

Daniela Borodak

Les outils d'analyse des performances productives utilisés en économie et gestion : la mesure de l'efficacité technique et ses déterminants



■ Résumé

Dans ce papier nous présentons les outils de mesure de l'efficacité technique et de ses déterminants, utilisés en économie et en gestion parmi les multiples mesures de performances productives des organisations. Sont exposés : la définition du concept d'efficacité technique, les modèles de frontières qui permettent de la calculer et les méthodes disponibles pour isoler l'influence des déterminants de l'inefficacité technique.

■ Abstract

In this paper we intend to present the tools for measuring technical efficiency and its determinants used in economics and management among the diverse measures of productive performances of organisations. We include: the definition of the concept of technical efficiency, frontier models and the methods available to locate the impact of the determinants of technical inefficiency.

■ Mots clés / Keywords

Efficacité technique, frontière stochastique, approche du DEA // *Technical Efficiency, Frontier Models, Data Envelopment Analysis*
Classification JEL : C19, C25

Sommaire

Introduction 5

1 Définitions du concept de l'efficience et généralités sur les modèles de
frontière 6

2 Approche paramétrique - généralités 7

 2.1 *Frontière de production-généralités* 7

 2.2 *Choix du type de frontière de production*..... 8

3 Approche non paramétrique - généralités 9

4 Prise en compte des déterminants de l'inefficience technique..... 10

Conclusion et choix des approches 12

Bibliographie 14

Introduction

L'objet de ce document est d'exposer les principales méthodes utilisées aujourd'hui communément par les économistes intéressés par le développement et la gestion des entreprises pour répondre aux questions relatives aux performances des unités de production : Quels sont les producteurs les plus performants ? Quels sont les facteurs qui influencent les performances ? Quelles sont les mesures qui permettraient d'améliorer les performances productives ?

Plus spécifiquement, parmi les multiples mesures de performances productives utilisées dans la littérature sur l'économie de la production, nous avons choisi de mettre l'accent sur l'efficacité technique, en particulier les outils applicables aux données transversales. Ce document est organisé de la manière suivante : dans une première section nous présentons la définition du concept d'efficacité technique ; dans les sections deux et trois nous exposons les modèles de l'approche paramétrique et non-paramétrique, respectivement. Dans la section quatre sont présentées les méthodes disponibles pour isoler l'influence des déterminants de l'inefficacité technique. Enfin, nous concluons en discutant le choix des approches présentées.



1 Définitions du concept de l'efficacité et généralités sur les modèles de frontière

L'*efficacité économique*¹, ou encore l'*efficacité productive*, a deux composantes : l'efficacité allocative et l'efficacité technique. L'*efficacité allocative* (ou des prix) concerne la capacité à combiner les inputs et les outputs dans les proportions optimales, compte tenu des prix donnés sur le marché. L'*efficacité technique* (ou physique) concerne la capacité à éviter le gaspillage. L'entreprise est déclarée techniquement efficace si, pour les niveaux d'inputs utilisés et d'outputs produits, il lui est impossible d'augmenter la quantité d'un output sans augmenter la quantité d'un ou plusieurs inputs ou de réduire la quantité d'un autre output.

L'*efficacité technique* se décompose à son tour en efficacité d'échelle et en efficacité technique pure. L'*efficacité d'échelle* permet de rapporter la mesure de l'efficacité technique aux rendements d'échelle obtenus pour les niveaux d'activité optimaux. Elle caractérise l'écart existant entre les performances constatées et celles qui seraient obtenues dans une situation d'équilibre concurrentiel de long terme où le profit est nul, c'est-à-dire par rapport à une situation où les rendements d'échelle sont constants. Ainsi, une entreprise est inefficace d'échelle si sa situation initiale est caractérisée par des rendements d'échelle croissants ou décroissants.

L'*efficacité technique pure* (ET) reflète la capacité d'une entreprise à optimiser sa production pour un niveau donné d'intrants et, symétriquement, à minimiser ses consommations en ressources pour un niveau donné de production. Elle reflète l'organisation du travail à l'intérieur de l'unité de production, l'habileté d'organiser, de motiver et de surveiller efficacement les employés et les superviseurs ou encore l'habileté d'éviter les erreurs et les mauvaises décisions. Ces aspects de l'efficacité sont souvent classés sous la rubrique « X-efficacité ». Par conséquent, la mesure de l'efficacité technique pure est indépendante des prix des produits et des intrants et de la disponibilité de ces derniers.

Les mesures quantitatives de l'efficacité économique sont avantageuses pour au moins trois raisons (Kalirajan et Shand, 1999). En tant que mesures per se, elles facilitent la comparaison entre des unités productives similaires, et peuvent donc nous donner une indication sur l'efficacité relative des firmes. Lorsque ces mesures révèlent des variations dans l'efficacité relatives des différentes unités productives étudiées, une analyse plus approfondie permet d'identifier les facteurs qui conduisent à ces variations. Ces analyses ont des implications de politique économique concernant l'amélioration de l'efficacité.

Les mesures d'efficacité utilisées pendant les 40 dernières années trouvent leur origine dans les travaux de Farrell (1957)² et font appel à des techniques dites des points extrêmes. Avant les travaux de Farrell, les estimations de fonctions de production étaient des moyennes, ce qui impliquait que certaines firmes produisent plus ou moins que la moyenne. Cette approche a été largement critiquée. Au lieu de mesurer les indices séparés de productivité de chaque intrant, Farrell propose de mesurer l'efficacité productive de l'activité en général, son approche pouvant

¹ La notion d'efficacité productive est différente de la notion d'*efficacité sociale ou collective*. L'*efficacité sociale ou collective* est relative à l'ensemble de l'économie qui inclut producteurs et consommateurs. Elle est atteinte lorsqu'il est impossible d'accroître l'utilité (ou la satisfaction) d'un consommateur sans diminuer celle d'un autre. On parle alors d'optimum de Pareto ou optimum de premier rang.

² Dans son article de 1957 (appliqué à des données agricoles inter-états des EU) il soutient que la mesure de l'efficacité revêt d'une importance théorique et pratique: une mesure satisfaisante de l'efficacité permet des tests empiriques des arguments théoriques, ainsi que la planification économique pour améliorer la productivité des industries particulières (voir Ali et Seinfeld 1993).

s'appliquer à tous les types d'organisation de la production. Il introduit le concept de "frontière" de production. Farrell rejette l'idée de la mesure de l'efficacité absolue fondée sur une situation idéale prédéterminée, et propose la mesure de l'efficacité relative, ou mesure de la déviation par rapport à la meilleure performance dans un groupe. Ainsi, on peut mesurer et expliquer la déviation de la productivité totale de facteurs de production (PTF) par rapport à la frontière. L'écart entre la PTF observée et la frontière de production est appelé inefficience technique.

Farrell a suggéré d'utiliser deux types de frontière de production, ce qui a conduit au fait que deux paradigmes distincts ont été développés quant à la méthode de « construction » de la frontière de production. Ceci a conduit au développement des deux approches : paramétriques (Aigner et Chu, 1968, Aigner et al., 1977 et Meeusen et al., 1977) et non-paramétriques (Charnes, Cooper et Rhodes, 1978, et Banker et al. 1984), qui donnent lieu à des interprétations particulières de la déviation par rapport à la frontière d'une firme.

L'approche paramétrique de la frontière repose sur une spécification particulière de la technologie, dont il faut estimer les paramètres. L'efficacité technique est mesurée à partir du terme d'erreur de la fonction de production. On distingue les frontières de production déterministes, probabilistes et stochastiques.

L'approche non paramétrique présente la particularité de n'imposer aucune forme fonctionnelle aux frontières de production. Celles-ci sont construites par la résolution des problèmes primal et dual de programmation linéaire, une fois définis les inputs et les outputs des unités de production (firmes, fermes, etc.). Une unité de production (UP) est considérée efficiente dans un échantillon si aucune autre UP ne produit plus d'outputs avec la même quantité d'inputs. L'une des méthodes les plus utilisées est l'Analyse d'Enveloppement des Données (AED en français et Data Envelopment Analysis, DEA en anglais).

2 Approche paramétrique-généralités

2.1 Frontière de production - généralités

Selon la théorie néoclassique, les firmes se trouvent sur leur frontière de production, en produisant le niveau maximal d'output avec le niveau d'inputs choisi - il s'agit de la « fonction de production primale ». Ainsi toutes les firmes par définition sont techniquement efficientes, la seule source d'inefficience économique réside dans l'inefficience allocative. Nous pouvons écrire la fonction de production de la firme i (qui produit un seul output et utilise plusieurs inputs) de manière suivante:

$$Y_i^* = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) / T \quad (1)$$

Ici Y_i^* , les x_i et T représentent respectivement l'output, les inputs et la technologie de la firme i .

En pratique la firme produit au-dessous de la frontière des possibilités de production (FPP), en étant inefficience techniquement parce qu'elle peut avoir une connaissance incomplète des meilleures méthodes pour utiliser les inputs, ou être influencée par des facteurs qui l'empêchent d'être sur la frontière. Pour modéliser l'influence des divers facteurs qui font que la firme se trouve au-dessous de la FPP, nous pouvons réécrire la fonction de production de la firme i ainsi :

$$Y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) \exp(u_i) / T \quad (2)$$

Dans ce cas, u_i représente la combinaison des divers facteurs qui empêchent la firme de se trouver sur la frontière de production et d'atteindre Y_i^* .

Aussi, $\exp(u_i)$ reflète la capacité de la firme de se trouver au niveau de production observée Y_i , qui est le niveau d'efficacité technique atteint. Les valeurs prises par u_i dépendent de la situation dans laquelle se trouve la firme i . Lorsque rien n'affecte les capacités de la firme à atteindre Y_i^* , u_i prend la valeur nulle. Sinon, la valeur de u_i dépend des contraintes de la firme.

Ainsi, la mesure de l'efficacité technique de la firme peut être définie comme le rapport entre le produit observé et le produit maximal possible:

$$\exp(u_i) = Y_i / Y_i^* . \quad (3)$$

L'équation (2.3) est le modèle de base qui sert à mesurer l'efficacité technique.

L'estimation d'une FPP selon l'approche paramétrique implique un certain nombre de choix et notamment : le choix du type de FPP, le choix de la forme fonctionnelle de la FPP, le choix de la technique d'estimation de la FPP et le choix de la méthode de modélisation de l'inefficacité.

2.2 Choix du type de frontière de production

Dans la littérature on trouve trois approches paramétriques pour estimer la frontière des possibilités de production et donc l'efficacité technique: déterministe, probabiliste et stochastique³. La littérature sur la frontière des possibilités de production déterministe a servi de départ aux études sur les frontières de production stochastiques et probabilistes, et sur le type de distribution de la perturbation reflétant l'inefficacité. Les approches probabilistes et stochastiques consistent (par définition) à réduire la sensibilité de la frontière (FPP) estimée aux erreurs (véritablement) aléatoires.

L'approche déterministe, développée par Afriat (1972) et Richmond (1974)⁴ consiste à utiliser l'ensemble des observations qu'on suppose se situer sur ou sous la FPP et suppose que le terme d'erreur en entier résulte de l'efficacité technique. Cette technique correspond le plus au concept théorique de la "frontière" en tant que la plus haute limite des outputs. Mais, empiriquement cette technique est très sensible aux erreurs de mesure. Les modèles de frontière déterministe comportent plusieurs limites, dont⁵ : (1) ils ne différencient pas les effets dus aux bruits statistiques, aux chocs extérieurs ou hors du contrôle de l'entreprise, des effets dus à l'inefficacité technique ; (2) par construction, la frontière est sensible aux erreurs de mesure de la variable dépendante.

L'approche probabiliste a pour but de réduire cette sensibilité. Étant donné le fait que la frontière est sensible aux observations extrêmes qui peuvent biaiser l'estimation pour un échantillon d'entreprises donné, Timmer (1971) réduit cette sensibilité en permettant à un pourcentage prédéterminé des observations les plus efficaces de se situer au-dessous de la frontière.

³ Nous ne présentons pas ici les modèles de frontières utilisant des données en panel (voir la revue de littérature de ces études dans Kaliragan et Shan, 1999).

⁴ Afriat (1972) et Richmond (1974) sont les premiers à spécifier de tels modèles à l'aide des distributions Bêta et Gamma, respectivement.

⁵ Les autres limites que nous ne citons pas concernent la consistance des estimateurs utilisés dans le cas des modèles de frontière déterministe.

L'approche stochastique simultanément proposée par Aigner, Lovell et Schmidt (1977), par Battese et Corra (197) et par Meeusen et Van den Broeck (1977) consiste à spécifier dans le terme d'erreur deux composantes: (1) l'une capte les effets de l'inefficacité par rapport à la frontière et (2) l'autre permet une variation aléatoire de la frontière à travers l'ensemble des entreprises de l'échantillon et capte les effets des erreurs de mesure et autres bruits statistiques hors du contrôle des producteurs. Nous pouvons réécrire l'équation (2.3) ainsi:

$$y_i = f(x_i) \exp(\varepsilon_i). \quad (4)$$

Dans l'équation (2.4) le terme d'erreur est décomposé de la manière suivante:

$$\varepsilon_i = v_i - u_i. \quad (5)$$

L'estimation de la frontière (2.4) nécessite de faire les hypothèses suivantes.

- Premièrement, v_i et u_i suivent des distributions indépendantes.
- Deuxièmement, le terme v_i est un vecteur d'erreurs aléatoires supposé suivre une densité normale.
- Troisièmement, le terme u_i est une variable aléatoire non-négative, pour laquelle on choisit une distribution particulière : elle est supposée représenter le score d'inefficacité technique de la i -ème firme.

3 Approche non paramétrique - généralités⁶

La méthode DEA prend ses origines dans les travaux de Farrell (1957) et Farrell et Fieldhouse (1962), qui proposent une mesure de l'efficacité relative. En 1978 Charnes, Cooper et Rhodes reprennent l'approche proposée par Farrell et l'étendent à des situations dans lesquelles les firmes ont des inputs et outputs multiples et « non-équivalents ».

L'approche "Data Envelopment Analysis" ou DEA est généralement utilisée pour évaluer l'efficacité d'un ensemble de producteurs. La méthode DEA consiste à comparer les performances de chaque producteur uniquement avec celles des meilleurs producteurs de l'échantillon considéré ou les meilleurs producteurs virtuels. La recherche du meilleur producteur virtuel pour chaque producteur est au centre de l'analyse DEA. Si le producteur virtuel est meilleur que le producteur observé (soit parce que le producteur original produit plus d'outputs en utilisant les mêmes inputs que celui virtuel, soit parce qu'il produit autant d'outputs avec moins d'inputs), alors le producteur observé est inefficace. La procédure de recherche du meilleur producteur virtuel est formulée sous la forme d'un programme mathématique. L'analyse de l'efficacité de N producteurs nécessite alors la résolution de N problèmes de programmation mathématique. Les mesures individuelles de l'efficacité sont calculées par résolution des problèmes primal et dual de programmation linéaire. La mesure de l'efficacité selon l'approche DEA ne se fait pas relativement à une Frontière des possibilités de Production, mais relativement à la surface d'enveloppement (SE). En utilisant les données disponibles observées on détermine quel est le sous-groupe d'unités de production qui forment une fonction de production empirique ou une SE ou une frontière d'efficacité. Ils existent deux types de base de SE, en fonction du type de rendements d'échelles (constants, CRS ou variables, VRS) du processus de production. A chaque type de SE est associé une hypothèse implicite

⁶ Badillo et Paradi (1999) proposent une revue de littérature sur les méthodes de l'approche non-paramétriques, ainsi qu'un ensemble d'études appliquées utilisant ces méthodes.

concernant le type de rendements d'échelle. La géométrie de cette SE est fonction du modèle DEA particulier employé. De plus, une SE hybride est aussi possible, avec des rendements d'échelles non-croissants ou non-décroissants. Ainsi, le choix de la SE appropriée est dictée par des hypothèses économiques ou autres concernant les données à analyser. On mesure l'efficacité de chaque unité de production, correspondant à la distance de celle-ci à la SE. Les unités de production qui ne sont pas sur cette SE sont inefficaces.

Selon Ali et Seinfeld (1993), la formulation d'un modèle DEA requiert les choix suivants:

- le type de la surface d'enveloppement (SE): segmentée linéaire (piecewise linear) ou segmentée log-linéaire (piecewise log-linear); passant par l'origine ou pas
- les rendements d'échelle: constants ou variables
- le type d'orientation: input-oriented (on détermine une efficacité conditionnée par l'économie sur les inputs), output-oriented (on détermine une efficacité conditionnée par l'optimisation des produits), ou sans orientation.
- la mesure de l'efficacité: pour calculer le niveau d'inefficacité d'une DMU inefficace, on la projette sur la surface d'enveloppement et le point obtenu indique son meilleur homologue virtuel. La distance entre ces deux points est la mesure de l'inefficacité. Le point de projection est situé à des endroits différents sur la SE, selon le type du modèle DEA particulier choisi et selon le type d'orientation du modèle.

L'approche DEA comporte certains avantages par rapport à d'autres approches. Notamment, (1) elle permet de se focaliser sur les observations individuelles, plutôt que les moyennes d'échantillon, (2) elle produit une mesure unique agrégée pour chaque unité de production, en terme de son utilisation des inputs (variables indépendantes) pour produire les outputs désirés (variables dépendantes), (3) elle permet la prise en compte simultanée d'inputs multiples et d'outputs multiples, même lorsqu'ils sont tous exprimés en unités de mesure différentes (4) elle permet des ajustements pour des variables exogènes et l'utilisation de variables muettes, (5) elle ne nécessite pas des spécifications particulières ou de connaissance a priori des pondérations et des prix des inputs ou outputs et enfin (6) elle ne pose pas de restrictions sur la forme fonctionnelle de la fonction de production.

Le problème majeur des modèles DEA est que si les données sont sujettes à des erreurs aléatoires, alors le calcul de la FPP est biaisé. Comme le DEA est une technique non paramétrique, les tests statistiques d'hypothèse sont difficiles (ils font l'objet des recherches actuelles).

4 Prise en compte des déterminants de l'inefficacité technique

Plusieurs générations de méthodes ont été proposées dès le milieu des années quatre-vingt pour isoler les causes de l'inefficacité dans le cadre des approches paramétriques et non paramétriques. Ces différentes méthodes se distinguent par le nombre d'étapes nécessaires à la recherche des déterminants de l'inefficacité technique. Coelli, Rao et Battese (1998) proposent une revue détaillée de ces méthodes.

Les méthodes à une étape permettent de contrôler l'impact des variables d'environnement directement lors de l'évaluation des performances économiques des unités de production.

Les méthodes à deux étapes, consistent à reprendre les résultats de la première étape et à expliquer les variations des scores d'efficacité obtenus par un vecteur de variables d'environnement observables⁷. La méthode en deux étapes, réalisée dans le cadre de l'approche paramétrique, pose un problème important. Dans la première étape, les scores d'inefficacité sont supposés être indépendamment et identiquement distribués afin d'utiliser l'approche de Jondrow et al (1982) pour prédire les valeurs des scores d'inefficacité technique. Toutefois, dans la seconde étape, les scores prédits sont supposés être fonction de certains facteurs spécifiques à la firme, ce qui implique qu'ils ne sont pas distribués identiquement, à moins que tous les coefficients des facteurs ne soient simultanément égaux à zéro (Battese et Coelli, 1995, Kodde et Palm, 1986).

La méthode à quatre étapes proposée par Fried, Schmidt et Yaisawarng, (1999) est un prolongement des méthodes à deux étapes. Elle combine les outils paramétriques et non paramétriques afin de classer les producteurs selon leur efficacité technique pure, en « éliminant » des calculs l'impact des facteurs d'environnement. La manière choisie de purger l'influence de ces facteurs extérieurs du calcul des scores d'efficacité est de construire à partir des données observées, un échantillon fictif avec les intrants qu'aurait employés chaque firme si elle se trouvait dans le pire environnement constaté dans la réalité. Les inputs ajustés servent à recalculer les scores d'efficacité technique pure dus uniquement aux facteurs internes à la firme. Conclusion - Choix des approches



⁷ Par exemple Pitt et Lee (1981) et Kalirajan (1981) ont étudié les déterminants de l'inefficacité des firmes dans une industrie. Pour cela ils ont calculé dans un premier temps les scores d'efficacité en estimant une frontière de production stochastique. Puis ils ont régressé les scores obtenus sur un vecteur de facteurs spécifiques à la firme, tels que la taille de la firme, l'âge et l'éducation du gérant de la firme, etc.

Conclusion et choix des approches

Les applications de ces différentes approches se font en fonction du problème étudié, des données disponibles ainsi qu'en fonction des avantages qu'offre chacune d'entre elles.

L'Analyse de Frontière Stochastique permet d'isoler dans le terme d'erreur de la frontière de production deux composantes. La première permet de capter les erreurs de mesure sur les variables, les effets des chocs aléatoires non contrôlables par les unités de production (conditions climatiques, maladies, pannes de machines, etc.), ainsi que les erreurs d'approximation de la technologie par une relation fonctionnelle. De plus, les producteurs dans certains secteurs ou pays peuvent être suspectés d'avoir une comptabilité peu rigoureuse, ce qui conduirait à des erreurs de mesures. La seconde composante permet de capter les effets de l'inefficience technique. Les principales limites de l'analyse frontière stochastique concernent le manque de fondements théoriques de l'hypothèse relative à la distribution du terme d'erreur. De plus, peu de choses sont connues au sujet des estimateurs utilisés dans les modèles de frontière stochastique dans le cas de petits échantillons (Greene, 1990).

Les méthodes non paramétriques offrent certains avantages. Les méthodes DEA permettent d'évaluer l'efficacité des unités avec des fonctions de production supposées différentes et d'utiliser simultanément des inputs multiples et des outputs multiples, même s'ils sont tous exprimés en unités de mesure différentes. Elle permet aussi de calculer l'efficacité d'échelle des producteurs.

Aucune de ces approches ne domine l'autre - chacune a son intérêt - et elles sont dans une certaine mesure complémentaires, surtout lorsqu'il manque des informations sur les prix (Ali et Seinfeld, 1993). Diverses tentatives ont été faites dans le sens du rapprochement de ces deux approches. Depuis Sengupta (1990) la classification des approches paramétriques versus non-paramétriques n'est plus valide, car son modèle " DEA stochastique " intègre les deux approches.

Il est important de préciser que les études empiriques visant à évaluer les performances des producteurs utilisent aussi un certain nombre de techniques indiciaires, que nous ne développerons pas ici. Le tableau ci-dessous présente les principales techniques sur données transversales, qui seront citées dans la revue de littérature de la section suivante :

Résumé des techniques permettant l'évaluation des performances productives⁸

Techniques indiciaires <i>Indices de productivité partielle des facteurs (PPF) et de productivité totale des facteurs (PTF en français et TPF en anglais)</i>	Techniques paramétriques ou statistiques <i>Analyse de Frontière Déterministes (AFD) et Analyse de Frontière Stochastique (AFS en français et SFA en anglais)</i>	Techniques non-paramétriques ou de programmation Mathématique <i>Analyse d'Enveloppement des Données (AED en français et DEA en anglais)</i>
<p>Indice PPF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparaison simple de rapports PPF entre entités. <p>Indice multilatéral PTF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de données longitudinales. • Comparaison des entités à une entité hypothétique moyenne dans l'échantillon. 	<p>AFD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Résidu attribué au manque d'efficacité. <p>AFS/SFA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de données transversales. • Comparaison à l'entité au meilleur rendement. • Décomposition du résidu selon l'erreur aléatoire (erreur de mesure) et le manque d'efficacité. 	<p>AED/DEA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparaison des entités aux entités ayant le meilleur rendement dans l'échantillon.

Source : Hughes (2002)



⁸ Nous présentons dans ce tableau les abréviations en français et en anglais des techniques les plus répandues.

Bibliographie

- Afriat S. N. (1972), "Efficiency Estimation of Production Functions", *International Economic Review*, vol. 13, n 3, pp. 568-598.
- Aigner D. J., Chu S. F. (1968), "On Estimating the Industry Production Function", *American Economic Review*, vol. 58, pp. 826-839.
- Aigner D. J., Lovell C.A. and Schmidt P. (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Functions", *Journal of Econometrics*, vol. 6, pp. 21-37.
- Ali A. I., Seiford L.M. (1993), The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis, in Fried, H. O., C. A. Knox Lovell et S. S. Schmidt *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, New York, Oxford University Press.
- Badillo P.-Y., Paradi J.C. (1999), *La Méthode DEA: Analyse des Performances*, Hermes Science Publications, Paris.
- Banker R. D., Charnes A. and Cooper W.W. (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiency in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, vol. 30, n 9, pp. 1078-1092.
- Battese G. E., Coelli T.J. (1995), "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", *Empirical Economics*, vol. 20, n 3, pp. 325-332.
- 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.
- Charnes A. C. T., Cooper W.W. and Rhodes E. (1978), "Measuring Efficiency of Decision Making Units" , *European Journal of Operational Research*, vol. 2, pp. 429-444.
- Coelli T., Rao D. S. P. and Battese G.E. (1998), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers; Boston, Dordrecht, London.
- Farrell M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, series A, vol. 120, n 3, pp. 253-290.
- Farrell M. J., Fieldhouse M. (1962), "Estimating Efficient Production Functions under Increasing Returns to Scale", *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, vol. 125, n 3, pp. 252-267.
- Fried H. O., Schmidt S.S. and Yaisawarng S. (1999), "Incorporating the Operating Environment into a Nonparametric Measure of Technical Efficiency", *Journal of Productivity Analysis*, vol. 12, n 3, pp. 249-267.
- Greene W. H. (1990), "A Gamma-distributed Stochastic Frontier Model", *Journal of Econometrics*, vol. 46, pp. 141-164.
- Hughes A. (2002), "Guide de Mesure de la Productivité des Administrations Publiques", *International Productivity Monitor*, n 5.
- Jondrow J., Lovell C.A.K., Materov I.S. and Schmidt P. (1982), "On the Estimation of Technical Inefficiency in Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics*, vol. 23, pp. 269-274.

-
- Kalirajan K. P., Shand R. (1999), Stochastic Frontier Production Functions and Technical Efficiency Measurements: A Review, in Kalirajan K. P. and Wu Y., *Productivity and Growth in Chinese Agriculture*, Macmillan Press, pp. 8-27.
- Kalirajan K. P. (1981), "An Analysis of Production Efficiency Differentials in the Philippines", *Applied Economics*, vol. 23, pp. 631-638.
- Kodde D.A., Palm A.C. (1986), "Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions", *Econometrica*, vol. 54, n 5, pp. 1243-1248.
- Meeusen W., Broeck Van Den (1977), "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Errors", *International Economic Review*, vol. 18, pp. 435-444.
- Pitt M., Lee L.(1981), "The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry." *Journal of Development Economics*, vol. 9, pp. 43-64.
- Richmond J. (1974), "Estimating the Efficiency of Production", *International Economic Review*, vol. 15, pp. 515-521.
- Sengupta J. K. (1990), "Transformations in Stochastic DEA Models", *Journal of Econometrics*, vol. 46, n 1-2, pp. 109-123.
- Timmer C. P. (1971), "Using a Probabilistic Frontier Production Function to Measure Technical Efficiency", *Journal of Political Economy*, vol. 79, n 4, pp. 776-779.

