

Efficacité technique des exploitations en irrigué. Una approche paramétrique Versus non paramétrique

FRAJ CHEMAK*, BOUBAKER DHEHIBI*

Jel classification: C51, C61, Q12, Q15

1. Introduction

Les travaux pionniers de Farrell (1957) sur la mesure de l'efficacité technique ont révélé l'intéressement remarquable des scientifiques au développement de cette approche pour répondre aux diverses questions de mesure des performances des unités de prise de décision (Decision Making Units –DMUs-). Dans ce sens, les études empiriques se sont multipliées mettant en exergue la pertinence de la méthode et l'importance des résultats obtenus (Battese, 1992; Bravo-Ureta et Pinheiro, 1993). Deux approches d'analyse ont permis le perfectionnement de cette mesure. La première approche, dite paramétrique stochastique, utilise le calcul économétrique pour l'estimation d'une fonction de production présumée (Cobb-Douglas, Translog, Constant Elasticity of Substitution,...). Cette approche est généralement dénommée Stochastic Frontier Analysis¹ (SFA). La deuxième approche, dite non paramétrique déterministe, utilise la programmation linéaire pour la construction de la frontière de production sans aucune restriction *a priori* sur la forme fonctionnelle. Cette approche, ap-

Abstract

The economic approach to technical efficiency is increasingly taken into account by scientists in order to face two crucial issues concerning the optimal allocation of resources: saving the inputs and maximizing the productivity gains. This approach has been developed following two methods: the stochastic parametric and the nonparametric deterministic models. Each method shows its advantages and disadvantages, but their joint application allows the best result appreciation. Therefore, we applied the two methods to estimate the technical efficiency scores in the irrigated schemes of Sidi Bouzid region. The results indicate the resource use inefficiency and the close correlation of the two models. However the technical efficiency scores measured by the parametric method are clearly higher, thus confirming that it is appropriate to consider the production function to estimate the stochastic frontier. The analysis of the production partial elasticities highlights that water is a determining factor in the production technological process.

Keywords: Irrigated scheme, Technical efficiency, DEA model, stochastic frontier.

Résumé

L'approche économique de l'efficacité technique est de plus en plus prise en compte par les scientifiques pour répondre à deux exigences centrales en matière d'allocation optimale des ressources: réaliser des économies et maximiser les gains de productivité. Cette approche s'est développée à travers deux méthodes: la première est appelée paramétrique stochastique et la deuxième est dite non paramétrique déterministe. Chacune des deux méthodes présente des avantages et des inconvénients, mais leur application conjointe permet une meilleure appréciation des résultats. Nous avons ainsi utilisé les deux méthodes pour mesurer les scores de l'efficacité technique des exploitations en irrigué dans la région de Sidi Bouzid. Les résultats révèlent d'une part une inefficacité d'usage des ressources et d'autre part, la corrélation étroite des deux modèles. Cependant, les scores d'efficacité technique mesurés par la méthode paramétrique sont nettement supérieurs, ce qui confirme l'utilité de prendre en compte la fonction de production pour l'estimation de la frontière stochastique. L'analyse des élasticités partielles de production permet de souligner l'importance de l'eau en tant que facteur déterminant du processus technologique de production.

Mots-clés: Périmètre irrigué, Efficacité technique, modèle DEA, Frontière stochastique.

pelée Data Envelopment Analysis² (DEA), opte pour un enveloppement des données observées par une frontière par morceaux linéaires et ce, en application de certaines hypothèses qui concernent particulièrement la convexité et la libre disposition des produits et des facteurs (Thanassoulis, 2001; Ray, 2004; Cooper *et al.*, 2006).

Outre la différence d'algorithme de résolution, les deux approches de mesure de l'efficacité, paramétrique et non paramétrique, incarnent des caractéristiques conceptuelles qui ont constitué des avantages et des limites pour l'une comme pour l'autre (Amara et Romain, 2000; Zaibet et Dharmapala, 1999). En effet, la prise en compte des facteurs aléatoires constitue un avantage majeur de l'approche paramétrique qui estime une frontière de production stochastique pour séparer l'impact des phénomènes aléatoires sur le processus

de production de ceux qui représentent l'inefficacité technique proprement dite. En revanche, l'approche DEA considère que toute déviation de la frontière de production est une source d'inefficacité. L'approche paramétrique permet aussi de procéder à des analyses et des tests statistiques grâce aux propriétés statistiques de la fonction de production adoptée sauf que cette dernière fixe des hypothèses et des restrictions, en particulier sur la nature de la distribution

* Laboratoire d'Economie Rurale – Institut National de recherche agronomique de Tunisie.

¹ Analyse par une frontière stochastique.

² Analyse par enveloppement des données.

des variables et des paramètres qui peuvent ne pas coïncider avec la réalité de mise en œuvre du processus technologique. Une approche économétrique est aussi utile pour l'analyse des données de panel alors que le modèle DEA permet des mesures d'efficacité sur une seule période et par rapport aux niveaux afférents des inputs et des outputs. En agriculture, cette dernière limite constitue un inconvénient majeur étant donné que les inputs contribuent aux outputs sur plusieurs années plutôt que sur une seule campagne.

Le modèle DEA permet d'analyser des processus technologiques multiproduits-multifacteurs, mais elle montre une grande sensibilité au nombre de DMUs, à la qualité des données et au nombre de variables d'output et d'input (Thiam *et al.*, 2001; Piot, 1994; Piot et Vermersch, 1993). Ce modèle présente l'avantage d'estimer une efficacité technique pure mesurée par rapport à une solution optimale compatible à la taille de chaque DMU. Ainsi, la méthode DEA permet-elle d'analyser les inefficacités d'échelle en estimant un modèle en rendements d'échelle constants (Charnes *et al.*, 1978) et un modèle en rendements d'échelle variables (Banker *et al.*, 1984).

Les travaux sur les mesures de l'efficacité technique se multiplient mais les résultats dépendent de la méthode d'analyse. Plusieurs travaux ont adopté une approche comparative pour permettre une meilleure appréciation des résultats. Sharma *et al.*, (1999) analysent l'efficacité des producteurs de porcs à Hawaii en adoptant les deux approches, paramétrique non paramétrique, en considérant la fonction Cobb-Douglas pour l'estimation de la frontière stochastique. La comparaison des résultats montre une supériorité de l'efficacité moyenne issue du modèle DEA par rapport à l'approche paramétrique et ce, pour les trois types d'efficacité (technique, allocative et économique) sous l'hypothèse de rendements d'échelle variables. En renonçant à cette dernière hypothèse, le résultat est totalement inversé. L'élimination des observations aberrantes potentielles fait accroître l'efficacité technique mesurée par le modèle SFA et l'efficacité allocative mesurée par le modèle DEA, mais contrairement à ce qui est attendu, les résultats de cette dernière approche sont plus robustes -stables- que ceux obtenus par l'approche paramétrique.

Pour analyser l'efficacité de l'environnement des fermes laitières allemandes, Reinhard *et al.* (2000) utilisent aussi les deux approches. Ils trouvent que l'efficacité moyenne change d'une approche à l'autre. En revanche, les résultats des deux approches montrent une certaine concordance au niveau de la tendance générale. De la même manière, Latruffe *et al.* (2002) analysent l'efficacité des fermes polonaises et concluent que les résultats obtenus par l'approche frontière stochastique sont généralement confirmés par le modèle DEA.

Murillo-Zamorano et Vega-Cervera (2001) utilisent les deux approches, paramétrique et non-paramétrique, pour prouver leur complémentarité en faveur d'un jugement de robustesse et d'analyse des scores d'efficacité. Johansson (2005) utilise aussi les deux méthodes pour évaluer l'effi-

cacité technique, allocative et économique des fermes laitières suédoises. Il trouve que les scores d'efficacité technique et économique mesurés par le modèle DEA sont supérieurs à ceux calculés par le modèle SFA. Ainsi, il conclut que la fonction Cobb-Douglas n'est pas appropriée pour représenter le processus technologique de ces fermes.

En vertu de cette revue de la littérature, nous adoptons une approche comparative pour analyser l'efficacité technique des exploitations en irrigué dans la région de Sidi Bouzid. L'objectif de ce travail est double. Le premier objectif est de contribuer à la mise en valeur des propriétés des ces deux approches de mesure de l'efficacité technique, alors que le deuxième objectif cherche à établir une appréciation pragmatique des performances des pratiques d'irrigation dans la région. Dans une deuxième section, nous allons introduire l'approche efficacité et présenter la structure théorique des deux modèles (DEA, SFA). La troisième section mettra en exergue la nécessité d'une gestion rationnelle de la ressource en eau à travers l'analyse de l'efficacité des pratiques d'irrigation. Nous décrirons également notre approche pour la collecte des données et nous présenterons les modèles empiriques. Dans une quatrième section, nous discuterons les résultats avant de conclure sur l'intérêt de cette approche comparative de mesures de l'efficacité technique.

2. Approche théorique pour l'analyse de l'efficacité technique

2.1. La démarche de Farrell pour la mesure de l'efficacité

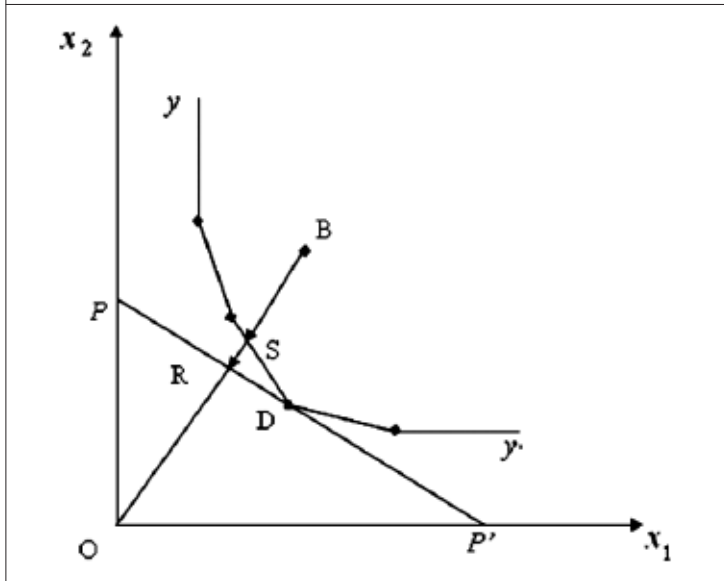
Selon la théorie économique, le concept efficacité fait référence à l'optimum de Pareto. Piot (1994) signale que «*Les premières études de l'efficacité, dite technique, des producteurs ont été réalisées par Koopmans (1951) et Debreu (1951). Koopmans propose une définition de l'efficacité dans une logique parétienne: s'il est technologiquement impossible d'augmenter un output et/ou réduire un input sans simultanément réduire au moins un autre output et/ou augmenter au moins un autre input, le plan de production choisi par la firme est techniquement efficace*». Cette définition est reprise par tous les auteurs s'intéressant à l'approche de l'efficacité et certains parlent même de l'efficacité Pareto-Koopmans (Thanassoulis, 2001; Ray, 2004). Dans cette perspective, Farrell (1957) propose la démarche suivante pour la mesure de l'efficacité technique, allocative et économique.

Soit une firme qui produit l'output à partir de deux inputs et, ainsi la frontière de production -qui traduit les différentes combinaisons des deux inputs qu'une firme parfaitement efficace peut utiliser pour produire une unité d'output- est représentée par l'isoquante yy' (Figure 1).

La firme B, située dans le domaine du possible, est dite techniquement inefficace. En effet, sa projection radiale sur la frontière de production, soit en S, montre qu'elle est en

mesure de réduire ses inputs x_1 et x_2 , tout en conservant le même niveau de production. Ainsi, Farrell suggère de mesurer l'efficacité technique de la firme B par le ratio $\frac{OS}{OB}$. Cette efficacité est comprise entre 0 et 1.

Figure 1 – Mesure de l'efficacité de Farrell (1957).



Supposant maintenant que les marchés des facteurs sont compétitifs, les prix relatifs des inputs et peuvent être représentés par la droite d'isocoût PP' . Cette dernière indique le coût minimum de production d'une unité d'output au point de tangence entre la droite PP' et l'isoquante yy' , soit le point D. Ainsi en S, même si la firme est techniquement efficace, l'utilisation des ressources est plus coûteuse qu'en R. Cependant la projection radiale de la firme B sur PP' la situe en R et le segment RS représente donc la mesure de l'inefficacité prix, c'est-à-dire le surplus du coût résultant d'une utilisation des facteurs dans des proportions non optimales pour le système des prix observés. Ainsi, Farrell suggère de mesurer l'efficacité allocative de la firme B par le ratio qui traduit l'habileté de la firme à sélectionner la combinaison inputs-outputs faisable, qui lui procure le profit optimal étant donné le niveau des prix des produits et des facteurs.

Cette décomposition de la mesure de l'efficacité permet d'évaluer l'efficacité économique de la firme B mesurée par le ratio $\frac{OR}{OB}$ qui n'est autre que le produit de l'efficacité technique et de l'efficacité allocative.

$$\frac{OR}{OB} = \frac{OS}{OB} * \frac{OR}{OS}$$

2.2. Le modèle DEA

Soit N firmes produisant l'output Y à partir de l'input X , pour mesurer l'efficacité technique de la firme j_0 , nous écrivons le programme linéaire (1) suivant dans une perspective de minimisation des inputs (Input Oriented Model):

$$Min_{(y,x,\lambda)} [k_0]$$

Sous contraintes :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j X_j \leq k_0 X_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j Y_j \geq Y_{j_0}$$

$$\lambda_j \geq 0; j = 1, \dots, N; k_0 \text{ étant libre}$$

La solution optimale de ce programme n'est autre que l'efficacité technique de la firme j_0 .

Pour mettre en évidence une efficacité technique au sens Pareto-Koopmans, Charnes *et al.* (1978) proposent de prendre en compte des variables d'écart en considérant un contexte multiproduits-multifacteurs sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants (CRS). Ainsi, la reformulation du programme (1) est présentée par le programme linéaire (2) suivant:

$$Min_{(y_r, x_i, \lambda, k_0)} \left[k_0 - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \right]$$

Sous contraintes :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} = k_0 x_{i0} - S_i^- \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} = y_{r0} + S_r^+ \quad r = 1, \dots, s$$

ε est un infinitésimal non-archimédien pour que la maximisation des variables d'écart S et

S^+ , demeure un objectif secondaire par rapport à la minimisation du coefficient k_0 .

En 1984, Banker *et al.* (1984) introduisent le modèle DEA en rendements d'échelle variables (VRS), en intégrant au programme (2) une contrainte de convexité $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$.

Dans ce cas, la résolution du programme permet de mesurer une efficacité technique pure. Elle est supérieure ou égale à celle de l'efficacité technique obtenue par l'adoption d'un modèle CRS. En effet, l'introduction de la contrainte de convexité permet de neutraliser d'éventuelles inefficacités d'échelle. Par ailleurs, la prise en compte des variables d'écart permet d'interpréter le résultat de la manière suivante:

- 1) Si $k_0^* = 1$ et $S^* = 0$, alors la firme j_0 est pareto-efficace.
- 2) Si $k_0^* = 1$ et au moins une variable d'écart est non nulle, alors la firme j_0 n'est pas pareto-efficace.
- 3) Si $k_0^* < 1$, alors la firme j_0 est techniquement inefficace.

2.3. Le modèle SFA

L'approche paramétrique est basée sur le calcul économétrique qui permet d'estimer la frontière de production. Soit N firmes produisant l'output Y à partir de l'input X , ce processus de production peut être représenté par la relation fonctionnelle suivante:

$$Y = f(\beta, X) + \eta$$

β est un vecteur de paramètres inconnus à estimer.

Le terme β représente des résidus aléatoires en ce sens que la transformation des inputs par le modèle à estimer peut ne pas reproduire exactement l'output Y^* observé en raison de l'existence d'autres facteurs aléatoires non contrôlés par le processus de production. η est supposé distribué normalement avec une moyenne nulle. Soit Y^* le niveau de l'output estimé, alors l'efficacité technique est donnée par le ratio Y^*/Y .

Cette approche est dite paramétrique déterministe car tout écart des valeurs observées par rapport à celles estimées est attribué à des inefficacités. Ceci fait que certains facteurs aléatoires tels que les aléas climatiques, les pénuries des intrants ou un mauvais rendement des machines, ne sont pas pris en compte alors qu'ils sont susceptibles d'affecter les performances de la firme et par conséquent, son indice d'efficacité au même titre que les facteurs contrôlables par le processus de production. Ces arguments sont à l'origine du développement de l'approche stochastique ou d'erreur composée, initialement proposée par Aigner *et al.* (1977), Meeusen et Van Den Broeck (1977) et améliorée par Jondrow *et al.* (1982) pour permettre l'estimation de l'indice d'efficacité technique spécifique à chaque firme (Amara et Romain, 2000). Cette approche postule que le terme d'erreur est composé de deux parties indépendantes, soit une composante purement aléatoire (v) qui se trouve dans n'importe quelle relation et qui se distribue de chaque côté de la frontière de production (two-sided error term), et une composante représentant l'inefficacité technique (u). D'ailleurs, c'est en raison de cette décomposition que l'approche est bâtie « Stochastic Frontier Analysis (SFA) ». Le terme d'inefficacité (u) est supposé positif, réparti d'un seul côté de la frontière et suit une distribution semi-normale ou exponentielle. Le modèle est représenté par l'équation suivante:

$$Y = f(\beta, X) + v - u$$

Battese (1992) fait le point sur les différentes étapes du développement théorique de cette approche paramétrique et les outils d'estimation de la fonction de production depuis les années 60. Il présente la conception théorique et trace les applications empiriques en économie agricole (revue non exhaustive de littérature) des trois modèles: (i) frontière déterministe (ii) frontière stochastique et (iii) données de panel. Il conclut que le développement de cette approche a permis des analyses plus élaborées de l'efficacité tech-

nique. En revanche, son application à des unités de production agricole révèle plusieurs problèmes, notamment au niveau de choix des hypothèses de distribution pour établir une meilleure estimation ainsi qu'au niveau de la recherche des déterminants des inefficacités.

3. Gestion de l'irrigation et modèles empiriques pour la mesure de l'efficacité

3.1 L'enjeu d'une gestion efficace de l'irrigation

Dans un contexte de raréfaction et de risques de changements climatiques, la gestion de la ressource en eau est devenue une préoccupation majeure du monde entier. Disposant seulement de 3% des ressources en eau à l'échelle mondiale, le bassin méditerranéen est fortement exposé à une pénurie d'eau. En effet, la région méditerranéenne concentre déjà environ 60% de la population mondiale pauvre en eau, c'est-à-dire disposant de moins de 1000 m³/hab./an. Le tiers de cette population, soit environ 60 millions, vivaient déjà en situation de pénurie, c'est-à-dire disposant de moins de 500 m³/hab./an. Dans le Sud et dans l'Est de la Méditerranée, on estime qu'à l'horizon 2025 290 millions de personnes pourraient se trouver en situation de pénurie (Plan bleu, 2009; Thivet et Blinda, 2008). Ainsi, la gestion de la demande en eau s'impose comme alternative incontournable pour faire face à cette situation de pénurie. Dans les pays de la rive Nord comme dans ceux de la rive Sud, la gestion de la demande est expérimentée depuis plus d'une dizaine d'années visant à accroître l'efficacité des dispositifs techniques, économiques et institutionnels des différents usages de l'eau.

L'agriculture reste le premier consommateur d'eau, représentant plus de 64% de la demande totale en eau de l'ensemble des pays méditerranéens (45% dans le Nord et 81% pour les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée). Alors, l'agriculture irriguée devrait constituer le principal gisement pour la réalisation des éventuelles économies d'eau (Thivet et Blinda, 2008). Dans cette perspective, les pays méditerranéens ont d'ores et déjà mis en œuvre différentes stratégies pour une gestion efficace de la demande en eau (réhabilitation des réseaux d'adduction, tarification, incitations à l'introduction des systèmes d'irrigation plus économiques, renforcement des institutions pour une gestion collective de la ressource...). Sans nul doute, ces stratégies ont permis une rationalisation de la ressource en eau, mais nous estimons qu'une gestion plus rationnelle passe par une meilleure efficacité des pratiques d'irrigation au niveau de l'exploitation.

Particulièrement concernée, la Tunisie a toujours misé sur le développement de l'irrigation pour contourner les aléas de l'agriculture pluviale et subvenir aux besoins d'une population croissante. La réussite de la politique de mobilisation de la ressource en eau a permis une extension remarquable du potentiel irrigable qui atteint 433000 ha en 2007 dont 229000 ha sont aménagés en périmètres publics irri-

gués (PPI). Le reste constitue les périmètres irrigués privés (PIP), créés principalement autour des puits de surface et des forages. L'agriculture irriguée offre 35% de la production nationale agricole, mais utilise plus de 80% du potentiel disponible de l'eau. Avec un taux de mobilisation des ressources en eau dépassant 90%, la politique de gestion de l'offre atteint ses limites. Ainsi, les efforts des pouvoirs publics devraient se concentrer sur la gestion de la demande en eau. Depuis 1989, la révision à la hausse du tarif de l'eau est l'instrument central d'intervention dans les PPI. L'administration cherche aussi à mettre en place le mode de tarification le plus approprié (monôme, binôme, polynôme) pour rationaliser la gestion des eaux et améliorer le taux de recouvrement (Thabet *et al.*, 2005; Sghaier, 1995; Ennabli, 1995; Hemdane, 2002). La gestion communautaire des eaux a également constitué une alternative pour responsabiliser davantage les producteurs. Ainsi, depuis la suppression des offices de mise en valeur en 1989, l'Etat a renforcé la création des groupements d'intérêt collectif (GIC). En 2007, 1081 GIC sont déjà créés pour gérer jusqu'à 80% des PPI (Ministère de l'Agriculture, 2008b). Outre ces deux instruments, l'Etat a lancé en 1995 le «programme national de l'économie de l'eau» qui vise la réduction des pertes au niveau des réseaux d'adduction, mais aussi au niveau de la parcelle (Ministère de l'Agriculture, 2004). Dans ce cadre, des subventions de 40 à 60% sont accordées aux agriculteurs pour l'adoption des systèmes d'économie d'eau (aspersion, goutte-à-goutte). Cependant, malgré cette volonté de gestion de la demande, les résultats ne montrent pas de changements significatifs des pratiques d'irrigation au niveau de l'exploitation (Daoud, 1995; Ennabli, 1995; Hemdane 2002). En effet, ces différents programmes ne prennent pas en compte les pratiques des irrigants et leur conception actuelle de mise en œuvre n'implique pas forcément des économies d'eau de référence et une meilleure productivité de la ressource en eau. Ces pratiques d'irrigation devraient incorporer les conditions d'accès à la ressource, la nature du système de culture et l'environnement économique, institutionnel et social de l'irrigant.

3.2. La problématique d'irrigation dans la région de Sidi Bouzid

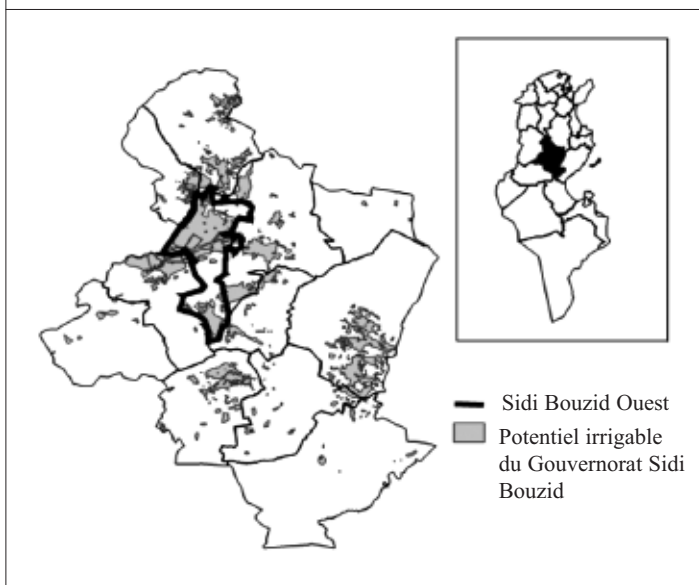
Situé au centre du pays (Figure 2), le gouvernorat de Sidi Bouzid est l'une des régions qui doit son développement économique et social à l'irrigation. En 2006, la région compte environ 40000 ha de superficie irrigable dont 5500 ha sont aménagés en PPI. Le secteur irrigué dans son ensemble assure jusqu'à 60% de la production de la région

(Ministère de l'Agriculture, 2006) et offre jusqu'à 16% de la production maraîchère à l'échelle du pays (Ministère de l'Agriculture, 2008a). Malgré ce développement de la production permise par l'irrigation, d'importantes difficultés subsistent au niveau des périmètres publics aussi bien que privés. Au niveau des PPI, certains réseaux d'adduction sont vétustes et occasionnent des pertes d'eau significatives allant jusqu'à 40% (Ministère de l'Agriculture, 1995). La pratique de l'irrigation par submersion domine les systèmes d'irrigation et favorise les pertes d'eau. Au niveau des périmètres privés, la prolifération spectaculaire des puits de surface a conduit à la surexploitation des nappes phréatiques. Depuis 1985, certaines zones sont déjà décrétées des périmètres d'interdiction. Mais cette situation n'a pas empêché les agriculteurs de creuser des puits de surface même sans l'autorisation de l'administration transgressant ainsi la loi en vigueur³. L'exploitation intensive de ces périmètres est donc pratiquée au détriment d'une gestion durable de la ressource en eau.

La délégation de Sidi Bouzid ouest (Figure 2) concentre la majorité des aménagements publics et privés. Depuis 1958, la région a connu l'aménagement des premiers PPI (Om Laadham et Bir Badra) dans une perspective de sédentarisation et d'amélioration du bien-être d'une population rurale démunie. Ces créations ont constitué de véritables noyaux pour le développement de l'irrigation dans la région, en particulier avec l'extension des périmètres privés. Durant les années 80, l'extension des périmètres privés a été largement soutenue par les pouvoirs publics provoquant une expansion remarquable des puits de surface. En 2004, la délégation compte 7 PPI totalisant une superficie irrigable de 1070 ha. Le nombre de puits de surface atteint 2500 permettant d'irriguer environ 7500 ha soit 25% du potentiel irrigable au niveau de la région. En revanche, ce développement des périmètres irrigués a révélé de nombreuses difficultés et des impacts négatifs sur la gestion durable des ressources (eau et sol). En effet, tous les rapports de suivi des PPI dénotent une sous-utilisation et une sous-intensification du facteur terre. Cette situation corrobore une sous-utilisation de la ressource en eau. Cependant, malgré les efforts déployés par les pouvoirs publics pour moderniser ces périmètres, le système d'irrigation par submersion domine toujours, causant d'importantes pertes. Dans la majorité des cas, le rôle des groupements d'intérêt collectif (GICs) est limité à la vente de l'eau, révélant parfois des conflits et des tensions sociales en raison de la distribution de l'eau jugée parfois trop risquée et non équitable (Daoud, 1995). La prolifération des puits de surface et les pratiques d'irrigation non raisonnées ont provoqué une surexploitation de la nappe phréatique avec un rabattement moyen annuel de 30 cm (Ministère de l'Agriculture, 2006). Certains irrigants des PPI vont même créer des puits de surface pour étendre leur potentiel irrigable. En vertu de ce constat, la question de rationalisation de l'usage et de valorisation de l'eau d'irrigation est posée avec acuité.

³ Concernant la réglementation qui régit la création des puits de surface, le code des eaux promulgué par la loi n° 75-16 du 31 mars 1975 dispose dans son article 9 que toute création de puits de surface (hors périmètre d'interdiction ou de sauvegarde) dont la profondeur ne dépasse pas 50 cm n'est pas soumise à l'autorisation préalable et le propriétaire est chargé d'informer l'administration. Mais c'est très rare que l'administration fait prévaloir cette loi et d'une façon générale, un laisser aller règne sur le contrôle de la création de puits de surface.

Figure 2.



3.3 Collecte des données et modèles empiriques

Dans ce contexte antagonique de gestion de la ressource naturelle, nous avons sélectionné un échantillon d'exploitations aussi bien dans les périmètres publics que dans les périmètres privés de la région de Sidi Bouzid Ouest. La collecte des données se réfère au déroulement de la campagne 2003 et concerne 124 exploitations. La principale composante du système cultural est l'arboriculture, dominée par l'olivier qui s'étend sur 80% des superficies irrigables. Alors, les agriculteurs se voient obligés de pratiquer les cultures intercalaires, principalement la céréaliculture, pour subvenir aux besoins de la famille et éventuellement des animaux. Ils développent davantage les cultures maraichères au niveau des périmètres privés en raison de la libre disposition, en quantité et en temps, de la ressource en eau. Outre l'eau d'irrigation, les résultats de nos enquêtes révèlent que les principaux facteurs de production sont la mécanisation et la fertilisation. La main d'œuvre est essentiellement familiale⁴ et les agriculteurs déclarent que leurs besoins sont bien satisfaits quitte à demander l'entraide. Ainsi, nous estimons que la technologie de production au niveau des périmètres irrigués de la région dépend essentiellement de la superficie irrigable (Terre), de la quantité d'eau consommée (Eau), des dépenses de mécanisation (Mecan) et des dépenses de fertilisation (Fertil). Les outputs de cette technologie sont les valeurs des produits de l'arboriculture

(Arb) et les valeurs des produits des autres cultures (Cult). La somme de ces deux dernières variables représentent la valeur de la production totale en irrigué de l'exploitation (Prod). Les statistiques des variables de cette matrice Inputs-Outputs sont données au Tableau 1.

En adoptant ce processus technologique de production, nous allons pouvoir mesurer l'efficacité technique des exploitations par les deux approches paramétrique et non paramétrique. Nous allons mesurer l'efficacité technique par le modèle DEA en mode VRS de deux manières:

(i) en considérant une relation fonctionnelle avec un seul output du type:

$$\text{Prod} = f(\text{Terre, Mecan, Fertil, Eau}) \quad (\text{DEASO})$$

(ii) en considérant une relation fonctionnelle avec deux outputs du type:

$$\text{Arb, Cult} = f(\text{Terre, Mecan, Fertil, Eau}) \quad (\text{DEAMO})$$

En revanche, pour mesurer l'efficacité technique par le modèle SFA nous considérons une fonction Cobb-Douglas du type $Y = AX^\beta$. Alors, en appliquant la fonction logarithmique nous allons pouvoir estimer le modèle suivant:

$$\begin{aligned} \ln \text{Prod}_j &= \beta_0 + \beta_1 \ln \text{Terre}_j + \beta_2 \ln \text{Mecan}_j + \beta_3 \ln \text{Fertil}_j \\ &+ \beta_4 \ln \text{Eau}_j + v_j - u_j \quad (\text{SFA}) \end{aligned}$$

Nous avons résolu le modèle DEA à l'aide du logiciel GAMS alors que nous avons utilisé le logiciel *FRONTIER* - 4.1- (Coelli, 1996) pour l'estimation du modèle SFA en considérant la technique du maximum de vraisemblance.

Tableau 1 – Statistiques descriptives des variables des modèles empiriques.

Variables	Unité	Moyenne	Ecart type	Max	Min
Arb	TND	1536,46	1586,17	7800	0
Cult	TND	3882,23	5053,19	28110	0
Prod	TND	5418,702	5638,026	29208	138,00
Terre	Ha	5,27	3,93	20	0,25
Mecan	TND	443,62	433,39	2800	28,00
Fertil	TND	282,34	337,65	2034	9,00
Eau	m ³	14801,88	16739,54	130086	720,00

4. Discussion des résultats

Les résultats des trois modèles sont bien corrélés. Le test du ρ de Spearman montre que cette corrélation positive est bien significative (Tableau 2). En réalité, la corrélation entre les scores d'efficacité des modèles paramétrique et non paramétrique fait l'objet d'une controverse. En effet, les coefficients rapportés par Sharma *et al.* (1999) sont très élevés. Ce dernier résultat est contredit par Singh *et al.* (2000) et Mbaga *et al.* (2000) qui rapportent de faibles coefficients de corrélation. Hjalmarsson *et al.* (1996) rapportent même des coefficients de corrélation négatifs, mais ils justifient cette divergence par l'adoption d'une forme fonctionnelle (Cobb-Douglas) relativement simple pour l'estimation de la frontière stochastique. En revanche, Mbaga *et al.* (2000)

⁴ Selon nos enquêtes, la taille moyenne de la famille est de 6 membres dont 4 assurent le travail familial de l'exploitation.

Tableau 2 – Corrélation des modèles et Test du ρ de Spearman.

		SFA	DEASO
DEASO	Coefficient de corrélation	0,611	
	Spearman's rho	0,689	
	Prob	0,000***	
DEAMO	Coefficient de corrélation	0,649	0,959
	Spearman's rho	0,706	0,965
	Prob	0,000***	0,000***

*** Significatif à 1%

Tableau 3 – Analyse des mesures de l'efficacité technique.

	DEASO	DEAMO	SFA
Nombre d'observations	124	124	124
Moyenne	0,56	0,61	0,87
Médiane	0,52	0,56	0,88
Maximale	1	1	0,93
Minimale	0,13	0,14	0,77
Ecart type	0,29	0,29	0,03

comparent les résultats du modèle DEA à ceux de plusieurs formes fonctionnelles et obtiennent également des résultats très différents selon l'approche utilisée (corrélations < 0,5). A cet égard, Amara et Romain (2000) concluent que «la divergence ou la convergence des résultats des approches paramétriques et non paramétriques dépendent fortement de l'échantillon utilisé».

Nos résultats montrent une corrélation positive des trois modèles indiquant la même tendance même si les moyennes sont différentes. Les scores d'efficacité du modèle SFA montrent une supériorité d'environ 26% par rapport au modèle DEAMO. Cette supériorité des scores d'efficacité est prouvée aussi par Reinhard *et al.* (2000) mais atteint une différence de 10%. En revanche, en estimant une fonction Cobb-Douglas, Sharma *et al.* (1999) obtiennent des scores d'efficacité mesurés par le modèle SFA bien inférieures. Leur résultat est en contradiction avec les fondements théoriques des deux approches. En effet, la supériorité des scores révélés par le modèle SFA est expliquée en premier lieu par la neutralisation des inefficacités dues aux effets aléatoires alors que l'approche DEA estime que toute déviation de la frontière de production est une source d'inefficacité. C'est ainsi que notre résultat traduit l'adéquation de notre choix de la fonction de production Cobb-Douglas pour l'application du modèle SFA et l'importance de la sous-estimation de l'efficacité technique par la méthode DEA.

Tableau 4 – Test de Wilcoxon Mann-Whitney.

		DEASO	DEAMO
DEAMO	Z	1,460	
	Prob	0,144	
SFA	Z	7,008	5,452
	Prob	0,000***	0,000***

*** Significatif à 1%

La comparaison des résultats des deux modèles, DEASO et DEAMO montre une faible différence de 5%. Selon le test de Wilcoxon Mann-Whitney (Tableau 4), cette différence est non significative mais elle nous renseigne tout de même sur l'inconvénient de la sensibilité de cette méthode à la variation des variables d'output.

L'analyse des fréquences de distribution des scores d'efficacité (Tableau 5) révèle une convergence des résultats pour les scores supérieurs à 90%, notamment les deux modèles DEAMO et SFA. En effet, nous signalons que 20 exploitations, contribuant à la formation de la frontière de production estimée par le modèle DEA soit une efficacité technique 100%, présentent des scores d'efficacité supérieurs à 90% mesurés par le modèle SFA (Figure 2).

Les résultats des deux approches (DEA et SFA) révèlent une inefficacité d'usage des facteurs de production. En effet, en analysant les résultats du modèle DEAMO (Tableau 3), l'efficacité technique moyenne des exploitations atteint seulement 0,61. Ceci implique que les irrigants peuvent réaliser le même niveau de production tout en économisant jusqu'à 39% des quantités d'inputs actuellement engagées. Ce résultat confirme déjà une surconsommation de la ressource en eau et suggère une marge de progrès intéressante pour réaliser d'éventuelles économies d'eau sans pour autant compromettre les objectifs de production. Cette suggestion est confirmée par les résultats du modèle SFA, mais elle est réduite à 13% seulement. En effet, en adoptant cette dernière approche stochastique, l'efficacité technique moyenne s'élève à 0,87. Ce résultat traduit exclusivement l'aptitude des irrigants à la maîtrise du processus technologique et précise la marge des éventuelles économies d'eau. Par conséquent, outre les mesures de politique (renforcement du dispositif économique et institutionnel) mises en œuvre en faveur de la gestion de la demande en eau, nos résultats montrent que la gestion efficace de la ressource en eau dépend largement des conditions intrin-

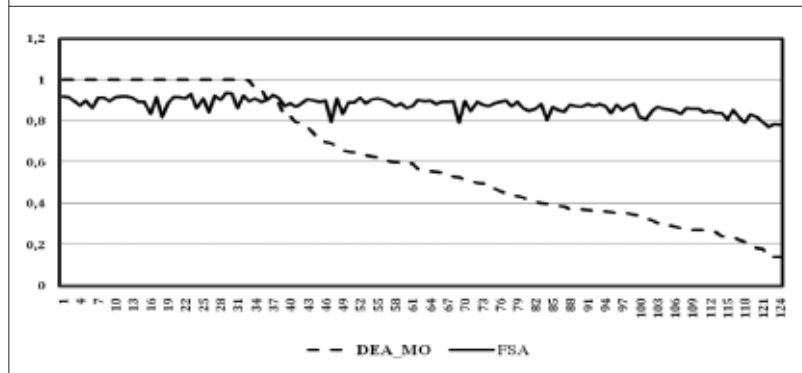
Tableau 5 – Fréquences de distribution des scores d'efficacité.

	DEASO	DEAMO	SFA
ET ≤ 80	91 (73,5%)	84 (68%)	7 (5,5%)
80 < ET ≤ 85	2 (1,5%)	2 (1,5%)	19 (15,5%)
85 < ET ≤ 90	2 (1,5%)	2 (1,5%)	63 (51%)
ET > 90	29 (23,5%)	36 (29%)	35 (28%)

sèques du fonctionnement de l'exploitation en irrigué qui orientent le comportement des irrigants dans leurs pratiques d'irrigation.

Les résultats de l'estimation du modèle SFA (Tableau 6) montrent que tous les paramètres des variables de la fonction de production sont positifs et bien significatifs. Ce résultat confirme en quelque sorte la relation positive attendue entre ces facteurs de production d'une part et le produit de ces exploitations.

Figure 3 – Distribution des scores d'efficacité technique.



L'estimation des élasticités partielles de production par rapport à ces facteurs révèle l'importance de l'impact de l'eau d'irrigation. En effet, l'élasticité partielle de la production par rapport à l'eau est de 0,419 (au point moyen) contre 0,224, 0,212 et 0,156 respectivement, pour la fertilisation, la mécanisation et la terre. La somme de ces élas-

Tableau 6 – Paramètres de la frontière stochastique estimés par la méthode du maximum de vraisemblance.

Variabiles	Paramètres estimés	t-Student
Cte	0,882	2,83**
Ln(Terre)	0,156	1,83*
Ln(Mecan)	0,212	2,31**
Ln(Fertil)	0,224	3,19**
Ln(Eau)	0,419	4,47**
Elasticités Partielles de la Production		
$E_{\text{Prod/Terre}}$	0,156	-
$E_{\text{Prod/Mecan}}$	0,212	-
$E_{\text{Prod/Fertil}}$	0,224	-
$E_{\text{Prod/Eau}}$	0,419	-
Economie d'Echelle	1,011	
Paramètres de la Variance		
σ^2	0,081	1,52*
γ	0,36	0,47
Logarithme de la Fonction de Vraisemblance	-3,82	
** Significatif au seuil de 5%		* Signification au seuil de 10%

ticités partielles est supérieure à 1 traduisant l'existence des économies d'échelle. Ce résultat est en adéquation avec l'adoption du modèle DEA en rendements d'échelle variables.

5. Conclusion

Le développement et le perfectionnement des systèmes de mesure de l'efficacité technique témoignent sans nul doute d'une grande adhésion et d'un attachement remarquable des scientifiques à la sphère d'allocation optimale des ressources. La comparaison des deux approches paramétrique et non paramétrique met en exergue les avantages et les limites de chaque approche, mais elle offre une meilleure appréciation des résultats. C'est ainsi que nous avons pu mettre en évidence une inefficacité

d'usage des facteurs de production au niveau des exploitations en irrigué de la région de Sidi Bouzid ouest et notamment, l'existence d'une marge de progrès pour la réalisation d'éventuelles économies d'eau. Les résultats des deux approches montrent une certaine concordance même si la disparité des moyennes est significative. En effet, la supériorité des scores de l'efficacité technique mesurée par l'approche paramétrique prouve l'avantage d'une approche stochastique et confirme l'adéquation du choix de la fonction Cobb-Douglass pour la représentation du processus technologique. En revanche, sans aucune restriction sur la forme fonctionnelle, l'approche non paramétrique a permis de considérer sans ambiguïté le caractère multiproduits du processus technologique. Ce résultat ne constitue pas une fin en soit, mais vient enrichir une controverse sur la comparaison des deux approches. Alors afin de conclure, nous suggérons que, quelle que soit l'argumentation avancée pour le choix d'une approche paramétrique ou non paramétrique, une approche comparative permettra d'approfondir les analyses des mesures de performance en faveur d'une appréciation rigoureuse des résultats.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier vivement les referees anonymes pour leurs commentaires et suggestions constructives qui ont permis l'aboutissement de ce papier dans sa présente structure.

Références

- Aigner D.J., Lovell C.A.K., Schmidt P., 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics* 6, pp. 21-37.
- Amara N., Romain R., 2000. Mesure de l'efficacité technique: Revue de la littérature. *La Série Recherche des cahiers du CREA, U. Laval Canada*, Septembre 2000, 32 pages.
- Banker R. D., Charnes A., Cooper W.W., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30, 9, pp. 1078-1092.
- Battese G.E., 1992. Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical application in agricultural economics. *Agricultural economics*, 7, pp.185-208.
- Bravo-Ureta B.E., Pinheiro A.E., 1993. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. *Agricultural Research Economic Review*, 22, pp.88-101.
- Charnes A., Cooper W.W. et Rhodes E., 1978. Measuring the efficiency of Decision Making Units. *European*

- Journal of Operational Research 2-6 November 1978, pp.429-444.
- Coelli T.J., 1996. A guide to frontier version 4.1. A computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. CEPA, working papers, 7/96, Australia.
- Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K., 2006. Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses. Springer, 2006, 354 pages.
- Daoud A., 1995. Les périmètres publics irrigués de la région de Sidi Bouzid (hautes steppes tunisiennes), politiques de l'Etat et stratégie paysannes. «Politiques agricoles et stratégies paysannes au Maghreb et en méditerranée occidentale» sous la direction de M. Elloumi, edit ALIF et IRMC 1995, pp. 483-502.
- Debreu G., 1951 –The coefficient of resource utilisation- In *Econometrica* 19:3 (Juillet) pp.273-292.
- Ennabli N., 1995. L'irrigation en Tunisie. Institut National Agronomique de Tunisie, Département de Génie rural, des eaux et des forêts, 1995, 463 pages.
- Farrell M.J., 1957. The measurement of technical efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*, 120, Part 3, pp.253-281.
- Hemdane A., 2002. L'irrigation en Tunisie. Direction Générale du Génie Rural (DGGR), Mai 2002, 58 pages.
- Hjalmarsson L., Kumbhakar S.C., Heshmati A., 1996. DEA, DFA and SFA: a comparison. In *Journal of Productivity Analysis*, 7, July 2000, pp.22-37.
- Johansson H., 2005. Technical, allocative and economic efficiency in Swedish dairy farms: The Data Envelopment Analysis versus the Stochastic Frontier Approach. XI international congress of the EAAE, Copenhagen, Denmark, August 24-27, 2005; 17 pages.
- Jondrow J., Lovell C. A. K., Materov I. S., Schmidt P., 1982. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. In *Journal of Econometrics* 19, pp. 233-238.
- Koopmans T.C., 1951 –An analysis of production as an efficient combination of activities- In Koopmans T.C. ed., *Activity analysis of production and allocation*, Cowles Commission for research in economics, Monograph n°13, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Latruffe L., Balcombe K., Davidova S., Zawalinska K., 2002. Technical and scale efficiency of crop and livestock farms in Poland: Does specialisation matter? Working paper 02-06, October 2002, INRA, unité d'Economie et sociologie rurales de Rennes, 41 pages.
- Mbaga M., Romain R., Larue B., Lebel, 2000. Assessing technical efficiency of Quebec Dairy Farms. la Série Recherche des cahiers du CREA, Octobre 2000, 22 pages.
- <http://www.crea.ulaval.ca/Publications/Serie%20de%20recherche/2000/SR-00-10.pdf>
- Meeusen W., Van Den Broeck J., 1977. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production function with composed error. *International Economic Review* 18, pp. 435-444.
- Ministère de l'Agriculture, 2008a. Annuaire des statistiques agricoles. Rapport en Arabe de la Direction Générale des Etudes et du Développement Agricole (DGEDA), Tunisie.
- Ministère de l'agriculture, 2008b. Statistiques des périmètres publics irrigués. Rapport en Arabe, DGGR, Tunisie.
- Ministère de l'agriculture, 2006. Réalité et perspectives du secteur agricole dans le gouvernorat de Sidi Bouzid. Rapport final en Arabe, le Centre National des Etudes Agricoles (CNEA), Tunisie.
- Ministère de l'agriculture, 2004. Rapport sur le programme national de l'économie en eau d'irrigation. Rapport en arabe, Décembre 2004, 21 pages.
- Ministère de l'agriculture, 1995. Etude de la gestion et de la tarification de l'eau d'irrigation au niveau des périmètres irrigués. Rapport Général, CNEA, Tunisie.
- Murillo-Zamorano L.R., Vega-Cervera J.A., 2001. The use of parametric and non-parametric frontier methods to measure the productive efficiency in industrial sector: A comparative study. *International journal of production economics* 69 (2001), pp.265-275.
- Piot I., 1994. Mesure non paramétrique de l'efficacité. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, n°31-1994, pp.14-41.
- Piot I., Vermersch D., 1993. Mesure non paramétrique des efficacités: une approche duale. In *Méthodes & Instruments*, n°3, INRA-ESR, 1993, 45 pages.
- Plan Bleu, 2009. Les notes du Plan Bleu: Environnement et développement en Méditerranée. N° 11, Février 2009, 5 pages. http://www.planbleu.org/publications/4p_eau_11_2009.pdf
- Ray S.C., 2004. *Data Envelopment Analysis: Theory and techniques for economics and operation research*. Cambridge University Press, 353 pages.
- Reinhard S., Lovell C.A., Thijssen G. J., 2000. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *European Journal of Operational Research* 121 (2000), pp. 287-303.
- Sghaier M., 1995. Tarification et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne de Nefzaoua (Sud de la Tunisie). Thèse Doctorat, Université Gent Belgique, 1995, 234 pages.

Sharma K.R., Leung PS, Zaleski H.M., 1999. Technical, allocative and economic efficiencies in swine production in Hawaii: a comparison of parametric and non parametric approaches. *Agricultural Economics* 20 (1999), pp. 23-35.

Singh S., Coelli T., Fleming E., 2000. Performance of Dairy Plants in the cooperative and private sectors in India. CEPA working paper 2/2000, Department of Econometrics, University of New England, Amidale, NSW, Australia.

Thabet C., Mahé L.P., Surry Y., 2005. La tarification de l'eau d'irrigation en Tunisie: Une analyse en équilibre général. In *Economie Rurale* (285), 2005, pp.51-69.

Thanassoulis E., 2001. Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis: A foundation

text with integrated software. Edit Kluwer Academic Publishers, 281 pages.

Thiam A., Bravo-Ureta B.E., Rivas T.E., 2001. Technical efficiency in developing country agriculture: a meta-analysis. In *Agricultural Economics* 25 (2001), Edit ELSEVIER pp. 235-243.

Thivet G. et Blinda M., 2008. Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques. 13^{ème} congrès mondial de l'eau, Montpellier 1- 4 septembre 2008, 14 pages. http://www.worldwatercongress2008.org/resource/authors/abs324_article.pdf

Zaibet L., Dharmapala P.S., 1999. Efficiency of Government-supported horticulture: the case of Oman. In *Agricultural Systems* 62 (1999), ELSEVIER, pp. 159-168.