

# Irrigation d'appoint de la céréaliculture: variabilité régionale et importance de l'encadrement technique

HATEM DELLAGI\*, TAHER AKKARI\*\*, ASMA LASRAM\*\*\*

Jel classification: Q10, Q15, Q50

## 1. Introduction

Dès le lendemain de l'indépendance, l'Etat tunisien a consenti un effort considérable pour la mobilisation des ressources hydrauliques. Il en a résulté un élargissement des terres irrigables. Dans l'ensemble, le mode de valorisation agricole de ces ressources est notoirement marqué par la dominance des cultures maraichères et l'arboriculture. La pratique de la production céréalière intensive moyennant l'irrigation d'appoint est demeurée confinée dans des niveaux relativement faibles.

Pourtant, en matière d'approvisionnement céréalier, la Tunisie s'est bel et bien enlisée dans une dépendance alimentaire structurelle et ce en dépit de l'objectif constamment proclamé de construction d'une autosuffisance alimentaire.

Les tensions qui, depuis 2007, secouent les marchés des produits de base et tout particulièrement le marché mondial du blé ébranlent intensément les politiques de régulation sociales. En effet, le renchérissement des prix mondiaux alourdissent la "facture alimentaire" et mettent les pouvoirs politiques devant un dilemme épineux, à savoir: comment éponger les coûts additionnels? Faire sup-

## Abstract

*On étudie dans cet article l'effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement céréalière en Tunisie et ceci dans une logique de valorisation du savoir faire scientifiquement apporté aux exploitants agricoles. Cette étude analyse les résultats d'une enquête poursuivie sur sept années consécutives au niveau de deux catégories d'exploitants qui pratiquent la céréaliculture irriguée. Le premier groupe bénéficie d'un ensemble d'actions d'encadrement portant sur la vulgarisation de différentes formes d'innovations technologiques, tandis que l'autre est suivi sans aucune forme d'aide technique. La comparaison des deux populations et les spécificités des différentes régions étudiées ont été mises en exergue à partir d'une analyse en composantes principales et de la régression PLS (moindres carrées partielles). La maîtrise de l'usage des eaux d'irrigation, la rationalisation de la fertilisation ainsi que le travail du sol au nord du pays sont mieux valorisées par les exploitations bénéficiant d'un soutien.*

**Mots clés:** Irrigation d'appoint, Analyse en composantes principales, Régression PLS, Innovation technologique.

## Résumé

This work deals with the regional characteristics of the supplied irrigation effect on the cereal yield in Tunisia. It underlines the value of the knowledge how scientifically brought to farmers. This study analyses the results of an inquiry carried on over seven consecutive years at the level of two categories for farmers practising irrigated wheat farming. The first category of farmers is taking advantage of a set of the technological support actions which related both to the vulgarization of different forms of technological innovations and the miscellaneous forms of support in kind, while the second category of farmers is granted no form of support. The specification of the different regions studied in Tunisia and the comparison of the two farmers categories studied is brought out by the Principal Components Analysis technique and the PLS regression. The mastering of the irrigation waters use, the rationalization of the fertilization as well as the soil exploitation in the north of the country are better valorised by the supported farmers.

**Key world:** Supplied irrigation, Principal Component Analysis, PLS Regression, Technological package.

porter la hausse structurelle des prix aux consommateurs serait, au-delà d'une certaine limite, de nature à attiser les revendications de révision salariales et altérerait la compétitivité chancelante de l'économie tunisienne. Eponger la hausse des prix d'importation grâce à la compensation se heurte, quant à elle, aux difficultés budgétaires de l'Etat.

C'est justement au regard de cette nouvelle donne dont tout indique qu'elle est structurelle que se pose la question du rôle que les périmètres irrigués sont susceptibles de jouer face à l'exacerbation de la dépendance alimentaire, ne serait-ce que pour en atténuer l'ampleur.

Au regard de l'état des connaissances agronomiques du moment, c'est le stress hydrique lié au climat tunisien et tout particulièrement aux conditions pluviométriques qui est la

plus importante source de perturbation du cycle de développement des céréales en Tunisie. De ce fait, il représente la principale contrainte à l'intensification de la culture céréalière et empêche donc l'accroissement des rendements. L'irrigation d'appoint pourrait combler ce déficit hydrique. Combinée avec des techniques adéquates en matière de préparation des sols, de fertilisation, de défense des cultures et de choix des variétés à haut potentiel productif, l'irrigation d'appoint serait la solution pour un accroissement significatif des rendements. (Filali, 2002) montre que l'irrigation d'appoint des céréales permet non seulement d'augmenter la productivité des sols de plus de 140%, mais aussi procu-

\* LAREQUAD. Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis.

\*\* Laboratoire d'Intégration Economique Internationale. Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis.

\*\*\* Institut Supérieur des Sciences agronomiques de Chott Mariem.

re une marge nette économique suffisante qui contrebalance les charges fixes et proportionnelles et augmente le bénéfice net des exploitations agricoles.

En Tunisie un programme national d'irrigation d'appoint a été lancé en 1987, et depuis, le gouvernement tunisien n'a cessé d'encourager l'expansion des périmètres irrigués céréaliers et d'apporter un soutien technique aux agriculteurs pour améliorer leurs pratiques en matière d'irrigation. En effet, pendant les vingt dernières années, les céréales irriguées ont triplées de surface atteignant une emblavure de 76200ha en 2009 (ONAGRI 2009). Cependant, en terme de rendement les progrès ne sont pas encore très satisfaisants avec une moyenne nationale très fluctuante autour de 32q/ha (Zairi et al., 2003) et frôlant les 40q/ha pendant l'exceptionnelle campagne 2008/2009. Non seulement cette moyenne est très loin des 70q/ha, le potentiel moyen des variétés tunisiennes améliorées (Mailhol et al., 2004) mais elle est aussi en deçà du seuil 50q/ha jugé économiquement rentable (Zaïri et al., 1998).

Dans les périmètres irrigués, comme l'eau n'est plus le principal facteur limitant, les freins à l'intensification sont alors principalement liés à la mauvaise gestion des techniques culturales. Parmi ces problèmes on peut citer : la non maîtrise des principes de pilotage de l'irrigation (Zaïri et al. 2003), la mauvaise gestion de la fertilisation azotée (Latiri-Souki et al., 1998, Rayan et al., 2009), la rotation (Lopez-Bellido et al., 2000; Turner, 2004), le semis tardif (Oweis et al., 1998)...

Dans ce travail on s'appuiera sur les données d'une enquête entreprise auprès de deux catégories d'exploitations le premier groupe est soutenu sur le plan de la gestion des techniques culturales alors que le deuxième est juste suivi sans être conseillé. L'objectif de ce travail est la caractérisation des variabilités régionales et l'étude de l'importance de l'encadrement technique sur la productivité céréalière en Tunisie dans le cadre de l'irrigation d'appoint.

## 2. Les données

Afin d'élucider l'incidence de l'irrigation d'appoint sur l'amélioration de l'efficacité des systèmes de cultures céréalières, on s'appuie sur les résultats d'une enquête entreprise auprès de 589 exploitants dans 10 gouvernorats qui fournissent la quasi-totalité de la production céréalière : Bizerte, Ariana, Jendouba, Béja, Le Kef, Siliana, Zaghuan, Kairouan, Kasserine et Sidi bouzid. Ces exploitants ont été suivis durant 7 campagnes consécutives allant de 1988/1989 à 1994/1995.

L'ensemble de ces exploitants qui pratiquent la culture du blé avec l'irrigation complémentaire se subdivise en deux groupes:

- Les exploitants qui ne bénéficient d'aucune forme d'encadrement.
- Les exploitants bénéficiant d'un encadrement portant sur la vulgarisation d'un savoir-faire technologique.

Ces données couvrent des informations relatives aux volumes des précipitations, au rendement céréalier, au volume d'irrigation, au travail du sol, à la fertilisation, aux techniques culturales, aux conditions de production environnementales: le précédent culturale, la mécanisation, la date de semis, le type du sol, le désherbage et enfin le climat. Le détail des informations quantitatives recueillies est présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 1 - Récapitulation des informations recueillies par l'enquête.

Variabes	Symboles	Unité	Description
Engrais azoté	N	Kg/ha par cycle	Fertilisation
Engrais phosphaté	P	Kg/ha par cycle	
Nombre d'apports azotés	NAN	Par cycle	
Dose de semis	DOS	Kg/ha	Données agronomiques
Précédent culturel	PC		
Variété	VAR	Karim, Razeg et Khier	
Type du sol	TS		
Surface céréalière irriguée	CI	ha	Travail du sol
Gros labour	GL	h/ha	
Recroisement	R	h/ha	
Nombre de recroisement	NR	h/ha	
Durée totale du travail du sol (GL+R)	NR1	h/ha	
Pluviométrie annuelle	PAN	mm	Eau= Pluie et irrigation
Pluviométrie durant la campagne agricole	PBLE	mm	
Volume d'eau d'irrigation	VE	m <sup>3</sup>	
Nombre de tours d'eau durant le mois suivant le semis (période d'installation)	NI1		
Nombre de tours d'eau durant la période qui suit l'installation et avant la floraison	NI2		
Nombre de tours d'eau durant les deux derniers mois du cycle (période de formation du produit)	NI3		
Rendement en paille	PA	Balles / ha	Rendement
Rendement en grains	RDM	q/ha	

Le précédent culturel, le type du sol, l'année ainsi que la variété sont des variables qualitatives. Elles ont été numérotées en fonction des nombres de modalités et des rendements maximaux observés pour chaque modalité. En pratique la dernière modalité qui porte le plus grand numéro est celle qui est associée au plus fort rendement observé dans la base.

## 3. Analyse statistique

L'analyse des données est basée en premier lieu sur la comparaison entre les moyennes et les bornes des intervalles de confiance relatives aux différentes régions et aux deux catégories d'exploitation suivi et démonstration. L'application de l'analyse en composantes principales permettra en second lieu d'expliquer les principales sources de variation des rendements aussi bien à l'échelle de toute la base qu'au niveau des échantillons relatifs aux régions.

Les rendements enregistrés trahissent une variabilité significative (Tableau 2). Ceci est, sans conteste, en rapport avec la disparité pédoclimatique des campagnes agricoles et des régions qui sont sub-humide au nord et semi-aride à aride au centre de la Tunisie. Si on s'en tient à l'étendue des valeurs observées, les moyennes dans les parcelles de démonstration se situent dans une fourchette allant de 26 à 53 quintaux. En revanche dans les parcelles de suivi le minimum et le maximum sont respectivement de 19 et 44 quintaux. Ce résultat est aussi confirmé par l'analyse comparative des minimas et maximas qui dessinent la même tendance avec des valeurs plus grandes de sept points ou plus pour les parcelles de démonstration par rapport aux parcelles de suivi. Au regard de cette différence, on est fondé de penser que l'introduction de l'irrigation d'appoint doublée d'un apport en savoir-faire portant sur l'ensemble des séquences constituant le système des cultures, est de nature à rehausser substantiellement les rendements.

Cet état de fait est d'autant plus significatif qu'on enregistre dans les zones semi-aride des rendements comparables et parfois plus élevés que ceux obtenus dans les meilleures conditions agro climatiques de production, en l'occurrence l'étage bioclimatiques humides et subhumide et ceci grâce à la pratique d'une irrigation d'appoint bien raisonnée dans les parcelles de démonstration.

Quelques exceptions sont toutefois à relever. En effet, dans les régions de Siliana et de Sidi Bouzid et Zaghouan, les rendements moyens obtenus respectivement dans les exploitations de suivi et de démonstration ne dénotent en rien une quelconque différence significative qu'on pourrait attribuer à l'encadrement. Ce constat, associé à un niveau relativement moyen des rendements traduit des problèmes de la qualité de l'encadrement dans ces trois régions semi arides.

En tout état de cause, grâce à l'irrigation d'appoint même les rendements moyens obtenus sont sans commune mesure avec ceux réalisés en moyenne par l'agriculture pluviale. En effet, les rendements pluviaux moyens à l'échelle régionale ne dépassent souvent les 20 quintaux/ha.

Par ailleurs, les résultats de l'application de l'analyse en composantes principales aux différentes variables quantitatives toutes régions confondues montrent que les trois facteurs qui captent l'essentiel de l'information sont:

- L'eau (pluie et irrigation) comme étant la combinaison de pluviométrie et de l'irrigation explique 32.89 % de l'information

- La fertilisation (N, P et NAN) accapare 24.2 % de l'information
- Le travail du sol (GL, R et NR) explique, quant à lui 12.6% de l'information.

Cependant, appliquée aux différentes délégations concernées par l'enquête cette analyse descriptive multivariée n'aboutit pas au même ordre d'importance des trois facteurs de productions cités précédemment. Ceci pourrait être attribué à la variabilité de la spécificité pédoclimatiques des différentes régions. En effet, pour la région de Bizerte appartenant à l'étage subhumide, la pluviométrie et les irrigations excédentaires associées au type argileux des sols ont un effet négatif sur le rendement. Ceci n'est pas le cas dans la délégation de Béja appartenant au même étage climatique grâce à ses sols équilibrés, fertiles et profonds. La fertilisation s'avère le facteur qui explique le plus de variabilité dans la délégation de Jendouba appartenant à l'étage semi-aride supérieur. L'irrigation et le travail du sol constituent les facteurs de variation les plus déterminants pour les régions du centre à climat aride et semi-aride inférieur.

Tableau 2 - Rendements céréaliers moyens et intervalles de confiance des différentes délégations.

Délégation	Parcelle	Moyenne	Intervalle de confiance à 95%	
			Borne inférieure	Borne supérieure
ARIANA	1	31,190	27,768	34,612
	2	39,755	36,299	43,212
JENDOUBA	1	35,143	29,863	40,423
	2	42,889	38,232	47,545
BIZERTE	1	44,547	40,857	48,236
	2	53,000	47,720	58,280
SILIANA	1	<b>37,147</b>	<b>33,759</b>	<b>40,53€</b>
	2	<b>37,333</b>	<b>32,053</b>	<b>42,613</b>
BEJA	1	36,393	31,820	40,965
	2	44,250	32,152	56,348
KEF	1	19,546	14,974	24,119
	2	26,249	22,642	29,85€
ZAGHOUAN	1	<b>30,250</b>	<b>21,695</b>	<b>38,805</b>
	2	<b>29,706</b>	<b>23,838</b>	<b>35,574</b>
KAIROUAN	1	32,260	28,170	36,350
	2	39,817	36,769	42,866
KASSERINE	1	29,047	22,799	35,294
	2	48,357	41,891	54,824
SIDI BOUZID	1	<b>39,659</b>	<b>34,501</b>	<b>44,818</b>
	2	<b>37,200</b>	<b>32,455</b>	<b>41,945</b>

Graphique 2 - Carte de la Tunisie. Les gouvernorats ciblés par l'enquête sont en gris foncé.



L'encadrement agricole pour l'amélioration des rendements porte surtout sur la fertilisation azotée et phosphatée, la gestion de l'irrigation et quelques pratiques culturales telle que la densité de semé. Ceci se manifeste à travers la comparaison des deux catégories d'exploitants (Tableau 3) ou la différence des moyennes des facteurs de production se révèle très significative. C'est le cas de l'irrigation pendant les deux phases initiale et finale du cycle qui permettent respectivement de garantir une bonne installation de la culture et un fort taux de remplissage des grains. En matière de fertilisation à part la quantité, le nombre d'apports azotés marque la différence entre les parcelles de suivi (1) et de démonstration (2). Ces derniers ont souvent opté vers trois apports pour améliorer l'assimilation de l'ammonitrate vu son caractère très mobile dans le sol.

Tableau 3 - Relation entre le type de parcelle et les techniques culturales.

	parcelle	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
NI1**	1	,54	,629	,036
	2	,76	,628	,037
NI2	1	1,56	1,485	,086
	2	1,71	1,499	,089
NI3**	1	,58	,794	,046
	2	,80	1,000	,059
P**	1	143,39	73,249	4,362
	2	184,58	32,826	1,938
N*	1	192,11	101,786	5,926
	2	275,67	71,405	4,215
DOS**	1	148,64	27,030	1,579
	2	157,00	15,125	,893
NR1	1	2,62	1,337	,077
	2	2,79	,865	,051
NAN**	1	1,99	,868	,050
	2	2,22	,753	,045

\*\* très significatif ; \* significatif

## 4. Estimation des facteurs de production céréalière

### 4.1. Méthodologie

L'estimation de la production céréalière repose sur l'efficacité de combinaison des facteurs de production.

Faut-il rappeler que les méthodologies classiques ne sont

pas adaptées pour la détermination des poids des différents facteurs explicatifs de la production céréalière. A ce propos, trois contraintes sont traditionnellement invoquées: la multi colinéarité, la variabilité spatiotemporelle et le nombre important de variables explicatives. Pour l'estimation des coûts de production agricoles, Desbois (2006) compare deux versions de modèle économétrique: L'estimation du type Régression PLS (Moindre Carrées partiels) ainsi que l'approche SUR (Seemingly Unrelated Regression). Il en conclut que la première s'avère plus adaptée que la seconde. Dans la quantification et la prédiction de la minéralisation de l'azote (N) du sol in situ, Valé (2006) montre que l'approche PLS est plus appropriée que la régression linéaire multiple (RLM) car elle permet une meilleure explication et prédiction.

Dans notre cas, cette technique est tout à fait adaptée aux données recueillies. Elle permettra d'expliquer:

- d'une part, les relations structurelles du modèle conceptuel présenté dans la suite.
- d'autre part, une comparaison entre les trois régions céréalières: le nord est et le nord ouest à climat humide et sub-humide à la région du centre à climat semi aride prononcé.

Ces trois régions accaparent environ 93% de la production céréalière. En effet 54% de la production est fournie par le nord du pays contre 38% pour le centre.

La description détaillée de la modélisation structurelle sur variables latentes par la méthode PLS est présentée par (Tenenhaus, 1999).

Les données sont formées de 6 groupes de variables  $X_{j=1,\dots,n} = \{x_{j,1}, \dots, x_{j,n}\}$  observées sur 589 individus, les variables  $x_{j,i}$  sont appelées variables manifestes. Chaque groupe de variables constitue l'expression observable d'une variable latente  $\xi_j$  centrée-réduite. Dans une construction réflexive, les variables manifestes  $x_{j,i}$  sont reliées linéairement à leur variable latente:

$$x_{j,i} = \pi_{ji} \xi_j + \varepsilon_{ji} \quad (2)$$

$\pi_{ji}$  est le coefficient de régression,  $\varepsilon_{ji}$  est le résidu.

Les variables latentes  $\xi_j$  représentent dans notre cas les quatre facteurs de production, en l'occurrence la fertilisation (fert), le travail du sol (sol), l'irrigation (Irrig) et enfin le climat représenté par les pluviométries annuelles et saisonnières ainsi que l'année. La cinquième variable latente est une variable modératrice (moderate) de la relation qui lie ces cinq variables exogènes à la variable endogène rendement ou production céréalière.

Le rendement est une variable latente (rdmt) construite à partir de la paille (pa), et de la production en grains. La relation structurelle entre les facteurs de production et le rendement est alors:

$$\text{Rendement} = \sum_{j=1,\dots,5} \beta_j \xi_j + o_j \quad (3)$$

$\beta_j$  est le coefficient de régression,  $o_j$  est le résidu.

Les variables latentes  $\xi_j$  sont estimées par des approxima-

tions externes  $Y_i$  et internes  $Z_i$  qui sont respectivement:

$$Y_i = X_i w_i \quad (4)$$

$$Z_i = \sum_{\substack{j \neq i \\ \xi_j \text{ relié à } \xi_i}} [\text{signe}(\text{corrélation}(\xi_j, \xi_i))] Y_j \quad (5)$$

$w_i$  le vecteur colonne des poids tel que  $w_{ij} = \text{corrélation}(Z_i, X_{ij})$  est initialisé à l'unité et la convergence du système est obtenue par un processus itératif. Les performances de cette approche sont évaluées par le pourcentage de variance moyenne expliquée (AVE) qui doit dépasser les 50%, l'indice de concordance (IC) qui doit être supérieur à 0.7 et le coefficient de détermination  $R^2$ . Le détail de ces paramètres est présenté par (Tenenhaus, 1998).

La communalité qui est une moyenne des carrés des corrélations, elle évalue la qualité du modèle externe pour chaque bloc (relation entre la variable latente et les variables manifestes ou items).

$$\text{Communalité}_j = \frac{1}{p_j} \sum_{h=1}^{p_j} \text{Cor}^2(x_{jh}, Y_j)$$

L'indice de redondance est défini comme étant une moyenne pondérée des carrés des coefficients de corrélations multiples entre les variables latentes et la variable à expliquer. Cet indice peut servir à sélectionner les variables latentes. La méthode Bootstrap permet, quant à elle d'estimer la significativité des paramètres du modèle.

Les gouvernorats ont été regroupés en trois grandes régions : le nord est (Ariana, Bizerte et Zaghouan), le nord ouest (Jendouba, Beja et Kef) et le centre (Siliana, Sidi Bouzid, Kasserine et Kairouan)

A titre d'illustration, nous nous limitons à la présentation du modèle conceptuel pour la région du nord ouest pour les exploitations de suivi (graphique 3). Pour les trois régions, Les résultats de la modélisation sont récapitulés dans le tableau 4.

### 4.2. Résultats et discussion

Les résultats consignés dans le tableau 4 appellent les observations suivantes:

Pour le nord est subhumide à semi-aride supérieur, la variabilité des rendements est mieux expliquée par l'irrigation dans le cas des exploitations de démonstration alors que dans le cas des exploitations de suivi, elle est mieux expliquée par la fertilisation et reste encore tributaire des quantités de précipitations. Ceci dénote la non maîtrise encore de la composante fertilisation et irrigation au niveau des agriculteurs non encadrés. Pour les parcelles de démonstration, le fort coefficient de régression lié au facteur d'irrigation et notamment celui lié à la fraction apportée pendant la phase de remplissage des grains montrent l'importance de l'adoption de l'irrigation d'appoint dans ces zones pour surmonter le déficit hydrique pendant la phase finale de production qui pénalise souvent les rendements.

Dans le nord ouest subhumide, comme dans le nord est la variabilité des rendements est mieux expliquée par la fertilisation dans le cas des exploitations de suivi marquant ainsi la même problématique de non maîtrise de la composante fertilisation. Pour les parcelles de démonstration cette variabilité est mieux expliquée par le travail du sol avec un poids plus important observé pour le gros labour. Ceci permet d'améliorer la profondeur d'enracinement, la réserve utile et les stocks d'eau dans les sols limitant ainsi l'effet du stress hydrique sur les céréales.

Dans le Centre où la région est plutôt semi aride à aride, la comparaison des exploitations de démonstration et de suivi présente des différences plus accentuées. En effet, la variabilité dans les parcelles de suivi est expliquée par l'irrigation puis par le travail du sol dont l'effet sur le rendement est lié en premier plan au gros labour. Ce qui n'est pas le cas pour les exploitations de démonstration où seule la variable modératrice permet d'expliquer la variabilité des rendements. Cette dernière traduit l'effet du type du sol, la surface irriguée et le précédent cultural sur la production céréalière. Le précédent cultural associé au type du sol permet d'atténuer l'effet négatif de la pauvreté des

sols tunisiens en matière organique sur les rendements.

La communalité (tableau 5) qui mesure la qualité du modèle interne pour chaque bloc est correcte pour la plupart des variables latentes sauf pour le travail du sol et la variable modératrice qui résume les variables manifestes environnementales dans le cas de la région du Nord Est. La performance de l'approche PLS mesurée par l'AVE est acceptable puisqu'elle dépasse le seuil de 50% pour les mêmes variables significatives attestant ainsi de la bonne qualité du modèle. Les coefficients de détermination sont très corrects et la variabilité de la production céréalière est mieux expliquée par les différents facteurs de production dans le cas des exploitations de suivi pour les régions du Nord Est et du Centre.

Graphique 3 - Modèle conceptuel des facteurs de productions céréalières (Exploitations de suivi).

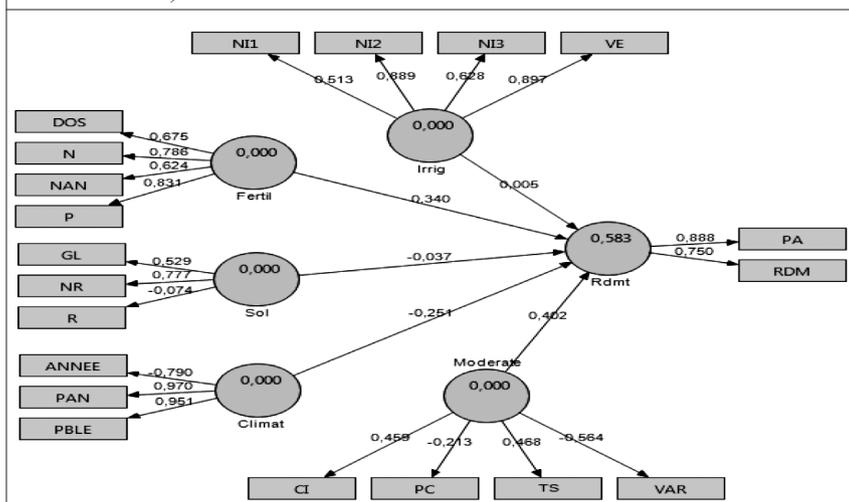


Tableau 4 - Résultats de la modélisation PLS.

VARIABLES LATENTES	Variables manifestes	Coefficients (modèle de suivi)			Coefficients (modèle de démonstration)		
		NE	NO	CO	NE	NO	CO
IRRIGATION		<b>-0.49</b>	<b>0.005</b>	<b>0.456*</b>	<b>1.033**</b>	<b>0.09</b>	<b>0.61</b>
	NI1	0.67**	0.513*	-0.37*	-0.25	0.616**	0.769**
	NI2	0.67**	0.889**	0.869**	0.628	0.623**	0.8**
	NI3	0.61**	0.625*	0.845**	0.801**	0.323*	0.87**
	VE	0.902**	0.987**	0.645**	0.088	0.931**	0.725*
TRAVAIL DU SOL		<b>-0.01</b>	<b>-0.037</b>	<b>0.229*</b>	<b>0.098</b>	<b>0.424**</b>	<b>-1.06</b>
	GL	-0.27	0.529	0.764**	0.684**	0.758*	0.776**
	R	-0.88**	-0.074	-0.46*	0.847**	0.545**	0.856*
	NR	0.89**	0.777*	0.613*	-0.65*	-0.198	-0.16
FERTILISATION		<b>0.62**</b>	<b>0.340**</b>	<b>0.301</b>	<b>0.692**</b>	<b>0.192*</b>	<b>0.502</b>
	N	0.93**	0.786**	0.889**	0.616**	0.887**	0.703*
	P	0.44*	0.831*	0.775**	-0.52**	0.740**	0.726*
	DOS	0.53*	0.675**	0.695**	0.778**	-	0.00
	NAN	0.82**	0.624*	0.834**	0.661*	0.901	0.298
CLIMAT		<b>0.27*</b>	<b>-0.259*</b>	<b>0.146</b>	<b>0.052</b>	<b>-0.144</b>	<b>0.606</b>
	PBLE	-0.84*	0.951**	0.972**	0.95**	0.828**	0.962**
	PAN	-0.81*	0.970**	0.971**	0.93**	0.937**	0.78**
	ANNEE	0.95**	-0.79**	-0.88**	-0.53*	0.763**	-0.67*
MODERATE		<b>0.47**</b>	<b>0.452**</b>	<b>0.473</b>	<b>6.268*</b>	<b>-0.266*</b>	<b>4.324**</b>
	CI	0.67**	0.459*	0.9**	-0.85**	-0.77**	0.885**
	VAR	0.45*	-0.564*	-0.54*	0.599**	0.588**	-0.37
	PC	0.37*	-0.213	-0.22	0.350	0.515**	0.876**
	TS	0.63**	0.468*	-0.06	0.801**	0.130	0.806**
RENDEMENT	PA	0.805**	0.888**	0.873**	0.895	0.93**	0.837
	RDM	0.882**	0.750**	0.851**	0.898	0.914**	0.885
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0.732</b>	<b>0.583</b>	<b>0.861</b>	<b>0.663</b>	<b>0.673</b>	<b>0.617</b>

\* T-statistics significatif, \*\* T-statistics très significatif

Tableau 5 - Résultats de la validité de la modélisation PLS.

Variables latentes	AVE						Communalité					
	Modèle de suivi			Modèle de démonstration			Modèle de suivi			Modèle de démonstration		
	NE	NO	CO	NE	NO	CO	NE	NO	CO	NE	NO	CO
Irrigation	0.669	0.56	0.506	0.276	0.43	0.628	0.88	0.83	0.664	0.35	0.72	0.87
Fertilisation	0.504	0.54	0.64	0.42	0.715	0.37	0.78	0.82	0.876	0.504	0.88	0.612
Travail su sol	0.55	0.296	0.39	0.53	0.502	0.45	0.05	0.42	0.317	0.36	0.602	0.566
Climat	0.75	0.82	0.89	0.68	0.71	0.66	0.39	0.71	0.776	0.656	0.54	0.53
Modératrice	0.368	0.198	0.29	0.4	0.21	0.56	0.679	0.007	0.001	0.005	-	0.588
Rendement	0.71	0.676	0.724	0.865	0.85	0.74	0.83	0.805	0.84	0.89	0.619	0.85

## 5. Conclusion

L'analyse des données statistiques disponibles et les conclusions auxquelles elle a donné lieu apportent finalement un ensemble d'indices qui sont de nature à éclaircir les termes du débat.

En premier lieu, l'irrigation d'appoint est, sans conteste, un ressort décisif d'accroissement particulièrement significatif des rendements céréaliers. Ceci apparaît à travers les rendements moyens enregistrés et qui sont considérablement plus élevés que ceux obtenus par la céréaliculture pluviale. De surcroît, là où l'irrigation a été adoptée, elle a altéré notablement la contrainte agro-climatique et apporte ainsi preuve que la céréaliculture intensive peut être envisagée hors des zones de prédilection traditionnelle.

En second lieu, force est de noter que, dans toutes les zones couvertes par l'enquête, les rendements réalisés accusent des disparités prononcées. Ce qui dénote l'existence d'une hiérarchie des exploitants du point de vue de la mai-

trise de l'ensemble des composantes du "paquet technologique" requis pour une pratique réussie de la céréaliculture irriguée.

L'encadrement n'est valorisé que dans les régions humides et la région semi-aride de Kasserine, ce qui doit amener les décideurs à revoir la configuration de l'appareil de développement agricole et d'assistance aux agriculteurs. Cette reconfiguration doit passer par la privatisation des conseils et le développement d'un marché de conseil en agriculture. La construction et la mise en œuvre d'une offre de conseils doit reposer sur l'obligation de résultats pour l'obtention d'une aide financière et la mobilisation des connaissances de différentes natures (scientifiques, techniques, locales,...)

## Remerciements

Nous remercions le professeur Netij Ben Mechlia et les membres du laboratoire de bioclimatologie de l'Institut National Agronomique de Tunisie d'avoir mis à notre disposition la base de données du projet PNUD/RAB/90/005.

## References

- El Chami D., Scardigno A., Zagnoli G., Malorgio G. (2011). Integrated Irrigation Water policies: Economic and Environmental Impact in the "Renana" Reclamation and Irrigation Board, Italy. NEW MEDIT n.2 2011.
- Filali B. (2002). Irrigation d'appoint des céréales. Une méthode d'analyses. Exemple de la région de Meknes. Revue H.T.E, N° 122.
- Latiri-Souki K., Nortcliff S. et Lawlor D. W. (1998). Nitrogen fertilizer can increase dry matter, grain production and radiation and water use efficiencies for durum wheat under semi-arid conditions. European Journal of Agronomy, 9(1), 21-34.
- Lopez-Bellido L.; Lopez-Bellido R. J.; Castillo J. E. et Lopez-Bellido F. J. (2000). Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. Agronomy journal. 92(6). 1054-1063.
- Mailhol J. C., Zaïri A., Slatni A., Ben Nouma B. et El Amani H. (2004). Analysis of irrigation systems and irrigation strategies for durum wheat in Tunisia. Agricultural Water Management. 70 (1), 19-37.
- ONAGRI (2009) <http://www.onagri.tn/statistiques/ANNUAIRES/2009/OCCU-SOL/>

Oweis, T., Pala, M. et Ryan, J. (1998). Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean climate. *Agronomy journal*, 90(5), 672-681.

Ryan J., Ibrikci H., Sommer R. et McNeill A. (2009). Chapter 2 Nitrogen in Rainfed and Irrigated Cropping Systems in the Mediterranean Region. *Advances in Agronomy*, 104, 53-136.

Tenenhaus M., (1998). *La régression PLS : Théorie et pratique*. Edition Technip, Paris.

Tennenhaus M. (1999). L'Approche PLS. *Revue de statistiques Appliquées* ; 47 (2), p 5-40.

Turner N. C., (2004). Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany*, 55 (407), 2413-2425.

Valé M. (2006). Quantification et prédiction de la miné-

ralisation nette de l'azote du sol in situ, sous divers pédoclimats et systèmes de culture français. Thèse, INRA, p 209.

Zaïri A., Slatni A., Mailhol J-C. et Achour H. (1998). Surface irrigation efficiency in cracking soils as influenced by water restriction. In L.S. Periera and J. W. Gowing (eds). *Innovation Issues in Irrigation and Drainage*. E & FN Spon Publishers. 120-130.

Zaïri A., Slatni A., Mailhol J-C., Ruelle P., El Amami H. (2003). L'irrigation de surface dans le contexte tunisien, perspectives d'amélioration sous différentes conditions de disponibilités en eau », Actes du Séminaire international Technologies et méthodes modernes d'irrigation : recherche, développement et essais, 14-19 Septembre 2003, Montpellier, AFEID.