



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*



4th ICAAAE 2013 SEPTEMBER 22-25,
Hammamet Tunisia

4th International Conference of the
African Association of Agricultural Economists
aaae-africa.org

icaaae.org

Potentiel de réduction de rabattement d'une nappe dans un périmètre irriguée privé: cas de la région du Nadhour au centre de la Tunisie

By:

Mekbib G. Haile, Matthias Kalkuhl, and Joachim von Braun

Invited paper presented at the 4th International Conference of the African Association of Agricultural Economists, September 22-25, 2013, Hammamet, Tunisia

Copyright 2013 by [authors]. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.

**8- Potentiel de réduction de rabattement d'une nappe dans un périmètre irriguée privé:
cas de la région du Nadhour au centre de la Tunisie**

Mohamed Taher Sassi¹, Aymen Frija¹, Ali Chebil²

1 Ecole Supérieur d'Agriculture de Mograne, Zaghouan 1121, E-mail : frijaaymen@yahoo.fr

2 Institut National de Recherche en Génie Rural Eaux et Forêt, P.O. Box 10, Arianna 2080.

Potentiel de réduction de rabattement d'une nappe dans un périmètre irriguée privé: cas de la région du Nadhour au centre de la Tunisie

Résumé

L'objectif de cet article est de calculer l'efficacité économique et environnementale liée à l'utilisation des eaux souterraines dans les petits périmètres irrigués de la Tunisie. L'impact environnemental pris en compte dans notre étude est le niveau d'épuisement de l'eau dans les aquifères profonds, due à l'exploitation agricole irriguée. Cet impact a été approché par le coût supplémentaire d'énergie en plus de l'amortissement annuel des investissements réalisés pour améliorer l'appropriation des eaux souterraines. De cette manière, nous pouvons mesurer le potentiel de réduction de l'épuisement de l'aquifère tout en conservant le même niveau de production agricole. La méthodologie utilisée dans cette étude est l'analyse d'enveloppement des données (DEA), qui est une méthode non paramétrique largement utilisé pour le calcul de l'efficacité technique et environnementale. Les données ont été recueillies dans le cadre du sondage des agriculteurs fait dans la région de Nadhour dans le centre de la Tunisie. Deux scénarios ont été simulés, dans le premier scénario, nous considérons l'application stricte des réglementations actuelles où les agriculteurs devront se concentrer sur la réduction de leur consommation d'eau. Dans le deuxième scénario, les acteurs se concentrent d'abord sur l'amélioration de la productivité de l'activité agricole, puis vont lutter contre l'appauvrissement de l'eau qui sera considérée comme deuxième priorité. Les résultats montrent que l'épuisement de la nappe phréatique peut être réduit à 40% si l'on considère comme une première étape urgente à réaliser dans la zone d'étude. Par contre, si nous améliorons la productivité des agriculteurs, l'inefficacité environnementale restante à éviter serait seulement de 15%.

Mots clés : eau souterraine, Forages, Enveloppement des données, Efficacité environnementale, Coût d'amélioration de l'accès à l'eau

1. Introduction

Les eaux souterraines jouent un rôle majeur dans le développement socioéconomique de nos sociétés. Plus de la moitié de la population mondiale en dépend. Ses ressources ont contribué positivement dans la réduction du taux de pauvreté à travers le monde pendant la Révolution Verte surtout dans les pays en voie de développement. C'est la source d'approvisionnement souvent, la plus commode, par rapport aux eaux de surface qui obligent d'avantage à concentrer les activités de manière linéaire ou circulaire, à proximité des rivières et des lacs. Ses ressources aussi se caractérisent par une disponibilité permanente dans le temps et dans l'espace.

Par contre les eaux souterraines sont difficiles à gouverner et à contrôler puisque c'est la source d'eau la plus individuelle. En plus les informations à disposition du gestionnaire ou du régulateur concernant cette ressource sont parfois absentes, parfois lacunaires et de temps en temps aussi mal renseignées.

La baisse du niveau d'eau dans les nappes souterraines est un fait malheureusement devenu commun dans de nombreuses régions du monde à cause du caractère de « ressources communes ». Les eaux souterraines sont surexploitées dans plusieurs régions du monde. Les nappes souterraines ont été surexploitées dans de nombreux pays et la baisse annuelle de ces nappes dans les principaux pays à déficit hydrique s'élèverait à environ 160 km³ d'eau. Cela signifie qu'approximativement 180 millions de tonnes de céréales, soit environ 10 pour cent de la récolte mondiale, seraient produites au moyen de prélèvements qui épuisent les ressources en eau non renouvelables (FAO, Rome, 1997). Dans certains pays le pourcentage d'exploitation des eaux souterraines peut atteindre par exemple 79% en Arabie Saoudite et même 90% en Lybie.

Les ressources en eau souterraines sont de même surexploitées en Tunisie (Faysse et al, 2012), où 43% de l'eau d'irrigation utilisé se compose aujourd'hui de l'eau souterraine (AMDH, 2007). Les ressources en eaux souterraines sont intensément mobilisées en Tunisie depuis les années 1980, provoquant la surexploitation. En conséquence, il ya de nombreux signes de l'épuisement des aquifères dans tout le pays. Selon le TICET (2009), le nombre total des aquifères en Tunisie est d'environ 273, dont 71 sont surexploités avec un taux moyen de 146%. D'autre utilisation des eaux souterraines en Tunisie a donné lieu à plusieurs avantages socio-économiques à court et moyen terme, en fournissant une base principalement pour l'extension des zones agricoles irriguées et l'approvisionnement en eau potable dans les zones rurales reculées. Cette situation de surexploitation en Tunisie doit être renforcée par des solutions urgentes techniques, économiques et institutionnelles qui doivent être rapidement formulé.

Dans le cas de la Tunisie, il est utile d'estimer le potentiel de réduction de rabattement des nappes actuellement observé afin de minimiser le dommage qui peut être causé sur les écosystèmes. En effet, cette information est très utile pour les décideurs politiques et leur permettent de prioriser leurs interventions et de concevoir des politiques de gestion adaptées aux différents contextes de systèmes agricoles.

L'objectif de cette étude est alors de quantifier l'efficacité environnementale des agriculteurs concernant l'utilisation de leur aquifère à petite échelle. L'efficacité environnementale calculée dans cette étude va exprimer le niveau avec lequel l'épuisement de la nappe phréatique peut être réduit tout en gardant un niveau fixe du revenu des agriculteurs locaux.

2. Les ressources en eaux souterraines en Tunisie : potentiel et défis

En Tunisie l'eau souterraine de bonne qualité ne se trouve que dans 8% des eaux peu profondes et 20% des aquifères profonds. Si l'on suppose que l'eau salée avec une teneur en sel jusqu'à 3 g / l peut être utilisée dans le secteur agricole et pour la production d'eau potable, puis environ 36% des ressources en eaux souterraines ne sont pas adaptés à ces fins (Ben Abdallah, 2007). Un autre phénomène, qui a un effet significatif sur la qualité de l'eau est la sécheresse. En période de sécheresse, la salinité de l'eau stockée dans les aquifères peu profonds peut atteindre 3,5 g / l, dans certains cas, en raison de la surexploitation, car les ressources sont tirées vers le bas à la fois pour l'eau potable et l'irrigation.

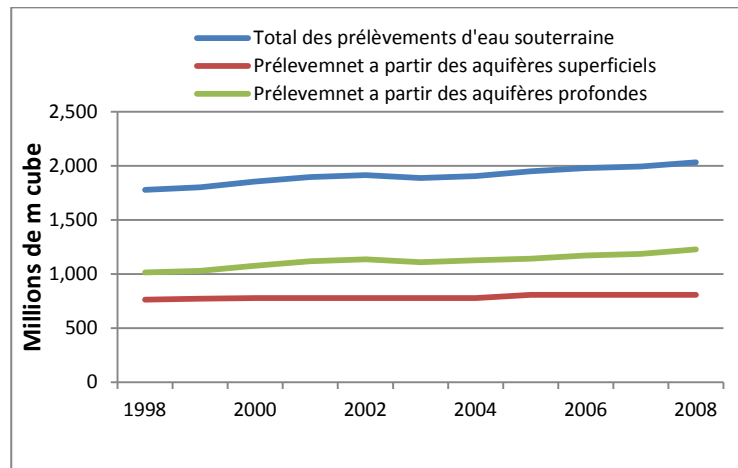


Figure 1 : les prélèvements d'eau totale en Tunisie entre 1998 et 2008 (en Million de m³) (source: INS, 2010)

Les aquifères peu profonds en Tunisie étaient sous une pression croissante au cours des deux dernières décennies. Cette pression a été particulièrement forte dans les zones côtières (Cap Bon, Sahel, et Gabès) et (Kairouan) régions centrales (Al Atiri, 2007). Les aquifères peu profonds ont été la source principale d'irrigation pour les périmètres irrigués privés de la Tunisie, qui couvrent environ 38% de la superficie totale irriguée dans le pays. Les périmètres irrigués privés sont les domaines qui sont irrigués à partir de puits forés individuels privés. Dans un aquifère profond les eaux souterraines sont également utilisées pour l'irrigation de certaines zones irriguées publiques, principalement dans les oasis du Sud.

Tableau1 : Les ressources en eau potentielles, disponibles, et mobilisées en Tunisie (valeurs en Mm³)

Source	Les ressources potentielles (Mm ³)	ressources mobilisées				
		1990	2000	2005	2010	2015
Les eaux de surface	2700 (56%)	1179	1876	2200	2400	2500
grands barrages		1170	1688	1927	2080	2170
barrages collinaires		5	125	160	190	195
lacs collinaires		4	63	113	130	135
Les eaux souterraines	2140 (44%)	1576	1818	1860	1900	1940
Les aquifères peu profonds		740	740	740	740	740
aquifères profonds		836	1078	1120	1160	1200
Total des ressources	4840	2755	3694	4060	4300	4440
rapport de mobilisation		59	80	88	93	96

Source: AMDH 2007

3. méthodologie

3.1. Efficacité environnementale pour l'estimation du potentiel de réduction du rabattement

La production agricole, surtout irriguée et intensive, ne peut pas se faire sans causer des externalités négative (ou parfois positives) sur l'environnement. Parmi les externalités observées dans le cas de l'agriculture irriguée à partir des ressources souterraine, on peut noter le rabattement des nappes (superficielles et profondes). Ce rabattement engendre des déséquilibres écologiques importants dans les écosystèmes. Plusieurs études citées dans la littérature on essayer de modéliser et de quantifier les impacts environnementaux de l'activité agricole ainsi que le potentiel de réduction de ces impacts. Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a abordé le rabattement comme problématique environnementale à quantifier. Notre travail consiste en une première tentative d'intégrer l'évolution du niveau d'une nappe dans une étude quantitative qui vise à calculer le potentiel de réduction de l'effet de l'activité agricole sur celle-ci.

Pour réussir à intégrer le niveau de la nappe dans une étude quantitative, il est primordial d'approximer ce niveau, généralement exprimé en mètre linéaire, sous forme d'input (ou d'output) désirable ou indésirable de l'exploitation agricole. Dans la littérature, le volume de nitrate lâché dans une nappe (Asmild & Hougaard, 2006), ou bien de salinité (Belloumi & Matoussi, 2007) ont été introduit dans des modèles quantitatifs sous forme continue, exprimé en kg de nitrate ou en grammes de salinité. Cependant, introduire un vecteur d'input exprimé en mètres linéaires serait complètement inconvenant.

Le différentiel du cout d'énergie (d'une année à une autre) ainsi que l'amortissement du matériel investit durant les cinq dernières années pour améliorer l'accès à l'eau souterraine, seront utilisés dans notre étude pour approximer le rabattement de la nappe. En effet le

différentiel (d'une année à une autre) du cout d'énergie nécessaire pour pomper l'eau (inflation des prix exclus) serait exclusivement du à la baisse du niveau de la nappe. Ainsi, cette valeur peut être considérée comme un bon proxy du rabattement annuel. En plus, les irrigants peuvent aussi changer de matériel de pompage, ou bien investir dans du nouveau matériel, afin de remédier au rabattement continue de leur niveau de nappe. L'amortissement annuel de ces investissements peut donc aussi être considéré comme un proxy de la baisse du niveau annuelle.

Un vecteur d'input sommant ces deux proxy va être utilisé en plus d'autres inputs (semences, main d'œuvre, fertilisants, produits de traitement, et volume d'eau) et outputs (production annuelle de l'exploitation) afin de calculer les efficacités productives et environnementales des exploitations de notre échantillon. Ces dernières exploitations sont bien évidemment des exploitations irrigants exclusivement à partir des ressources en eau souterraines. L'efficacité environnementale serait calculée par un modèle « input oriented subvector-DEA » (présenté dans la section suivante), qui exprime le potentiel de réduction des coûts d'amélioration de l'accès à l'eau souterraine (proxy du niveau de la nappe) tout en gardant le niveau d'output et les autres inputs constants. Ceci exprime donc, indirectement, le potentiel de réduction du rabattement de la nappe sans affecter la situation socioéconomique des agriculteurs.

Deux scénarios de politiques seront considérés dans notre étude et qui peuvent être présenté comme suit :

Scénario 1 : « en raison de l'application stricte des règlements actuels et potentiels, les agriculteurs devront se concentrer sur la réduction de leur consommation d'eau de la nappe phréatique dans un premier temps»

Scénario 2 : « les décideurs devront d'abord se concentrer sur l'amélioration des niveaux d'intensification et de la productivité dans la zone d'étude, puis, lutter contre l'appauvrissement de l'eau sera considérée comme la deuxième priorité»

Dans le scénario 1, l'efficacité environnementale serait calculée en première étape par le modèle « input oriented subvector-DEA). Dans le scénario 2, l'efficacité d'exploitation agricole serait calculée en première étape afin d'estimer de combien les agriculteurs peuvent améliorer leur output (valeur de la production de l'exploitation) tout en gardant le même niveau d'input. Une fois cette efficacité calculée, les output actuellement observés des agriculteurs seront reportés au niveau efficace, et une deuxième efficacité environnementale serait donc estimée en utilisant ce nouveau vecteur d'output (optimal). En effet cette deuxième efficacité environnementale va nous exprimer de combien le rabattement de la nappe peut être réduit, une fois on a achevé des objectifs économiques d'amélioration de la productivité.

3.2. Les modèles DEA utilisés pour l'estimation de l'efficacité technique et environnementale

3.2.1. Modèle DEA correspondant au premier scénario

Le modèle utilisé pour le calcul de l'efficacité environnementale dans notre premier scénario est un modèle input-oriented subvector DEA (sous l'hypothèse de rendement d'échelle variable : VRS). Ce modèle peut être formulé de la manière suivante (modèle 1).

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \theta \\
 & \text{s. c. } Y \lambda \geq y_i \\
 & \quad x_i - X_i \lambda \geq 0 \\
 & \quad \theta z_i - Z_i \lambda \geq 0 \\
 & \theta \text{ quelconque, } \lambda \geq 0 \\
 & N1' \lambda = 1
 \end{aligned}$$

Où : $Y = [Y_1, \dots, Y_k]$ est une matrice $N \times K$ d'extrants,

$X = [X_1, \dots, X_k]$ est une matrice $M \times K$ d'intrants,

Y_i et X_i sont, respectivement, les vecteurs d'extrants et d'intrants de la firme « i », θ est un scalaire, et λ est un vecteur de dimension K des coefficients à estimer. Z_i , est le sous vecteur pour lequel on veut calculer l'efficacité spécifique, en gardant les intrants et extrant constants. Dans notre cas particulier, Z_i , est le vecteur du coût d'amélioration d'accès aux eaux souterraines.

La résolution de ce problème donne la solution optimale θ qui constitue le score d'efficacité environnementale recherchée.

3.2.1. Modèles DEA correspondants au deuxième scénario

Le deuxième scénario est composé de deux étapes. Dans la première on calcule l'efficacité technique à partir d'un modèle DEA output-oriented, alors que dans la deuxième étape, on calcule une efficacité environnementale à l'aide du même modèle (1).

Le modèle DEA output oriented est présenté comme suit (modèle 2) :

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \theta \\
 & \text{s. c. } Y \lambda \geq \theta y_i \\
 & \quad x_i - X_i \lambda \geq 0 \\
 & \theta \text{ quelconque, } \lambda \geq 0 \\
 & N1' \lambda = 1
 \end{aligned}$$

Toutes les variables dans ce modèle sont définies de la même manière que dans le modèle 1. Ce modèle suppose aussi un rendement d'échelle variable (VRS), puisque $N1' \lambda$ est supposé être égal à 1.

3.2. Présentation de la zone d'étude

Le gouvernorat de Zaghouan s'étend sur une superficie totale de 2820 km², économiquement, les principales sources de revenus des habitants de Zaghouan sont l'agriculture et surtout la

culture maraichère et les céréales et la production d'huile d'olive, le lait.... La région de Zaghuan compte 12 nappes d'eau souterraines d'une capacité totale de 23 millions de m³ équivalent à 20% des ressources globales du gouvernorat. Cinq nappes phréatiques sont reconnues, elles se situent dans les plaines de Nadhour, El Fahs, Sminja, Oued R'mel et Boucha. Dans ces nappes les ressources potentielles sont estimées à 13,5 millions de m³ équivalent à 10% des ressources totales de la région. Le nombre de puits de surface est de 1565 puits équipés et de 221 forages, d'une salinité qui varie entre 1 à 6 g/l sauf dans la région de Nadhour où elle ne dépasse pas souvent les 2 g/l.

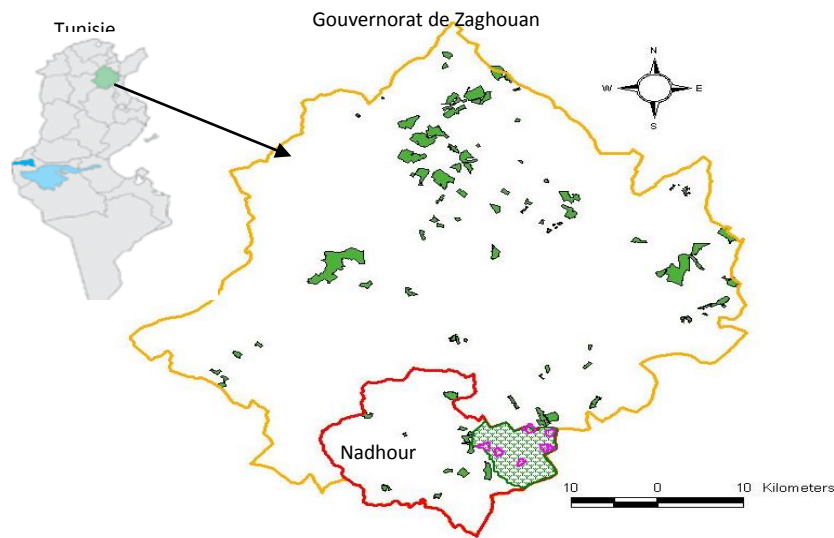


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

Notre recherche a été menée dans la région de Nadhour situé dans la province de Zaghuan, Tunisie nord (Fig. 2). Nadhour est une région semi-aride et il fait face à une pénurie croissante d'eau d'irrigation. Les précipitations moyennes dans la région est d'environ 370 mm / an avec une variabilité interannuelle. L'évapotranspiration est également très élevée depuis la saison d'été (Juin-Septembre). Les températures estivales peuvent être aussi élevées que 46 ° C en Juillet et Août.

On a choisit cette zone parce que les eaux souterraines constituent la principale source d'irrigation dans la région. En plus des signes croissants de surexploitation dans la région est observée et est à l'origine appauvrissement et la détérioration de la qualité des eaux souterraines. La Salinité moyenne de l'eau dans la région est d'environ 1,8 grammes par litre qui est approprié pour la production de cultures horticoles (Abdelkafi, 2010).

Les données de l'enquête ont été recueillies du 15/03/2013 jusqu'au 15/04/2013, avec 55 agriculteurs. Les agriculteurs ont été interrogés sur leurs productions, la structure des exploitations agricoles, les niveaux des intrants qu'ils utilisent, et sur leur mode d'utilisation de l'eau et les quantités d'entrée et de sortie pour les différentes plantes cultivées qui sont utilisés pour construire nos modèles DEA. Les agriculteurs ont également été interrogés sur

leurs factures d'énergie et sur tout investissement qu'ils ont fait au cours des cinq dernières années afin d'améliorer leur accès aux eaux souterraines.

4. Résultat de l'étude

4.1. Caractérisation socioéconomique de l'échantillon enquêté

A partir de l'analyse descriptive de nos enquêtes, il s'avère que la population enquêtée est une population d'agriculteurs âgés, dont l'âge moyen est de 47ans. La taille moyenne des exploitations dans notre zone d'étude est de 18 ha .concernant les technique cultural des agriculteurs de la région L'échantillon montre que parmi les 55 agriculteurs enquêtés 31% des agriculteurs ne pratique pas l'assolement ceci peut être une explication concernant le rendement faibles de production de certaine exploitation et l'épuisement des sols par la pratique de monoculture. Et pour les cultures dominantes, la culture le plus cultivé est le pastèque et avec 53%, suivit par le petit poids avec 22% et ensuite la tomate avec 13% de la superficie moyenne par exploitation.

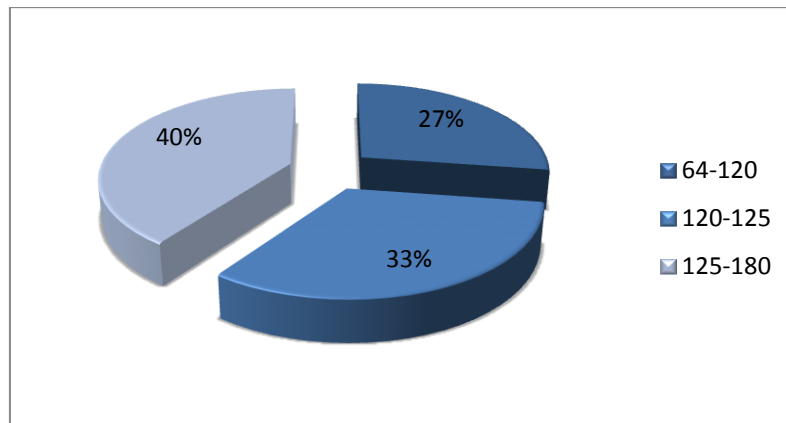


Figure3: pourcentage de différent niveau de profondeur des forages (mètres) (trois catégories de profondeur des puis : entre 64 et 120 m / entre 120 et 125 m/ entre 125 et 180 m)

Concernant la surexploitation des ressources en eau souterraines, ce phénomène s'avère aussi accrue dans la population d'agriculteurs enquêtés. En effet les résultats montrent que la Profondeur moyenne des forages est de 122 mètre

Tableau2 : Consommation d'électricité en DT/an

Consommation d'électricité en DT/an/exploitation	1300-5800	5800-8000	8000-24100	Total
Effectif	17	18	20	55
Pourcentage	31	33	36	100
MIN	1300			
MAX	24100			
MOYENNE	7055			

95 % des puits enquêtés sont connectés au réseau public d'électrification. La consommation de l'électricité pour le pompage de l'eau est en moyenne 7055DT/an/exploitation (voir Tab 2)

avec un maximum de 24100 DT/an/exploitation qui peut être expliqué par l'existence de plusieurs forages dans une même exploitation et avec un minimum de 1300DT/an qui eut être expliqué aussi par l'existence des forages illégal qui sont alimenté par une force de 220v (compteur d'une maison).

Les agriculteurs participant à l'étude ont une consommation d'eau annuelle moyenne par exploitation est d'environ 6966 m³. Le revenu total moyen par exploitation est d'environ 10775 Dinar Tunisien nationale (TND) et allant d'un minimum de 2500 jusqu'à un maximum de 39000 dinars. Sommaire des statistiques concernant les entrées et toutes les sorties utilisées dans le modèle DEA sont présentés dans le Tableau 3.

Les variables inputs et output utilisées dans les différents modèles de simulation DEA, sont décrits par le tableau 3 suivant.

Tableau 3 : Les statistiques descriptives des variables utilisées dans les modèles DEA

Variables	Moyenne	Minimum	Maximum	L'écart-type
Valeur de la production (output)	77172,9	4500,0	362000,0	76832,6
Eau (input)	104113,2	27360,0	352396,8	58386,3
Engrais (input)	4639,9	258,2	27850,5	4521,6
Pesticides (input)	4905,9	32,0	32000,0	6108,5
Travail (input)	230,1	29,0	1680,0	235,6
Graines (input)	8912,1	130,0	35250,0	7038,9
Coût de l'amélioration de l'accès à l'eau souterraine (input)	1983,6	300,0	9100,0	1394,7

4.2. Scénario (1) de régulation du pompage des eaux souterraines : calcul de l'efficacité environnementale

Dans ce premier scénario l'efficacité environnemental des exploitations est calculée en première étape, afin de donner un ordre de grandeur (ou pourcentage) d'amélioration de la situation de rabattement des eaux souterraine actuellement observés dans la zone.

Tableau 4 : score d'efficacité environnementale des exploitations Scénario (1)

Niveau d'efficacité (%)	Scenario 1			
	CRS		VRS	
	Nombre des exploitations	% des exploitations	Nombre des exploitations	% des exploitations
$0 < EE_1 \leq 25$	31	56.36	14	25.45
$25 < EE_1 \leq 50$	11	20	17	30.90
$50 < EE_1 \leq 75$	3	5.45	5	9.09
$75 < EE_1 \leq 100$	10	18.18	19	34.54
Moyenne	0.36		0.56	
L'efficacité d'échelle	0.64			

EE1 : efficacité environnementale correspondante au scénario 1

Ce scénario est caractérisé par une évaluation purement environnementale qui est due à une application stricte de la législation en vigueur. Les résultats sont montrés dans le tableau 4 suivant.

Les résultats des scores d'efficacité dans le tableau (4) montrent que sous l'hypothèse de rendement d'échelle variable (VRS), les exploitations ont un score moyen d'efficacité environnementale égal 0.56. Cette faible efficacité est due principalement au groupe des exploitations qui ont un score entre 0% et 25% qui constituent 25,4 % de la totalité des exploitations enquêtées. De plus, on remarque aussi que plus que 56 % des agriculteurs enquêtés ont une efficacité environnementale inférieure à 50 % ce qui signifie que le rabattement de la nappe peut être réduit de la moitié chez plus que la moitié des agriculteurs de la zone.

4.2. Scénario (2) d'amélioration de la productivité des exploitations : quelle efficacité technique des exploitations de la zone d'étude

Dans ce deuxième scénario on va s'intéresser dans une première étape à calculer l'efficacité technique des exploitations. Ensuite, on change le vecteur d'output par le vecteur qui permet d'atteindre une efficacité technique totale chez tous les agriculteurs et on calcule encore une fois l'efficacité environnementale EE2.

Tableau 5 : score d'efficacité productif des exploitations Scénario (2)

Niveau d'efficacité (%)	Scenario 2 – étape 1			
	CRS		VRS	
	Nombre des exploitations	% des exploitations	Nombre des exploitations	% des exploitations
1 < ET ≤ 2	24	16.36	30	30.90
2 < ET ≤ 3	18	27.27	16	29.09
3 < ET ≤ 4	13	32.72	9	5.45
Moyenne	2.21		1.93	
L'efficacité de l'échelle	1.14			

ET : efficacité technique

Les résultats du tableau (5) montrent que sous l'hypothèse de rendement d'échelle constant (CRS) la moyenne des scores d'efficacité (output oriented) est de 2.21. Ceci signifie que l'output actuel des exploitations agricoles dans la zone d'étude peut être doublé en utilisant la même quantité d'input.

4.3. Efficacités environnementales suite à une amélioration de l'efficacité technique des exploitations.

Dans cette deuxième étape du deuxième scénario, l'objectif maintenant est de calculer encore une fois l'efficacité environnementale (EE2) mais après avoir atteint l'efficacité technique des

exploitations. Cette EE_2 serait donc calculé en utilisant les même inputs du scénario 1, mais avec un niveau d'output supérieur à celui utilisé dans le scénario 1.

Le tableau (6) montre que sous l'hypothèse rendement d'échelle constant (CRS) la moyenne des score d'efficacité environnementale est de 0.67 cette inefficacité est due principalement aux exploitations qui ont un score entre 0.75 et 1 avec un pourcentage de 45% du total des exploitations. Dans cette situation le rabattement de la nappe peut être réduit avec un pourcentage de 33%.

Tableau 6 : score d'efficacité environnementale des exploitations Scénario (2)

Niveau d'efficacité (%)	Scenario 2 – étape 2			
	CRS		VRS	
	Nombre des exploitations	% des exploitations	Nombre des exploitations	% des exploitations
$0 < EE_2 \leq 25$	3	5.45	0	0
$25 < EE_2 \leq 50$	12	21.81	3	5.45
$50 < EE_2 \leq 75$	15	27.27	9	16.36
$75 < EE_2 \leq 100$	25	45.45	43	78.18
Moyenne	0.67		0.90	
L'efficacité de l'échelle	0.74			

Sous la deuxième hypothèse de rendement d'échelle variable (VRS) la moyenne des scores d'efficacité environnementale est de 0.9 de même ce score peuvent être explique par la présence d'un grand pourcentage des exploitations 78% qui ont un score variable entre 0.75 et 1. Sous cette hypothèse de rendement d'échelle variable, il est clair que le rabattement de la nappe peut être réduit seulement de 10% après avoir amélioré les inefficacités techniques des exploitations agricoles.

Une comparaison entre l'efficacité environnementale des deux scénarios est décrite dans la figure 4 ci-dessous.

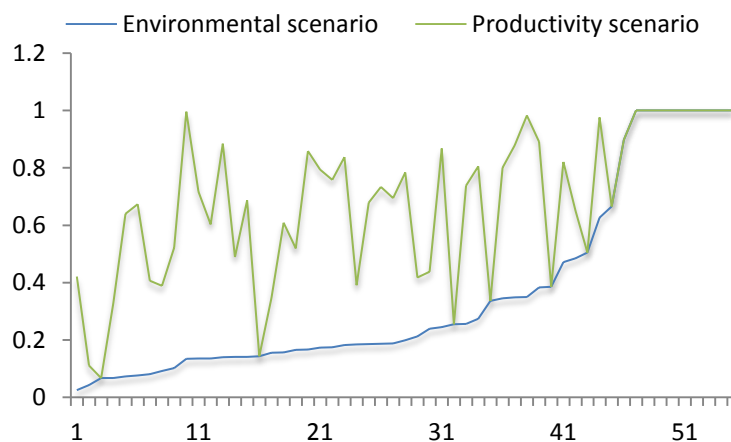


Figure 4 : graphique comparative de l'efficacité environnementale entre les deux scénarios

A partir de ce graphique comparatifs on peut constater que l'amélioration de l'efficacité environnementale dans le premier scénario peuvent atteindre jusqu'à 45% par contre dans le deuxième scénario ou l'amélioration du coté environnementale arrive en deuxième lieu le pourcentage est seulement de 10%. Donc pour mieux conserver les ressources en eaux souterraine dans cette région de Nadhour dont la situation est alarmante concernant la durabilité du système de production il faut noter que l'amélioration de la situation de ses ressources est prioritaire dans cette zone.

5. Conclusion

Les ressources en eaux souterraines jouent un rôle très important dans la vie socioéconomique des régions rural en Tunisie comme dans tout les pays du monde puisque cette ressource est la base de toute activité économique dans ses régions. Afin de conserver cette ressource de la sur exploitation et même de l'épuisement les décideurs politique doivent intervenir rapidement dans des régions comme celle du Nadhour qui souffre d'un épuisement presque complet de ses nappes souterraines.

Cette étude a montrée qu'en première étape, les décideurs politiques doivent appliquer et d'une manière strict toute réglementation ou politique ou instrument qui arrête le phénomène de la surexploitation. Ceci est la solution la plus rapide et la plus efficace qui peut mener à un ralentissement immédiat du niveau de rabattement de la nappe dans la zone d'étude. Le processus d'amélioration de la productivité est un processus de moyen et de long terme, qui peut même être bloqué à un certain moment à cause de la rigidité de la contrainte d'eau dans la région.

6. Référence

1. **Mette Asmild 2006:** Economic and Environmental Efficiency of Danish pig farms
2. **Aymen Frija, Ali Chebilb, ,Stijn Speelmana, ,Jeroen Buyssea, ,Guido Van Huylenbroecka (November 2009):** *Water use and technical efficiencis in horticultural greenhouses in Tunisia*
3. **Jean MARGAT(2004) .EXPLOITATIONS ET UTILISATIONS DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE MONDE, UNESCO et BRGM**
4. **Mounir Belloumi , Mohamed Salah Matoussi(2007) :** *Impacts de la salinité sur l'efficience technique de l'agriculture irriguée : application au cas des Oasis de Nefzaoua en Tunisie*
5. **FAO, Rome, 1997:** Water Resources of the Near East Region: a review
6. **Olivia Aubriot 2006:** Baisse des nappes d'eau souterraine en Inde du Sud : forte demande sociale et absence de gestion de la ressource
7. **BANQUE AFRICAINE DE DÉVELOPPEMENT, FONDS AFRICAIN DE DÉVELOPPEMENT (AVRIL 2000) POLITIQUE DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU. OCOD**
8. **Raqa AL ATIRI (2006) :** *Evolution institutionnelle et réglementaire de la gestion de l'eau en Tunisie Vers une participation accrue des usagers de l'eau*