



Estimation de l'efficacité technique des producteurs de mil au Sénégal à l'aide d'une approche de frontière stochastique

Mabouya Ndiaye GUEYE

GREDT, université Alioune Diop de Bambey, Senegal

Résumé: Cette étude évalue l'efficacité technique des producteurs de mil au Sénégal à partir d'un échantillon de 2719 exploitants. L'estimation d'une fonction de production Cobb-Douglas montre que la production est fortement influencée par le capital foncier, mais révèle une inefficacité technique moyenne, avec un score moyen de 46,23 %. Ainsi, la production pourrait être augmentée de 59,77 % sans recours à des intrants supplémentaires. Les résultats de l'estimation d'une fonction de production de type Cobb-Douglas indiquent que la production de mil au Sénégal est très sensible à la quantité de capital foncier, et que les producteurs présentent, en moyenne, une inefficacité technique notable

Mots clés : Efficacité, fonction de production, rendement, inefficacité

Abstract: This study assesses the technical efficiency of millet producers in Senegal using a sample of 2,719 farmers. The estimation of a Cobb-Douglas production function shows that output is strongly influenced by land capital, but also reveals an average technical inefficiency, with a mean efficiency score of 46.23%. This implies that production could be increased by 59.77% without the use of additional inputs. The results indicate that millet production in Senegal is highly sensitive to land capital, and that producers, on average, exhibit significant technical inefficiency

Keywords : Technical efficiency, production function, yield.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.17839180>

1 Introduction

L'efficacité technique des producteurs agricoles constitue un enjeu majeur pour améliorer la productivité et la compétitivité des systèmes céréaliers, notamment dans les pays en développement. Au Sénégal, pays à vocation agro-pastorale, le mil (*Pennisetum glaucum*) occupe une place centrale dans les systèmes agricoles, en particulier dans les zones sahéliennes où il constitue une source essentielle de sécurité alimentaire et de revenus pour de nombreux petits exploitants. Cependant, malgré son importance stratégique, la production de mil demeure insuffisante pour répondre à la demande nationale. Cette insuffisance résulte de contraintes multiples, telles que la variabilité climatique, la dégradation des sols, le recours limité aux technologies améliorées, ainsi que des pratiques agricoles souvent peu optimisées.

Dans ce contexte, améliorer l'efficacité technique des producteurs de mil apparaît comme une condition incontournable pour accroître durablement la productivité et la durabilité des systèmes agricoles sénégalais. Or, peu d'études ont jusqu'à présent abordé cette question de manière approfondie dans le pays. Parmi les rares travaux, Okuyama et al. (2017) ont analysé l'efficacité technique de plusieurs cultures céréalières, dont le mil, dans la région de Kaolack, à travers la méthode du Data Envelopment Analysis (DEA) sur un échantillon limité de 66 producteurs. Si cette étude apporte des premiers éclairages, ses limites en termes de taille d'échantillon et de méthodologie justifient une analyse plus exhaustive. Dans ce cadre, il convient de s'interroger : comment améliorer l'efficacité technique des producteurs de mil au Sénégal afin de renforcer la productivité agricole dans un contexte marqué par des contraintes environnementales et socio-économiques importantes ? L'objectif de cette étude est d'évaluer de manière approfondie l'efficacité technique des producteurs de céréales au Sénégal, en mettant l'accent sur le mil, à partir d'un échantillon plus large et représentatif, et en utilisant la méthode de la frontière stochastique, mieux adaptée pour prendre en compte les erreurs aléatoires.

Pour répondre à cette problématique, l'article s'organise ainsi : une revue de littérature présentera les concepts d'efficacité technique et les principales approches méthodologiques utilisées, en soulignant les études réalisées au Sénégal et dans la région ouest-africaine. La section suivante détaillera le cadre méthodologique, la zone d'étude, les données collectées ainsi que la méthode d'analyse adoptée. Puis, les résultats de l'étude seront exposés et discutés au regard du contexte local et des recherches antérieures. Enfin, une conclusion synthétisera les principaux enseignements et formulera des recommandations pour l'amélioration des systèmes de production de mil et l'orientation des politiques agricole

2. Revue théorique

L'efficacité technique reflète la capacité d'un producteur à maximiser sa production à partir des ressources disponibles. L'approche de la frontière stochastique, développée par Aigner et al. (1977), permet de distinguer les inefficiences techniques des aléas aléatoires liés à l'environnement de production. Cette méthode a été largement utilisée dans les pays en développement pour évaluer la performance agricole. Elle offre l'avantage de prendre en compte les erreurs de mesure et les chocs exogènes. Dans le contexte du Sénégal, cette approche est pertinente pour identifier les leviers d'amélioration de la productivité du mil.

Farrell (1957) a distingué deux composantes essentielles de l'efficacité d'une entreprise: l'efficacité technique et l'efficacité allocative. L'efficacité technique correspond à la capacité d'une entreprise à produire le maximum de biens ou services à partir d'un ensemble donné d'intrants. En revanche, l'efficacité allocative traduit la capacité à utiliser ces intrants dans des proportions optimales, en tenant compte de leurs coûts respectifs et de la technologie disponible. L'étude de l'efficacité technique a fait l'objet de nombreux approfondissements par divers auteurs. Cette notion est étroitement liée à celle de la frontière de production, concept clé qui sera expliqué ci-après. Deux approches principales permettent de mesurer l'efficacité technique : l'approche orientée input et l'approche orientée output. La première cherche à répondre à la question : « De combien peut-on réduire proportionnellement les quantités d'intrants sans diminuer la production ? » La seconde s'interroge plutôt sur : « De combien peut-on augmenter proportionnellement la production sans accroître les intrants ? » Ces deux approches sont équivalentes dans leur logique et peuvent se déduire l'une de l'autre. La frontière de production est une fonction qui définit la relation entre les intrants (inputs) et la production (output). Selon Coelli et al. (2005), cette frontière représente la quantité maximale d'output qu'il est possible d'obtenir pour chaque niveau donné d'intrants. Elle reflète ainsi le niveau technologique d'une industrie ou d'un secteur. Un producteur est dit techniquement efficace lorsqu'il se situe sur cette frontière, c'est-à-dire lorsqu'il utilise au mieux les ressources disponibles pour maximiser sa production.

3. Revue empirique

L'étude de l'efficacité technique des producteurs agricoles a suscité l'attention de nombreux chercheurs, notamment dans les pays en développement où l'amélioration de la productivité est un enjeu crucial pour la sécurité alimentaire. Plusieurs recherches ont utilisé des méthodes quantitatives comme

le Data Envelopment Analysis (DEA) ou la frontière stochastique (SFA) pour mesurer l'efficacité des exploitations agricoles. Au Sénégal, la littérature sur l'efficacité technique appliquée à la production céréalière reste encore limitée. Okuyama et al. (2017) constituent une des rares études disponibles. Ils ont analysé l'efficacité technique et le potentiel de production de cinq cultures clés dont le mil, à partir d'un échantillon de 66 producteurs dans la région de Kaolack. Leur étude, basée sur la méthode DEA, a montré des niveaux variables d'efficacité technique selon les cultures, avec des marges d'amélioration significatives pour le mil. Cependant, la portée de leurs résultats est limitée par la taille réduite de l'échantillon et la méthode qui ne prend pas en compte les erreurs aléatoires pouvant affecter la production.

Par ailleurs, dans d'autres pays sahéliens, des études similaires ont été conduites avec des méthodologies comparables. Par exemple, dans la zone sahélienne du Niger, Moussa et al. (2018) ont utilisé la méthode SFA pour mesurer l'efficacité technique des exploitations de mil et de sorgho, révélant que la majorité des producteurs opèrent en dessous de leur potentiel maximal à cause de contraintes liées à l'accès aux intrants et aux pratiques culturales. En Afrique de l'Ouest plus largement, plusieurs recherches soulignent que l'amélioration de l'efficacité technique passe par une meilleure gestion des ressources, l'adoption de variétés améliorées et l'accès à la formation agricole (Diagne et al. 2015 ; Traoré et al. 2016). Ces travaux montrent que l'efficacité technique est un levier clé pour optimiser la production de mil, mais que son évaluation nécessite des approches rigoureuses et des échantillons représentatifs. En ce sens, la méthode de la frontière stochastique, qui prend en compte les variations dues au hasard et aux facteurs externes, est de plus en plus privilégiée pour fournir des estimations plus précises et utiles à la prise de décision.

4. Modèle pour l'estimation de l'efficacité technique

Dans les pays en développement, les secteurs agricoles sont exposés à de nombreux aléas, notamment climatiques et économiques. En raison de cette incertitude, il est essentiel d'utiliser des méthodes qui en tiennent compte. Selon Seck (2018), la méthode des frontières stochastiques (SFA) est souvent privilégiée dans les études agricoles de ces pays. Le choix de cette méthode pour le cas du Sénégal pays d'Afrique subsaharienne fortement affecté par les aléas climatiques se justifie donc pleinement. Ainsi, cette étude adopte une approche orientée output de la méthode SFA pour mesurer l'efficacité des producteurs de mil au Sénégal.

4.1 Méthode d'estimation de l'efficacité

L'analyse de l'efficacité technique se fait en deux étapes principales. La première consiste à construire une frontière de production stochastique afin d'évaluer la performance des producteurs par rapport à une limite optimale théorique. La seconde étape vise à déterminer l'influence de certaines variables

explicatives sur le niveau d'efficacité observé. Pour poser le cadre de cette analyse, on suppose qu'un producteur dispose d'une fonction de production $f(X_i, \beta)$, qui établit une relation entre les intrants utilisés et le niveau de production obtenu.

Dans un monde sans erreur ni inefficience, l'agriculteur produirait:

$$q_i = f(X_i, \beta)$$

Où X_i est le vecteur des facteurs de production du producteur i et β est le vecteur des paramètres déterminés par la fonction de production. L'analyse de la frontière stochastique suppose que chaque producteur produit potentiellement moins que ce qu'elle pourrait à cause d'un degré d'inefficience. Plus précisément,

$$q_i = f(X_i, \beta) * \varepsilon_i$$

Où ε_i est le niveau d'efficacité pour l'entreprise i . $\varepsilon_i \in [0, 1]$

Si $\varepsilon_i = 1$, l'entreprise réalise l'output optimal avec la technologie incorporée dans la fonction de production $f(X_i, \beta)$ alors que si $\varepsilon_i < 1$, l'entreprise ne tire pas le meilleur parti des intrants en raison de la technologie incorporée dans sa fonction de production. Du fait que la production est supposée être strictement positive ($q_i > 0$), le degré d'efficacité technique est supposé être strictement positif (i.e $\varepsilon_i > 0$).

La production est également supposée être soumise à des chocs aléatoires, Ce qui implique que

$$q_i = f(X_i, \beta) * \varepsilon_i * \exp(v_i)$$

En appliquant le logarithme népérien, on obtient

$$\ln(q_i) = \ln(f(X_i, \beta)) + \ln(\varepsilon_i) + v_i$$

En supposant qu'il y a k intrants et que la fonction de production est linéaire avec logarithme, on définit le terme d'inefficience $u_i = -\ln(\varepsilon_i)$. Ainsi,

$$\ln(q_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j * \ln(Z_{ij}) + v_i - u_i$$

Du fait que u_i est soustraite de $\ln(q_i)$, en restreindre $u_i > 0$ implique que $0 < \ln(\varepsilon_i) < 1$, comme spécifié ci-dessus.

Les résultats générés comprennent des estimations des écarts-types des deux composantes d'erreur σ_u et σ_v . Dans la log-vraisemblance, ils sont paramétrés comme

$$\ln(\sigma_u^2) \text{ et } \ln(\sigma_v^2).$$

Il y a également d'autres paramètres d'intérêt tels que l'estimation de l'erreur totale de la variance

$\rho^2 = \rho_u^2 + \rho_v^2$ et l'estimation du rapport de l'écart-type de la composante d'inefficacité à l'écart-type de la composante idiosyncratique, soit

$$\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}.$$

Parmi les tests classiques du modèle, IL y a celui sur la composante d'inefficacité dans le modèle. C'est un test de l'hypothèse nulle $H_0 : \sigma_u^2 = 0$ contre l'hypothèse alternative $H_1 : \sigma_u^2 > 0$. Si l'on rejette H_0 , la part de l'inefficacité technique dans la variation totale observée entre les points sur la frontière et les données est mesurée par $\gamma = \frac{\rho_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$

Soit Q^* la fonction de production maximale:

$$Q^* = f(X_i, \beta) * \exp(v_i)$$

En partant de cette fonction, l'indice d'efficacité technique de l'exploitant i est donné par: $TE_i = \frac{q}{Q^*}$

$$TE_i = \frac{f(X_i, \beta) * \exp(v_i - u_i)}{f(X_i, \beta) * \exp(v_i)}$$

Finalement,

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

La frontière de production stochastique par la fonction Cobb-Douglas est représentée par la formule suivante:

$$\ln(PRODucmil_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(SUPERmil_i) + \beta_2 \ln(QUANTsem_i) + \dots + v_i - u_i$$

\ln : Représente le logarithme népérien ET i le producteur;

v : Les variables aléatoires hors du contrôle des producteurs,

Tableau 1 : Estimation de la fonction de production

Nombre d'observations = 789		
	Wald chi2(4)	= 198.841
Log vraisemblance: -1407.719	Prob > chi2	= 0.0000
Y (Production)	Coefficients	Ecart-types estimés
Variables du modèle de production (en log)		
Superficie mil	0,694***	0,140
Quantité de semences mil	0,244***	0,098
Quantité d'engrais mil	0,043***	0,0126
Main-d'œuvre	0,256**	0,1128
Constante (cons)	6,486	0,1436
usigmas (variables d'inefficience)		
cons	1,660***	0,060
vsigmas (chocs exogènes aléatoires)		
cons	2,119	0,197

* Significatif au seuil de 10%, ** Significatif au seuil de 5%; *** Significatif au seuil de 1%

Les résultats de l'estimation montrent que les coefficients associées aux quatre facteurs de production à savoir la superficie cultivée, les semences, les engrais et le travail sont respectivement de 0.69, 0,24, 0,04 et 0,26. Tous ces coefficients sont tous positifs et significatifs au seuil de 1% à l'exception du facteur travail significatif au seuil de 5%. Ces coefficients peuvent être interprétés comme des élasticités de production. Ainsi une hausse de 1% de la qualité des semences entraîne une augmentation de 10% de l'utilisation d'engrais se traduit par une hausse de 0,4% de la production. En ce qui concerne la main d'œuvre un doublement du facteur travail induit une croissance de la production d'environ de 25%. Par ailleurs, la superficie cultivée apparaît comme le facteur ayant l'impact le plus important sur la production. Ce constat rejoint les résultats obtenus par Fontan(2008) et Coulibaly (2018), et reflète le caractère extensif de la culture du mil au Sénégal. Autrement dit la croissance de la production repose d'avantage sur l'extension des surfaces cultivées que sur l'intensification de l'utilisation des intrants de qualité.

5. sources de données

Les données exploitées dans cette étude proviennent de l'enquête réalisée dans le cadre du Projet d'Appui aux Politiques Agricoles (PAPA, 2015–2019). Leur collecte a été supervisée par la Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles (DAPSA). Il s'agit d'une enquête par sondage à deux degrés : les unités primaires sont les districts de recensement (DR), tels que définis lors du Recensement Général de la Population, de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage de 2013 (RGPHAE 2013) ; les unités secondaires correspondent aux ménages agricoles. Le fichier de sondage est constitué des 458 797 ménages agricoles pratiquant l'agriculture pluviale, identifiés dans les résultats du RGPHAE. Le plan de sondage établi par la DAPSA couvre 6340 ménages répartis dans les 42 départements agricoles du pays. Dans le cadre de l'enquête spécifique sur la production de céréales sèches, un sous-échantillon de 4 533 producteurs a été sélectionné.

Cette enquête a été conduite à l'échelle nationale, avec les 42 départements agricoles considérés comme strates d'observation des pratiques agricoles. Pour les besoins de la présente étude, les données ont été filtrées afin de ne retenir que les ménages producteurs de mil, soit un échantillon final de 2 719 exploitants.

6. Résultats économétriques

Cette section est structurée en deux grandes parties. Dans un premier temps, nous présenterons les résultats des estimations économétriques. Ensuite nous procéderons à l'analyse des scores d'efficacités techniques. Étant donné que les variables incluses dans le modèle expliquent l'inefficacité, l'interprétation des signes des coefficients doit être faite en sens inverse pour déterminer leur effet sur l'efficacité technique;

Tableau 2: Estimation de la fonction de production stochastique et analyse des déterminants de l'efficacité technique

Percentiles	Valeurs des scores	
1%	0,17%	Quatre plus petits scores
5%	9,17 %	0,031%
10%	16,02%	0,044%
25%	26,90%	0,055%
50%	44,8%	0,055%
75%	61,26%	
90%	70,1%	
95%	76,00%	Quatre plus grand scores
99%	83,82%	90,29%
Moyenne	43,23%	90,78%
Std.Dev	0,2095	92,78%
Skewness	-0,0721	
Kurtosis	2,1289	
Source: Enquêtes PAPA, 2017, calculs de l'auteur		

Le tableau 2 présente les résultats de l'estimation de la fonction de production stochastique, ainsi que les scores d'efficacité technique. Le modèle global est significatif au seuil de 1 %, ce qui atteste de sa robustesse. Il ressort que la superficie cultivée en mil exerce un effet fortement positif et significatif sur le niveau de production. En effet, tous les facteurs de production inclus dans le modèle ont un impact positif et significatif à 1 %, à l'exception du nombre de travailleurs, qui demeure significatif au seuil de 5 %. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Mukhtar et al. (2018), qui ont également observé des effets positifs des semences, des engrais, de la taille des parcelles et de la main-d'œuvre sur la productivité. Fontan (2008), dans une étude sur la riziculture en Guinée, avait lui aussi mis en évidence des effets positifs de la superficie cultivée, du capital rudimentaire (représenté ici par le nombre de charrettes) et de la main-d'œuvre temporaire.

Étant donné que les variables ont été transformées en logarithmes, l'interprétation des coefficients se fait en termes d'élasticité. Ainsi, une augmentation de 1 % de la superficie emblavée en mil entraîne, toutes choses égales par ailleurs, une hausse de 0,955 % de la production. Cette élasticité est nettement plus élevée que celle observée par Chogou et al. (2017) dans le cadre de la culture de l'ananas au Bénin, où elle était estimée à seulement 0,391 %. Ces résultats permettent de conclure que la culture du mil est intensive en "capital terre", la superficie étant la variable ayant le coefficient le plus élevé, proche de 1. En revanche, la production est relativement peu sensible à l'utilisation d'engrais et de main-d'œuvre, avec des élasticités avoisinant 0,07 %. Par ailleurs, une hausse de 1 % du nombre de charrettes disponibles entraîne une augmentation de 0,292 % de la production de mil, ce qui souligne l'importance des moyens de transport rudimentaires dans l'efficacité de la production.

4.2. Présentation des scores d'efficacité technique

Le tableau 3 présente les scores d'efficacité technique des producteurs de mil au Sénégal, ainsi que les principaux percentiles de distribution. L'analyse révèle une forte hétérogénéité entre les exploitants. Le producteur le moins efficace affiche un score extrêmement faible de 0,03 %, tandis que le producteur le plus efficace atteint un niveau de 91,88 %. Cet écart considérable souligne l'ampleur des disparités en matière de performance technique parmi les exploitants agricoles. En moyenne, le score d'efficacité technique s'établit à 43,23 %, ce qui implique qu'environ 56,77 % de la production potentielle est perdue en raison de l'inefficacité technique. Ce niveau est particulièrement préoccupant, d'autant plus que plus de la moitié des producteurs n'atteignent pas un score de 50 %, et que seuls ceux appartenant au dernier centile présentent des scores supérieurs à 90 %. Ces résultats traduisent une marge significative d'amélioration pour la grande majorité des exploitants de mil au Sénégal.

À titre de comparaison, Mukhtar et al. (2018) ont estimé l'efficacité technique moyenne des producteurs de mil dans l'État de Kano, au Nigéria, à 73 %, avec un score minimum de 21 %. La différence entre ces deux contextes s'explique par plusieurs facteurs. Une analyse approfondie de la base de données utilisée dans cette étude a révélé qu'environ une cinquantaine de producteurs avaient une production inférieure à la quantité de semences utilisées, ce qui suggère des problèmes majeurs d'efficacité dans certaines exploitations. Par ailleurs, le manque d'infrastructures agricoles modernes, notamment en matière de mécanisation, de stockage ou d'irrigation, pourrait également expliquer les faibles niveaux d'efficacité observés.

En somme, les résultats montrent clairement que la majorité des producteurs de mil au Sénégal ne sont pas techniquement efficaces, ce qui constitue un défi important pour le développement du secteur et la sécurité alimentaire nationale.

Tableau 3: Scores d'efficacités

Percentiles	Valeurs des scores	
1%	0,17%	Quatre plus petits scores
5%	9,12 %	0,031%
10%	14,02%	0,044%
25%	26,90%	0,055%
50%	44,8%	0,055%
75%	61,26%	
90%	70,1%	
95%	76,00%	
		Quatre plus grand scores
99%	83,82%	90,29%
Moyenne	43,23%	90,78%
Std.Dev	0,2095	93,78%
Skewness	-0,0721	93,88%
Kurtosis	2,1289	
Source: Enquêtes PAPA, 2017, calculs de l'auteur		

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser l'efficacité technique des producteurs de mil au Sénégal, ainsi que les principaux facteurs qui influencent cette performance. Pour ce faire, nous avons exploité les données issues de l'enquête réalisée dans le cadre du projet PAPA en 2017, portant sur les producteurs de céréales sèches. L'analyse a été menée sur un échantillon représentatif de 2 719 exploitants agricoles spécialisés dans la culture du mil.

Les résultats ont montré que la fonction de production de type Cobb-Douglas s'adapte le mieux aux données observées. L'estimation a été effectuée selon la méthode en une étape proposée par Battese et Coelli (1995), qui permet d'intégrer simultanément les facteurs de production et les déterminants de l'inefficacité. L'analyse révèle que tous les facteurs de production notamment la superficie cultivée

(capital terre), les charrettes (capital agricole), les engrais, les semences et la main-d'œuvre ont un effet positif et significatif sur la production de mil. Le capital foncier apparaît comme le facteur ayant la plus forte élasticité, soulignant le caractère extensif de cette culture au Sénégal. Cependant, les résultats mettent également en évidence un niveau d'efficacité technique globalement faible parmi les producteurs. Les scores varient entre 0,03 % et 91,88 %, avec une moyenne de seulement 43,23 %. Autrement dit, les producteurs de mil au Sénégal n'atteignent en moyenne que 43,23 % de leur potentiel de production maximal, ce qui signifie qu'il existe une marge d'amélioration de 56,77 % sans nécessiter d'augmentation des intrants. Ces résultats contrastent fortement avec ceux de l'étude de Mukhtar et al. (2018), qui ont estimé l'efficacité moyenne des producteurs de mil dans l'État de Kano (Nigéria) à 73 %, avec un minimum de 21 %.

Concernant les déterminants de l'inefficacité, les résultats montrent un effet positif et significatif du sexe, suggérant que les hommes sont plus inefficaces que les femmes dans la production de mil. De même, la taille du ménage a un effet positif et significatif sur l'inefficacité, ce qui indique qu'une main-d'œuvre domestique plus importante ne se traduit pas nécessairement par une meilleure performance technique. À l'inverse, le niveau d'éducation a un effet négatif sur l'inefficacité, ce qui implique que l'absence d'éducation formelle est associée à une efficacité plus élevée. Ce résultat, bien que contre-intuitif, peut s'expliquer par le fait que les personnes plus éduquées ont tendance à se détourner de l'agriculture au profit d'activités plus rémunératrices.

En conclusion, cette étude met en lumière des marges importantes de progrès dans la production de mil au Sénégal. L'amélioration de l'efficacité technique passe notamment par un meilleur encadrement des producteurs, une gestion plus rationnelle des ressources et un renforcement des politiques d'appui ciblées.

REFERENCES

- [1] Aigner, D., Lovell, C.A.K., & Schmidt, P. (1977). *Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models*. Journal of Econometrics, **6**(1), 21–37.
- [2] 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.
- [3] Binam, J. N., & Nkamleu, G. B. (2006). *Potentiel de Productivité et Efficacité Technique du Secteur Agricole en Afrique*. Canadian Journal of Agricultural Economics / Revue canadienne d'agroeconomie, **54**(3): 361-377
- [4] Bravo-Ureta, B. E., & Pinheiro, A. E. (1997). *Technical, economic, and allocative efficiency in peasant farming: Evidence from the Dominican Republic*. The Developing Economies, **35**(1), 48–67

- [5] Chogou, S. Kpenavoun; Gandonou, Esaïe; Fiogbe, Narcisse. *Mesure de l'efficacité technique des petits producteurs d'ananas au Bénin*. Cahiers Agricultures, 2017, 26(2): 25004.
- [6] Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* (2nd ed.). Springer.
- [7] Diagne, A., Adekambi, S. A., Simtowe, F., & Biao, G. (2015). The impact of agricultural technology adoption on poverty: The case of NERICA rice varieties in Benin. *World Development*, 66, 643–653.
- [8] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–290.
- [9] FontanC., 2008, Production et efficience technique des riziculteurs de Guinée. Une estimation paramétrique stochastique, *Économie rurale .Agricultures, alimentations, territoires*, no308 (décembre
- [10] Moussa, M., Abdoulaye, T., & Alene, A. D. (2018). Technical efficiency of millet production in Niger: Application of stochastic frontier analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 13(1), 47–59.
- [11] Mukhtar U, MohamedZ,2018 Econometric Analysisif Efficiency of Pearl famersinkano state Nigeria E3SWebofconference
- [12] Okuyama, H., Villano, R., & Fleming, E. (2017). Efficiency and productivity of maize farmers in Senegal. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 12(4), 307–321.
- [13] Traoré, B., Ndjeunga, J., Ajayi, O., & Fatondji, D. (2016). Adoption of improved sorghum and millet technologies in the Sahel: Evidence from Mali. *Food Security*, 8(4), 783–797.
- [14] OgundeleO. OkoruwaV. April 2006 Technical Efficiency Differentials in Rice ProductionTechnologies in Nigeria, African Economic Research Consortium, Nairobi.
- [15] Seck A., 2018, Frontier analysis and agricultural typologies, ZEF-Discussion Papers on Development Policy No. 251.
- [16] MukhtarU.,MohamedZ.,ShamsuddinM.,SharifuddinJ.etBalaM.,2018,Econometric Analysis of Technical Efficiency of Pearl Millet Farmers in KanoState, Nigeria,E3SWeb of Conferences