



Evaluation de la Frontière Stochastique de l'Efficiences Economique du Système de Production Irrigué du Centre de Production des Semences dans le Bassin Versant de la Mfuti à Kinshasa

[Assessment of the Stochastic Frontier of the Economic Efficiency of the Irrigated Production System at the Seed Production Centre in the Mfuti Catchment, Kinshasa]

Jean Jacques Tumbu Nzau^{1*}, Génie-Spirou Kiala Lutonadio¹, Cush Luwesi Ngonzo², Antoine Kihumba Mfumu³, Fidélise Benga Ntedika¹ & Raphael Muamba Tshimanga¹

¹Ecole Régionale de l'Eau (ERE) & Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo (CRREBaC), BP 127 Université de Kinshasa, RD Congo

²African University of Management and Technologies, Congo-Brazzaville

³Département de Gestion des Ressources Naturelles. Faculté des Sciences Agronomiques et de l'Environnement, Université de Kinshasa BP 117 Kinshasa XI

⁴Université Président Joseph Kasa Vubu, Faculté d'Economie, Boma, RD Congo

Résumé

La frontière stochastique est un modèle économétrique qui permet de mesurer la performance productive d'un système, en tenant compte de ces facteurs stochastiques tels que les conditions environnementales et les incertitudes techniques. L'application de ce modèle dans l'évaluation d'un système d'irrigation contribue à déterminer l'efficacité de ce système en termes d'économie d'eau, de productivité agricole et de durabilité environnementale. C'est dans ce contexte que cette étude visait à évaluer l'efficacité économique du système de production irriguée utilisé par le Centre de production des Semences (CEPROSEM), qui est une association agricole située dans le bassin versant de la Mfuti, par la modélisation économétrique de type frontière stochastique de production. Les données sur les facteurs stochastiques endogènes et exogènes ayant permis d'établir le modèle à l'aide du logiciel Frontier 4.1, provenaient du CEPROSEM et couvraient une période de 18 ans soit de 2005 à 2022. L'analyse des facteurs stochastiques a révélé que le CEPROSEM n'inclut pas de manière explicite les dépenses liées à la protection de l'environnement dans ses coûts d'exploitation. Par ailleurs, une part importante de l'eau pompée est allouée aux autres services, réduisant ainsi la quantité d'eau réellement utilisée pour l'irrigation agricole. Cette utilisation inefficace de l'eau, avec un coefficient d'efficacité estimé à 0,88, montre une gestion sous-optimale de cette ressource. Cela contribue à l'inefficacité technique et allocative, impactant négativement l'efficacité économique du système d'irrigation, et souligne la nécessité d'améliorer la gestion des intrants et des ressources pour optimiser la rentabilité du système de production.

Mots clés : Efficacité économique ; Système de production irriguée ; Frontière stochastique de production ; Bassin versant de la Mfuti ; Centre de production des Semences.

Abstract

The stochastic frontier is an econometric model used to measure the productive performance of a system while accounting for stochastic factors such as environmental conditions and technical uncertainties. Applying this model to the evaluation of an irrigation system helps determine its efficiency in terms of water conservation, agricultural productivity, and environmental sustainability. In this context, the present study aimed to assess the economic efficiency of the irrigated production system used by the Seed Production Centre (CEPROSEM), an agricultural association located in the Mfuti watershed, through econometric modeling based on the stochastic production frontier approach. The data on endogenous and exogenous stochastic factors, which were used to establish the model with the Frontier 4.1 software, were sourced from CEPROSEM and covered a period of 18 years, from 2005 to 2022. The analysis of stochastic factors revealed that CEPROSEM does not explicitly include environmental protection costs in its operating expenses. Furthermore, a significant portion of the pumped water is allocated to other services, thereby reducing the amount of water actually used for agricultural irrigation. This inefficient use of water, with an estimated efficiency coefficient of 0.88, indicates a suboptimal management of this resource. It contributes to technical and allocative inefficiency, negatively impacting the economic efficiency of the irrigation system. These findings highlight the need to improve input and resource management to optimize the profitability of the production system.

Keywords: Economic efficiency; Irrigated production system; stochastic production frontier; Mfuti watershed; Seed Production Centre

*Auteur correspondant: Jean Jacques Tumbu Nzau, (nzaautumbu@gmail.com). Tél. : (+243) 897854816

Reçu le 06/01/2026 ; Révisé le 02/02/2026 ; Accepté le 24/02/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i1.236>

Copyright: ©2026 Nzau et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

L'eau est une denrée rare dans plusieurs parties de la planète est perçue comme un "bien libre", disponible en quantité presque illimitée dans les zones où les précipitations couvrent la majeure partie de l'année (Wateau, 2023). Tel est le cas de la République Démocratique du Congo (RDC) détenant le deux tiers du Bassin du Congo, deuxième bassin fluvial au monde, après le Bassin de l'Amazonie, avec un débit moyen de 41 000 m³/s, un réseau hydrographique dense et des précipitations abondantes et régulières du nord au sud représentant environ 52 % des réserves en eau de l'Afrique (Betti, 2011 ; Tshimanga et al., 2021).

Malgré ce potentiel immense en ressources en eau, l'agriculture pratiquée en RDC est essentiellement pluviale avec des méthodes rudimentaires et moins aptes à satisfaire des besoins alimentaires de sa population en croissance rapide. Ce type d'agriculture est vulnérable aux effets du changement climatique, qui sont caractérisés par des précipitations imprévisibles en termes de distribution saisonnière (Lutonadio et al., 2022). Ces effets du changement climatique qui deviennent très caractéristiques dans le Bassin du Congo en général et en RDC en particulier, ont un impact direct sur la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des communautés (Karam et al., 2022). De plus, les agriculteurs cultivent souvent une gamme limitée de cultures en raison de leur dépendance à la pluie, ce qui réduit leur résistance aux ravageurs et aux diverses maladies (Guido et al., 2020).

Dans ce contexte où l'agriculture est majoritairement pluviale, l'intégration de systèmes d'irrigation peut considérablement améliorer les rendements agricoles et renforcer la résilience alimentaire face à la forte variabilité climatique observée actuellement dans le Bassin du Congo (Smith et Alvar, 2014 ; Tshimanga et al., 2021 ; Jha, 2023). Malheureusement, l'irrigation reste encore sous-développée en RDC. L'agriculture représente environ 32 % des prélèvements totaux d'eau du pays, mais ces chiffres concernent principalement des activités non irriguées (PNUE, 2011). Seulement 0,1 % des terres agricoles en RDC sont irriguées, un taux extrêmement faible comparé à d'autres pays africains comme l'Égypte, où 95 % des terres agricoles sont irriguées (RURAL, 2014 ; Papy, 2019 ; Marivoet et al., 2022 ; Nhamo et al., 2024).

L'amélioration de la gestion de l'eau pour l'agriculture, notamment par la mise en place des systèmes d'irrigation, pourrait potentiellement doubler voire tripler l'intensification agricole et accroître la productivité des terres, de l'eau et des cultures (Bojago & Abrham, 2023). L'adoption de pratiques d'irrigation permettrait d'allonger les cycles et saisons de production, améliorant ainsi les revenus des ménages et la sécurité alimentaire. Cette adoption est susceptible de contribuer à l'Objectif de Développement Durable (ODD) 2, qui vise à éradiquer la faim, promouvoir une agriculture durable et doubler la productivité des petits exploitants agricoles, et à l'ODD 6, qui met l'accent sur l'accès universel à l'eau et à l'assainissement, en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture (Nations Unies, 2024).

L'application de ces techniques d'irrigation ne se limite pas à l'apport d'eau aux plantes, mais aussi à la nécessité de savoir utiliser rationnellement les ressources limitées pour satisfaire les besoins présents et futurs, tout en préservant l'environnement (Rumpala, 2016 ; El Maaroufi, 2004 ; Arrifi, 2009 ; Traboulsi, 2012 ; Maazouz, 2016). C'est dans ce contexte que l'utilisation d'un système d'irrigation nécessite une évaluation rigoureuse de leur efficacité. Cette évaluation permet de minimiser les pertes qui pourraient générer des surcoûts de production et d'assurer leur viabilité à long terme du système de production (Tron, 2000).

Pour évaluer de manière exhaustive l'efficacité d'un système de production irrigué, il est essentiel d'analyser non seulement l'efficacité de l'irrigation en elle-même, mais également l'ensemble du système de production, en prenant en compte tous les facteurs combinés pour réaliser la production (Bouarfa et al., 2020). De plus, nombreuses études sur l'efficacité de l'irrigation ont démontré que le système d'irrigation goutte-à-goutte est le plus efficace, avec un rendement atteignant jusqu'à 95 % (Ben Salem et al., 2005 ; Feltz, 2016 ; Bourfa, 2020 ; Chetto, 2020 ; Wittling et al., 2022). Ces études ont été principalement menées dans les zones arides, tandis que peu de recherches ont été effectuées dans les régions où l'eau est abondante. C'est dans cette optique que cette étude a été initiée pour établir la frontière stochastique du système de production irrigué du Centre de Production des Semences (CEPROSEM). Le CEPROSEM est une association agricole spécialisée dans la production de semences. Il se distingue comme l'un des rares

exploitants agricoles de la région, voire du pays, à appliquer depuis plusieurs années le système de production irrigué pour la production semencière.

En effet, la frontière stochastique est un modèle économétrique qui permet de mesurer la performance productive d'un système de production par rapport à une frontière d'efficacité idéale, en tenant compte des facteurs stochastiques tels que les conditions environnementales et les incertitudes techniques (Zewdie et al., 2021). L'application de cette approche dans cette étude permet d'évaluer l'efficacité technique et économique du système étudié en termes d'économie d'eau, de productivité agricole et de durabilité environnementale (Luwesi et al., 2017).

Cette étude vise à évaluer le niveau d'efficacité économique du système de production irrigué au sein du CEPROSEM en estimant l'efficacité technique et d'efficacité allocative ou d'efficacité-prix. Il s'agit de l'intégration des différents coûts des facteurs combinés pour la production, comme recommandé dans la publication de Luwesi et al. (2017). Cette analyse permet de mieux comprendre comment les coûts indirects, tels que ceux liés à la protection de l'environnement et au soutien des activités communautaires, influencent l'efficacité économique globale du système de production irrigué dans ce contexte particulier.

2. Matériel et méthodes

2.1 Présentation du milieu d'étude

Le CEPROSEM est fondée en 2005 et située dans le bassin versant de la rivière Mfuti (figure 1), principalement dans la zone sud-est de Kinshasa, la capitale de la RDC. Le bassin versant de la rivière Mfuti peut être approximativement localisé entre les latitudes 4°20'S et 4°30'S, ainsi que les longitudes 15°15'E et 15°25'E. Le CEPROSEM est un centre spécialisé dans la production de semences maraîchères sélectionnées et certifiées, adaptées aux conditions tropicales.

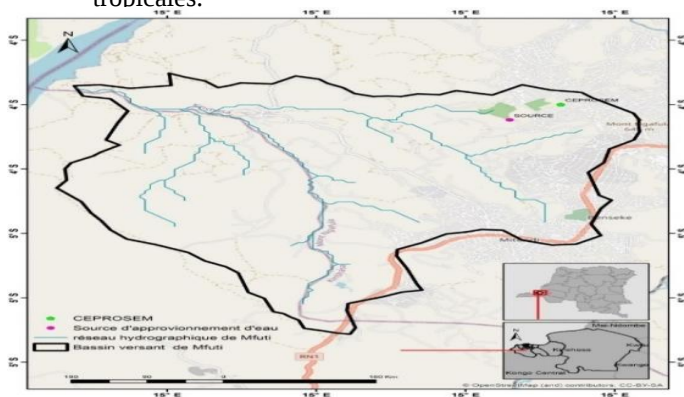


Figure 1. Localisation géographique du CEPROSEM dans le bassin versant de Mfuti

Selon le système de classification climatique de Köppen, la ville de Kinshasa est classée dans la catégorie AW4, correspondant à un climat tropical de type soudanien. Ce climat se caractérise par deux saisons distinctes : une saison sèche d'environ quatre mois, s'étendant de mi-mai à mi-septembre, et une saison pluvieuse d'environ huit mois, de mi-septembre à mi-mai (Sisa et al., 2018). Le sol du bassin versant de la rivière Mfuti repose sur un substratum schisto-gréseux appartenant à la série d'Inkisi.

2.2. Collecte des données

Dans cette étude, une modélisation économétrique a été utilisée pour évaluer l'efficacité du système de production irrigué du CEPROSEM à travers l'estimation d'une fonction de production frontière stochastique. Pour établir le modèle économétrique, deux groupes de variables ont été retenus : les variables stochastiques endogènes et exogènes. Les données sur ces variables couvraient une période de 18 ans soit de 2005 à 2022 et provenaient des archives du CEPROSEM. La méthodologie visait à vérifier l'efficacité des "saisons culturales" dans la production de semences d'aubergine au sein du CEPROSEM. Pour ce faire, nous avons utilisé les données des variables susmentionnées sur une parcelle d'un hectare, couvrant la période de 18 ans. Chaque année culturale a été divisée en deux saisons (A et B), formant ainsi un échantillon de 36 saisons culturales.

La production de semences d'aubergine a été choisie comme variable dépendante. Elle est mesurée en grammes par hectare pour analyser l'efficacité technique et en dollars pour calculer l'efficacité-prix (ou allocative). Six variables exogènes ont été sélectionnées : les fertilisants, les produits phytosanitaires, le coût de la protection de l'environnement (CPE), la main-d'œuvre, la structure des infrastructures, et le coût de l'eau. Les coûts de fertilisants, de produits phytosanitaires, de main-d'œuvre et de protection de l'environnement ont été calculés pour chaque cycle cultural, puis extrapolés annuellement. Le CPE inclut les dépenses de CEPROSEM pour protéger les sources d'eau d'irrigation contre les menaces anthropiques et naturelles. Pour les infrastructures, l'amortissement linéaire a été utilisé pour établir leur valeur annuelle, en tenant compte des modifications, remplacements, et entretiens. L'amortissement linéaire a permis de déterminer le coût des infrastructures imputables annuellement, selon la formule :

$$\text{Coût annuel} = \text{Valeur brute} \times \text{Taux d'amortissement}$$

2.3 Analyse des données

Le modèle économétrique suit une forme linéaire, représentée par l'équation :

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j x_j + \epsilon \quad y = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j x_j + \epsilon$$

Où, y est la production de semences d'aubergine et x_j sont les différents intrants (eau, fertilisants, main-d'œuvre, etc.). Les coefficients β_j mesurent l'impact de chaque facteur sur la production, tandis que le terme d'erreur ϵ capte les variations aléatoires et l'inefficience non observée. La méthode de frontière stochastique permet de séparer les effets dus aux aléas extérieurs de ceux attribués à l'inefficience technique, offrant ainsi une évaluation plus précise de l'efficacité relative du système d'irrigation. Cette approche vise à maximiser la production agricole tout en minimisant les ressources mobilisées, en particulier l'eau, afin d'optimiser la rentabilité et l'utilisation des intrants dans un contexte de ressources limitées.

Le coût économique de l'eau a été estimé à l'aide de la formule suivante :

$$CT = PX.X + PY.Y$$

Où CT représente le coût total de production, PX et PY sont les prix unitaires des facteurs de production, et X et Y sont les quantités des facteurs. Le coût de revient d'un m³ d'eau a ensuite été calculé pour évaluer la valeur monétaire de l'eau pompée, vendue ou utilisée dans les champs. Les coûts des facteurs exogènes, tels qu'analysés avant la modélisation économétrique, ont révélé des variations importantes entre différentes catégories de dépenses, notamment celles liées à l'eau, aux infrastructures d'irrigation, aux fertilisants, aux produits phytosanitaires, à la main-d'œuvre, ainsi qu'aux coûts de protection de l'environnement (CPE) sur la période d'étude. Les analyses des coûts maximaux, moyens et minimaux ont mis en évidence des écarts significatifs, soulignant une forte variabilité dans les dépenses annuelles associées à ces différents facteurs. Cette variabilité peut avoir un impact considérable sur l'efficacité économique du système d'irrigation, car elle influence la rentabilité des investissements en fonction des fluctuations des coûts de ces intrants.

Où y représente la production observée (en termes de semences d'aubergine, par exemple, en quantité ou en valeur monétaire), x_i sont les facteurs de production (comme l'eau, la main-d'œuvre, les fertilisants, etc.), $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_j$ sont les coefficients à estimer, représentant l'impact de chaque facteur de production sur la production, $\epsilon(v_i - u_i)$ est le terme d'erreur, où v_i

représente une composante aléatoire (erreur de mesure) et u_i représente l'inefficience technique (l'écart par rapport à la frontière optimale).

Ce modèle permet d'estimer à la fois l'efficacité technique (en mesurant l'écart entre la production réelle et la production potentielle optimale) et l'efficacité allocative (en évaluant si les ressources sont allouées de manière optimale). Les efficacités technique et allocative ont été estimées à l'aide d'un modèle de fonction de production frontière stochastique, basé sur une fonction de type Cobb-Douglas, grâce au logiciel économétrique Frontier 4.1. L'équation utilisée est la suivante :

$$\ln(\text{prd}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{eau}) + \beta_2 \ln(\text{str}) + \beta_3 \ln(\text{fert}) + \beta_4 \ln(\text{pp}) + \beta_5 \ln(\text{mo}) + \beta_6 \ln(\text{cpe}) + v_i + u_i$$

Où prd est la production de semences en kg, v_i représente les erreurs aléatoires, et u_i l'inefficience technique. Les variables endogènes comprennent l'eau desservie (eau), les infrastructures (str), les fertilisants (fert), les produits phytosanitaires (pp), la main-d'œuvre (mo), et le coût de protection environnementale (cpe).

Le modèle économétrique a été validé par le test de log likelihood ratio (LR). Ce test a confirmé la fiabilité de la fonction d'efficacité à un seuil de signification de 5%, avec une valeur de vraisemblance d'au moins 3,84, indiquant que les résultats obtenus ne sont pas dus au hasard.

3. Résultats

3.1. Efficacité technique du système de production irrigué

L'efficacité technique est présentée dans le [tableau I](#). Dans le modèle établi, β_0 représente la constante liée à la variable endogène notamment la production au CEPROSEM, et β_1 exprime la variable eau ; β_2 représente la variable structure ; β_3 est la variable fertilisant ; β_4 représente le produit phytosanitaire, β_5 est la main-d'œuvre et β_6 est la charge de la protection environnementale, qui constituent les variables exogènes.

Tableau I. *Efficienne technique estimée*

Variables	Coefficient	Standard-error	t-ratio
Constante (beta 0)	0.98458121	0.98943591	0.99509347
Eau (beta 1)	0.18046536*	0.10238942	1.7625391
Str (beta 2)	-0.031965207	0.083266677	-0.38388955
Fert (beta 3)	0.49407668**	0.20317984	2.4317210
PP (beta 4)	0.37997583***	0.031979919	11.881701
MO (beta 5)	0.11770550	0.29512588	0.39883150
CPE (beta 6)	0.0054497927	0.0096191229	0.56655818
sigma-squared	0.099441484**	0.023135759	4.2981725
gamma	0.99999999 ***	0.000005849	170966.38
log likelihood function = 15.912416			
LR test of the one-sided error = 19.195387			
Efficienne technique = 0.81752762			

*** indique que le coefficient est significatif au seuil de 1 %, ** qu'il est significatif au seuil de 5 %, * qu'il l'est au seuil de 10 %.

Le modèle estimé de production en quantité de l'aubergine au CEPROSEM se présente de la manière suivante :

$$\text{Ln (prod)} = 0.9845 + 0.1804 (\text{eau}) - 0.0319 (\text{str}) + 0.4940 (\text{fert}) + 0.3799 (\text{pp}) + 0.1177 (\text{mo}) + 0.0054 (\text{cpe})$$

L'analyse des résultats d'efficienne technique présentés dans le [tableau I](#) met en évidence l'impact des différentes variables exogènes sur la production au CEPROSEM. L'efficienne technique est mesurée à 0,8175, ce qui indique une utilisation relativement efficace des ressources dans le processus de production. Le coefficient de la constante (β_0) est proche de 1 (0,9846), suggérant que la production peut être bien modélisée par les variables exogènes sans un biais systématique significatif.

Parmi les variables, l'eau (β_1) a un coefficient de 0,1805, significatif au seuil de 10 %, ce qui indique que l'augmentation de l'utilisation de l'eau contribue positivement à la production, bien que son impact soit modeste par rapport à d'autres facteurs. Par contre, le fertilisant (β_3) montre un coefficient de 0,4941, significatif au seuil de 5 %, ce qui souligne son rôle important dans l'augmentation de la production. Cela reflète l'importance de la fertilisation dans l'amélioration des rendements. Le produit phytosanitaire (β_4) a le coefficient le plus élevé (0,3800), significatif au seuil de 1 %, ce qui indique que les interventions phytosanitaires sont particulièrement efficaces pour augmenter la production, renforçant l'idée que la protection des cultures est essentielle. Les autres variables, comme la structure d'irrigation (β_2), la main-d'œuvre (β_5) et le coût lié à la protection de

l'environnement (β_6), n'ont pas montré de significativité forte, suggérant que leur impact sur la production est moins direct.

En outre, le sigma-squared (variance des erreurs) est significatif au seuil de 5 %, ce qui indique qu'il existe une variabilité dans la production non expliquée par les variables incluses dans le modèle. Le gamma, presque égal à 1 (0,99999999), confirme que la majorité de la variabilité dans les données de production est due à l'efficienne technique plutôt qu'à des erreurs aléatoires. Enfin, le test de vraisemblance (log likelihood function) et le test LR (Likelihood Ratio) renforcent la robustesse du modèle établi. Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'eau, des fertilisants et des produits phytosanitaires dans la production, tout en signalant des opportunités d'optimisation pour d'autres variables moins significatives. Le CEPROSEM ne minimise pas ses coûts de production en utilisant la combinaison la moins coûteuse de ses facteurs de production

3.2. *Efficienne allocative du système de production irrigué*

Le [tableau II](#) présente l'efficienne allocative. La démarche utilisée pour évaluer l'efficienne technique a été également appliquée pour déterminer l'efficienne allocative.

Tableau II. *Efficienne allocative*

Variables	Coefficient	Standard-error	t-ratio
Constante (beta 0)	0.89318658*	0.49986970	1.7868388
Eau (beta 1)	0.325437 ***	0.68390860	4.7584967
Str (beta 2)	0.108513***	0.015445844	7.0253845
Fert (beta 3)	0.3438546***	0.098524911	3.4900276
PP (beta 4)	0.4222884***	0.088831728	4.7538025
MO (beta 5)	0.14115976	0.088284670	1.5989159
CPE (beta 6)	0.018124682	0.016605293	1.0915003
sigma-squared	0.0852701***	0.019402035	4.3949075
gamma	0.99999999	0.0004858852 2	2058,0992
Prob (F-statistic) = 0.000033***			
Durbin-Watson stat = 1.433049			
log likelihood function = 17.371150			
LR test of the one-sided error = 19.369078			
Efficienne Allocative = 0.82473529			

*** indique que le coefficient est significatif au seuil de 1 %, ** qu'il est significatif au seuil de 5 %, * qu'il l'est au seuil de 10 %.

Le modèle estimé de production de l'aubergine en valeur se présente comme suit :

$$\text{Ln (prod)} = 0.8931 + 0.3254 (\text{eau}) + 0.1085 (\text{str}) + 0.3438 (\text{fert}) + 0.4222 (\text{pp}) + 0.1411 (\text{mo}) + 0.0185 (\text{cpe})$$

L'analyse de l'efficienne allocative, avec une estimation de 0,8247, montre que les ressources au sein

du système de production sont généralement bien allouées, bien qu'il subsiste des possibilités d'amélioration. Les résultats mettent en évidence que des variables telles que l'eau (β_1), avec un coefficient de 0,3254, et la structure d'irrigation (β_2), à 0,1085, contribuent de manière significative à l'augmentation de la production, tout comme le fertilisant (β_3) et le produit phytosanitaire (β_4), qui affichent respectivement des coefficients de 0,3439 et 0,4223, tous significatifs au seuil de 1 %. Par contre, la main-d'œuvre (β_5) et le coût lié à la protection de l'environnement (CPE) (β_6) montrent des contributions moins marquées et non significatives. La forte valeur de gamma (0,9999999) indique que la majorité de la variabilité de la production est attribuable à des facteurs allocatifs plutôt qu'à des erreurs aléatoires. Cette analyse souligne l'importance d'une allocation précise des ressources, notamment en matière d'eau, de fertilisants et de protection des cultures, pour optimiser l'efficacité allocative dans la production agricole.

3.3. Efficacité économique du système d'irrigation

La figure 2 présente l'efficacité économique du système de production basé sur l'irrigation goutte à goutte du CEPROSEM.

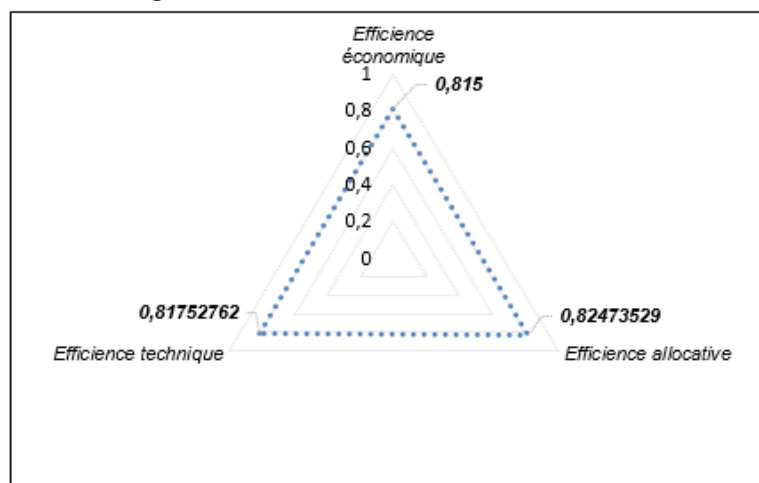


Figure 2. Efficacité économique

L'analyse de l'efficacité économique telle que présentée dans la figure 2, qui combine les résultats d'efficacité technique et allocative, révèle des insuffisances significatives dans le système de production au CEPROSEM. Avec un coefficient d'efficacité technique de 0,81, inférieur à 1, il est évident que la combinaison des facteurs de production ne permet pas d'atteindre un niveau de production maximal, ce qui suggère des opportunités d'optimisation. De plus, l'efficacité allocative, mesurée à 0,82, indique que le

coût marginal de production est supérieur à la production marginale, signifiant qu'une augmentation d'une unité monétaire des facteurs de production ne génère qu'environ 0,82 USD de production.

En combinant les deux efficacités, l'efficacité économique, avec un coefficient de 0,815, confirme que le système n'opère pas de manière optimale, car elle est également inférieure à 1. Cela souligne la nécessité d'améliorer tant l'allocation des ressources que l'efficacité technique pour maximiser la production et garantir la rentabilité. Ces résultats mettent en évidence l'importance d'adapter les pratiques de production et d'optimiser les intrants pour atteindre une meilleure efficacité économique.

Validation du modèle

Les tests de signification réalisés pour évaluer le modèle révèlent une robustesse et une pertinence considérables. Le test de significativité globale des coefficients estimés, ou test de Fisher, indique une probabilité de 0,00003, largement inférieure à 5 %. Cela permet de rejeter l'hypothèse nulle, qui postule que tous les paramètres du modèle sont nuls, en faveur de l'hypothèse alternative, affirmant qu'au moins un des paramètres est significatif.

Par conséquent, le modèle est jugé globalement significatif, avec un R^2 calculé à 85%, ce qui signifie que les variables incluses expliquent plus de 85 % de la variabilité de l'inefficacité dans la combinaison des facteurs de production des semences d'aubergine. De plus, le test d'indépendance des résidus, effectué à l'aide du test de Durbin-Watson, a donné une valeur de 1,43, qui se situe entre 1,18 et 1,80, indiquant que les résidus ne sont pas autocorrélés et sont donc indépendants. Cette indépendance des résidus renforce l'idée que le modèle de prédiction est fiable et que les estimations des paramètres sont appropriées. Ces résultats démontrent que le modèle de production est solide et efficace pour analyser la productivité au CEPROSEM, tout en fournissant des bases solides pour des recommandations d'amélioration des pratiques agricoles.

4. Discussion

4.1. Discussion sur l'efficacité technique et allocative

L'analyse de la fonction frontière stochastique du système de production irrigué fait ressortir l'importance des variables « eau », « structure », « fertilisant », « produit phytosanitaire », « main-d'œuvre » et « charge de la protection environnementale ». De ces variables, le produits

phytosanitaires, suivi des fertilisants et de l'eau, avec des coefficients respectifs de 0.42, 0.34 et 0.32 sont les plus influentes dans la fonction de l'efficience coût du système de production. Elles le sont aussi dans la fonction de l'efficience technique avec des coefficients respectifs de 0.49 pour le fertilisant, 0.38 pour les produits phytosanitaires et 0.18 pour l'eau sauf que pour l'efficience allocative c'est la variable fertilisant qui est au premier plan.

Le sol du bassin versant de la Mfuti de ce bassin, qui s'étend presque dans la ville province de Kinshasa nécessite un bon amendement afin de permettre une bonne production. En plus le CEPROSEM développe une culture intensive, exploite depuis le temps le même terrain, ce qui nécessite une importante fertilisation du sol. C'est ce qui justifie la seconde place des fertilisants.

Quant aux produits phytosanitaires qui apparaissent en premier, ils sont indispensables dans la production maraîchère par le fait que les cultures sont toujours exposées aux attaques des prédateurs multiples qui peuvent influencer la production.

Pour l'eau qui est certes vie pour tout être vivant, elle apparaît en troisième lieu. Ceci ne signifie pas qu'elle est moins influente dans la production des semences au CEPROSEM mais c'est parce que dans cette zone l'eau est irriguée plus pour couvrir la saison sèche qui est dépourvue totalement des pluies et durant la saison pluvieuse l'eau d'irrigation vient juste en complément pour couvrir le déficit en pluies dû au période de mi- sécheresse.

4.2. Discussion sur l'efficience économique

L'efficience allocative calculée est égale à 0,82 < 1 elle avoisine l'efficience technique qui est 0,81 < 1 par conséquent l'efficience économique est de 0,815 < 1. Les coefficients de toutes les efficience sont inférieurs à 1 ce qui amène à dire que le CEPROSEM n'est pas efficace dans la combinaison des facteurs pour produire des semences d'aubergine.

Chetto A. dans son étude sur la mesure de l'efficience d'utilisation de l'eau d'irrigation dans les exploitations agrumicoles du Gharb avec un Modèle de Production Frontière Stochastique a trouvé que la fonction de production des agrumes est inefficace à l'ordre de 13%. L'inefficience technique correspond à une production insuffisante par rapport à ce qui est techniquement possible avec un niveau d'inputs donné (ou réciproquement une quantité d'inputs supérieur au nécessaire pour un niveau d'outputs donné), (Timmer 1971). Un système efficace signifie un système susceptible d'atteindre un niveau maximum de

production compte tenu des quantités de facteurs de production déployées. Ce qui revient à dire qu'il s'agit de minimiser les quantités utilisées en termes de facteurs de production pour atteindre un niveau déterminé de production.

De ce fait il semble aussi difficile de dire directement que la fonction de production des semences au CEPROSEM est inefficace. Il serait plus pragmatique s'il existait un niveau prédéfini à atteindre lorsqu'on utilise telle quantité d'input et telles types d'inputs.

5. Conclusion

L'irrigation est devenue un pilier essentiel pour une agriculture « développée », même au-delà des zones arides à faible pluviosité. Aujourd'hui, même dans les régions humides avec une forte pluviosité, l'irrigation s'avère nécessaire, car la saison des pluies n'est pas toujours continue, et des perturbations climatiques peuvent survenir. Ainsi, la gestion rationnelle de l'eau est nécessaire pour garantir que cette ressource puisse pleinement jouer son rôle dans tous les secteurs qui en dépendent.

Pour atteindre l'efficience, il ne suffit pas simplement d'apporter de l'eau aux plantes. Il est indispensable que cette eau soit utilisée de manière optimale, en veillant à ce que la quantité appliquée, les techniques d'irrigation, et le moment de l'application soient adéquats. En outre, la productivité de l'eau et sa rentabilité économique doivent être au centre des préoccupations. Une utilisation efficace de l'eau permet non seulement d'améliorer la productivité agricole (quantité de produit par unité d'eau utilisée), mais également d'optimiser les profits. L'efficience économique découle de l'efficience technique, qui maximise la production avec les ressources disponibles, et de l'efficience allocative, qui assure une allocation optimale des ressources pour minimiser les coûts.

C'est dans cette optique que cette étude qui a porté sur l'évaluation de la Frontière Stochastique de l'Efficience Economique du Système d'irrigation Goutte-à-goutte du CEPROSEM, a été initiée en vue d'analyser l'impact de l'intégration des coûts indirects liés à l'utilisation de l'eau sur l'efficience économique et l'efficience-prix du système d'irrigation goutte-à-goutte utilisé par le CEPROSEM dans le bassin versant de la Mfuti, afin de déterminer dans quelle mesure ces coûts influencent la rentabilité globale de l'exploitation agricole. Pour y parvenir, une méthodologie rigoureuse a été développée incluant l'analyse des données

techniques et économiques, des données hydro-climatiques et celles issues de l'observation directe pour établir la productivité de l'eau, le coût total des facteurs de production et la production en valeur qui interviennent dans l'estimation de l'efficacité économique du système d'irrigation goutte-à-goutte. L'étude a identifié la culture d'aubergine comme culture-test, et s'est étendue sur dix-huit années culturelles (2005-2022). Plusieurs équations relatives à l'estimation des coûts de production, à l'efficacité technique, à l'efficacité allocative et à l'efficacité économique ont été développées. Les données obtenues ont été soumises aux tests de vraisemblance (log likelihood function) et le test LR (Likelihood Ratio) pour les différents modèles établis.

Il ressort des analyses effectuées ce qui suit : Les coûts de production associés aux variables exogènes montrent des variations notables entre les valeurs maximales, moyennes et minimales. En particulier, les coûts de l'eau, de la structure d'irrigation et de la main-d'œuvre représentent une part importante du total, avec des valeurs moyennes respectives de 28 135 USD/ha, 9 204 USD/ha, et 7 413 USD/ha. Les produits phytosanitaires et les fertilisants, bien que moins coûteux, jouent un rôle clé dans la production. Le coût lié à la protection de l'environnement (CPE) est en moyenne de 3 678 USD/ha, reflétant un investissement modéré mais important pour assurer la durabilité environnementale.

L'évaluation de l'efficacité du système de production révèle des insuffisances à plusieurs niveaux. L'efficacité technique est mesurée à 0,81, indiquant que la combinaison des facteurs de production ne permet pas d'atteindre une productivité maximale. L'efficacité allocative est de 0,82, montrant que les ressources ne sont pas entièrement optimisées, avec une production marginale inférieure au coût marginal. En combinant ces deux indicateurs, l'efficacité économique ressort à 0,815, ce qui signifie que le système n'est pas encore à son plein potentiel.

Ces résultats mettent en lumière entre autres la nécessité d'optimiser de l'efficacité de l'eau et d'améliorer l'infrastructure d'irrigation dans ce système de production.

Recommandations

A l'Etat Congolais de bien asseoir les politiques de gestion de l'eau élaborées afin de donner de la valeur à cette denrée si capitale ; l'irrigation est un moteur du développement de l'agriculture, l'Etat doit

subventionner les privés désirant œuvrer dans ce domaine afin de booster leur production et contribuer ainsi à la croissance économique du pays ; appuyer la recherche dans le domaine d'irrigation afin de donner l'intérêt aux investisseurs.

Aux entreprises qui exploitent l'irrigation dans ce pays, cette étude est apte à être dupliquée dans différents systèmes d'irrigation pour accroître et maximiser leur production.

Aux chercheurs, le domaine d'irrigation est encore peu exploité dans la région, plusieurs études y sont nécessaires pour le développement de la région ; le thème sur l'efficacité est très vaste et pertinent qui méritent beaucoup d'études, à la suite de la nôtre, précisément en ce qui concerne l'efficacité d'application en irrigation.

Remerciements

Il est impérieux, dans ce travail de remercier les responsables du CEPROCEM qui ont mis à notre disposition les données nécessaires pour rédiger ce travail. Il s'agit de : NINO MUANZA MUKONGA, directeur général ; Robert ISSIAKA FUNDI, directeur des ventes ; Bienvenu KUBINDANA EKOU, directeur de production et Augustin BABA, chef de service technique

Financement

Ce travail a été entièrement financé par les auteurs.

Conflit d'Intérêt

Les auteurs de cette étude ne déclarent aucun conflit d'intérêt. Aucun enquêté ne s'est immiscé dans l'analyse de ces données. Celle-ci a été totalement prise en charge par les auteurs afin de lui donner un caractère authentique et original

Considérations Ethiques

Ce travail est réalisé dans le strict respect des normes requises pour l'élaboration d'un article scientifique. Il est fondé sur des théories et pensées issues des publications de plusieurs auteurs assermentés en la matière qui ont été dument référencés. Les données y traitées proviennent des privées enquêtés et interviewés. L'enquête auprès du CEPROSEM a été faite sur base d'un ordre de mission dument visé par l'autorité déléguée par le gérant.

Contribution des Auteurs

J.J.NZ.T : a conçu et rédigé le manuscrit principal ;

G.SP.L. : a contribué à l'interprétation des résultats et à la mise en forme ;

L.N.C. : a validé les données et le modèle, et a contribué à la discussion ;

A.MF.K. : a contribué à l'interprétation des résultats et à la discussion ;

F.NT.B : a participé à l'analyse statistique ;

R.M.TS. : a validé la version finale.

Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit.

ORCID des Auteurs

Nzau J.J.T : <https://orcid.org/0009-0001-1962-6148>

Lutonadio G.SP.K. : <https://orcid.org/0000-0003-1132-2462>

Ngonzo L.C : <https://orcid.org/0000-0001-7224-6737>

Mfumu A.K: <https://orcid.org/0000-0003-0702-1261>

Ntedika B.F : <https://orcid.org/0009-0008-5544-2718>

Tshimanga R.M. : <https://orcid.org/0000-0002-4726-3495>

Références bibliographiques

Arrifi, E. M. (2009). L'économie et la valorisation de l'eau en irrigation au Maroc: un défi pour la durabilité de l'agriculture irriguée. In *Symposium international Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED)*, Rabat (pp. 14-16).

Bas, A., Gastineau, P., Hay, J., & Levrel, H. (2013). Méthodes d'équivalence et compensation du dommage environnemental. *Revue d'économie politique*, 123(1), 127-157.

Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical economics*, 20(2), 325-332.

Betti, L. J. (2011). *Les relations eau-forêt en Afrique centrale*. African forest forum. Working Paper.

Bojago, E., & Abraham, Y. (2023). L'agriculture irriguée à petite échelle (AIP) en tant que pratique d'agriculture climato-intelligente (ACI) et son influence sur l'amélioration des moyens de subsistance dans le district d'Offa, dans le sud de l'Éthiopie. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100534.

Bouarfa, S., Brelle, F., & Coulon, C. (2020). *Quelles agricultures irriguées demain? Répondre aux*

enjeux de la sécurité alimentaire et du développement durable (p. 212). Éditions Quae.

Bowlin, WF (1998). *Mesurer les performances : une introduction à l'analyse d'enveloppement des données (DEA)*. *Le journal d'analyse des coûts*, 15 (2), 3-27.

Chaffai, M. E., & Dietsch, M. (1999). Mesures de l'efficacité technique et de l'efficacité allocative par les fonctions de distance et application aux banques européennes. *Revue économique*, 633-644.

Chetto, A. (2020). Mesure de l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation dans les exploitations agrumicoles du Gharb avec un Modèle de Production Frontière Stochastique. *African and Mediterranean Agricultural Journal-Al Awamia*, (129), 1-35.

Coelli, T. (1995). Estimateurs et tests d'hypothèses pour une fonction frontière stochastique : une analyse de Monte Carlo. *Journal of productivity analysis*, 6 (3), 247-268.

Coelli, T. J. (1996). *A guide to FRONTIER version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation* (Vol. 7, pp. 1-33). CEPA Working papers.

Cook, WD et Seiford, LM (2009). Analyse d'enveloppement des données (DEA) – Trente ans plus tard. *Revue européenne de recherche opérationnelle*, 192 (1), 1-17.

Cush Ngonzo L., Joie Apiyo O. et Chris Allan Sh., (2017) L'impact du réchauffement du microclimat sur les agriculteurs Muooni du Kenya, Département de géographie, Université Kenyatta, Nairobi PO Box 43844-00100.

Feltz, N. (2016). *Evaluation de l'efficacité et de la performance des périmètres irrigués en transition: une méthodologie intégrée appliquée au cas de la plaine des Triffa au Maroc* (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain) (Doctoral dissertation, Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).

Guido, Z., Knudson, C., et Rhiney, K. (2020). La COVID-19 sera-t-elle le choc de trop pour les moyens de subsistance des petits exploitants de café ? *World Development*

Harb, J. (2020). Le projet GAP de la Turquie: au-delà du développement.

Jha, V., Al-Ghamdi, SM, Li, G., Wu, MS, Stafylas, P., Retat, L., & Garcia Sanchez, JJ (2023). Fardeau économique mondial associé à l'insuffisance

- rénale chronique : une analyse pragmatique des coûts médicaux pour le programme de recherche interne sur l'IRC. Progrès en thérapie.
- Journal officiel de la RDC, Loi n° 15/026 du 31 décembre 2015 relative à l'eau, Kinshasa
- Kambou, D. (2019). *Evaluation des Performances Techniques de l'irrigation au Burkina Faso*. Université de Liege (Belgium).
- Kambou, D., Xanthoulis, D., Ouattara, K., & Degré, A. (2014). Concepts d'efficacité et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18(1).
- Karam, ST, et Abdulrahman, AF (août 2022). Synthèse verte et caractérisation de nanoparticules de ZnO à l'aide d'un extrait de feuille de thym. Dans *Photonics* (vol. 9, n° 8, p. 594). MDPI.
- Kohl, S., Schoenfelder, J., Fügner, A. et Brunner, JO (2019). L'utilisation de l'analyse d'enveloppement des données (DEA) dans le domaine des soins de santé, en mettant l'accent sur les hôpitaux. *Science de la gestion des soins de santé*, 22, 245-286.
- Kohl, S., Schoenfelder, J., Fügner, A. et Brunner, JO (2019). L'utilisation de l'analyse d'enveloppement des données (DEA) dans le domaine des soins de santé, en mettant l'accent sur les hôpitaux. *Science de la gestion des soins de santé*, 22, 245-286.
- Kumbhakar, SC, et Lovell, CK (2003). *Analyse de la frontière stochastique*. Presses universitaires de Cambridge
- Lutonadio, J. P. K., & Mpoyi, K. B. (2024). Prévalence de la dyslipidémie chez les patients âgés d'au moins 50 ans diagnostiqués à la clinique Riviera à Kinshasa. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 43(3), 833-846.
- Maazouz S. (2016). La Pénurie de l'eau : une réalité effrayante. Agrimaroc.ma. consulté le 14 septembre 2019. (<https://www.agrimaroc.ma/la-penurie-de-l-eau-unerealite-effrayante/>)
- Marivoet, W., Ulimwengu, J. M., & El Vilaly, M. A. S. (2022). *Comprendre le paradoxe agricole de la République Démocratique du Congo*. Intl Food Policy Res Inst.
- Nhamo, G., et Chapungu, L. (2024). Perspectives pour une économie africaine durable et résiliente au changement climatique après la COVID-19. *Global Environmental Change*.1-10
- Ouedraogo, S. S. H., & Ouedraogo, S. (2008). Efficience technico-économique: Cas des producteurs de l'oignon et de la pomme de terre dans le Saïs au Maroc. *Agronomie Africaine*, 20(3).
- Papy, B. L., & René, K. N. (2019). Entre contraintes de survie et impératifs de salubrité publique. *Géopolitique et gouvernance de l'eau de surface en Afrique centrale*, 83.
- Ruelle, P. (2022). Guide pratique de l'irrigation (4e édition).
- Rumpala, Y. (2016). Science-fiction, spéculations écologiques et éthique du futur. *Revue française d'éthique appliquée*, 2(2), 74-89.
- Salem, H. B., Zaïbet, L., & Bachta, M. S. (2005). Performance de la gouvernance de l'eau d'irrigation par les groupements d'intérêt collectif, en périmètre public irrigué. In *Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués* (pp. 18-p). Cirad.
- Traboulsi, M. (2012). La saison pluvieuse au Proche-Orient: une tendance au raccourcissement. *Climatologie*, 9, 9-29.
- Tron, G., Chol, P., & Denys, F. (2000). La tensiométrie pour piloter les irrigations.
- Tshimanga, R. M., Lutonadio, G. S. K., Kabujenda, N. K., Sondi, C. M., Mihaha, E. T. N., Ngandu, J. F. K., ... & Lututala, B. M. (2021). An integrated information system of climate-water-migrations-conflicts nexus in the Congo Basin. *Sustainability*, 13(16), 9323.
- Wateau, F. (2023). Eau partagée, eau libre, bien commun? De quelques principes et logiques de partage à une frontière luso-espagnole. *L'eau, un bien commun?*
- Zewdie, MC, Moretti, M., Tenessa, DB, Ayele, ZA, Nyssen, J., Tsegaye, EA, ... & Van Passel, S. (2021). Efficacité technique agricole des petits exploitants agricoles en Éthiopie : une approche frontière stochastique. *Terrain* .7-10.