



**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](mailto: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.*



## **Evaluation économique de la dégradation de l'eau d'irrigation Etude de cas: La région de Korba**

**By:**

**Ayoub Fouzai  
Mohamed Salah Bachta  
Marwa Ben Brahim  
Eya Rajhi**

*Invited paper presented at the 4<sup>th</sup> 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.*

## **4- Evaluation économique de la dégradation de l'eau d'irrigation**

### **Etude de cas: La région de Korba**

**FOUZAI AYOUB**

Département d'Economie Rurale - Institut National Agronomique de Tunisie –

43 Avenu Charles Nicolle 1002 Tunis Belvédère – Tunisie

Téléphone : +216596013636

E-mail : [fouzai.ayoub@gmail.com](mailto:fouzai.ayoub@gmail.com)

**BACHTA MOHAMED SALAH**

Département d'Economie Rurale - Institut National Agronomique de Tunisie –

43 Avenu Charles Nicolle 1002 Tunis Belvédère – Tunisie

E-mail : [bachta.ms\\_09@yahoo.fr](mailto:bachta.ms_09@yahoo.fr)

**BEN BRAHIM MARWA**

Département d'Economie Rurale - Institut National Agronomique de Tunisie –

43 Avenu Charles Nicolle 1002 Tunis Belvédère – Tunisie

E-mail : [benbrahim.marwa@gmail.com](mailto:benbrahim.marwa@gmail.com)

**RAJHI EYA**

Département d'Economie Rurale - Institut National Agronomique de Tunisie –

43 Avenu Charles Nicolle 1002 Tunis Belvédère – Tunisie

# Evaluation économique de la dégradation de l'eau d'irrigation

## Etude de cas: La région de Korba

Ayoub FOUZAI, Mohamed Salah BACHTA, Marwa BEN BRAHIM et Eya RAJHI

### Résumé

Etant donné l'ampleur du phénomène de la salinité en Tunisie, sa prise en compte dans le calcul économique devient de plus en plus indispensable. Il s'agit d'internaliser cette externalité à travers l'ajustement des coûts par la valeur économique de la dégradation. Le choix a porté sur l'une des méthodes d'évaluation dite indirecte : la méthode de productivité. Ce cadre d'analyse a requis l'estimation d'une fonction de production pour deux zones dont seule la qualité de l'eau d'irrigation diffère. En plus des facteurs de production, une variable dummy a été introduite pour caractériser la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation. Les résultats empiriques ont montré que l'augmentation de la salinité de 1%, engendre une diminution de la productivité de 15%, ce qui confirme les hypothèses de départ.

**Mots clés :** Méthodes d'évaluation, salinité, dégradation, méthode de productivité, fonction de production.

### Abstract

Salinity is turned up to be the major problem of water resources in Tunisia. Given the magnitude of this phenomenon, including resource's deterioration in the economic calculation becomes increasingly required. It is to internalize this externality through the cost adjustment by the economic value of degradation. The choice has focused on one of the so-called indirect methods of evaluation: the method of productivity. This analytical framework has required the estimation of a production function for two zones of which only the quality of irrigation water differs. In addition to production factors, a dummy variable was introduced to characterize the quality of water used for irrigation with a value of 1 indicating the state of degradation. Empirical results have shown that increasing the salinity of 1% causes a decrease in productivity by 15%, which confirms the initial assumptions.

**Key words:** Evaluation methods, salinity, degradation, method of productivity, production function.

# 1. Introduction

Dans les deux prochaines décennies, on s'attend à ce que près du trois quart de l'accroissement global de la production des principales denrées de base résulterait de l'amélioration du rendement agricole. Dans la dernière décennie 50% seulement de l'accroissement de la production agricole était dû à l'amélioration du rendement des cultures. En effet, les régions du monde à forte densité de population disposent de moins en moins de terres fertiles qui n'ont pas encore été cultivées. L'irrigation des cultures est donc un des principaux moyens à mettre en pratique pour augmenter la superficie des terres cultivées et pour accroître la productivité des terres agricoles existantes. Par conséquent, l'irrigation va prendre de l'essor à la fois pour accroître le rendement des terres déjà cultivées, ainsi que pour permettre la culture de terres encore classées comme marginales ou bien sans valeur agricole (FAO, 2004).

C'est dans ce contexte que l'irrigation a constitué une voie privilégiée du développement agricole partout dans le monde, particulièrement en méditerranée, et a bénéficié d'une attention particulière des pouvoirs publics. Ainsi de grands aménagements hydrauliques et hydro-agricoles ont été mis en œuvre. Les objectifs escomptés autour de l'irrigation ont été quasiment atteints ; aussi l'irrigation a-t-elle permis de contribuer substantiellement à satisfaire les besoins alimentaires croissants de la population, d'une part, et de promouvoir un développement économique et social autour des périmètres irrigués, d'autre part.

En fait, les zones irriguées ont joué un rôle déterminant, en tant que véritables pôles de développements agricole et rural, tant au niveau local que régional. Globalement les retombées de l'irrigation sur l'économie des pays ont été amplement démontrées. Si les impacts positifs de l'irrigation militent en sa faveur, il n'en demeure pas moins que son développement est souvent accompagné de plusieurs changements et/ou dégradations des milieux physique, biologique et humain.

Ces impacts, jugés négatifs, peuvent être liés aux modes d'exploitation des eaux et des sols au sein des périmètres irrigués, ils peuvent aussi résulter des activités industrielles et/ou d'urbanisation liées au développement des périmètres irrigués. Dans certains cas, les zones irriguées peuvent subir des phénomènes exogènes de dégradation. La durabilité aussi bien des infrastructures hydro-agricoles que des ressources naturelles risque d'être compromise si des solutions adéquates aux problèmes environnementaux inhérents à l'irrigation ne sont pas adoptées.

C'est devenu ainsi, l'une des préoccupations majeures des différentes organisations internationales ainsi que des gouvernements des pays, dont l'agriculture continue par se positionner à un rang encore important.

En Tunisie, l'agriculture irriguée accapare près de 83% du volume total de l'eau mobilisée. La superficie allouée à l'irrigation est passée de 50.000 ha en 1960 à 405.000 ha en 2009, une augmentation moyenne de 7244 ha/an. En effet, les ressources en eau sont sujettes à une forte variabilité temporelle à la fois saisonnière et interannuelle. Elles sont aussi inégalement réparties géographiquement et surtout sans correspondance avec la localisation de la demande. Par ailleurs, le pays est confronté à d'autres problèmes de qualité d'eau, notamment la salinité : problème majeur des ressources en eau en Tunisie, avec 53% des ressources mobilisées qui ont un taux de salinité supérieur à 1,5 g/l (Institut Tunisien des Etudes Stratégiques, 2002). En zones côtières, la salinité pourrait aggraver la rareté et inversement.

La plaine de la côte orientale du Cap Bon, située au nord-est de la Tunisie, a connu un accroissement démographique (Jalalia, 2008) comme dans toutes les zones côtières du pays. Cette augmentation de la population a entraîné le développement des activités agricoles, industrielles et touristiques et, en conséquence, l'accroissement de la demande en eau de ces différents usagers. Cette demande est assurée en grande partie par la seule ressource

disponible sur place qui est la nappe de la côte orientale du Cap Bon par l'intermédiaire de puits de surfaces dont le nombre ne cesse d'augmenter. Avec un potentiel en eau de 50 millions de mètres cubes par an ( $\text{Mm}^3/\text{an}$ ) environ, cette nappe est utilisée en grande partie pour l'irrigation des cultures maraichères. L'augmentation du nombre des puits, leur approfondissement continu, et le développement du pompage, ont entraîné l'augmentation de l'exploitation à un taux de  $55 \text{ Mm}^3/\text{an}$  (DGRE, 2005). Cette surexploitation a engendré une dépression de la piézométrie, et a entraîné, ainsi, l'inversion du gradient hydraulique et l'intrusion marine. Cela a affecté significativement la qualité de l'eau, et en conséquence, la réduction du développement agricole dans la région et l'abandon des puits qui sont proches de la côte de la mer (Ennabli, 1980 ; Rekaya, 1989 ; Jemai, 1998).

Face à ce problème de salinité, un périmètre de sauvegarde a été instauré depuis 1998 au niveau de la zone de Diar El Hojjej (Korba) où le problème de la salinité est accru, pour compléter les apports d'eau provenant des puits de surface. L'alimentation de ce périmètre se fait par les eaux du Nord, à travers le canal Medjerda-Cap Bon. Ce périmètre couvre une superficie de 800 ha et a redonné la vie aux exploitations, abandonnées depuis plusieurs années.

Ces investissements déployés par l'Etat, dans le but d'atténuer les coûts des dommages occasionnés par la dégradation de la qualité de l'eau par la salinité, peuvent être quantifiées ou facilement estimés. Le problème dans ce cas, comme pour tout processus d'évaluation d'un bien environnemental, réside essentiellement dans la quantification des coûts des dommages occasionnés par cette dégradation de la qualité de l'eau. Face à une panoplie de techniques et de méthodes d'évaluation de la dégradation des biens environnementaux, la question qui se pose dans cette étude est : ***Quelle(s) est (sont) la (les) méthode (s) la (les) plus appropriée(s) pour évaluer la dégradation de ce bien environnemental ? Quels seraient les impacts politico-économiques d'un tel phénomène jugé accentué ?***

On se propose d'estimer la valeur économique de la dégradation de la qualité de l'eau, par la salinité, moyennant une évaluation indirecte : la méthode de productivité. Il s'agit d'estimer une fonction de production dans deux zones, l'une dans les périmètres privés irrigués (en présence de salinité), l'autre dans les périmètres publics irrigués (absence de la salinité). Le papier sera structuré comme suit ; une première partie destinée aux antécédents de la littérature économique, une deuxième partie sera dédiée à l'approche méthodologique choisie et une troisième partie sera consacrée à la présentation des résultats de l'estimation ainsi qu'à l'interprétation des résultats.

## **2. Etat des lieux théorique**

L'évaluation des biens et services environnementaux donne sur une multitude de techniques d'évaluation du coût de dégradation des ressources naturelles. Ces techniques peuvent être classées en deux groupes de méthodes ; les méthodes dites indirectes dont l'approche se base sur le couple dose-réaction, et les méthodes dites directes qui prennent comme fondement le comportement humain face à la dégradation d'un bien environnemental donné.

Ainsi, Bachta et ben Mimoun (2001), ont estimé la valeur économique de la dégradation du sol par le phénomène d'érosion, pour le bassin versant de l'Oued M'Silah, en Tunisie. Cette approximation a été faite par un différentiel des productivités entre les sols dégradés, et les sols protégés. Ces productivités ont été déduites de l'estimation économétrique d'une fonction de production. La valeur économique de la dégradation du sol est estimée à 34,45 DT/ha. Datta et Jong (2002), ont essayé d'estimer la valeur économique des pertes dues à la dégradation de la productivité des terres agricoles par deux problèmes majeurs à savoir la

salinité et l'hydromorphie. L'analyse des résultats a permis de dégager la valeur nette actuelle du dommage due à la salinisation et l'hydromorphie.

Atis (2004), a utilisé la méthode de changement de productivité pour évaluer l'impact de la dégradation du sol par la salinité sur la production du coton. Pour cela, il a procédé par une collecte de données moyennant une enquête d'exploitation. L'estimation d'une fonction de production Cobb Douglas a permis d'évaluer à 34,4% la baisse de production due au problème de salinité.

Houk et al (2006) ont étudié l'impact de l'hydromorphie et de la salinité du sol sur l'agriculture irriguée. Les relations entre le rendement et l'hydromorphie ont été estimées économétriquement en utilisant une synthèse de sources de données secondaires. Les résultats montrent un impact significatif de la salinité et de l'hydromorphie.

Sarraf et al (2007) ont étudié l'impact de la salinité et de l'hydromorphie, dont le coût des dommages occasionné est estimé à une perte annuelle de production équivalente à environ 1% de la contribution du secteur irrigué. Environ 80% de cette perte est de court terme (l'impact d'une année) et 20% est permanente (irréversible).

Lilyan et Richard (1998) ont examiné les changements dans la productivité agricole dans 18 pays en voie de développement au cours de la période de 1961-1985. Ils ont utilisé une fonction de production Cobb-Douglas à un indice de production non paramétrique, à base de Malmquist, et un coefficient de variables paramétriques. Leur but consistait à examiner si leurs estimations confirmaient les résultats des autres études qui ont indiqué une baisse de la productivité agricole dans les pays moins développés.

### **3. Méthodologie**

Nous pouvons, à présent, définir l'approche méthodologique nous permettant de confronter ces différentes hypothèses à la réalité.

#### **3.1. Choix et justification de la méthode**

Dans le cadre de ce travail, l'évaluation du coût économique de la dégradation de la qualité de l'eau a été évaluée selon une technique indirecte faisant référence à la théorie de production.

Cette technique cherche à approximer la dégradation par un différentiel des productivités des sols dans les périmètres publics irrigués ou il y a absence du problème de salinité, et, dans les périmètres privés irrigués ou il y a présence du problème de salinité. Les résultats issus de cette technique font l'objet d'une comparaison interzone.

L'adoption de cette approche part de l'hypothèse supposant que, pour deux zones identiques sur le plan édapho-climatique, socio-démographique et technique mais différentes du point de vue qualité de l'eau d'irrigation, la différence de productivité n'est autre que la différence des productivités du facteur eau dans chaque zone. Les productivités du facteur eau seront différentes (Huang et Rozelle, 1994).

Cette approche requiert alors l'estimation d'une fonction de production (Heady et Shaw, 1954 ; Wampach, 1967 ; Cline, 1970 ; Hayami et Ruttan, 1971 ; Lilyan et Richard, 1998) dans les deux zones pour mesurer la différence de productivités du facteur eau. L'approche économétrique demeure une solution adéquate pour le travail empirique. ?

Généralement, pour qu'un modèle, représentant une fonction de production, soit faisable, sa construction doit impliquer un compromis entre deux types d'ajustement nécessaires (Heady et Dillon, 1972) ;

- D'une part, les variables considérées dans le modèle sont déterminées par la nature et la disponibilité de l'information ;
- D'autre part, la représentation fonctionnelle est choisie pour être manipulable sur le plan statistique (en termes d'estimation et de test).

La forme algébrique correcte du modèle n'est jamais connue au préalable, mais elle est tributaire de la connaissance du processus de production et aussi des fondements théoriques permettant de garantir l'existence des propriétés requises.

L'écriture algébrique du modèle est conforme à la fonction de production du type Cobb-Douglas, qui est représentée par un modèle linéaire. La forme log-linéaire est souvent utilisée dans les modèles de demande et de production (Griliches, 1964 ; Hayami et Ruttan 1971).

### **3.2. Précision des variables considérées**

Les variables introduites sont les suivantes :

- La variable à expliquer ou la variable dépendante Y : La productivité (PROD) ;
- Les variables explicatives utilisées sont : la charge moyenne de semence et/ou plants (SEM), la charge moyenne de fertilisants (FERT), la charge moyenne de traitement (TRAIT), la charge moyenne d'irrigation (IRRIG), la charge moyenne de main d'œuvre (MO) , la superficie de l'exploitation (SUP) et une variable dummy pour qualifier la qualité d'eau d'irrigation (QALEAU). Il est à noter que les variables se rapportant aux charges moyennes sont traduites en D.T par hectare. Les variables en question sont présentées avec plus de détail dans le tableau N°1.

Cependant, d'autres variables telles que la mécanisation (MECAN) et transport (TRANSP) n'ont pas été retenues dans le modèle postulé : la fonction log-linéaire n'admet pas des valeurs nulles que ces deux paramètres peuvent avoir.

**Tableau 1: Les facteurs conventionnels retenus dans la fonction de production.**

Variables		Désignation	Signe attendu
<b>Variable dépendante</b>	<b>PROD</b>	Moyenne pondérée de la productivité (DT/ ha)	
<b>Variables indépendantes</b>	<b>SEM</b>	Moyenne pondérée des charges des semences et/ou plants (DT/ ha)	(+)
	<b>FERT</b>	Moyenne pondérée des charges de la fertilisation (DT/ ha)	(+)
	<b>TRAIT</b>	Moyenne pondérée des charges des Traitements (DT/ ha)	(+)
	<b>MO</b>	Moyenne pondérée des charges de la Main d'œuvre (DT/ ha)	(+)
	<b>IRRIG</b>	Moyenne pondérée des charges de l'irrigation (DT/ ha)	(+)
	<b>SUP</b>	La Superficie Totale de l'exploitation (ha)	(+)
	<b>QUALEAU</b>	Une variable dummy qui traduit la qualité de l'eau d'irrigation, elle est égale à 1 si le problème de salinité existe, sinon zéro.	(--)

4.

#### 4.1.1. Spécification du modèle

L'approche méthodologique, dictée par la spécification algébrique du modèle, requiert l'estimation d'une fonction de production dans les deux zones pour ensuite mesurer la différence des productivités du facteur eau. L'estimation économétrique demeure une solution adéquate pour le travail empirique.

La fonction de production Dans les zones où la qualité d'eau d'irrigation est bonne est représentée comme suit :

$$\text{PROD} = f(\text{SEM}, \text{FERT}, \text{TRAIT}, \text{IRRIG}, \text{MO}, \text{SUP}, \text{QUALEAU})$$

Et le modèle s'écrit alors ainsi :

$$\begin{aligned} \text{LnPROD} = & \alpha_0 + \alpha_1 \text{LnSEM} + \alpha_2 \text{LnFERT} + \alpha_3 \text{LnTRAIT} + \alpha_4 \text{LnIRRIG} + \alpha_5 \text{LnMO} + \\ & \alpha_6 \text{LnSUP} + \mu \end{aligned} \tag{1}$$

La fonction de production Dans les zones où la qualité d'eau d'irrigation est médiocre (salinité élevée) est représentée comme suit :

$$\text{PROD} = f(\text{SEM}, \text{FERT}, \text{TRAIT}, \text{IRRIG}, \text{MO}, \text{SUP})$$

Et le modèle s'écrit alors ainsi :

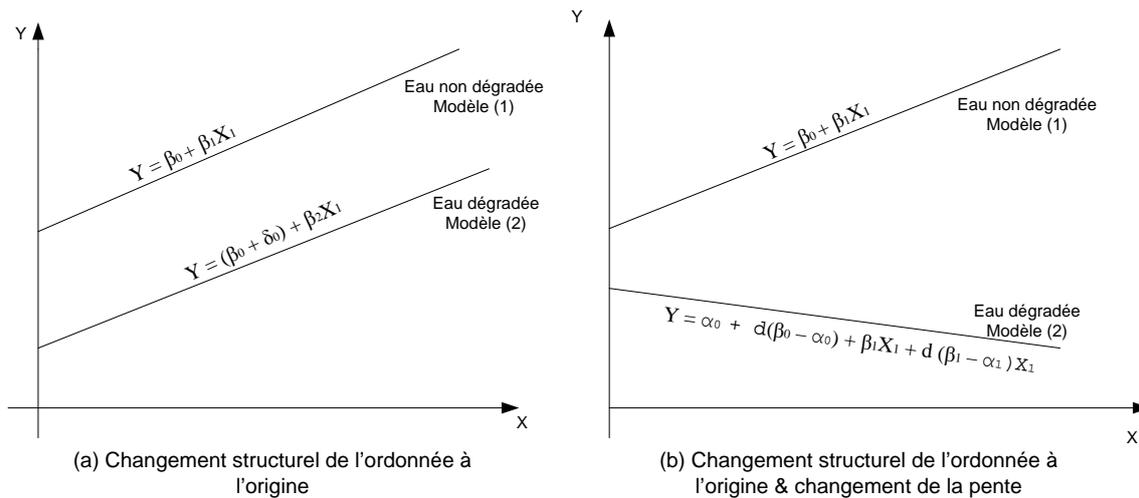
$$\begin{aligned} \text{LnPROD} = & \beta_0 + \beta_1 \text{LnSEM} + \beta_2 \text{LnFERT} + \beta_3 \text{LnTRAIT} + \beta_4 \text{LnIRRIG} + \beta_5 \text{LnMO} + \\ & \beta_6 \text{LnSUP} + \vartheta \end{aligned} \quad (2)$$

Où les  $\alpha_k$ , et les  $\beta_k$  sont les paramètres à estimer,  $\mu$  et  $\vartheta$  sont deux résidus aléatoires.

### Hypothèse :

L'hypothèse avancée stipule l'existence d'une différence significative entre les deux échantillons. Il s'agit de capter l'effet de la salinité sur la production et sur la productivité des facteurs, en passant d'une situation 1 (ressource non dégradée) à une situation 2 (ressource dégradée)

Méthodologiquement, pour capter l'effet de la dégradation de la qualité de l'eau sur les productivités moyennes et étant données les difficultés de caractériser économiquement cette dégradation, une variable dummy a été introduite comme régresseur dans l'équation finale. L'insertion de cette variable muette permet d'estimer les deux modèles sous la forme d'une seule régression. Cette variable dummy notée (QUALEAU) prendra la valeur 1 (QUALEAU = 1) s'il ya présence de salinité, et la valeur zéro (QUALEAU = 0) si non. Ainsi, deux cas de figures peuvent être recensés dans une application similaire ; (a) les deux modèles respectifs aux deux zones reproduirons une variation avec un changement structurel de l'ordonnée à l'origine, soit deux droites de régression parallèles ; (b) les deux modèles reproduirons une variation avec un changement structurel de l'ordonnée à l'origine et des différentes pentes (Voir Figure 1).



**Figure 1 : Effet des variables indicatrices dans le cas d'échantillon mixte.**

Ainsi, l'équation du modèle interzone peut s'écrire de la manière suivante (Bachta et Ben Mimoun, 2001) :

$$\begin{aligned}
 \text{LnPROD} = & \alpha_0 + d(\beta_0 - \alpha_0) + \alpha_1 \text{LnSEM} + d(\beta_1 - \alpha_1) \text{LnSEM} + \alpha_2 \text{LnFERT} \\
 & + d(\beta_2 - \alpha_2) \text{LnFERT} + \alpha_3 \text{LnTRAIT} + d(\beta_3 - \alpha_3) \text{LnTRAIT} \\
 & + \alpha_4 \text{Ln IRRIG} + d(\beta_4 - \alpha_4) \text{LnIRRIG} + \alpha_5 \text{LnMO} + d(\beta_5 - \alpha_5) \text{LnMO} \\
 & + \alpha_6 \text{LnSUP} + d(\beta_6 - \alpha_6) \text{LnSUP} + d + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Où  $\varepsilon$  est un résidu aléatoire.

Si la variable dummy  $\text{QUALEAU} = 1$ , l'équation (3) est la même que (2) et si  $\text{QUALEAU} = 0$ , l'équation (3) est la même que (1).

Conformément à l'hypothèse de départ que nous avons énoncé, la valeur économique de la dégradation de l'eau est déduite par la différence entre les constantes des deux modèles (1) et (2), soit le coefficient  $(\beta_0 - \alpha_0)$  associé à la variable muette ici dans notre cas la variable  $\text{QUALEAU}$  dans l'équation (3).

#### **4.1.2. Procédure d'estimation**

La méthode d'estimation adoptée est celle des moindres carrés Ordinaires (MCO). L'estimation a été menée moyennant le logiciel E-VIEWS.

### **5. Zone d'étude et Collecte de données**

La délégation de Korba choisie pour cette étude se situe dans la région du Cap Bon (Gouvernorat de Nabeul), où le problème de la salinité de l'eau se pose d'une façon aigue. La superficie agricole totale de cette zone est de l'ordre de 21 235 ha. La superficie agricole utile est de l'ordre de 17 720 ha, dont 1 500 ha pour les périmètres publics irrigués et 4 100 ha pour les périmètres privés irrigués.

Deux périmètres ont été choisis pour cette étude :

- (i) Le périmètre privé « Diar El Hojjej », une plaine agricole exploitée principalement à partir des eaux de la nappe phréatique surexploitée qui connaît une plus ou moins importante intrusion du biseau salée de la mer. L'autre partie des besoins est à satisfaire par un apport des Eaux du Nord ;
- (ii) Le périmètre public « Bou Youssef 1 », une plaine agricole exploitée en irrigué à partir des eaux du barrage « Chiba ».

### **6. Résultats et discussions**

Les statistiques descriptives des variables utilisées pour l'estimation de la fonction de production Cobb-Douglass pour les deux zones objet de l'étude peuvent être résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 2: Statistiques descriptives des variables utilisées dans l'estimation du modèle.**

	Observations	Moyenne	Médiane	Maximum	Minimum	Ecart-type
PROD	49	11007,2	6166,3	32000	1837,5	9222,8
SEM	49	1672,6	1340,0	3545,455	507,7	964,0
FERT	49	1260,1	784,0	4000	258,3	1064,7
TRAIT	49	602,5	333,3	2000	66,9	528,8
IRRIG	49	900,7	566,7	4500	92,3	968,0
MO	49	2080,9	1121,2	9312,5	230,8	2140,7
SUP	49	4,4	3,0	16	1,0	3,8
QUALEAU	49	0,7	1,0	1	0,0	0,5

### 6.1. Résultats de l'estimation économétrique

L'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) a permis d'avoir les résultats suivants :

**Tableau 3: Résultats de l'estimation économétrique de la fonction Cobb-Douglass.**

Variable	Régression avec Dummy comme variable explicative	Régression avec interaction entre Dummy et variables explicatives
Constante	2,4706*** (4,799)	2.799177** (2.16)
LnSEM	0,2393** (2,267)	0.5627376** (2.18)
LnFERT	0,2583*** (3,224)	0.2593714 (1.52)
LnTRAIT	0,2248*** (4,149)	0.0827013 (0.5)
LnIRRIG	0,0572* (1,356)	-0.0226496 (-0.31)
LnMO	0,1936*** (3,767)	0.0324761 (0.31)
LnSUP	0,0089 (0,283)	0.1273173 (1.11)
DLnSEM	-	-0.3681303 (-1.29)
DLnFERT	-	0.0228526 (0.11)
DLnTRAIT	-	0.1370733 (0.78)
DLnIRRIG	-	0.0490955 (0.47)
DLnMO	-	0.1881786 (1.53)
DLnSUP	-	-0.1444763 (-1.16)
QUALEAU (Dummy)	-0,1572 (-1,341)	-0.2534044 (-0.18)
Nbre d'observations	49	49
R <sup>2</sup>	0,970644	0,9720
R <sup>2</sup> Ajustée	0,965632	0,9616

Note : les valeurs entre parenthèses sont les t-student ;

(\*\*\* : seuil de significativité à 1 %, \*\* : seuil de significativité à 5 %, \* : seuil de significativité à 10 %)

Il est à rappeler que la spécification retenue dans cette étude est logarithmique. Compte tenu de la forme de l'équation du modèle et de sa forme statistiquement linéaire, l'élasticité de chaque variable explicative calculée sur la base de ce modèle est égale à la pente de la droite d'ajustement correspondante. Elle est donc constante et indépendante du niveau de la variable en question. Ce qui veut dire que les paramètres obtenus sont interprétés directement comme étant des élasticités. L'estimation de la fonction de production a donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \ln PROD = & 2,47 + 0,24 \ln SEM + 0,26 \ln FERT + 0,22 \ln TRAIT + 0,06 \ln IRRIG \\ & + 0,19 \ln MO + 0,01 \ln SUP - 0,16 \ln QUALEAU \end{aligned}$$

Avant de procéder à l'interprétation économique des résultats du modèle de régression, les tests économétriques pour juger de la fiabilité du modèle ont été réalisés, à savoir ; (i) Test de normalité des erreurs (test de Jarque-Bera), (ii) Test d'hétérosckélasticité des erreurs (Breusch-Pagan-Godfrey), (iii) Test d'autocorrélation résiduelle (Test D.W) et (iv) Test de Wald.

## **6.2. Interprétation des résultats**

Une fois les hypothèses sont vérifiées, il serait opportun de comparer les signes des paramètres estimés avec les signes attendus des paramètres de la régression en faisant recours à la théorie économique. En parallèle on va étudier la significativité individuelle des paramètres.

Dans le tableau 3 sont présentés les coefficients des variables étudiées. D'après ce tableau, le paramètre associé à la variable LnSEM est positivement significatif au seuil de 5 %. Le signe de cette variable est analogue aux attentes théoriques et confirme les résultats obtenus dans plusieurs autres études, et cela est expliqué par le fait que LnSEM et LnPROD varient dans le même sens. Ce coefficient est interprété comme l'élasticité de la production par rapport à la variable semence. Lorsque LnSEM augmente de 1%, LnPROD augmente de

0,24%. On constate que l'augmentation de la production est moins que proportionnelle à l'augmentation de LnSEM.

Pour l'élasticité de la production par rapport à la variable LnFERT, cette valeur est égale à 0,26. Ce coefficient est positivement significatif au seuil de 1 %. Le signe de cette variable est analogue aux attentes théoriques et confirme les résultats obtenus dans plusieurs autres études, et cela est expliqué par le fait que LnFERT et LnPROD varient dans le même sens. Lorsque LnFERT augmente de 1%, LnPROD augmente de 0,26% .On constate que l'augmentation de la production est moins que proportionnelle à l'augmentation de LnFERT.

De même, l'élasticité de la production par rapport à la variable Ln Trait est égale à 0,22. Ce coefficient est positivement significatif au seuil de 1 %. Le signe de cette variable est analogue aux attentes théoriques et confirme les résultats obtenus dans plusieurs autres études, et cela est expliqué par le fait que LnTRAIT et LnPROD varient dans le même sens. Lorsque LnTRAIT augmente de 1%, LnPROD augmente de 0,22% .On constate que l'augmentation de la production est moins que proportionnelle à l'augmentation de LnTRAIT.

Autant, l'élasticité de la production par rapport à la variable LnMO est égale à 0,19. Ce coefficient est positivement significatif au seuil de 1 %. Le signe de cette variable est analogue aux attentes théoriques et confirme les résultats obtenus dans plusieurs autres études, et cela est expliqué par le fait que LnMO et LnPROD varient dans le même sens. Lorsque LnMO augmente de 1%, LnPROD augmente de 0,19% .On constate que l'augmentation de la production est moins que proportionnelle à l'augmentation de LnMO.

Pour l'élasticité de la production par rapport à la variable LnSUP, cette valeur est égale à 0,01. Ce coefficient est positif conformément à la théorie économique mais non significatif. . Cependant, la variation de la variable superficie n'a pas d'influence sur la variabilité de LnPROD.

Quand au paramètre associé à la variable dummy « QUALEAU » il est de l'ordre de - 0,16. Ce coefficient est négatif mais non significatif. Le signe de cette variable confirme l'hypothèse émise au départ, de l'existence de différentiel de productivité en rapport avec la qualité de l'eau !!. Ce coefficient associé à la qualité de l'eau traduit la valeur économique de la dégradation de l'eau et explique le fait que l'augmentation de la salinité de 1% engendre une diminution de la productivité de 0,16 %.

L'estimation du modèle avec interaction n'a pas de soubassement théorique, ainsi, le fait que les résultats ne soient pas statistiquement fondés, n'était pas surprenant. Cependant, hormis un pouvoir explicatif robuste, en se focalisant sur l'interprétation des signes relatifs aux variables testées, on tend à confirmer l'hypothèse de départ. La pente de Y change positivement en corrélation avec les pentes des différentes variables lorsque la ressource passe d'une situation 1 (dégradée) à une situation 2 (non dégradée).

Les agriculteurs les plus pauvres sont ceux qui sont le plus vulnérables à la dégradation de l'environnement car ils cultivent pour la plupart dans des conditions difficiles. Quelques agriculteurs exploitent les meilleures terres; la grande majorité des autres cultivent les terres moins fertiles et marginales. L'aggravation de la dégradation va vraisemblablement altérer la qualité des approvisionnements en eau potable et en eau d'irrigation des agriculteurs, ainsi que la qualité de leurs terres, Pour pouvoir envisager de mettre fin aux pratiques non durables et réduire les concentrations de sels et de produits agrochimiques qui découlent directement de la dégradation des ressources en terres et en eaux, il faudrait commencer par une action collective et à long terme d'amélioration de la gestion des terres et des eaux.

Le développement agricole et rural n'a généralement pas profité des initiatives systématiques d'analyse et de gestion de l'environnement. L'une des raisons de cette mise à l'écart passée est sans doute le très grand nombre de projets (grands et petits) qui auraient pu faire l'objet

d'une évaluation, mais qui auraient totalement submergé les organismes d'évaluation de l'environnement. L'évaluation de l'impact sur l'environnement s'applique généralement à la planification de projets d'équipement, mais rarement aux plans de culture et de développement rural. C'est ainsi qu'ont persisté la planification malavisée et les pratiques d'utilisation des terres mal adaptées.

## **7. Conclusion**

A l'échelle nationale, la part de l'agriculture en eau était le résultat d'une dure épreuve d'arbitrage. Parallèlement, le secteur irrigué lui-même accapare la part du lion dans la consommation agricole en eau. Des résultats promettant sont ceux qu'a réalisés l'agriculture irriguée en termes de productivité mais dont le prix demeure trop cher : Une surexploitation de la nappe conjuguée, à une dégradation de la ressource autant sur le plan quantitatif que qualitatif. Un état des lieux alarmant qui se prononce un peu partout dans le pays, précisément dans la région du Cap Bon là où la salinité s'accroît davantage. A Korba, comme ailleurs, les agriculteurs voient leurs terres se dégrader de jour en jour, corrélativement leur production et leurs revenus, voir même leur position sur le marché.

C'est dans le cadre de ce travail, qu'on s'est proposé d'estimer la valeur économique de la dégradation de la qualité de l'eau par la salinité, moyennant une méthode indirecte : La méthode de productivité. Cette approximation s'est faite par un différentiel de productivité entre la zone « Diar El Hojjej », irriguée par une eau de qualité médiocre, et la zone « Bou Youssef », irriguée par une eau de bonne qualité.

Les résultats ainsi retrouvés peuvent constituer un jalon à des travaux de recherches ultérieurs pour poursuivre l'analyse, dans ce contexte, et ceci, en tenant compte de quelques éléments dont on n'a pas pu en tenir compte vu le temps accordé et la disponibilité de l'information :

Le recours à une estimation alternative via une autre méthode : celle de l'évaluation contingente, étant donné le caractère non marchand de la dégradation de la qualité de l'eau, dont l'évaluation requiert une technique hypothétique.

En effet, il serait possible de calculer désormais le consentement à payer (CAP) de l'agriculteur pour l'amélioration de la qualité de l'eau dont il dispose.

De plus, l'évaluation faite était la première facette du médial. Une analyse bénéfice-coût du projet d'investissement hydraulique dans la zone « Diar El Hojjej » pourrait constituer une fructueuse assise de recherche ultérieure qui prendra, pour assise, justement, cette modeste contribution en termes de quantification effective du coût de la dégradation de la ressource eau.

## **8. Références**

**Atis E., 2004.** Economic impacts on cotton production due to land degradation in the Gediz Delta, Turkey. *Land Use Policy* 23. pp 181–186.

**Bachta M.S. et Ben Mimoun A., 2001.** Evaluation économique de la dégradation du sol en Tunisie : cas d'étude le sous-bassin versant de l'Oued M'Silah. *Medit*, N°1/01 p : 26-34.

**Bojo J., 1995.** The Costs of Land Degradation in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics* 16, p: 161-173.

**Cline W.R., 1970.** Economic consequences of a land reform in Brazil, north Holland publishing co., Amsterdam, 1970, pp: 64-65.

**Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE). 2005a.** Situation de l'exploitation des nappes phréatiques de Tunisie. DGRE.

**Ennabli M., 1980.** Etude hydrologique des acquièrès du nord de la Tunisie pour une gestion intégrée des ressources en eau.

**FAO, 2004. L'eau, l'agriculture et l'alimentation.** Une contribution au Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau

**Griliches Z., 1964.** Research Expenditures, Education and the Aggregate Agricultural Production Function", The American Economic Review, volume XIV, décembre 1964, n°6.

**Hayami Y, and Ruttan V.W., 1971.** Agricultural development, an international perspective, the Johns Hopkins press, Baltimore. p: 86.

**Heady E, et Shaw R., 1954.** Resources returns and productivity coefficients in selected farming areas », Journal of Farm Economics, 36. pp: 243-257.

**Heady E.O, et Dillon J. L., 1972.** Agricultural production functions, Ed. Iowa State University Press, pp.195-217.

**Houk E, Frasier M, Schuck E., 2006.** The agricultural impacts of irrigation induced waterlogging and soil salinity in the Arkansas Basin agricultural water management 85. pp : 175 – 183.

**Huang J., 2000.** Land Degradation in China: Erosion and Salinity. A Report of the World Bank.

**Jalalia H., 2008.** L'urbanisme et le développement dans le gouvernorat de Nabeul: Problématique et défis ; Dans « Dynamiques territoriales et développement dans le gouvernorat de Nabeul ; Unité de recherche et développement, conseil régional du gouvernorat de Nabeul, Tunisie.

- Jemai S., 1998.** Evolution de l'état de la nappe de Korba : Etude hydrogéochimique et modélisation numérique. DEA.INAT.180p
- K.K Datta and C.de Jong. 2002.** Adverse effect of waterlogging and soil salinity on crop and land productivity in northwest region of Haryana, India. Agricultural Water Management. Volume 57, Issue 3, 30 December 2002, Pages 223-238.
- Lilyan E. F., and Richard K. P. 1998.** Agricultural productivity in developing countries. Agricultural Economics 19 (1998) 45-51
- Wampach J., 1967.** Les sources des différences interrégionales de productivité du travail agricole : une analyse économétrique, Québec.
- Rekaya M., 1989.** Le contexte hydrogéologique de la nappe aquifère de la cote orientale du Cap -Bon (Tunisie) et les problèmes causés par la surexploitation. DGRE, Tunis.48p.