



HAL
open science

Efficacités productives comparées des zones irriguées au sein d'un bassin versant

Lassaâd Albouchi, Mohamed Salah Bachta, Florence Jacquet

► **To cite this version:**

Lassaâd Albouchi, Mohamed Salah Bachta, Florence Jacquet. Efficacités productives comparées des zones irriguées au sein d'un bassin versant. *New Medit*, 2007, 6 (3), pp.4-13. hal-01172856

HAL Id: hal-01172856

<https://hal.science/hal-01172856>

Submitted on 18 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Efficacités productives comparées des zones irriguées au sein d'un bassin versant

ALBOUCHI LASSAÂD*, BACHTA MOHAMED SALAH* ET JACQUET FLORENCE**

Jel classification: Q150, Q120

Introduction

La Tunisie a atteint un niveau avancé dans la mobilisation de ses eaux courantes. Si on peut considérer la mobilisation du potentiel exploitable d'eau comme largement résolue, on constate des insuffisances dans la gestion opérationnelle des réserves exploitées. Il est devenu de plus en plus difficile (techniquement et économiquement) d'augmenter les sources d'approvisionnement en eau; il convient d'attacher donc une grande importance à l'amélioration de la gestion des sources d'eau existantes. En conséquence, l'une des préoccupations actuelles des décideurs publics est d'assurer une plus grande productivité à chaque goutte d'eau utilisée dans l'agriculture, le principal consommateur de la ressource en eau (plus de 80% des prélèvements). Toutefois, l'accroissement de la productivité de l'eau requiert une approche combinant l'obtention d'un plus haut rendement et l'utilisation d'un volume d'eau plus réduit.

Dans ce contexte et afin d'assurer une meilleure valorisation globale de la ressource en eau, la problématique de l'eau en Tunisie est plutôt au-

Abstract

Tunisia is going to experience a shortage of water as a result of the inadequacy between the supply and demand. The reallocation of water between users and regions is worth studying in this context. The agricultural sector is the most concerned as it consumes about 80% of all the water. The administration concerns are double: on one hand it has to maximise the productivity of the water use; on the other reducing the unbalance between regions. Thus the interest of comparing the level of performance of two irrigated areas. The watershed constitutes the most adequate entity for the comparisons. We analysed the technical efficiency level in the Merguellil watershed. A stochastic frontier was estimated adapting a parametric approach. Efficiency was explained using several socio-economic parameters in the Tobit model. Empirical results show a differential of efficiency between the areas studied. The mean technical efficiency ranged from 64% to 96%. The examination of the determinant of the technical efficiency shows that the accessibility to credit and water saving systems did affect it positively. Meanwhile the small-sized farms as well as specialization did affect it negatively.

Key words: Merguellil watershed, production stochastic frontier, technical efficiency, efficiency determinants

Résumé

Suite à la saturation de l'offre et la croissance incessante de la demande, la problématique de l'eau en Tunisie est devenue un problème de réaffectation entre usagers et régions valorisant différemment la ressource. Le secteur agricole est le plus concerné par toute mesure d'amélioration puisqu'il accapare plus de 80% des volumes prélevés. Ainsi, le souci du gestionnaire est double, il doit, d'une part, assurer une amélioration de la productivité globale de l'eau et réduire l'inégalité entre les régions, d'autre part. D'où l'intérêt d'une comparaison des niveaux de performance des zones irriguées. Le bassin versant représente l'échelle la plus adéquate pour cette comparaison étant donné qu'il s'agit de la même ressource à partager. Ainsi, les politiques publiques envisagées et envisageables peuvent être analysées. Dans ce cadre, nous avons estimé et analysé le niveau d'efficacité productive des zones irriguées au sein du bassin versant du Merguellil en Tunisie Centrale. Une frontière de production stochastique a été estimée en adoptant une approche paramétrique. Les niveaux d'efficacité obtenus ont été expliqués par certains facteurs socio-économiques en utilisant un modèle Tobit. Les résultats empiriques illustrent l'existence d'un différentiel d'efficacité technique entre les zones étudiées. L'efficacité technique moyenne, au cours de la période 1994-2003, varie de 64% à 96%. Enfin, l'examen des déterminants de l'efficacité technique montre que l'accès aux crédits et l'économie de l'eau affectent positivement le niveau d'efficacité technique des zones étudiées. Alors que le poids des exploitations de petites tailles et la spécialisation l'affectent négativement.

Mots clé: Bassin versant du Merguellil, frontière stochastique de production, efficacité technique et déterminants de l'efficacité.

jour d'hui un problème de réaffectation de la ressource entre usagers et zones qui n'ont pas les mêmes niveaux de performance. Ainsi, les possibilités d'accroître la productivité de la ressource en eau renseignent sur l'existence d'inefficacité économique au sein du secteur irrigué. La notion d'inefficacité est précisée par référence à son contraire, l'efficacité, telle qu'elle est entendue dans la théorie économique depuis Pareto. La mesure de ces inefficacités permet de caractériser les améliorations qui pourraient être apportées, soit en produisant plus avec le même niveau de facteurs, soit en produisant autant avec moins d'intrants.

Le bassin versant du Merguellil, fermé par le barrage d'El Haouareb et la partie de la nappe de Kairouan sous influence du barrage, représente les mêmes éléments de problématique générale que la Tunisie dans son ensemble. La partie aval du barrage, considérée comme un secteur homogène,

couvre une superficie de 35532 ha. La partie amont du barrage, qui couvre 117374 ha, est répartie sur 6 secteurs administratifs.

Toutefois, depuis la création du barrage, et même avant, l'approvisionnement en eau de la plaine était prioritaire

* Institut National Agronomique de Tunisie

** INRA Economie Publique Paris-Grignon / Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

étant donné qu'elle valorise mieux la ressource en eau. Cette allocation correspondait au souhait de valorisation économique mais pour d'autres objectifs (environnemental et social) l'Etat encourage actuellement l'aménagement de la zone amont. Ces aménagements perturbent l'écoulement de l'eau et par conséquent modifient l'allocation de la ressource entre amont et aval du bassin versant. Pour trouver un compromis entre efficacité et équité, les pouvoirs publics doivent investir pour réduire l'écart de performance entre les zones en améliorant celui de la zone amont. Notre travail vise à élaborer une réflexion pouvant apporter des éléments de réponse à ce problème de réallocation d'une ressource rare entre des sous bassins qui valorisent différemment la ressource. Pour cela nous commençons par la mise en évidence de l'existence du différentiel de valorisation de la ressource et par expliquer le niveau de performance par des facteurs qui peuvent être utilisés par la suite comme des leviers de croissance par les décideurs publics.

L'obtention d'une efficacité de l'économie dans son ensemble passe par la résorption des inefficacités des exploitations ou des secteurs. Il est improbable que toutes les exploitations opèrent à l'optimum. Le niveau d'efficacité mesure l'écart par rapport à cet optimum appelé frontière dans ce qui suit. La mesure de l'efficacité constitue donc, la réponse à la question de savoir dans quelle mesure l'activité observée d'une unité productive se situe à la frontière en deçà de son ensemble de production.

Dans ce papier nous avons estimé le niveau de l'efficacité économique des zones irriguées au sein du Merguellil à partir d'une frontière stochastique de production. L'approche méthodologique adoptée, de type paramétrique, consiste à estimer et expliquer, en une seule étape, le niveau d'efficacité technique à partir d'une fonction de production de type Cobb-Douglas. Les déterminants du niveau de l'efficacité productive peuvent servir aux décideurs publics dans le choix des actions du développement visant l'amélioration de la performance du secteur agricole notamment le sous secteur irrigué. En effet, les mesures d'interventions seront déterminées à partir de l'identification des inefficacités et de leurs sources.

Pour cela, un programme Frontier 4.1 (Coelli, 1996) a été utilisé pour l'évaluation économétrique de l'efficacité des zones irriguées, au sein du bassin versant du Merguellil, et de ses déterminants à partir d'une frontière de production stochastique. Cette analyse permet également de classer les zones étudiées selon leur degré d'efficacité productive. Les données utilisées sont des données de panel durant la période 1994-2003 et agrégées au niveau des 7 secteurs administratifs : Chbika, Haffouz, El Alaa, Oueslatia, Hajeb El Layoun, Makthar et Kesra.

Pour accomplir les objectifs ainsi signalés, trois parties sont fixées. La première expose le concept d'efficacité et les méthodes d'estimation. Dans la deuxième partie nous représentons la zone d'étu-

de, les données et les méthodes utilisées dans l'étude. Les résultats de cette analyse seront discutés dans la troisième partie. Enfin, ces trois parties seront assorties d'une conclusion qui inclue les implications de l'étude pour la politique publique.

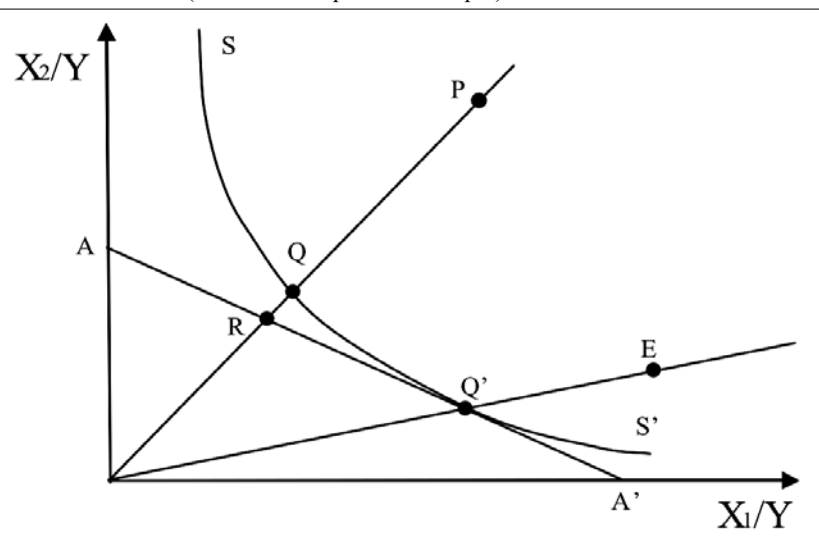
1. Efficacité technique: Concepts et méthodes d'évaluation

1.1 Concepts de l'efficacité technique

La mesure de l'efficacité est apparue avec les travaux pionniers de Koopmans [1951] relatifs à l'analyse de la production et ceux de Debreu [1951] sur les coefficients d'utilisation des ressources. C'est en 1957 que Farrell a établi que l'efficacité de la firme peut être empiriquement calculée selon projection radiale. Cette méthode consiste, d'une part, à estimer des frontières d'efficacité à partir de l'observation de situations réelles de production, et d'autre part, à positionner les firmes par rapport à cette frontière. L'auteur définit l'efficacité en dissociant ce qui est d'origine technique de ce qui est dû à un mauvais choix, en terme de combinaison des intrants (des produits), étant donné leurs prix. En effet, selon Farrell, l'efficacité technique mesure la manière dont une firme choisit les quantités d'intrants qui entrent dans le processus de production, quand les proportions d'utilisation des facteurs sont données. L'efficacité prix ou efficacité allocative, évalue la façon dont la firme choisit les proportions des différents intrants par rapport aux prix du marché supposé concurrentiel. Théoriquement, un processus de production est dit allocativement efficace si le taux marginal de substitution entre chaque paire de facteurs est égal à la proportion du prix de ces derniers. Alors que, l'efficacité économique est égale au produit de l'efficacité technique et allocative.

La figure 1 donne une représentation graphique de ces efficacités.

Fig. 1: Représentation graphique (Farrell, 1957) de l'efficacité technique et de l'efficacité allocative (cas de deux inputs et un output).



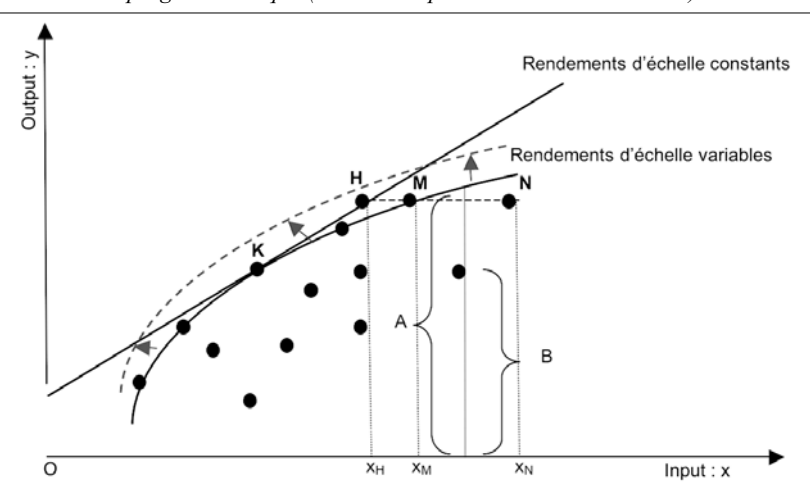
L'isoquant SS' représente la frontière de production. Elle délimite, à sa droite, l'ensemble des combinaisons d'intrants techniquement faisables. Selon Farrell l'efficacité technique de l'exploitation au point P est donnée par le rapport OQ/OP . L'efficacité technique est donc, comprise entre 0 et 1. Tous les points situés sur la frontière de production sont techniquement efficaces et ayant une efficacité technique égale à 1.

Théoriquement, pour être allocativement efficaces, les firmes doivent égaliser leur taux marginal de substitution technique entre les deux intrants avec le rapport des prix des intrants déterminés par le marché. La droite (AA') représente graphiquement ce rapport des prix. Le point Q correspond à la projection radiale de celui de P sur la frontière. Ceci assure qu'il possède les mêmes proportions d'input que P . En effet, Farrell mesure, géométriquement, l'efficacité allocative par le rapport OR/OQ . De même, l'efficacité allocative est comprise entre 0 et 1. Tous les points situés sur l'isocoût (AA') sont allocativement efficace mais ne sont pas tous faisables.

Selon Farrell, l'efficacité économique correspond à l'efficacité technique et à l'efficacité allocative réunies. Elle est obtenue au point Q' . L'efficacité économique au point P est égale au produit $TE*AE = OQ/OP * OR/OQ = OR/OP$. En conséquence, le point P n'est ni techniquement ni allocativement efficace. Le point Q , bien qu'il soit techniquement efficace, il est allocativement inefficace. Les points P et Q ont la même inefficacité allocative comme ils utilisent leurs intrants dans les mêmes proportions. Le point E est allocativement efficace mais techniquement inefficace. Enfin, il est à signaler que les points situés sur la droite OE sont tous allocativement efficaces mais il n'y a que le point Q' qui est techniquement efficace et par conséquent il l'est aussi économiquement.

Sur la figure 2, pour un rendement d'échelle variable, selon une orientation d'output, l'efficacité technique est égale au rapport B/A . L'efficacité technique peut être décomposée en efficacité technique pure et efficacité d'échelle (Murillo-Zamorano, 2004). L'exploitation N , sur la figure 2, est techniquement inefficace étant donné qu'il est possible de produire la même quantité d'output avec moins d'intrant. L'efficacité technique pure correspond au rapport: XM/XN et l'efficacité d'échelle est égal à XH/XM . Le produit de ces deux efficacités correspond à l'efficacité technique total au point N , soit XH/XN . L'efficacité d'échelle caractérise l'écart existant entre les performances constatées et celles qui seraient obtenues dans une situation de rendements d'échelle constants¹.

Fig. 2: Représentation graphique de l'efficacité technique pure, du rendement d'échelle et du progrès technique (Elaborée à partir de Coelli et al. 1998).



Le progrès technique mesure le passage d'une frontière de production à une autre. L'effet du progrès technique, sur la figure 2 est marqué en trait discontinu. Il correspond au shift de la frontière vers le haut. Dans cette étude nous travaillons sur une seule frontière. En outre, nous négligeons, par hypothèse, l'effet du progrès techniques sur la période d'étude (10 années).

La maximisation de profit exige d'une exploitation de produire le maximum étant donné le niveau des intrants utilisés (qu'elle soit techniquement efficace), d'employer la bonne combinaison des intrants sur la base du prix relatif de chaque intrant (qu'elle soit allocativement efficace en terme d'utilisation des intrants) et de produire la bonne combinaison des outputs étant donné l'ensemble de prix de ces derniers (qu'elle soit allocativement efficace en terme du choix des produits) [Kumbhakar et Lovell, 2000].

Le manque d'efficacité est surtout attribué au manque de concurrence qui fait que les exploitations peuvent se permettre d'opérer en dessous de leur frontière si elles sont protégées sur le marché (Bachta et Chebil, 2002). L'asymétrie de l'information ou l'accès à l'information concernant les prix sur le marché des facteurs et des produits peut expliquer l'inefficacité allocative des producteurs.

La mesure de l'efficacité technique d'une exploitation ou d'un secteur débute, en premier lieu, par l'estimation de sa frontière de production quoique les méthodes d'estimation des frontières et de l'efficacité sont multiples.

1.2 Méthodes d'estimation

Plusieurs méthodes d'estimation de la frontière existent. Ces méthodes peuvent être classées selon la forme prévue de la frontière, selon la technique d'estimation utilisée pour l'obtenir et selon la nature et les propriétés supposées de l'écart entre la production observée et la production optimale. La classification en fonction de la forme de la frontière permet de distinguer les approches paramétriques et les approches non paramétriques. L'approche paramétrique présente une fonction comportant des paramètres explicites

¹ Le rendement d'échelle constant correspond à un équilibre concurrentiel de long terme où le profit est nul. A long terme, tous les facteurs de production peuvent être ajustés par le producteur pour réduire son inefficacité.

(Cobb-Douglas, CES, translog,...) alors que les frontières non paramétriques ont la particularité de n'imposer aucune forme préétablie à la frontière.

Suivant la technique d'estimation, deux méthodes sont à distinguer. La première concerne les méthodes statistiques qui utilisent les techniques statistiques telles que la méthode des moindres carrés ou du maximum de vraisemblance. Dans la seconde on trouve les méthodes descriptives des frontières non paramétriques qui utilisent, comme support, la programmation linéaire ou la programmation quadratique.

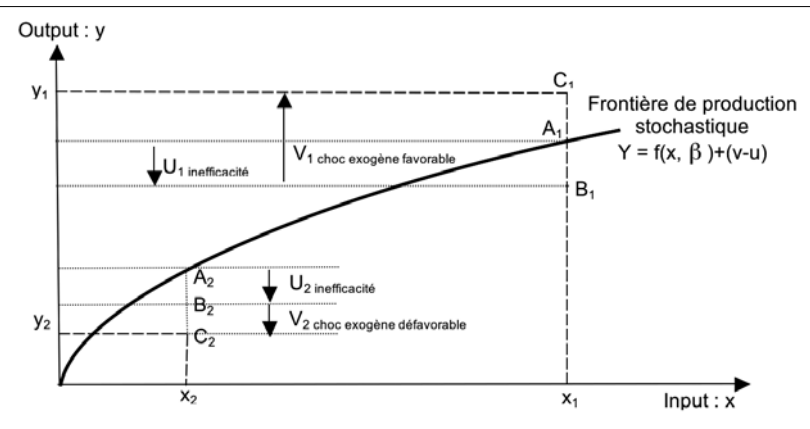
La distinction au niveau de la nature des écarts observés entre la production observée et la production maximale différencie les frontières stochastiques des frontières déterministes. En effet, si l'on suppose que les écarts sont expliqués uniquement par l'inefficacité du producteur, on qualifie la frontière de nature déterministe; si par contre on estime que les écarts sont expliqués à la fois par l'inefficacité du producteur et par des éléments aléatoires qui ne dépendent pas du producteur on dit que la frontière est de nature stochastique.

En résumé, l'efficacité d'une exploitation ou d'un secteur peut être mesurée par des méthodes paramétriques ou non paramétriques dont la principale différence réside dans les hypothèses concernant les résidus. Une frontière de production, de coût ou de profit sera dite paramétrique, si l'on impose une forme fonctionnelle (Cobb-Douglas, Translog,...), déterministe, si l'on suppose que les écarts entre la fonction estimée et les observations réelles correspondent exclusivement à des inefficacités productives et stochastiques, et si la frontière intègre un terme d'erreur aléatoire. Les approches paramétriques imposent une forme fonctionnelle qui présuppose la forme de la frontière. Alors que les approches non paramétriques imposent moins de structure à la frontière mais supposent l'absence d'erreurs aléatoires. Chaffai (1997) présente une synthèse des méthodes couramment utilisées pour l'estimation de l'efficacité.

Etant donné le caractère aléatoire de la production, lié à la nature du climat et aux fluctuations de prix des produits agricoles, sur le bassin versant du Merguellil, le choix de la méthode paramétrique stochastique pour l'estimation de l'efficacité technique nous paraît justifié. La méthode des frontières stochastiques a été développée par Aigner, Lovell et Schmidt (1977) et par Meeusen et van den Broek (1977). Elle décompose l'erreur de la fonction étudiée en deux termes indépendants. Le premier représente les effets aléatoires et les erreurs de mesure. Il est distribué de chaque côté de la frontière de production. Le second terme, qui représente le degré d'inefficacité productive, est distribué d'un seul côté de la frontière de production. Par hypothèse, le terme d'erreur aléatoire suit une distribution normale symétrique, tandis que le terme d'efficacité suit une distribution asymétrique définie positivement pour une fonction de coût et négativement pour une fonction de production et de

profit. Les principales caractéristiques de la frontière stochastique sont illustrées dans la figure 3. L'observation C1 représente une exploitation dont l'inefficacité (u_1) est compensée par les effets d'un choc exogène favorable (v_1). Par contre, l'observation C2 représente une exploitation dont l'inefficacité (u_2) est aggravée par un choc exogène défavorable (v_2).

Fig. 3: Frontière de production stochastique - décomposition du terme d'erreur: cas de deux observations: C1 et C2. (LEVEQUE et ROY, 2004)



Les études sur l'efficacité ont le mérite d'indiquer le niveau de performance des secteurs et de déterminer les plans de production optimale. Il est aussi possible de déterminer les facteurs qui expliquent le niveau d'efficacité des producteurs. La connaissance de ces facteurs permet d'améliorer la performance des producteurs à travers des recommandations de politiques publiques.

1.3 Déterminants de l'efficacité

La mesure de l'efficacité technique permet de voir s'il existe des gains potentiels de production dans le secteur étudié. En d'autres termes, la mesure des inefficacités existantes dans une exploitation ou un secteur permet de déterminer les marges de manœuvre (PIOT-LEPETIT et RAINELLI, 1996). L'inefficacité résultante peut être expliquée par certains facteurs telle que la taille de l'exploitation, l'âge et l'éducation du chef de l'exploitation,... plutôt que par l'irrationalité des producteurs. D'un point de vue politique, il est intéressant de rechercher les sources de l'inefficacité et d'identifier les déterminants. Les pouvoirs publics peuvent agir sur les déterminants ainsi identifiés pour améliorer l'efficacité globale tout en cherchant à réduire l'écart de performance entre les zones. La question qui se pose à ce niveau est comment expliquer les différences dans les niveaux d'efficacité entre les exploitations, les zones,...? Deux méthodes sont utilisées pour ce genre d'analyse :

Une première méthode couramment utilisée, pour expliquer les inefficacités, consiste à procéder en deux étapes. On estime d'abord les inefficacités (à partir d'une frontière paramétrique ou non paramétrique), puis, dans une deuxième étape, on régresse les scores d'efficacité sur les variables déterminants. En général, cela suppose que les varia-

bles expliquant l'inefficacité sont celles que l'exploitant ne contrôle pas dans le processus de production. Cette méthode présente l'avantage qu'en cas d'erreur de spécification dans la deuxième étape, le biais affecte uniquement les coefficients estimés des déterminants et non les coefficients de la frontière comme le note Chaffai (1997). Cette méthode peut être utilisée pour l'approche non paramétrique comme pour l'approche paramétrique. La régression de la deuxième étape peut se faire par la méthode de MCO ou en utilisant un modèle Tobit pour tenir compte du caractère tronqué (entre 0 et 1) de la variable dépendante (efficacité).

Dans la deuxième méthode les modèles de frontières incorporent des variables pouvant expliquer l'inefficacité dans le modèle permettant de déterminer le niveau d'efficacité et l'expliquer en une seule étape. Ces modèles ont d'abord été proposés par Deprins et Simar (1989) dans le contexte de frontières déterministes et repris dans un contexte de frontières stochastiques par Kumbhakar et al. (1991), Reifschneider et Stevenson (1991), Battese et Coelli (1993). L'idée consiste à distinguer, dans la spécification usuelle de la frontière stochastique de production (de coût ou de profit), les inputs notés x_i (le capital, le travail,...), des facteurs qui expliquent l'inefficience notés z_i (tels que le degré de modernité des équipements, le niveau de qualification des employés,...). En général, ces facteurs sont supposés sous le contrôle de l'exploitant pendant le processus de production. La frontière stochastique s'écrit dans ce cas : $Y_i = f(x_i, \beta) e^{v_i - u_i}$, avec $u_i \geq 0$ est variable aléatoire asymétrique vérifiant : $u_i = z_i \delta + \omega_i$ (f). $z_i = (1, z_{2i}, \dots, z_{pi})$ représente le vecteur des observations sur les variables expliquant l'inefficience, le vecteur des coefficients associés et est une variable asymétrique suivant une distribution normale tronquée². On suppose aussi que la variable aléatoire est indépendante de v_i et que les variables z_j ne sont pas stochastiques. On déduit alors que la variable u_i dans (f) suit aussi une normale tronquée de moyenne $z_i \delta$ et de variance².

Toutefois, dans cette deuxième méthode un problème du biais de spécification se pose. Ce biais affecte aussi bien les coefficients que les coefficients de la frontière en cas d'omission de variables importantes affectant l'inefficience des firmes. En effet, généralement, on est contraint de n'introduire qu'un nombre limité de variables explicatives de l'inefficacité. Dans ce cas, la méthode en une seule étape ne peut pas être recommandée.

Nous rappelons que l'intérêt fondamental de ces modèles est surtout d'aider les décideurs à éclairer les principales variables sur lesquelles ils peuvent agir pour améliorer l'efficacité productive du secteur étudié. On s'attarde donc beaucoup plus aux signes des coefficients des variables z_j et à leur significativité statistique qu'aux valeurs estimées de ces coefficients. Par conséquent, on a adopté la première méthode pour expliquer les niveaux d'efficacité tech-

niques des secteurs étudiés au niveau du bassin versant de Merguellil.

Par ailleurs, le choix des déterminants dépend de l'échelle d'analyse et de l'objectif de l'étude. Selon la littérature, on trouve comme facteurs explicatifs du niveau de l'efficacité des exploitations individuelles: l'âge de l'exploitant, la taille de l'exploitation, le niveau d'éducation de l'exploitant, la distance par rapport au marché, le mode de faire valoir, l'expérience en irrigation,... Mais à l'échelle régionale et avec des données de panel, cas de notre étude, l'effet de ces variables sur l'efficacité ne va pas être significatif car on doit utiliser des variables moyennes au niveau régional plutôt que des variables individuelles.

Mais on peut prendre comme déterminants du niveau de l'efficacité les variables d'action dans les projets de développement rural intégré: infrastructure (nombre ou longueur des pistes agricoles et distance par rapport à la route principale, distance par rapport aux grandes villes); population rurale et urbaine (importance des agglomérations); centres de collecte des céréales; degré d'intégration au marché; nombre d'écoles (niveau d'éducation); nombre des centres de formation agricole (taux d'encadrement). A leur tour, ces actions présentent l'inconvénient que leurs effets ne sont pas sentis immédiatement à l'échelle locale. Exemple, l'impact de la création des écoles et des centres de formation à l'échelle régionale n'est pas instantané et nécessite des générations.

Nous supposons que les facteurs: adoption des techniques d'irrigation économes en eau, spécialisation, accès aux crédits, intégration au marché, disponibilité fourragère, poids des petites exploitations et taux d'encadrement sont des facteurs qui affectent le niveau d'efficacité technique des secteurs. Le modèle obtenu est le suivant:

EFFT = f (Eeau, Spéc, Acré, Inma, Dfou, Tenc, Tail)

Où, EFFT désigne le niveau d'efficacité technique;

- Eau: cette variable correspond à la part de la superficie équipée en matériel d'économie d'eau dans la superficie totale irriguée;

- Spéc: la diversification est calculée en utilisant l'indice de Herfindahl défini par la somme des carrés des parts de terre pour chaque type d'activité par zone. Pour un secteur donné, plus ce coefficient est faible plus le système de production est diversifié. Il est égal à 1 dans le cas de monoculture ou monoactivité sur le secteur en question;

- Acré: cette variable désigne le ratio du nombre des agriculteurs ayant accès aux crédits et emprunts bancaires par rapport au nombre total des agriculteurs par secteur;

- Inma: il s'agit de la part de la production vendue par rapport à la production totale par secteur;

- Dfou: la disponibilité fourragère compte parmi les contraintes majeures dans la région pour l'élevage surtout en année de sécheresse. Pour cela nous supposons que le niveau d'efficacité est influencé par cette variable. Elle peut être exprimée par le taux de charge par surface fourragère. Mais les rendements sont différents d'un secteur à un autre.

² Des distributions semi-normale, exponentielle et Gamma de ω_i ont été utilisées aussi.

Pour avoir une unité homogène, nous avons converti la disponibilité fourragère en unité fourragère par unité de gros bétail par an (UF/UGB/an).

- Tenc: il s'agit là, de la superficie cultivée par vulgarisateur;

- Tail: l'effet de taille est représenté par le poids ou le pourcentage des exploitations de petites tailles (inférieure à 10 ha) par rapport au nombre total des exploitations par secteur.

2. Zone d'étude et données utilisées

2.1 Présentation de la zone

Le bassin versant du Merguellil fermé par le barrage d'El Haouareb et la partie de la nappe de Kairouan sous l'influence du barrage font l'objet de cette étude. En effet, le bassin versant du Merguellil représente les mêmes éléments de problématique générale que la Tunisie dans son ensemble. Il contient divers aménagements, et on y trouve une concurrence en amont et en aval, une compétition entre usages locaux variés et des transferts sur d'autres bassins. La partie en aval du barrage El Haouareb couvre une superficie de 35532 ha. Il s'agit d'une zone de plaine en irrigation intensive qui valorise relativement mieux la ressource en eau que la partie en amont, zone montagneuse en irrigation extensive, qui couvre 117374 ha.

Le bassin s'étale sur les deux gouvernorats; celle de Kairouan, représenté par les cinq délégations de Chbika, Haffouz, El Alaa, Oueslatia et Hajeb El Layoun et le gouvernorat de Siliana représenté par les deux délégations de Makthar et de Kesra. Le tableau 1 indique les parts de chaque délégation, dans les deux zones en amont et en aval par rapport au barrage El Houareb au sein du Merguellil, en termes de superficie.

Tableau 1: Répartition des superficies par délégation sur Merguellil

Délégations	Superficie totale (ha)	Superficie sur Merguellil (ha)		Superficie sur Merguellil (%)
		Amont	Aval	
El Ala	37646	30866	0	82
Haffouz	60739	35464	8792	73
Kesra	43371	28143	0	65
Chbika	48734	0	26740	55
Hajeb El Layoun	60789	7704	0	13
Oueslatia	91364	11601	0	13
Makthar	35462	3595	0	10
Total	378105	117374	35532	40

Les systèmes de production, sur l'ensemble du bassin versant du Merguellil, sont caractérisés par la dominance des céréales, de l'arboriculture et l'élevage (à dominance ovin et caprin) avec une extension du maraîchage suite au développement de l'irrigation en particulier sur le secteur de Chbika.

Tableau 2: Part des principales productions par secteur

Activités	Chbika	Haffouz	El Ala	Hajeb	Oueslatia	Kesra	Makthar
Céréales	13%	5%	7%	22%	25%	29%	14%
Maraîchage	58%	31%	2%	7%	3%	1%	6%
Arboriculture	16%	28%	44%	23%	15%	9%	6%
Elevage	13%	36%	46%	48%	58%	61%	74%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Le tableau 2 indique en pourcentage la part moyenne sur la période 1994-2003 des principales activités agricoles dans la production par secteur. Nous signalons que plus d'informations concernant la nature et la valeur des principales productions agricoles et de leurs contributions dans la production totale par secteur et au niveau du bassin versant sont disponibles dans la thèse de ALBOUCHI (2006).

La consommation en eau, au niveau du bassin du Merguellil, est passée de 19 millions en 1994 à 43 millions m³ en 2003, soit une augmentation de 126%; ceci reflète le degré de pression sur la ressource au niveau du bassin versant.

2.2 Données utilisées

Cette étude s'intègre dans le cadre d'un projet franco-tunisien, projet MERGUSIE (Merguellil, Ressources, Gestion, Usage, Intégrés de l'Eau). Ainsi, nous disposons d'une base de données élaborée à partir de plusieurs enquêtes et de passages sur terrain auprès des administrations locales (CDRA, CTV et CRA) pour les 7 délégations au sein du bassin versant du Merguellil. Cette base de données a été complétée par des entretiens avec certains agriculteurs pour valider les informations collectées en particulier en termes de rendements et des fiches technico-économiques des cultures. Les données collectées ont concernées l'occupation du sol, l'effectif du cheptel par espèce observée sur la zone, les techniques de production, la commercialisation, les prix des facteurs et des produits et les caractéristiques socio-économiques des exploitations par délégation sur la période 1994-2003. Nous avons étudié, également, les caractéristiques démographiques, économiques, sociales, environnementales et les changements dans l'infrastructure de base et les techniques de production durant cette période à partir des recherches bibliographiques auprès du ministère de l'agriculture, de l'institut national des statistiques et des rapports annuels des CRDA de Kairouan et de Siliana.

3. Résultats et discussion

3.1 Scores d'efficacité technique

En utilisant l'approche paramétrique pour la détermination des scores d'efficacité technique, nous avons estimé

une fonction de production stochastique de type Cobb-Douglas à l'aide du programme FRONTIER 4.1. Les paramètres de la frontière de production stochastique sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Après initialisation de la fonction par la méthode des moindres carrés ordinaires, le programme procède à des itérations.

Le modèle se présente de la manière suivante :

$$\ln(Y_{zt}) = \ln(a) + \beta_1 \ln(CI_{zt}) + \beta_2 \ln(Tra_{zt}) + \beta_3 \ln(Méc_{zt}) + \beta_4 \ln(Cap_{zt}) + \beta_5 \ln(Ter_{zt}) + \varepsilon_{zt} \quad (1)$$

Avec Y_{zt} est la production de la zone z au cours de l'année t ; le terme d'erreur $\varepsilon_{zt} = v_{zt} - u_{zt}$, v_{zt} est le terme d'erreur aléatoire et u_{zt} est le terme d'erreur qui traduit l'inefficacité productive par zone et par année. $u_{zt} = u_z \exp(-\eta(t-T))$. Le maximum de vraisemblance de l'équation 1 donne des estimations des coefficients β et des paramètres $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ et $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}$, γ est la part de la variance de u dans la variance totale, $0 \leq \gamma < 1$. L'efficacité technique moyenne est définie par : $TE_t = E[\exp(-\eta u_t)]$ avec $\eta = \exp[-(t-T)]$, η est un paramètre à estimer qui indique la variation de l'efficacité dans le temps dans le cas des données de panel et des séries temporelles.

Par ailleurs, les intrants utilisés dans le processus de production sont classés en cinq catégories: CI désigne les consommations intermédiaires qui regroupent les semences, les engrais, l'eau d'irrigation, les produits de traitements et les concentrés ou aliments du bétail; Tra: le travail regroupe le travail familial et occasionnel; Méc: la mécanisation qui correspond aux charges du labour, de récolte et du transport; Cap : c'est le capital et Ter: terre.

Etant donné le caractère aléatoire de la production agricole, le choix de la méthode stochastique pour mesurer le niveau d'efficacité des sous bassins étudiés paraît justifié.

Ainsi, la frontière de production obtenue, par la méthode de maximum de vraisemblance en utilisant le programme Frontier 4.1, est la suivante:

$$\ln(Y_{zt}) = 0,165 + 0,078 \ln(CI_{zt}) + 0,553 \ln(Tra_{zt}) + 0,073 \ln(Méc_{zt}) + 0,159 \ln(Cap_{zt}) + 0,289 \ln(Ter_{zt}) + \varepsilon_{zt}$$

Les résultats de l'estimation sont inscrits dans le tableau 3.

La valeur de gamma (γ) nous enseigne que l'écart par rapport à la frontière est expliqué par l'inefficacité des secteurs à 57%. L'évaluation de gamma, qui est significativement différente de zéro, indique l'existence des inefficacités productives. Ce résultat signifie que l'écart entre la production observée et la production potentielle des secteurs étudiés est en partie dû à leur inefficacité. La valeur de gamma peut paraître relativement faible par rapport aux études réalisées en particulier pour la détermination de l'efficacité individuelle des exploitations. En effet, dans la présente étude, 43% des écarts entre la production observée et la production potentielle des secteurs sont liés aux effets aléatoires y compris les erreurs de mesure. Ceci peut être expliqué par le fait qu'on travaille sur des données moyennes à l'échelle des secteurs (délégations). Par ailleurs est significativement inférieur à 1 ce qui justifie l'importance du terme stochastique v . Plus la valeur de γ se rapproche de 1, plus la différence entre les résultats issus d'une estimation stochastique et ceux d'une estimation déterministe est réduite.

Par contre, la valeur de η n'est pas considérablement différente de zéro, en indiquant que le niveau de l'inefficacité technique n'a pas beaucoup changé sur les 10 années. Enfin, nous avons retenu la distribution semi normale pour le terme d'inefficacité (u_t); le paramètre mu (μ) est donc restreint à zéro.

Tableau 4: Comparaison des scores d'efficacité technique

Années	Chbika	Haffouz	El Ala	Hajeb	Oueslatia	Kesra	Makthar
1994	0,955	0,928	0,603	0,861	0,922	0,897	0,946
1995	0,956	0,930	0,612	0,865	0,924	0,900	0,948
1996	0,958	0,932	0,621	0,868	0,926	0,903	0,949
1997	0,959	0,934	0,630	0,872	0,928	0,906	0,951
1998	0,960	0,936	0,639	0,875	0,930	0,908	0,952
1999	0,961	0,938	0,647	0,879	0,932	0,911	0,954
2000	0,962	0,940	0,656	0,882	0,934	0,913	0,955
2001	0,963	0,941	0,664	0,885	0,936	0,916	0,956
2002	0,964	0,943	0,672	0,889	0,938	0,918	0,957
2003	0,965	0,945	0,680	0,892	0,940	0,920	0,959
Maximale	0,965	0,945	0,680	0,892	0,940	0,920	0,959
Minimale	0,955	0,928	0,603	0,861	0,922	0,897	0,946
Moyenne	0,960	0,937	0,642	0,877	0,931	0,909	0,953

Tableau 3: Estimation des paramètres de la frontière de production stochastique sur les sous bassins du Merguellil entre 1994 et 2003

Variables explicatives	Coefficients	valeur	t-test
Constante	β_0	0,164	0,247
Consommations intermédiaires	β_1	0,078	0,811
Travail	β_2	0,553*	4,393
Mécanisation	β_3	0,073	0,710
Capital	β_4	0,159***	1,909
Terre	β_5	0,289**	2,065
Sigma carré	σ^2	0,048***	1,924
Gamma	γ	0,566**	2,486
Eta	η	0,030	0,513

*Significatif à 1% ; **Significatif à 5% ; ***Significatif à 10%.

L'examen du tableau ci-dessus permet de constater que le secteur de Chbika est le plus efficace techniquement et économiquement. Il valorise donc mieux ses ressources productives en particulier la ressource en eau d'irrigation. Cependant les secteurs d'El Ala, de Oueslatia et de Kesra sont respectivement les moins efficaces techniquement, allocativement et économiquement.

Ces résultats indiquent qu'il y a un potentiel non négligeable pour améliorer le niveau d'efficacité économique des secteurs et du bassin versant dans son ensemble. C'est pour cette raison que nous allons étudier et identifier les sources d'inefficacité des zones étudiées dans le passage qui suit.

3.2 Déterminants de l'efficacité

Etant donné que l'efficacité est une variable conditionnée (comprise entre 0 et 1), un modèle Tobit a été adopté. En effet, la méthode consiste en l'estimation d'une régression linéaire dont la variable à expliquer est l'efficacité, et les variables explicatives sont reflétées par les variables socio-économiques décrites précédemment dans la partie méthodologique. L'estimation de cette relation est faite à partir des données en panel en utilisant comme outil le logiciel Shazam. En effet, une première estimation des déterminants nous a permis d'écarter certains facteurs explicatifs des niveaux d'efficacité analysés tels que la spécialisation, l'intégration au marché, la disponibilité fourragère et le taux d'encadrement. Les effets de ces facteurs sur le niveau d'efficacité étaient négligeables et/ou statistiquement non significatifs. Cependant, la relation entre les niveaux d'efficacité et les superficies équipées en matériel d'économie d'eau semble être non linéaire. Pour tester cette hypothèse, nous avons ajouté la variable économie d'eau à la puissance 2. Les résultats finals, issus du modèle Tobit, sont représentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Déterminants des scores d'efficacité sur le bassin versant du Merguellil

Déterminants	Efficacité technique	t-test
Constant	1,2452*	10,668
Economie d'eau	0,13957 10 ^{-3*}	4,614
(Economie d'eau) ²	-0,32495 10 ^{-7*}	-6,933
Accès aux crédits	0,16073***	1,895
Poids des petites tailles	-0,57127*	-6,907
R ²	0,572	
Log likelihood	86	

*Significatif à 1% ; **Significatif à 5% ; ***Significatif à 10%.

Les résultats ainsi obtenus nous permettent de constater que: L'effet de l'économie en eau sur le niveau d'efficacité est statistiquement significatif. L'adoption des techniques économiques en eau d'irrigation affecte négativement le niveau d'efficacité productive des secteurs étudiés. Ceci peut être expliqué par la concurrence entre les différentes spéculations. Par exemple, les producteurs ayant des parcelles équipées en goutte à goutte favorisent les cultures pratiquées sur ces parcelles au dépend des autres cultures conduites en extensif. Certes, le résultat global, en terme de profit, doit être meilleur.

La relation entre la variable spécialisation et niveau d'efficacité montre que les secteurs les plus spécialisés sont les moins efficaces techniquement et économiquement. Ceci peut être expliqué par le risque lié aux conditions climatiques (faible rendement / mauvaise année) et la fluctuation du prix (bonne récolte, exemple la pastèque).

L'accès aux crédits a un effet statistiquement significatif sur le niveau d'efficacité. L'effet négatif des crédits sur le niveau d'efficacité technique peut être expliqué par la fai-

ble intensification des systèmes de production. A titre d'illustration, l'utilisation de l'eau d'irrigation évolue plutôt vers l'extension des superficies irriguées sur des terres relativement marginalisées que vers une utilisation plus intensive.

La relation entre le niveau d'efficacité et le degré d'intégration au marché est négative. Economiquement ceci peut être expliqué par les distorsions du prix sur le marché. En outre, les prix sur le marché, ne reflètent pas la réalité économique.

La relation entre la disponibilité fourragère et l'efficacité est significative; elle est positive. Ceci peut être expliqué par l'importance des aliments fourragers pour l'élevage notamment l'élevage ovin principale activité animale à l'échelle du bassin versant. Ce qui explique déjà les transferts importants des foin et des pailles du nord vers le centre tunisien chaque année. Il est à noter que l'élevage, en particulier l'élevage ovin et caprin sur la zone d'étude, est considéré encore comme sorte d'épargne et moyen indispensable pour équilibrer la trésorerie des exploitations en cas de sécheresse, phénomène fréquent sur la zone. En conséquence,

sur le bassin du Merguellil, l'effectif du troupeau ovin et caprin est très sensible aux conditions climatiques. Ce qui explique la conduite en extensif de l'élevage ovin et caprin et la réticence des producteurs de la région vis à vis de l'élevage bovin (investissement lourd et irréversible).

L'effet du taux d'encadrement sur le niveau d'efficacité est très faible et il est statistiquement non significatif. Enfin, le poids des petites exploitations par rapport au nombre total des exploitations par secteur est corrélé négativement avec le niveau d'efficacité technique. Les exploitations de petite taille ne se permettent pas d'investir, en particulier sur

cette zone, dans la construction de puits (principale contrainte limitante). Ceci met en évidence une économie d'échelle au niveau des secteurs étudiés. D'où, l'intérêt majeur d'une politique publique qui limiterait le morcellement au niveau du bassin dû essentiellement au phénomène d'héritage.

Ces variables sont des facteurs importants dont l'action gouvernementale doit tenir compte pour améliorer le degré actuel de l'efficacité économique à l'échelle du bassin versant du Merguellil. Ainsi, sous les hypothèses avancées, les résultats obtenus permettent de conclure qu'une mesure d'accompagnement est de plus en plus exigée pour réduire les écarts d'inefficacité et améliorer la valorisation globale de l'eau³. Ce qui peut réduire le conflit amont et aval sur la ressource et rendre possible une gestion d'eau négociée.

Dans ce cadre, la mise en place d'une politique foncière est recommandée. Elle aura pour objectif d'améliorer le niveau d'efficacité productive par secteur, en augmentant les chances d'accéder aux crédits. Cette mesure peut être opérée par l'attribution des titres fonciers aux producteurs. Ces

titres serviront donc comme garantie pour la banque. Cette politique est déjà en cours de concrétisation dans toute la Tunisie. A titre d'exemple, sur la délégation de Haffouz, seulement 253 exploitants sur un total de 5045 exploitations disposent d'un titre foncier (Albouchi, 2004). En conséquence, en absence de garantie pour la banque, l'accès aux crédits reste difficile voire même impossible pour les exploitations qui n'ont pas de titre foncier.

Conclusion

Ce travail a pour objectifs d'estimer, de comparer et d'expliquer les niveaux d'efficacité technique en évoquant les possibilités d'accroissement de la production agricole, pour un coût donné, sur le bassin versant du Merguellil. En effet, nous avons mesuré le niveau l'efficacité technique pour un échantillon de sept secteurs irrigués au sein du Merguellil au cours de la période 1994-2003. Le programme Frontier 4.1 a été utilisé pour estimer une frontière de production stochastique de type Cobb-Douglas.

L'analyse statistique et économétrique de l'efficacité des sous bassins du Merguellil en terme de maximisation de la production, a permis de confirmer l'hypothèse de l'existence du différentiel d'efficacité entre ces derniers. L'importance du différentiel d'efficacité constaté nous renseigne sur les possibilités d'accroissement de la production, ceci nous a permis de dégager certaines conclusions.

L'écart entre production observée et production potentiel est à 57% expliqué par l'inefficacité des producteurs sur l'ensemble du bassin versant. L'efficacité technique par secteur varie entre 64% et 95% avec une moyenne de 76%. Le secteur de Chbika est techniquement le plus efficace. Alors que ceux d'El Ala, de Oueslatia et de Kesra sont techniquement les moins efficaces, par ordre croissant.

Par conséquent, pour un niveau de coût de production donné, les scores d'efficacité technique obtenus affirment que si nous arrivons à éliminer ces inefficacités, nous pouvons accroître la production au niveau du bassin versant de 11,43 10⁶ DT, soit 50 % de la valeur de production actuelle. Quoique, l'augmentation possible de la production varie de 0,17 10⁶ DT sur le secteur de Makthar à 4,87 10⁶ DT sur celui de Chbika. Toujours pour un coût de production donné, la valorisation moyenne du mètre cube d'eau utilisé sur le bassin versant du Merguellil au cours de la période d'analyse augmenterait de 0,362 DT soit 53% de la valeur actuelle.

Enfin, l'étude des déterminants de l'efficacité montre que le poids des petites exploitations et la spécialisation influencent négativement le niveau d'efficacité technique. Alors que, l'accès au crédit et l'économie d'eau l'influence positivement. La relation entre le niveau d'efficacité et le taux d'encadrement n'a pas pu être décelée.

Sur la base de ces résultats et pour améliorer le niveau de l'efficacité productive des secteurs étudiés, les mesures à

entreprendre peuvent se concentrer sur l'accès aux crédits et la poursuite du programme d'économie d'eau. En effet, une politique foncière adéquate, en limitant le morcellement des terres agricoles et en accordant des titres de propriété aux agriculteurs, pourrait améliorer le taux d'acquisition des crédits bancaires. Ces crédits permettront aux agriculteurs d'investir dans des nouvelles techniques de production et assureront donc une croissance économique à l'échelle du bassin.

En terme de gestion de la ressource en eau, de plus en plus rare, la mesure et l'explication des niveaux d'efficacité technique des zones irriguées au sein d'un bassin versant peut aider à construire des politiques appropriées de partage de l'eau en fonction des considérations d'efficacité et d'équité.

References Bibliographiques

- AIGNER D.; C. K. LOVELL et P. SCHMIDT, 1977. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics* 6, no. 1: 21-37.
- ALBOUCHI L. 2004. Enquêtes de structure des exploitations agricoles de la zone pilote de la petite agriculture à caractère familial et social (PACFS). Cas de la délégation de Haffouz - Gouvernorat de Kairouan. Rapport technique disponible sur: <http://www.iwmi.cgiar.org/Assessment/FILLES/word/ProjectDocuments/Merguellil/Enquetes%20de%20structure%20des%20exploitations%20agricoles%20de%20la%20zone%20de%20HAFFOUZ.pdf>
- ALBOUCHI L. 2006. Gestion de l'eau en Tunisie: D'une politique de mobilisation à une politique de réallocation de la ressource selon sa valorisation économique. Thèse de doctorat en Sciences et Gestion – Université Montpellier 1, septembre 2006, 239 p.
- BACHTA M.S. et A. CHEBIL, 2002. Efficacité technique des exploitations céréalières de la plaine du Sers (Tunisie). *Série NEW MEDIT: Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*, 1 (2): 41-45.
- Battese G.E., Coelli T. J., 1993. A Stochastic Frontier Production Function Incorporating a Model for Technical Inefficiency Effects. *Working Papers in Econometrics and Applied Statistics*, 69, Department of Econometrics, University of New England, Australia.
- CHAFFAI M. E. 1997. Estimation de frontières d'efficacité: développements récents. *Revue d'Economie du Développement*, 3, p. 33-67.
- COELLI T. J., 1996. A Guide to Frontier Version 4.1: A Computer Program for Frontier Production Function Estimation. Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Paper 96/07, Department of Econometrics, University of New England, Armidale.
- COELLI T.J., PRASADA RAO D.S., and BATTESE, G.E. 1998. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Kluwer Academic Publishers, Boston, 271 pp.
- Debreu G., 1951. The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 19(3), pp. 273-292. July, 1951.

³ L'impact d'amélioration du niveau de l'efficacité a été étudié dans ALBOUCHI 2006.

- Deprins D. and L. Simar, 1989. Estimation de Frontières déterministes avec facteurs exogènes d'inefficacité, *Annales d'Economie et de Statistique*, n.14.
- FARRELL M. J., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120 (3): 253-290.
- Koopmans T. C., 1951. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In T.C. Koopmans, (ed.), *Activity Analysis of Production and Allocation*. Cowles Commission for Research in Economics. Monograph n°13. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- KUMBHAKAR S. C. et C. A. K. LOVELL, 2000. *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press.
- KUMBHAKAR S.C., S. GHOSH et J. T. MCGUCKIN, 1991. "A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in U.S. Dairy Farms," *Journal of Business and Economic Statistics*, 9, 279-286.
- LEVEQUE J. et W. ROY, 2004. Quelles avancées permettent les techniques de frontière dans la mesure de l'efficacité des exploitants de transport urbain. In: XIV^{èmes} journées du SESAME, 23, 24 et 25 septembre 2004, Pau. 2004. 19 p. téléchargeable sur: <http://www.let.fr/fr/annuaire/auteurs/jleveque/index.php>
- Meeusen W. and J. Van Den Broeck 1977. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review* 18, 435-444.
- MURILLO-ZAMORANO Luis. R., 2004. Economic efficiency and frontier techniques. *Journal of Economic Surveys* Vol. 18, No. 1, pp. 33-77, February 2004.
- PIOT-LEPETIT I. et P. RAINELLI, 1996. Détermination des marges de manœuvre des élevages à partir de la mesure des inefficacités. *INRA Unité d'Economie et Sociologie Rurales – Production animale- Rennes*, 1996, 9(5), 367-377.
- Reifschneider D. and R. Stevenson 1991. Systematic Departures from the Frontier: A Framework for the Analysis of Firm Inefficiency. *International Economic Review*, 32, 715-723.