficacité dans le modèle a tous les niveaux

H_{03} : $\gamma = 0$ (7) \rightarrow Les d'effets d'inefficacité sont non-stochastique

Ces tests sont opérés en utilisant le test unilatéral basé sur la statistique LR du ratio de vraisemblance :

$$LR = -2[\ln\{L(H_R)\} - \ln\{L(H_U)\}] \quad (8)$$

La procédure de test est basée sur l'analyse du ratio entre le logarithme de la vraisemblance des données sous le modèle restreint par la condition H_0 (H_R – pour *restricted*) et le logarithme de la vraisemblance pour le modèle non-restreint (H_U – pour *unrestricted*). L'estimation des paramètres deux modèles (Cobb-Douglas et Translog) par maximum de vraisemblance nous permet de calculer cette statistique de test (LR) et de décider de la forme fonctionnelle à choisir. Cette statistique de test suit une loi de Chi-deux.

Le tableau 1 présente les résultats des tests d'hypothèse.

Tableau 1 : Résultats des tests d'hypothèse

Hypotheses	λ^*	Decision
Cobb-Douglas vs. Translog	49,98***	H_0 rejeté à 1%
Absence d'inefficience	216,46***	H_{02} rejeté à 1%
Inefficience non-stochastique	5,89***	H_{03} rejeté à 1%

Source : construction de l'auteur à partir de la base de données.

La valeur de la statistique LR obtenue est 49,970, supérieure à la valeur lue sur la table de Chi-Square au seuil de 1% à 6 degrés de liberté (16,81). Ainsi, l'hypothèse nulle est rejetée en faveur de l'hypothèse alternative,

impliquant que la spécification Translog est mieux adaptée pour représenter la technologie de production des exploitations de l'échantillon.

En conséquence, nous adoptons la forme fonctionnelle Translog pour la spécification de la frontière stochastique et en déduire les scores d'efficacité technique des producteurs du riz.

Quant aux tests de spécification du modèle d'inefficacité technique et de la validation des hypothèses sur les erreurs, les hypothèses nulles indiquant respectivement l'absence d'inefficacité dans le modèle, la non-stochasticité de l'inefficacité sont toutes rejetées au seuil de 1%. Ceci explique que, l'inefficacité technique présente dans les données est stochastique, la valeur de gamma ($\gamma=0.56$) étant significativement différente de zéro au seuil de 1% et correspond à la part de la variance de l'inefficacité expliquée par l'inefficacité technique de l'exploitation. Dès lors la méthode des moindres carrés ordinaires n'est plus adéquate pour estimer la frontière stochastique. De ce fait la méthode du maximum de vraisemblance sera adoptée pour la présente étude.

A partir de ces résultats, le modèle d'inefficacité est spécifié en mettant en relation linéaire l'inefficacité due à l'exploitation avec ses caractéristiques sociodémographiques.

5. Résultats et discussions

Le tableau 2 présente les résultats de l'estimation de la frontière de production stochastique avec inefficacité technique avec la spécification Translog par la méthode du Maximum de Vraisemblance. L'interprétation des paramètres porte sur les coefficients du rendement moyen du riz dans la zone d'étude par rapport à la quantité moyenne de semence, du coût moyen d'engrais et du nombre moyen de la main d'œuvre (travail).

Les résultats montrent que les coefficients sont significatifs au seuil de 1%, à part le coefficient de la main d'œuvre (travail) qui n'est significatif qu'au seuil de 10%. Le coefficient du rendement moyen du riz par rapport au coût des engrais est le plus élevé (0,16) : une augmentation de 1% des dépenses (achat d'engrais chimique) entraîne un accroissement du rendement moyen de 0,16% pour les producteurs de riz dans les régions d'étude. La valeur de $\gamma = 0,56$, représente la part de la variance de l'inefficacité technique dans la variance totale. Ce qui implique que la part du terme d'inefficacité dans la variance totale est 56 % et le reste 44% est dû aux facteurs aléatoires. Ainsi, la variabilité de la production reflète à la fois la présence d'inefficacité technique et de chocs aléatoires (erreurs stochastiques).

Tableau 2 : Résultats de l'estimation par la méthode du Maximum de Vraisemblance Variable dépendante : rendement

Variabiles	Coefficients	Erreurs-types
Modèle stochastique		
Constante	0,3407***	0,0503
Ln (qté semence)	-0,0869***	0,0301
Ln (coût engrais)	0,1579***	0,0244
Ln (travail)	-0,0310*	0,0214
Ln (qté semence) carré	0,0978	0,0365
Ln (coût engrais) carré	0,0216***	0,0037
Ln (travail) carré	0,0110	0,0211
Ln (qté semence-coût engrais)	-0,0116**	0,0058
Ln (qté semence-travail)	-0,0111	0,0238
Ln (coût engrais-travail)	-0,0131**	0,0059
Modèle d'inefficacité technique		
Constante	-0,0907	0,2150
MI_MTE_gravit (1=irrigat. par gravitation, 0=sinon)	-0,7042***	0,0864
MI_Sub_contr (1=irrigat. parsub. contrôlée, 0=sinon)	0,6425***	0,0647
Type_smce (1= semence améliorée, 0=sinon)	0,1093***	0,0367
Engrais_org (1=engrais organique, 0=sinon)	0,2213**	0,1218
Engrais_chim (1=engrais chimique, 0=sinon)	-0,1426***	0,0216
Âge du chef d'exploitation	0,0004	0,0011
Niv_Inst1 (1=niveau 1, 0=sinon)	0,0227	0,0422
Niv_Inst2 (1=niveau 2, 0=sinon)	-0,0018	0,0816
Ségou (1=Ségou, 0=sinon)	-0,2469***	0,0840
Tombouctou (1=Tombouctou, 0=sinon)	-0,0467	0,0506
Statistique de diagnostic		
Sigma-carré (σ^2)	0,0876***	0,0059
Gamma (γ)	0,5613***	0,0968
Logarithme de la fonction de vraisemblance	-117,08***	

Source : construction de l'auteur à partir de la base de données

* significatif à 10 % ; ** significatif à 5 % ; *** significatif à 1 %

Les coefficients du mode d'irrigation avec maîtrise de l'eau par gravitation par rapport à la variable de référence qui est l'irrigation avec maîtrise totale de l'eau par pompage, du type d'engrais chimique par rapport au non-utilisation de l'engrais qui est sa variable de référence et de l'appartenance dans la région de Ségou par rapport

à la région de Mopti (variable de référence) sont négatifs et significatifs au seuil de 1%. Cela indique que ces variables contribuent à réduire l'inefficacité des producteurs du riz et par conséquent améliorent leur efficacité technique.

En revanche, les coefficients des variables de l'irrigation par submersion contrôlée par rapport à la variable de référence qui est l'irrigation avec maîtrise totale de l'eau par pompage, du type de semence et de l'utilisation du type d'engrais organique par rapport au non-utilisation d'engrais (variable de référence) sont significatifs et positifs.

Parmi les modes d'irrigation, l'irrigation avec maîtrise de l'eau par gravitation est source d'efficacité comparé à la variable de référence qui est l'irrigation avec maîtrise totale de l'eau par pompage tandis que le coefficient de l'irrigation par submersion contrôlée est positif et fortement significatif, ce qui indique que ce mode contribue à augmenter de manière significative l'inefficacité technique par rapport à la variable de référence qui est l'irrigation avec maîtrise totale de l'eau par pompage. L'effet positif du mode d'irrigation avec maîtrise de l'eau par gravitation pourrait être dû au fait que les producteurs qui opèrent sous ce mode sont soumis à la gestion de l'eau par des offices qui utilisent des installations modernes donc performantes et les producteurs doivent non seulement satisfaire leurs propres besoins mais aussi verser la redevance de l'eau utilisée pour irriguer leur parcelle.

A cela il faut ajouter l'existence d'un système de rotation entre les canaux des champs à travers des blocs tertiaires. Ducoup, le niveau d'eau reste faible dans ces canaux tertiaires. À la suite de programmes d'augmentation de la zone cultivée le problème de drainage au moment de la récolte pourrait ainsi justifier l'inefficacité des producteurs sous le mode d'irrigation par submersion contrôlée contrairement au mode d'irrigation par gravitation utilisant des canaux tertiaires. De ces faits nous pouvons dire qu'il existe une corrélation entre les modes d'irrigation et les différentes zones d'implantation. Ces résultats corroborent notre hypothèse qui postule qu'il pourrait avoir l'existence d'une corrélation entre les rendements obtenus et les types d'irrigation mis en place dans les différentes zones du pays. L'estimation de la fonction de production stochastique a permis de calculer des scores d'efficacité techniques. La technique du maximum de vraisemblance a permis d'estimer les coefficients de la frontière stochastique et d'en déduire les paramètres du modèle d'inefficacité technique.

L'efficacité moyenne des producteurs est de 0,67. Autrement dit les exploitations atteignent en moyenne 67% de leur potentiel de production étant donné la technologie et le niveau des inputs actuels. Il est donc possible d'augmenter le niveau d'efficacité des exploitations de 33% en encourageant le mode l'irrigation avec maîtrise de l'eau par gravitation d'une part et s'impliquer dans la gestion et la valorisation du mode d'irrigation par submersion contrôlée en le formalisant.

6. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'analyser les effets des modes d'irrigation sur l'efficacité des producteurs de riz au Mali. Elle a été conduite en utilisant des données secondaires de l'enquête agricole de la CPS/SDR réalisée pendant la campagne 2014-2015. La méthode descriptive et la méthode par la frontière stochastique ont été utilisées pour l'analyse. L'analyse descriptive montre que la production du riz diffère selon les modes d'irrigation des parcelles/exploitations. L'effet du mode d'irrigation par gravitation est plus élevé par rapport aux autres modes. L'effet est moins élevé si la parcelle/ exploitation est irriguée par mode d'irrigation par submersion contrôlée. L'analyse par la frontière stochastique montre qu'aucun producteur n'est efficace au sens absolu du terme mais ils présentent un niveau d'efficacité moyen de 0,67. Il est cependant, possible d'augmenter le niveau d'efficacité des producteurs de 33% étant donné la technologie et le niveau actuel des inputs. Les résultats révèlent également que le manque de parfaite efficacité technique des producteurs de riz dans les régions d'étude pourrait être attribué à certains modes d'irrigation. Le mode d'irrigation avec maîtrise totale de l'eau par gravitation, le type d'engrais chimique et de l'appartenance dans la région de Ségou par rapport à la région de Mopti affecte positivement le niveau d'efficacité technique des producteurs de riz. Cependant le mode d'irrigation par submersion contrôlée, le type de semence et le type d'engrais organique sont sources d'inefficacité. Par ailleurs les autres modes n'affectent pas significativement l'efficacité.

Il en résulte donc, la possibilité d'améliorer la performance des producteurs du riz de 33% par des politiques qui vont au-delà de la simple participation des populations cibles et couvrant, aussi, les aspects de durabilité, d'appropriation, d'investissement ainsi que de gestion des infrastructures. Des politiques qui intègrent la notion de réponse aux préoccupations réelles des populations cibles, c'est-à-dire que les aménagements hydro-agricoles (AHA) doivent être une réponse à un besoin exprimé par les populations.

À cet effet, les populations cibles participent à toutes les étapes de réalisation, depuis l'identification jusqu'à la mise en place des infrastructures et en assurent leurs exploitations et leurs entretiens de façon autonome et durable. Et aussi par des politiques de formalisation du mode d'irrigation par submersion contrôlée. Les

stratégies minimales de gestion annulent des possibles avantages de différents types de l'infrastructure comme performance de l'irrigation. La somme des élasticités partielles (0,38) est inférieure à l'unité, impliquant que la technologie de production est une fonction à rendement d'échelle décroissant. Présence d'une fonction à rendement d'échelle décroissant, une augmentation du volume des facteurs engendrerait des gains en production moins que proportionnels. En de telle circonstance, la théorie économique recommande que la production soit assurée par les exploitations de petite taille.

Quelle que soit le mode d'irrigation utilisée, le but est d'avoir une récolte de qualité supérieure et une productivité élevée. Pour cela la bonne conception du réseau, sa bonne exécution et la pratique judicieuse des irrigations sont de première importance. Les travaux d'entretien qui ont pour objet de garder l'infrastructure du réseau et les ouvrages en bon état de fonctionnement sont souvent négligés. Ce fait a toujours amené la baisse du rendement (efficacité) de distribution d'eau et a conduit à la réduction du profit qu'on peut tirer des techniques d'irrigation. Les canaux, les ouvrages et les réseaux de distribution doivent faire l'objet d'un contrôle régulier. La réparation des ouvrages endommagés et le remplacement des équipements défectueux doivent être les premiers résultats de ce contrôle régulier.

Par ailleurs, il est important de noter que la présente étude ne permet pas d'analyser l'évolution temporaire des niveaux de l'efficacité des producteurs du riz dans la zone d'étude. Des études futures pourraient ainsi utiliser des données de panel pour analyser la dynamique des effets des modes d'irrigation sur l'efficacité technique des producteurs du riz au Mali. Une des limites de la présente étude est également le manque d'information, dans la base de données, sur certains facteurs sociodémographiques. Il s'agit de la taille de l'exploitation, de l'expérience du chef d'exploitation, les différentes variétés de semences, la variable sur le niveau de mécanisation (comme par exemple l'utilisation de tracteur) et le débit d'eau utilisé par les différents modes d'irrigation. Ainsi que la manque de variable sur les agents de service de vulgarisation. Dans la littérature, ces variables apparaissent pertinentes dans l'explication de l'inefficacité technique.

Bibliographies

- Abid, B. A., & Shah, H. N. (1998). Stochastic Frontier and Technical Efficiency of Farms in Irrigated Areas of Pakistan's Punjab. *Pakistan Institute of Development Economics, Islamabad*, 37(3), 275-291.
- Audibert, M. (1997). Technical inefficiency effects of paddy farmers in office Niger in Mali, West Africa. *Springer. Journal of Productivity Analysis*, 8 (4), 379-394. (1998).
- Aigner, D., Lovell, C., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics* 6, 21-37.
- Ali, M. (1995). Institutional and Socioeconomic Constraints on the second-Generation Green Revolution: A Case Study of Basmati Rice Production in Pakistan's Punjab. *Economic Development and Cultural Change* 43, 835-861.
- Amara, N., & Romain, R. (2000). Mesure de l'efficacité technique : Revue de la littérature. *La Série Recherche des cahiers du CREA, U. Laval Canada* Septembre 2000, 32.
- Battese, G. E., & Corra, G. S. (1977). Estimation of a production frontier model with application to the pastoral zone of Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics*, (21), 169-179.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1988). Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalised frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics*, 38, 387-399.
- Battese, G., & Coelli, T. (1995). Frontier production functions, technical efficiency and panel data with application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis* 3, 153-169.
- Bos, M. G. (1980). Irrigation efficiencies at crop production level. *ICID Bulletin*, 29(2).
- Bos, M. G., & Nugteren, J. (1990). On irrigation efficiencies (4 ed.). The Netherlands.
- Chakravorty, U. (2000). Les impacts économiques et environnementaux de l'irrigation et du drainage dans les pays en développement. Washington, D.C: Banque Mondiale.
- Coelli, T. J. (1996). A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation. Center for Efficiency and Productivity Analysis Working Paper 96/07, University of New England.
- CORAF. (2009). Etude de référence sur la productivité agricole du riz au Mali. GEDUR-SA.
- Coulibaly, A., Savadogo, K., & Diakité, L. (2017). Les Déterminants De L'efficacité Technique Des Riziculteurs De L'office Du Niger Au Mali. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 6(2), 88-97.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilisation. *Econometrica*, 19(3), 273-292.
- FAO. (1995). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Rome: FAO.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 3(120), 253-290.
- Greene, W. H. (1980). Maximum likelihood estimation of econometric frontier function. *Journal of Econometrics*, 13, 27-56.

- Hasnain, N., Hossain, E., & Islam, K. (2015). Technical Efficiency of Boro Rice Production in Meherpur District of Bangladesh: A Stochastic Frontier Approach. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 3 (2), 31-37.
- Hossain, M. E., and Rahman, Z. (2012). Technical efficiency analysis of rice farmers in Naogaon district: An application of the stochastic frontier approach. *Journal of Economics and Development Studies*, 1(1), 1-20.
- Jondrow, J., Lovell, C. A., Materov, I. S., & Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. In *Journal of Econometrics* (19), 233-238.
- Kalirajan, K. (1981). An econometric analysis of yield variability in paddy production. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 29, 283-294.
- Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. Cowles Commission for research in economics, Monograph n°13, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Kumbhakar, S. C., Ghosh, S., & McGuckin, T. (1991). A generalised production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms. *Journal of Business and Economic Statistics*, 9, 279–286.
- Labey, G. (2000). L'agriculture en Afrique de de l'Ouest. FAO, 65.
- Laçon, F. (2009). Politique rizicole et sécurisation alimentaire en Afrique de l'Ouest. 3ème journée de recherche en science sociale INRA-SFER-CIRAD. CIRAD : Montpellier, CIRAD.
- Lutz, K., & al. (2000). L'alimentation en Afrique de l'Ouest. FAO, 65.
- Meeusen, W., & Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions. with composed error. *International Economic Review* 18, 435-444.
- Moris, J. (1987). Irrigation as a Privileged Solution in African Development. *Development Policy Review* 5 (2), 99-123.
- Nelson, G. O. (1979). Food Aid and Domestic Food grain Production in Bangladesh Yogyakarta, Indonesia: A&P Agricultural and Resource. Staff Seminar Resource Paper.
- Piot, I. (1994). Mesure non paramétrique de l'efficacité. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales* (31), 14-41.
- Pitt, M., & Lee, M. (1981). The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics* 9, 43-64.
- Ray, S. C. (2004). *Data Envelopment Analysis: Theory and techniques for economics and operation research*. Cambridge University Press, 353.
- Reifschneider, D., & Stevenson, R. (1991). Systematic departures from the frontier: a framework for the analysis of firm efficiency. *International Economic Review*, 32, 715–723.
- Shantha, A. A., Ali, A. B. G. H., and Bandara, R. A. G. (2013). Technical efficiency of paddy farming under major irrigation conditions in the dry zone of Sri Lanka: A parametric approach. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(6), 104-112.
- Smaling, H., & al. (2002). Nutrient disequilibria in agro-ecosystems: Case of the forest. *Journal of environment Sciences.*, 65, 65-69.
- Stevenson, R. E. (1980). Likelihood function for generalized stochastic frontier estimation. *Journal of econometrics*, 13(1), 57-66.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis: A foundation text with integrated software*. Edit Kluwer Academic Publishers, 281.