

# Effet des quotas d'eau d'irrigation sur l'efficacité d'usage de l'eau dans les exploitations maraîchères du Nord-est Algérien: Vers une serriculture plus valorisante de la ressource en eau

AMINE OULMANE <sup>(1)</sup>, AYMEN FRIJA <sup>(2)</sup>, FATIMA BRABEZ <sup>(1)</sup>

Jel Classification: Q12, Q15, C13

## 1. Introduction

En Algérie, le climat est caractérisé par une certaine aridité et une mauvaise répartition des précipitations dans la plupart des régions. Le recours à l'irrigation est donc nécessaire afin d'assurer de meilleurs rendements et de garantir une offre agricole domestique plus stable. Durant ces dernières années, l'agriculture a connu une croissance par rapport aux autres secteurs en Algérie. Le secteur a enregistré une contribution de 11,1% au PIB national en 2014 contre 6,7% en 2008 (Banque mondiale, 2016). Il en est de même pour le secteur irrigué qui a connu une grande évolution durant la dernière décennie. La superficie agricole irriguée a atteint 1 228,1 mille ha en 2014 contre 620 mille ha en 2001 (Ministère de l'Agriculture, 2003; FAO, 2016).

D'autre part, l'agriculture algérienne est considérée comme le secteur qui consomme le plus d'eau avec 59% (soit 4,99 milliards de m<sup>3</sup>/an) de l'ensemble de la consommation d'eau douce (FAOSTAT, 2016), ce qui accentue la pression sur la ressource. En effet, en plus d'une ressource en eau assez limitée avec un potentiel mobilisable annuel de 18,90 milliards de m<sup>3</sup> (Faysse *et al.*, 2011), la demande ne cesse de croître dans les autres secteurs, surtout domestiques et

## Résumé

*L'objectif de cet article est d'analyser l'efficacité technique et d'usage de l'eau d'irrigation dans le périmètre irrigué Jijel-Taher dans l'Est de l'Algérie, ainsi que l'effet de différents niveaux de quotas d'eau sur l'amélioration de ces indicateurs. La première partie de l'article présente une typologie des exploitations maraîchères de la région d'étude en se basant sur la méthode d'Analyse en composantes principales combinée à une classification ascendante hiérarchique. La méthode DEA (Analyse par Enveloppement des Données) a été utilisée pour le calcul des efficacités. Les résultats ont montré que les scores d'efficacité technique moyenne de l'échantillon sont de l'ordre de 80% alors que l'efficacité d'usage de l'eau est de 61%. L'application des quotas d'eau permettra une amélioration de cette dernière efficacité de l'ordre de 15%.*

**Mots-clés:** analyse par enveloppement des données, efficacité, eau d'irrigation, Algérie.

## Abstract

The objective of this study is to calculate the technical and water use efficiency in the irrigated scheme Jijel-Tahir, East of Algeria, using the Data Envelopment Analysis (DEA) method. The DEA was also used to simulate the effect of different levels of water quotas on the improvement of these indicators. The first part of the paper presents a typology of farms in the study area based on the method of principal component analysis combined with a hierarchical ascending classification. The results show that the average technical efficiency of the farmers in the sample is about 80% while the average water use efficiency is around 61%. The application of quotas for water use may lead to improving the irrigation water use efficiency by up to 15%.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis, irrigation water, efficiency, Algeria.

industriels. En plus, avec moins de 500 m<sup>3</sup>/habitant/an l'Algérie est caractérisée par un stress hydrique très fort. Elle se situe donc au-dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque mondiale à 1000 m<sup>3</sup>/habitant/an.

Certains auteurs, tels que Benblidia *et al.* (2010), considèrent que l'Algérie est encore dans une phase où ses politiques d'eau sont axées sur une stratégie d'offre avec de faibles incitations pour l'économie d'eau. Dans la même logique, Dinar (2000) estime que parfois, les politiques de l'eau ne sont pas mises en place sur la base de considérations d'efficience

économique, mais plutôt sur des faits historiques, géographiques ou politiques. En Algérie, il est clair que des politiques de gestion appropriées et bien étudiées doivent figurer dans une stratégie nationale qui prend en considération les défis futurs pour assurer la durabilité de cette ressource ainsi que sa répartition équitable entre les différentes régions du pays. En effet, pour pallier les disparités géographiques, un programme de transferts régionaux qui vise à assurer une meilleure équité entre les territoires pour l'accès à l'eau a été progressivement mis en œuvre. Ces transferts d'eau à partir des zones les plus arrosées répondent également aux objectifs de la stratégie de sécurité alimentaire du pays qui vise à soutenir des régions à fort potentiel agricole (Mozas *et al.*, 2013). Cependant, peu d'actions ont été conduites pour agir sur l'évolution de la demande en eau, c'est-à-dire sur les comportements des usagers. En effet, l'absence de mesures institutionnelles limitant la consommation, ainsi qu'un prix de l'eau si faible qui ne représente que 1 à 10% des charges opérationnelles de l'a-

(1) Département d'économie rurale, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA)

Avenue Hassan Badi - El Harrach - Alger

(2) International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).

P. O. Box 950764 - Amman 11195, Jordan

Corresponding author: amine.oulmane@gmail.com

agriculteur, conduit à une utilisation irrationnelle et au gaspillage de l'eau d'irrigation (Guemraoui *et al.*, 2007).

Notre travail vise donc à contribuer à cette discussion moyennant la caractérisation de l'efficacité d'usage de l'eau dans les différents types d'exploitations irriguées dans le Nord-est de l'Algérie et à tester l'impact d'une politique de quotas d'irrigation sur cette efficacité. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) peut donc contribuer directement à épargner cette ressource rare et à augmenter l'offre pour d'autres utilisations agricoles et non agricoles (Chebil *et al.*, 2013). Les résultats de ce travail seront de grand intérêt pour les décideurs du secteur, car non seulement ils mettront en évidence l'existence de gaspillage d'irrigation, mais ils fourniront aussi des alternatives pour améliorer cette efficacité.

Pour ce faire, nous considérons que l'activité agricole irriguée est un processus de transformation de plusieurs inputs en outputs (Speelman *et al.*, 2008). Le volume d'eau consommé serait donc considéré parmi d'autres intrants afin de calculer l'efficacité avec laquelle les exploitations irriguées étudiées transforment ces intrants en valeur de production. Le principe de *benchmarking* de ces exploitations (i.e. comparer les moins performantes aux plus performantes) serait adopté à travers l'utilisation de la méthode de « l'Analyse par Enveloppement des Données », aussi appelée « Data Envelopment Analysis » (DEA). Une transformation mathématique du modèle DEA nous permettra de calculer l'efficacité d'usage d'un seul intrant, qui est l'eau d'irrigation dans notre cas. Ce type de calcul nous permet d'estimer de combien les quantités d'inputs des exploitations étudiées peuvent être proportionnellement réduites en moyenne, et ce, sans affecter les niveaux de production (Coelli, 1996). Une autre transformation du modèle DEA nous permettra d'ajouter des contraintes sur les volumes d'eau utilisés (quotas) au niveau du périmètre et de mesurer leurs effets sur l'EUE. Des travaux antérieurs conduits dans la région nord-africaine (Dehehibi *et al.*, 2007; Frija *et al.*, 2009; Chebil *et al.*, 2010) ou en Afrique du Sud (Speelman *et al.*, 2008) démontrent le faible niveau de l'EUE d'irrigation. Selon ces mêmes auteurs, ces faibles niveaux sont généralement dus au niveau d'éducation et à la formation des agriculteurs, à la taille de l'exploitation, à la disponibilité de la ressource hydrique, à l'investissement dans les techniques économes en eau et au choix des cultures.

Le reste de l'article est composé de quatre parties. La deuxième partie fournit une présentation du cadre théorique en définissant le concept d'efficacité technique (ET) ainsi que les différents modèles de son calcul. La troisième partie méthodologique présente la formulation mathématique du modèle DEA retenu dans cette étude ainsi qu'une description de la zone d'étude et des données utilisées. Les résultats de l'étude sont illustrés et discutés dans la quatrième et la cinquième partie, respectivement.

## 2. Cadre Théorique

### 2.1. Définition du concept d'efficacité

Les premiers travaux sur l'efficacité ont été initiés par Koopmans (1951), Debreu (1951) et Farrell (1957). Koopmans (1951) a été le premier à proposer une définition de l'efficacité technique. Il considère qu'un plan de production d'une firme est techniquement efficace « s'il est technologiquement impossible d'augmenter un output et/ou de réduire un input sans simultanément réduire au moins un autre output et/ou augmenter au moins un autre input ». C'est sur la base des travaux de Farrell (1957) que sont nés les modèles de frontière. Farrell (1957) a été aussi le premier à diviser l'efficacité économique en deux composantes, à savoir une efficacité technique (liée au savoir-faire technique et aux technologies de production) et allocative (liée à la capacité de la firme à allouer ses inputs d'une manière qui minimise ses coûts de production). Notre étude est limitée au calcul de l'efficacité technique qui reflète le potentiel des exploitations agricoles à éviter le gaspillage des ressources utilisées (Mahdi *et al.*, 2014). Éviter un tel gaspillage peut se faire par deux méthodes, à savoir: i) en produisant plus sans augmenter le niveau des ressources/intrants utilisés, ou ii) en réduisant la quantité des ressources/inputs utilisés sans changer le niveau d'outputs (ou production). C'est dans ce sens que l'efficacité technique peut être calculée respectivement pour les deux orientations précédentes : i) une efficacité technique orientée vers la maximisation de l'output (output-oriented efficiency) ou ii) une efficacité technique orientée vers la minimisation de l'input (input-oriented efficiency) (Coelli *et al.*, 2002; Fried *et al.*, 2008). Dans le cas d'exploitations agricoles utilisant des ressources naturelles (à savoir l'eau d'irrigation), une efficacité orientée vers la minimisation des inputs (afin d'éviter le gaspillage) est plus adaptée (Tulkens, 1986; Coelli, 2002). Afin de calculer l'efficacité d'usage d'un seul intrant, parmi d'autres, des transformations des méthodes mathématiques de calcul de l'efficacité technique peuvent être appliquées. L'une de ces méthodes sera utilisée dans notre étude afin de calculer l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation. Cette méthode sera présentée dans la section méthodologique suivante.

### 2.2. Méthode de l'Analyse par Enveloppement des Données (DEA)

Dans la littérature, la multitude de modèles de frontières développés sur la base du travail de Farrell peuvent être classés en deux, à savoir les approches paramétriques et non-paramétriques (Bravo-Ureta *et al.*, 1993). Les méthodes les plus utilisées sont, respectivement, les frontières de production stochastique et la méthode DEA (Speelman *et al.*, 2008). Les approches paramétriques s'appuient sur une forme fonctionnelle spécifique et doivent présupposer une fonction de frontière donnant le maximum d'output en fonction des inputs (Aigner *et al.*, 1977). À l'inverse, les approches non-paramétriques n'imposent pas de forme fonc-

tionnelle. La frontière de production de la méthode DEA est un isoquant convexe construit à l'aide de techniques de programmation linéaire et doit être estimée à partir des données de l'échantillon. Cette frontière est représentée par un isoquant linéaire qui enveloppe les combinaisons d'inputs-outputs observées de telle façon à ce que tous les points se trouvent sur ou sous la frontière de production (Coelli, 1996) comme montré par la Figure 1.

La méthode DEA est dite déterministe par définition, car elle suppose l'absence d'erreurs aléatoires. Dans ce cas, on suppose que les écarts observés sont dus à des inefficacités productives (Thiry *et al.*, 1988; Bravo-Ureta *et al.*, 1993). Le degré d'efficacité productive va donc représenter l'écart entre chaque observation et la frontière de production. Le premier modèle DEA développé par Charnes *et al.* (1978) suppose des rendements d'échelle constants (CRS), ce qui veut dire que toutes les entreprises fonctionnent à une échelle optimale (Coelli, 1996; Cooper *et al.*, 2006). Seulement, dans la réalité, l'augmentation des quantités d'inputs n'est pas similaire à une augmentation proportionnelle des outputs (Speelman *et al.*, 2008), c'est la raison pour laquelle un modèle à rendement d'échelle variable (VRS) serait mieux adapté puisqu'il fournit des informations sur l'efficacité d'échelle des exploitations agricoles étudiées. Ce dernier modèle VRS a été introduit par Banker *et al.* (1984).

senté dans la Figure 1. En se référant au graphique, l'efficacité par rapport au facteur de production  $x_2$ , par exemple, est calculée par:  $0'A'/0'A$ .

### 3. Matériels et méthodes

#### 3.1. Typologie des exploitations agricoles étudiées

Vu l'hétérogénéité des exploitations agricoles, même dans une région unique, et la difficulté d'étudier le comportement des irrigants individuellement, il est adéquat de regrouper les producteurs ayant des structures et pratiques similaires afin d'aboutir à des résultats plus concluants. Il est donc nécessaire de faire une typologie qui a pour principe de regrouper les individus homogènes dans des classes uniques. En effet, comme cité par Poussin *et al.* (2008), la typologie est un moyen de représenter la diversité des systèmes agricoles et des unités de production dans une région donnée. Dans notre étude, nous avons opté pour la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) (Gibon, 1999; Ilari *et al.*, 2003; Poussin *et al.*, 2008) en utilisant des variables reflétant la structure des exploitations et leurs pratiques d'irrigation. L'ACP permet de réduire le nombre de variables initiales en générant un ensemble de variables non corrélées. Ces dernières sont appelées "composantes principales", leur nombre est plus petit que celui des variables de départ, mais elles expliquent néanmoins la majorité de l'information contenue dans la base de données de départ. La typologie est ensuite créée à l'aide de la méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH). Son principe est basé sur le calcul de similarités entre les observations. Il identifie les individus avec des caractéristiques semblables et forme ensuite des classes en minimisant la variance à l'intérieur de chacune d'elles (Maton *et al.*, 2005).

#### 3.2. Calcul de l'efficacité technique et de l'efficacité de sous-vecteur

Le modèle ci-dessous présente le cas où il existe  $N$  input et  $M$  output pour chaque  $I$  firme. Pour la  $i$ -ème firme, ceux-ci sont représentés par les vecteurs colonnes  $x_i$  et  $q_i$ , respectivement.  $X$  est la matrice d'entrée  $N \times I$  et  $Q$  la matrice de sortie  $M \times I$ , elles représentent les données des  $I$  firmes.

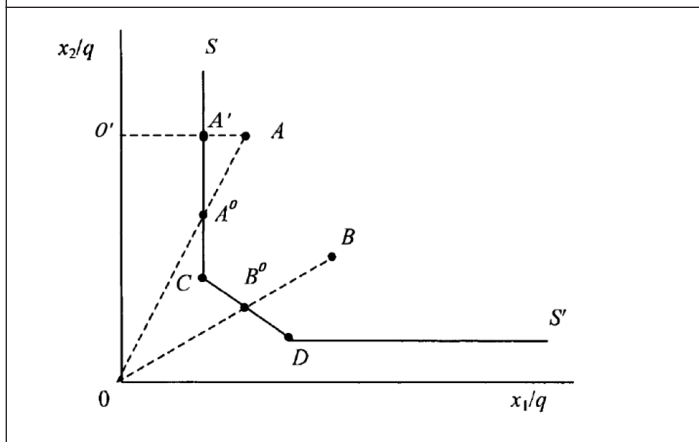
L'efficacité technique peut être calculée en résolvant l'équation 1:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \\ & \text{Sous contraintes:} \\ & -q_i + Q\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & N1' \lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

Où  $\theta$  est un scalaire et  $\lambda$  est un vecteur  $I \times 1$  des constantes. Le modèle est résolu une fois pour chaque ferme et obtient donc une valeur  $\theta$  pour chaque firme. La valeur de  $\theta$  obtenue correspond au score de l'efficacité technique de la  $i$ -ème firme. Elle est comprise entre 0 et 1, la valeur 1 indique un point sur la frontière est donc représente une firme techniquement efficace (Farrell, 1957).

On note seulement que pour tenir compte du rendement

Figure 1 - Frontière de production et mesure de l'efficacité technique (adapté à partir de: Coelli, 1996).



Dans cette figure, la frontière de production  $SS'$  est définie par la combinaison des inputs des points  $C$  et  $D$ . Ce sont les firmes les plus efficaces et qui produisent le maximum d'outputs par rapport aux inputs utilisés. Les points  $A$  et  $B$  qui se trouvent au-dessous de la frontière n'utilisent pas la même quantité d'inputs que  $C$  et  $D$  et sont de ce fait des firmes inefficaces. Géométriquement, Farrell définit l'efficacité technique des firmes  $A$  et  $B$  respectivement par  $0A''/0A$  et  $0B''/0B$ . L'inefficacité des firmes peut être résorbée par une meilleure utilisation des facteurs de production. En effet, ces firmes peuvent obtenir le même niveau de production tout en utilisant moins d'intrants. Par ailleurs, le calcul de l'efficacité d'utilisation d'un seul intrant est aussi repré-

d'échelle, il suffit d'introduire la contrainte  $N1'\lambda=1$  au modèle à rendement d'échelle constant (Oude Lansink *et al.* (2002); Frija *et al.* (2009); Chebil *et al.* (2013)).

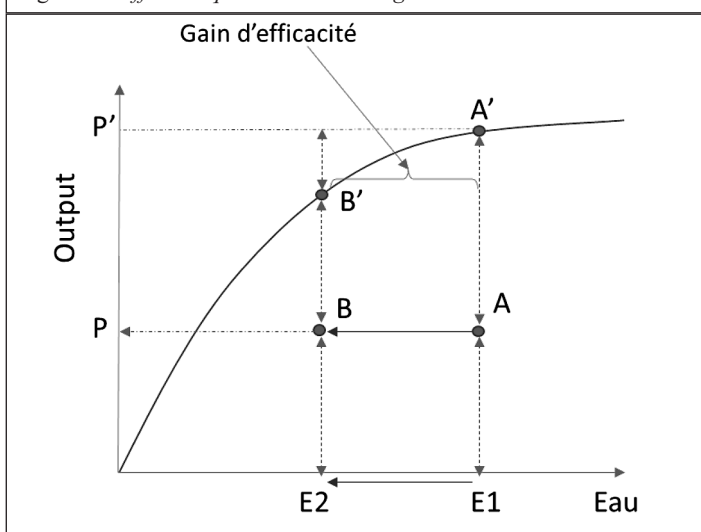
En utilisant la notion d'efficacité de sous-vecteur proposée par Färe *et al.* (1994), l'efficacité technique de sous-vecteur pour la variable  $k$  est calculée pour chaque firme  $i$  en résolvant l'équation 2:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta^k \\ & \text{Sous contraintes:} \\ & -q_i + Q\lambda \geq 0, \quad X_i^{n-k} \\ & \theta^k x_i^k - X^k \lambda \geq 0, \\ & x_i^{nk} - X^{n-k} \lambda \geq 0, \\ & N1' \lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0, \end{aligned} \quad (2)$$

Où  $\theta^k$  est le score d'efficacité technique de sous-vecteur par rapport à l'input  $k$  pour la firme  $i$ . Dans lequel  $k$  est réduit tout en maintenant les autres inputs et outputs constants. Les termes  $x_i^{n-k}$  et  $X^{n-k}$  font référence à  $x_i^v$  et  $X^v$  sans introduire l'input  $k$ . Les termes  $x_i^k$ ,  $X^k$  incluent seulement l'input  $k$ .

L'effet de l'instauration du quota d'eau d'irrigation sera simulé en ajoutant une contrainte au modèle (2). Cette contrainte rapporte les volumes d'eau de chaque agriculteur dont la consommation dépasse le quota (fixé au préalable) à la quantité du quota choisi, et ce, pour 4 différents scénarios, à savoir : 4000, 3500, 3000 et 2500 m<sup>3</sup>. La figure 2 présente le gain d'efficacité engendré par l'imposition d'un quota d'eau (E2) à un agriculteur qui utilise initialement un volume (E1). Ce gain d'efficacité est alors relatif à la distance du segment (AB).

Figure 2 - Effet des quotas d'eau d'irrigation sur les score d'EUE.



Les deux spécifications de l'efficacité en CRS et VRS seront calculées dans notre étude. La comparaison des deux mesures est intéressante du fait qu'elle fournit des informations sur l'efficacité d'échelle (SE). Cette dernière est calculée à partir de la formule suivante (Coelli *et al.*, 2002; Speelman *et al.*, 2008; Sayin, 2015):

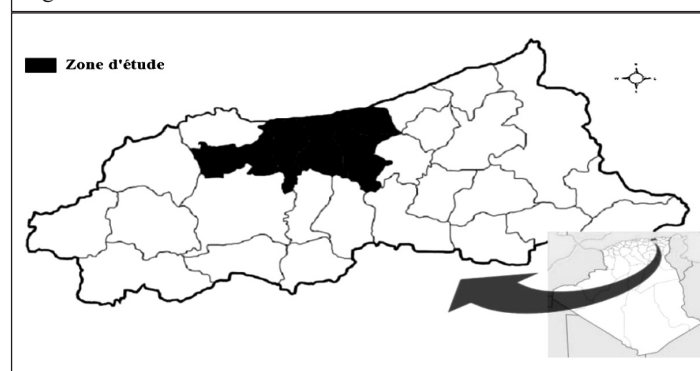
$$SE = ET_{CRS} / ET_{VRS}$$

Où  $ET_{CRS}$  est l'efficacité technique à rendement d'échelle constant et  $ET_{VRS}$  est l'efficacité technique à rendement d'échelle variable.

### 3.3. Zone d'étude et sources de données

L'agriculture constitue l'activité économique principale de la région de Jijel (Figure 3). Elle est caractérisée par des exploitations de petite taille orientées essentiellement vers les cultures maraîchères de plein champ et sous serre en zone de plaine et l'arboriculture avec prédominance de l'oléiculture en zone de montagne. Le périmètre irrigué a été mis en exploitation en 2010. L'objectif de sa réalisation est d'augmenter la superficie des cultures exigeantes en eau et à forte valeur ajoutée; ceci a permis le développement de l'irrigation dans la région, en particulier avec la facilitation de l'accès à l'eau. La gestion de cette ressource est assurée par une organisation étatique appelée ONID.

Figure 3 - Localisation de la zone d'étude.



La zone d'étude occupe une place centrale au nord de la wilaya de Jijel. Elle s'étend sur 5 communes qui constituent un ensemble de collines à faible altitude et de plaines alluviales plus au moins larges, le long de la côte, avec 4885 ha de surface agricole irrigable. Cette zone est distinguée par un grand nombre d'exploitations maraîchères occupant un total de 2807 ha, soit 57% de la superficie agricole. Les superficies irriguées occupent près de 2011 ha, représentant 36% de la surface agricole et dédiée au maraîchage. Ces cultures irriguées cumulent près de 60% de la production maraîchère totale de la région. Près de 27% de cette superficie irriguée, soit 545 ha, est dédiée aux cultures sous serre.

Il faut noter que l'étude a été réalisée sur seulement la moitié du périmètre irrigué (ce qui représente 2498 ha) du fait que la deuxième section du périmètre ne bénéficiait pas de l'approvisionnement en eau du barrage au moment de la réalisation des enquêtes.

Nos données ont été recueillies sur la base d'enquêtes à partir des irrigants conventionnés avec l'ONID. La superficie totale des exploitations souscrites durant l'année 2012-2013 est de 859 ha. Sur un total de 239 exploitations maraîchères souscrites, 93 agriculteurs ont été choisis sur la base d'un échantillonnage aléatoire simple, représentant 28

	(Valeur)	(ha)	(m <sup>3</sup> )	(j/an)	(Valeur)	(Valeur)
Moyenne	403	2,55	5267	825	20,5	11
Écart-type	36	2,24	465	67	19,4	1,7
Minimum	54	0,5	600	189	2	0,9
Maximum	2064	14,5	26800	4148	104	113

Note: Toutes les variables données en valeur sont de l'ordre de \*104 DZD=93 USD.

% de la superficie totale irriguée. Ces enquêtes sous forme d'entretiens personnels avec les agriculteurs nous a permis de recueillir deux volets d'informations : le premier identifie l'exploitant (caractéristiques socio-économiques), le deuxième regroupe les informations sur l'exploitation (cultures pratiquées, quantité des intrants, de l'eau consommée et celle des sorties). La tarification de l'eau dans le périmètre est volumétrique et chaque exploitation possède un compteur. La consommation individuelle est enregistrée par l'ONID qui est responsable de l'approvisionnement en eau. L'enquête a été menée entre le mois de janvier et juin 2014. Ces données sont celles de la campagne agricole 2012-2013. Enfin, la reconnaissance du terrain a été d'autant plus facile grâce à la collaboration avec le personnel de l'ONID.

### 3.4. Variables utilisées

Pour élaborer notre typologie, nous avons principalement choisi des variables de structure ainsi que celles reflétant le comportement de chaque agriculteur face à l'utilisation de ses ressources. Plus précisément, les variables suivantes ont été retenues (Tableau 2): SAU (la surface agricole utile en hectares), le nombre de serres présentes dans l'exploitation, la surface dédiée aux cultures de plein champ (en ha), le travail par campagne agricole (exprimé en jours), le nombre de cultures cultivées par exploitation, le volume d'eau total consommé (en m<sup>3</sup>), la valeur de l'investissement dans les techniques d'économie d'eau (DZD), les pourcentages des superficies réservées aux cultures sous serre, le capital variable investi qui comprend la somme de la valeur monétaire de tous les intrants (semences, engrais, traitements, salaires...).

Concernant le calcul des efficacités techniques et d'usage de l'eau d'irrigation, les inputs (de 1 à 5) et outputs (6) suivants ont été utilisés (voir aussi Tableau 1): 1) La superficie cultivée en hectares (ha), 2) l'eau d'irrigation consommée à l'échelle de l'exploitation (en m<sup>3</sup>), 3) la main d'œuvre utilisée (exprimée en jours de travail), 4) la valeur des fertilisants et des produits phytosanitaires utilisés (en DZD), 5) la valeur des semences (en DZD) et 6) Le revenu total de l'exploitation à partir des activités de production maraîchère.

## 4. Résultats

### 4.1. Caractérisation de l'échantillon étudié et des classes d'exploitations identifiées

Les analyses descriptives faites à l'aide du logiciel SPSS montrent une grande variabilité de la consommation d'eau au sein de l'échantillon. En effet, la consommation par ha se situe entre 2000 et 6500 m<sup>3</sup> pour tout l'échantillon. La taille moyenne des exploitations est de l'ordre de 2,6 ha sachant que 60% des exploitations ont une taille égale ou inférieure à 2 ha. Les cultures sous serre sont les plus fréquentes dans la région, elles y sont pratiquées dans plus de 85% des exploitations enquêtées, avec la tomate et le piment comme principales cultures sous serre. Le plein champ y est aussi présent dans 48% des exploitations enquêtées avec le chou comme principale culture d'hiver et la pastèque et la tomate comme cultures d'été. Pour ce qui est des agriculteurs, notre échantillon affichait un âge moyen de 40 ans et était composé d'agriculteurs ayant pour la plupart un âge supérieur à 30 ans (84%), dont 34% n'avaient pas dépassé le niveau primaire et 14% seulement avaient reçu une formation technique.

La typologie était aussi conduite en utilisant le logiciel SPSS. Le tableau 2 illustre les plans factoriels (ou composantes) qui expliquent les corrélations entre les variables utilisées. C'est sur la base de ces composantes que la définition des différentes classes sera avancée. L'ACP fait ressortir trois composantes qui expliquent un total de 79,9% de la variance dans notre échantillon. La première à elle seule représente 48,8%, la deuxième et la troisième représentent respectivement 26,4% et 7,6% (tableau 2).

Pour identifier ce que représente chaque composante, nous nous sommes basés sur le tableau 2 qui montre la liaison existante entre les plans factoriels et les variables utilisées pour dresser la typologie. Les résultats montrent que la composante 1 est représentée par la taille de l'exploitation, la surface dédiée aux cultures de plein champ et l'investis-

Tableau 2 - Coordonnées factorielles des variables utilisées dans la typologie d'exploitations.

	Moyenne	Ecart-type	Composantes		
			1	2	3
Variance expliquée			45,80	26,45	7,66
Variance cumulée			45,80	72,25	79,91
SAUT	2,6	2,29	0,180	-0,026	0,110
Nombre de Serres	11,6	10,35	-0,085	0,249	0,025
Surface plein champ	1,1	1,84	0,198	-0,085	0,037
Main d'œuvre (jours)	825,4	651	0,030	0,172	0,064
Nombre de Cultures	2,3	1,18	-0,023	0,112	-0,233
Volume d'eau	5267	4488	0,076	0,114	-0,050
Dépenses en techniques économes en eau (valeur)	2,78	2,69	0,116	0,055	-0,024
Serres (% de la surface cultivée)	63,7	40,5	-0,028	0,004	0,268
Capital variable (Valeur)	93	77	-0,006	0,202	,031

Tableau 3 - *Classes obtenues et leurs caractéristiques.*

	Composante 1	Composante 2	Composante 3	Interprétation du groupe
Classe 1	0.640	0.719	-0.337	<i>Exploitations de taille moyenne à « relativement grande » cultivant plus de cultures et ayant une plus grande partie de leur SAU dédiées aux cultures de plein champ.</i>
Classe 2	-0.505	-0.566	0.266	<i>Des petites exploitations spécialisées dans la culture de tomates et de piments sous serres.</i>

sement dans les techniques économes en eau. La deuxième englobe le nombre de serres dans l'exploitation, les besoins en main-d'œuvre, le volume d'eau consommé et le capital variable; quant à la troisième composante, elle englobe le nombre de cultures pratiquées ainsi que la répartition de l'espace entre les cultures sous serre et de plein champ. En utilisant les composantes fournies par l'ACP, l'analyse des clusters (groupes) nous a permis ainsi d'obtenir deux classes distinctes (tableau 3). Les deux classes obtenues peuvent être interprétées de la manière suivante (voir aussi tableau 3):

Classe 1. Composée par les plus grandes exploitations, leur taille moyenne est de 3,6 ha. Cette classe constitue

activités non agricoles.

Classe 2. Ce type d'exploitations est le plus fréquent dans la zone d'étude et il constitue 56% de l'échantillon. Il est représenté par de petites exploitations avec une taille moyenne de 1,8 ha. Elles sont en général spécialisées dans la culture de tomates et de piments sous serre. Ces exploitations sont essentiellement gérées par des locataires dont la seule activité est l'agriculture. En effet, nous avons remarqué que la location informelle est très présente dans la région et concerne 52% des exploitations de cette classe. Le système d'irrigation le plus fréquent reste le goutte-à-goutte présent dans 60% des exploitations. Cependant, les exploitations qui ont un nombre de serres réduit continuent à pratiquer

Tableau 4 - *Caractéristiques des différentes classes d'exploitations et significativité d'une analyse de variance (égalité de la moyenne entre les groupes).*

Classe	Classe 1		Classe 2		Total		Test ANOVA (t- Signification)
	Moyenn e	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
SAUT	3,6	2,9	1,8	1,3	2,6	2,3	0,000
Nombre de Serres	7,0	8,4	15,2	10,4	11,6	10,3	0,000
serres (%)	11	27,5	98,2	7,7	66,4	40,7	0,000
Location	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,028
Elevage	0,3	0,5	0,1	0,3	0,2	0,4	0,006
Plein Champ	2,4	2,1	0,0	0,2	1,1	1,8	0,000
Puits	0,6	0,5	0,9	0,3	0,8	0,4	0,000
Nombre de cultures	3,1	1,2	1,7	0,8	2,3	1,2	0,000

Tableau 5 - *Distribution des fréquences de score d'efficacité d'un échantillon d'exploitations maraîchères.*

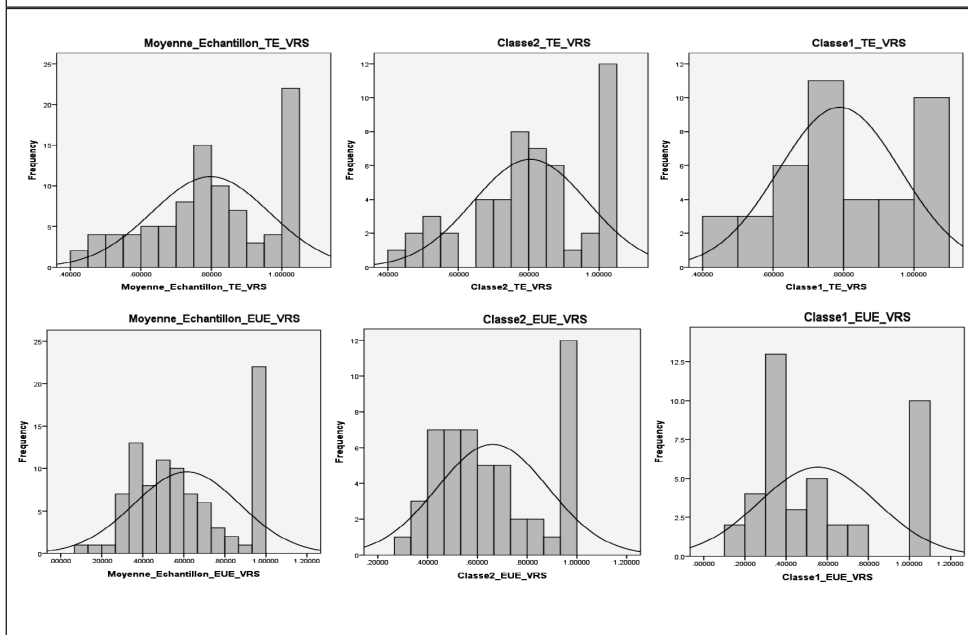
Classes d'efficacité (%)	Efficacité technique (en % des exploitations)		Efficacité d'usage de l'eau (en % des exploitations)	
	CRS	VRS	CRS	VRS
	0<E<40%	1	0	35
40=<E<60%	34	15	40	31
60=<E<80 %	41	36	11	17
80=<E<=100%	24	49	14	27
Efficacité Moyenne	68	79	51	61
Efficacité min.	37	42	8	13
Efficacité d'échelle	86		83	

44% de l'échantillon et est surtout représentée par les agriculteurs privés. On y trouve plusieurs assolements orientés majoritairement vers le plein champ, avec 67 % de la superficie qui y est dédiée. Une minorité de ces agriculteurs pratiquent aussi l'oléiculture en plus de l'élevage bovin. Le système d'irrigation gravitaire est moins présent au niveau de cette classe où 78% des exploitations utilisent le système goutte à goutte. Les agriculteurs qui constituent cette classe sont les plus âgés. Une partie d'entre eux exercent d'autres

l'irrigation gravitaire. La valeur du capital variable investi par les agriculteurs de ce groupe reste importante. Cette classe consomme plus d'heures de travail par campagne. Ceci peut être expliqué par le fait que les cultures sous serre sont plus exigeantes en main-d'œuvre, car leur pratique s'étend sur une plus longue période dans l'année par rapport aux cultures de plein champ. Quelques statistiques descriptives comparées des deux classes, ainsi que des tests de différence des moyennes, sont présentées dans le tableau 4 ci-dessous.

Le tableau 4 illustre la comparaison des moyennes de chaque variable et pour chaque classe. Nous avons utilisé l'analyse de la variance ANOVA pour ressortir les variables responsables de la variabilité. Les résultats obtenus montrent une signification de l'ordre de (p=0,000) pour les variables structurales à savoir la SAUT, le nombre de serres par exploitation, la présence de puits et le nombre de cultures. Ces dernières expriment la majorité de la différence. Elles seront donc la base pour caractériser les classes. Les variables location et présence d'élevage expri-

Figure 4 - Distribution des scores d'efficacité technique et d'usage de l'eau dans les deux groupes d'agriculteurs identifiés (Classe1 et Classe2).



ment moins cette différence mais restent cependant significatives ( $p < 0,05$ ).

## 4.2. Mesures des scores d'efficacité techniques et d'usage de l'eau d'irrigation

La mesure de l'efficacité technique des exploitations agricoles par la méthode DEA a été réalisée par le programme GAMS (*General Algebraic Modeling System*). Les résultats de l'estimation de l'efficacité technique globale (ET) et l'efficacité d'usage de l'eau (EUE) sont représentés dans le tableau 5 et la figure 4 suivants.

Les scores de l'efficacité technique moyenne sont de 68% et 79%, respectivement pour les hypothèses CRS et VRS. Ces résultats montrent que les exploitations peuvent épargner en moyenne 21% des intrants utilisés tout en produisant la même quantité actuellement observée. Les résultats

indiquent aussi un écart entre les valeurs d'efficacité technique calculées sous les hypothèses CRS et VRS, se traduisant par une inefficacité d'échelle de l'ordre de 14%. Ceci indique que l'efficacité technique de ces exploitations peut être améliorée si cette inefficacité d'échelle peut être éliminée.

La moyenne de l'EUE est de l'ordre de 51% et 61% respectivement sous les hypothèses CRS et VRS. Elle est nettement plus faible que l'efficacité technique globale mais présente également une forte variabilité (voir Figure 4). Ces résultats montrent que nous pouvons obtenir le même niveau de production avec 39% moins d'eau (sous l'hypothèse VRS) et en utilisant la même quantité pour les autres intrants. Enfin, contrairement à l'efficacité globale, seulement 44% des exploitations ont une efficacité d'usage de l'eau supérieure à 60%.

Ceci renseigne sur la possibilité d'économiser une grande quantité d'eau si on utilise l'eau d'irrigation d'une manière plus rationnelle. L'efficacité d'échelle calculée pour l'input eau est estimée à 83%.

Les scores d'efficacité technique et d'usage de l'eau sont aussi calculés pour chacune des classes identifiées. Les résultats sont présentés dans le tableau 6 suivant. Le test de variance ANOVA (différence des moyennes) montre que les valeurs de l'ET des agriculteurs des deux classes sont statistiquement similaires (Tableau 6). Ceci peut s'expliquer par la ressemblance des modes de production entre les deux classes. A l'opposé, on enregistre une différence statistiquement significative de l'EUE.

## 4.3. Effet de l'instauration de quotas sur l'efficacité des exploitations étudiées

D'après la figure 5, on remarque une importante évolution de l'EUE avec l'imposition de quotas d'eau. On remarque que l'effet des quotas est différent entre les deux classes. Pour le cas de l'hypothèse VRS, l'amélioration est nettement plus élevée pour la classe 2 (15% contre 10% pour la classe 1). Ceci démontre que la classe 2 présente une plus grande variabilité dans la quantité d'eau consommée par les irrigants. En effet, cette classe présente une combinaison de plusieurs techniques d'irrigation comme rapporté plus haut.

En considérant l'hypothèse CRS,

Tableau 6 - Distribution des fréquences de score d'efficacité d'un échantillon d'exploitations maraichères.

Classe	Classe 1		Classe 2		Total		Test ANOVA (t)
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
ET <sub>VRS</sub>	0,79	0,17	0,80	0,16	0,80	0,17	0,653
ET <sub>CRS</sub>	0,71	0,18	0,66	0,17	0,68	0,17	0,266
EUE <sub>VRS</sub>	0,55	0,29	0,66	0,22	0,61	0,26	0,046
EUE <sub>CRS</sub>	0,45	0,26	0,56	0,19	0,51	0,23	0,023

Note :  $EU_{EVRS}$  : efficacité d'usage de l'eau à rendement d'échelle variable et  $EUE_{CRS}$  est l'efficacité d'usage de l'eau à rendement d'échelle constant.

Figure 5 - Effet des différents scénarios de quotas sur l'EUE dans la zone d'étude, sous les deux hypothèses VRS (gauche) et CRS (droite).

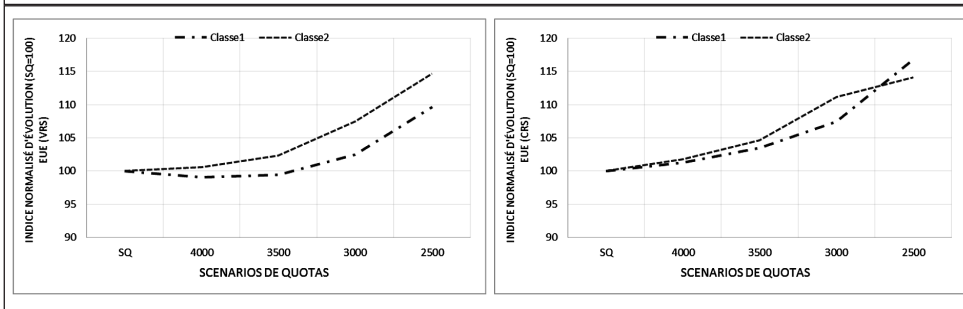
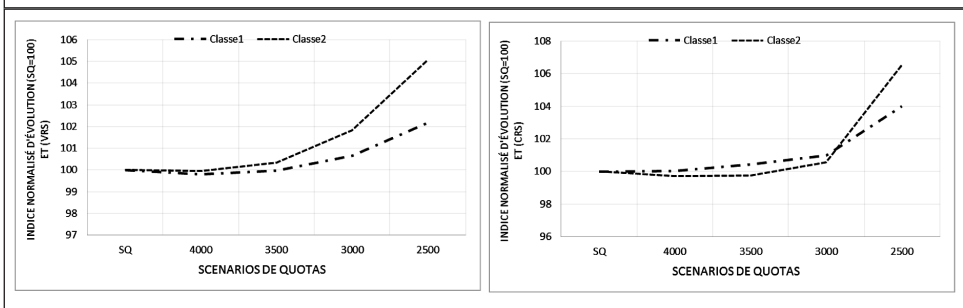


Figure 6 - Effet des différents scénarios de quotas sur l'efficacité technique globale dans la zone d'étude, sous les deux hypothèses VRS (gauche) et CRS (droite).



on remarque que l'amélioration de l'EUE pour la classe 2 tend à ralentir avec des quotas inférieurs à 3000 m<sup>3</sup>. Ceci est dû à un inversement des rendements d'échelle au-delà de ce seuil. Les résultats seront illustrés plus loin dans la figure 7. Les quotas d'eau d'irrigation auront aussi un effet sur l'efficacité technique globale des exploitations agricoles étudiées. Cet effet est représenté dans la figure 6.

Sous les deux hypothèses de l'ET globale (VRS et CRS), l'effet du quota est positif mais reste assez faible pour des quotas d'eau supérieures à 3500 m<sup>3</sup>. Ce n'est qu'au-dessous de 3500 m<sup>3</sup> qu'on commence à voir une croissance plus rapide des ET. Ainsi, avec l'imposition d'un quota de 2500

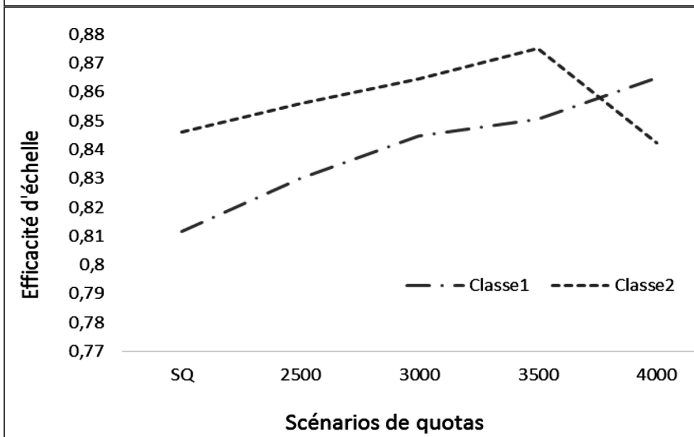
pour le groupe 2.

## 5. Discussion

Les résultats du calcul de l'efficacité, en utilisant la méthode DEA, montrent d'importantes inefficacités techniques globales et d'usage de l'eau au niveau des exploitations enquêtées. Le score moyen de l'efficacité d'usage de l'eau sous l'hypothèse VRS est de 61 %. Ceci montre l'opportunité énorme d'épargner des volumes considérables d'eau d'irrigation et qui peuvent aller jusqu'à 39% des volumes actuellement utilisés, et ce, sans nuire à la production agricole (les niveaux de revenu) de la région d'étude. Dans ce contexte, l'Algérie ne fait pas exception dans la région nord-africaine. L'évaluation de l'EUE en Tunisie, par exemple, révèle aussi de faibles valeurs de cet indicateur. Dhehibi *et al.*, (2007) ont calculé les scores d'efficacité des exploitations d'agrumes de la région du Cap Bon au nord-est de la Tunisie, et ont identifié des scores d'EUE de l'ordre de 53%. De même, Frija *et al.* (2009) ont estimé une EUE de l'ordre de 42% dans les exploitations maraîchères sous serre du Centre-Est Tunisien. Pour ce qui est des systèmes céréaliers, Chebil *et al.* (2010) ont calculé un score moyen d'EUE de 62%, et ce, pour la région de Kairouan au centre Tunisien.

L'analyse de la typologie nous a permis d'identifier deux classes d'agriculteurs dans notre région d'étude, et ce, en se basant sur différentes utilisations des terres, cultures et choix d'irrigation. Les résultats montrent en effet que les plus petites exploitations (la classe 2) sont très spécialisées dans la serriculture, utilisant la presque totalité de leur

Figure 7 - Evolution de l'efficacité d'échelle (d'utilisation de l'eau d'irrigation) des deux groupes d'exploitations sous différents scénarios de quotas d'eau.





superficie pour ce type de production. Ces exploitations utilisent aussi l'eau d'une manière plus efficace. Ce résultat est en effet en cohérence avec d'autres études (Speelman *et al.*, 2008; Mahdi *et al.*, 2014) qui ont montré que la taille de l'exploitation agricole est en corrélation significative et négative avec les scores d'EUE. Certains auteurs (Gül Ünal, 2008; Larson *et al.*, 2014) expliquent que ce genre de relation inverse est typique dans plusieurs pays en développement, où il s'avère que le niveau de production par ha de terre est généralement plus élevé dans les petites exploitations agricoles comparées aux moyennes exploitations (ou même parfois aux plus grandes). Les petites exploitations de notre échantillon sont plus intensives en technologies (d'irrigation et de serres) que les exploitations moyennes (de la classe 1), ce qui peut expliquer leur meilleure performance dans la gestion de l'eau d'irrigation. Rappelons que les tests ANOVA ont montré que les scores d'efficacité technique ne sont pas statistiquement significatifs entre les groupes.

Concernant l'effet d'instauration des quotas, nous avons démontré qu'une implémentation effective de cette politique de gestion de l'irrigation affecte positivement tant l'ET que l'EUE, avec des effets nettement supérieurs sur l'EUE (de l'ordre de 13% en moyenne pour tout l'échantillon). Cet impact est plus élevé pour la classe 2 composée de sericulteurs spécialisés. Ceci montre encore une fois l'importance de considérer une application rigoureuse des quotas de l'eau d'irrigation, qui sont déjà instaurés et spécifiés dans la région d'étude, mais qui ne sont pas appliqués et contrôlés. L'effet positif des quotas était démontré par d'autres études évaluant la performance des différents instruments de gestion de l'eau d'irrigation. En effet, des résultats similaires ont été obtenus par Senthilkumar *et al.* (2012) dans une étude menée en Inde. Ils rapportent que les politiques de quotas d'eau et d'électricité permettaient d'améliorer la productivité de l'eau dans la région de Tamil Nadu, et ce, dans près de 45% de la superficie de leur zone d'étude. Pour la classe 2 (agriculteurs spécialisés en sericulture), l'imposition du quota permet, dans une première étape, une croissance d'efficacité d'échelle relative à l'utilisation de l'eau. Cette croissance s'inverse pour des quotas de l'ordre de 3000 m<sup>3</sup>. Ce dernier déclin d'efficacité d'échelle suggère qu'il faut réduire la taille des exploitations afin de continuer à faire croître l'EUE. Pour cette raison, le quota de 3000 m<sup>3</sup> peut être considéré comme étant un seuil idéal à appliquer dans la zone d'étude, et au-delà duquel les performances des exploitations agricoles peuvent être affectées.

Cependant, il est à noter que l'application des politiques d'eau ne doit pas être faite en isolement. Nous suggérons alors que cette politique de quotas soit accompagnée par d'autres incitations techniques et économiques afin d'aboutir à un meilleur accompagnement des agriculteurs. Un exemple de ces politiques est la subvention des techniques agricoles modernes qui permet non seulement d'inciter les agriculteurs à utiliser moins d'eau, mais aussi à maximiser leur profit en se reconvertissant vers une production plus valorisante. D'autre part, une politique de quota non échangeable, appliquée en isole-

ment, pourrait pénaliser les agriculteurs les plus performants économiquement. En plus de l'effet des quotas sur l'EUE, il serait donc important d'étudier l'effet distinct de ce type de politiques sur les performances économiques des agriculteurs.

## Conclusion

En Algérie, la gestion de l'eau axée sur une stratégie d'offre a atteint ses limites se traduisant par une pression de plus en plus accrue sur la ressource hydrique. Etant donné que le secteur agricole consomme la majorité des quantités d'eau mobilisées chaque année avec près de 60%, les gestionnaires devraient se concentrer sur ce secteur en mettant en place des instruments plus rigoureux afin de préserver cette ressource. Notre travail s'est intéressé à l'analyse de l'EUE au niveau des exploitations maraîchères dans le périmètre irrigué Jijel-Taher. Les résultats révèlent des scores d'EUE faibles, suggérant que d'importantes quantités d'eau peuvent être épargnées si cette ressource est gérée d'une manière plus efficace. Les résultats montrent aussi que l'EUE des exploitations spécialisées en sericulture est nettement meilleure. En effet, compte tenu de leur superficie limitée, on rencontre une prédominance de cultures sous serre à forte valeur ajoutée. De ce fait, nous suggérons l'encouragement de cette pratique en facilitant l'obtention des subventions nécessaires à la reconversion vers ces techniques de production modernes contribuant à la sécurité alimentaire du pays tout en améliorant la rentabilité des exploitations agricoles.

Nous avons aussi constaté que les quotas d'eau fixés pour les agriculteurs dans la région d'étude ne sont pas toujours respectés. Nos résultats ont montré que le respect de ce quota peut permettre une amélioration de 13% de l'EUE. Cependant, cette politique pourrait affecter le revenu des agriculteurs et ce travail pourrait donc être complété par une analyse de l'impact de cet instrument sur le comportement des agriculteurs vis-à-vis des pratiques culturales et de la consommation en eau.

## Références

- Aigner D., Lovell C. K. et Schmidt P., 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1): 21-37.
- Banker R. D., Charnes A. et Cooper W. W., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9): 1078-1092.
- Banque mondiale, 2016. *Base des données de la Banque Mondiale* (site web: <http://databank.banquemondiale.org>)
- Benblidia M. et Thivet G., 2010. Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre. *Les Notes d'analyse du CIHEAM*, 58.
- Bravo-Ureta, B. E. et Pinheiro A. E., 1993. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. *Agricultural and Resource Economics Review*, 22(1): 88-101.
- Bravo-Ureta B. E., Solís D., López V. H. M., Maripani J. F., Thiam A. et Rivas, T., 2007. Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 27(1): 57-72.

- Charnes A., Cooper W. et Rodhes E., 1978. Measuring the efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6): 429-444.
- Chebil A., Frija A. et Abdelkafi B., 2010. Irrigation water use efficiency in collective irrigated schemes of Tunisia: determinants and potential irrigation cost reduction. Communication au 3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE), Cape Town, South Africa, 19-23 Septembre.
- Chebil A., Bahri, W. et Frija, A., 2013. Mesure et déterminants de l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation dans la production du blé dur : cas de Chabika (Tunisie). *New Medit*, 12(1): 49-55.
- Coelli T., 1996. *A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program*. Armidale, Australia: University of New England. Department of econometrics. CEPA working paper 96/08.
- Coelli T., Rahman S., Thirtle C., 2002. Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: a non-parametric approach. *Journal of Agricultural Economics*, 53(3): 607-626.
- Cooper W. W., Seiford L. M. et Tone K., 2006. *Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses with DEA-Solver Software and References*. Springer.
- Debreu G., 1951. The coefficient of resource utilization. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, 19(3): 273-292.
- Dhehibi B., Lachaal L., Elloumi M. et Messaoud A., 2007. Measuring irrigation water use efficiency using stochastic production frontier: An application on citrus producing farms in Tunisia. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1(2): 1-15.
- Dinar A., 2000. *The political economy of water pricing reforms*. Washington DC: Oxford University Press.
- FAO, 2016. AQUASTAT. Website ([http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions)).
- Färe R., Grosskopf S. et Lovell C.A.K., 1994. *Production frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Farrel M.J., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120(III): 253-290.
- Faysse N., Hartani T., Frija A., Tazekrit I., Zairi C. et Challouf A., 2011. Usage agricole des eaux souterraines et initiatives de gestion au Maghreb : défis et opportunités pour un usage durable des aquifères. *Note Economique de la BAD*, 1-24.
- Fried O. H., Lovell C. A. K., Schmidt S. S., 2008. *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Oxford University Press.
- Frija A, Chebil A, Speelman S, Buysse J, Van Huylenbroeck G., 2009. Water use and technical efficiencies in horticultural greenhouses in Tunisia. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1509-1516.
- Gibon A., 1999. Etudier la diversité des exploitations agricoles pour appréhender les transformations locales de l'utilisation de l'espace: l'exemple d'une vallée du versant Nord des Pyrénées centrales. In: Gibon J., Lasseur J., Manrique E., Masson P., Pluvinage J. et Revilla R. (éds). *Systèmes d'élevage et gestion de l'espace en montagnes et collines méditerranéennes*. Zaragoza : CIHEAM, 197-215. Options Méditerranéennes, Série B, 27.
- Gül Ünal F., 2008. *Small is beautiful: Evidence of an Inverse relationship between farm size and yield in Turkey*. Annandale-on-Hudson : The Levy Economics Institute. Working paper, 551.
- Guemraoui, M. et Chabaca M. N., 2007. Gestion des grands périmètres d'irrigation : l'expérience algérienne. In : *Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués*. Cirad.
- Ilari E., Daridan D., Fraysse J. L., Fraysse J., Teffène O. et Desbois D., 2003. Typologie des exploitations françaises ayant des porcs : méthodologie, analyse statistique et premiers résultats. In : 35. *Journées de la recherche porcine*. Paris : ITP Editions, 187-194.
- Koopman T.C., 1951. An analysis of production as an efficient combination of activities. In: TC Koopmans (ed). *Activity analysis of production and allocation*. New York: Wiley. Cowles Commission for Research in Economics. Monograph, 13.
- Larson D. F., Otsuka K., Matsumoto T. et Kilic T., 2014. Should African rural development strategies depend on small-holder farms? An exploration of the inverse-productivity hypothesis. *Agricultural Economics*, 45(3): 355-367.
- Mahdhi N., Sghaier M. et Smida S., 2014. Efficiency of the irrigation water user association in the Zeuss-Koutine region, Southeastern Tunisia . *New Medit*, 13(2): 47-55.
- Mozas M. et Ghosn A., 2013. *État des lieux du secteur de l'eau en Algérie*. Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen.
- Maton L., Leenhardt D., Goulard M. et Bergez J.E., 2005. Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. *Agricultural Systems*, 86(3): 293-311.
- Oude Lansink A., Pietola K. et Bäckman S., 2002. Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994-1997. *European review of agricultural economics*, 29(1): 51-65.
- Poussin J. C., Benmihoub A. et Beji R., 2008. Usages agricoles de l'eau et valorisation dans la plaine de Kairouan, Tunisie centrale. In : *Troisième atelier régional du projet Sirma*. Cirad.
- RGA, 2003. *Rapport général sur les résultats définitifs du Recensement général de l'agriculture*. Alger: DSASI, MADR.
- Sayin B. et Yilmaz I., 2015. Comparing the relative efficiency of irrigation unions in Antalya, Turkey: A data envelopment analysis. *Water Economics and Policy*, 1(1): 1450005.
- Senthilkumar K., Bindraban P. S., de Ridder N., Thiagarajan T. M. et Giller K. E., 2012. Impact of policies designed to enhance efficiency of water and nutrients on farm households varying in resource endowments in south India. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 59(1): 41-52.
- Speelman S., D'Haese M., Buysse J., D'Haese L., 2008. A measure for the efficiency of water use and its determinants, a case study of small-scale irrigation schemes in North-West Province, South Africa. *Agricultural systems*, 98(1), 31-39.
- Thiry B. et Tulkens H., 1988. Productivité, efficacité et progrès technique, notions et mesures dans l'analyse économique. In : *L'efficacité économique*. Rapport préparatoire du huitième congrès des économistes belges de langue française, commission 5, 17 et 18 novembre 1988, 17- 51.
- Tulkens H., 1986. La performance productive d'un service public. Définitions, méthodes de mesure et application à la Régie des Postes en Belgique. *L'Actualité économique*, 62(2), 306-335.
- Wooldridge J. M., 2010. *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press.