

IMPACT DES VARIATIONS DES TEMPERATURES SUR LES RENDEMENTS DE BLE SOUS PIVOTS DANS LA REGION D'ADRAR

A. Laaboudi¹, B. Mouhouche², A. Slama^{3,4}

¹Institut national de la recherche agronomique d'Algérie. Station d'Adrar (Algérie)

laaboudiaek@yahoo.fr

²Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie. El Harrach, Alger (Algérie)

b.mouhouche@ensa.dz

Département des Mathématiques et d'Informatique, Université d'Adrar (Algérie)

Laboratoire de développement durable et Informatique, Université d'Adrar (Algérie)

Slama_dj@yahoo.fr

Résumé – Les potentialités en ressources hydriques souterraines et en terres dont dispose la région d'Adrar ont incité les pouvoirs publics à encourager les investissements agricoles dans cette région, notamment en céréaliculture. Cependant, les efforts colossaux déployés par l'état Algérien dans ce contexte en vue de promouvoir l'agriculture, et d'atténuer l'importation massive des produits alimentaires à l'échelle locale et nationale, n'ont pas abouti aux objectifs attendus. De nombreuses contraintes ont fait face au développement de la céréaliculture sous pivots, entre autres les perturbations climatiques durant le cycle végétatif de blé. Les résultats obtenus dans ce travail, indiquent que les rendements de blé sous pivots sont tributaires de l'évolution des températures extrêmes durant son cycle végétatif de la culture. Il s'est avéré que les minima absolus des trois mois : janvier, février et mars ont un effet significatif sur l'élaboration des rendements.

Mots clés : Ressources hydriques, région d'Adrar, céréaliculture, perturbations climatiques, températures extrêmes, rendements

Abstract- Potential groundwater resources and land in the Adrar region have prompted government to encourage investment in the region, particularly in cereals. However, the tremendous efforts made by the Algerian state in this context to promote agriculture and mitigate the massive importation of food products locally and nationally, have not led to the expected goals. Many constraints have faced development of cereals under pivots, for example, weather disturbances during the growth cycle of wheat. The results obtained in this work indicate that wheat yields under pivots are dependent on changes in temperature extremes during the vegetative cycle. It turned out that the absolute minimum of three months of January, February and March have a significant effect on the yield average of all regions.

Keywords: Water resources, Adrar region, cereals, climatic disturbances, extreme temperatures, yields

INTRODUCTION

La croissance démographique très importante, la forte demande alimentaire, les conséquences du réchauffement planétaire sont des éléments qui indiquent que l'avenir de la sécurité alimentaire en Algérie semble plus que menacée. L'agriculture dans le pays doit se montrer flexible pour faire face aux défis de la rareté et de dégradation des ressources naturelles de base et à l'instabilité des productions agricoles [1].

Il est évident que les céréales constituent la base de l'alimentation dans la plupart des pays méditerranéens du sud. Elles sont donc, jugées stratégiques dans la sécurité alimentaire des populations. Parmi les céréales, le blé qui a une place considérable dans la diète alimentaire des pays d'Afrique du Nord et représente souvent plus de 50% des apports énergétiques de la ration alimentaire [2].

De ce fait, le blé est un produit essentiel qui peut contribuer efficacement à l'assurance de la sécurité alimentaire en Algérie. Pour cela, le développement de la céréaliculture nécessite une attention particulière. Le blé est un des plus importantes cultures qui se comporte bien sous différentes conditions climatiques. La production mondiale est

estimée à 582.2 millions de tonnes contre une demande croissante qui atteint 600 millions de tonnes [3]. Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. Elles constituent l'épine dorsale du système alimentaire Algérien, et elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et de 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. C'est ainsi qu'au cours de la période 2001-2003, les disponibilités des blés ont représenté un apport équivalent à 1505,5 Kcal/personne/jour, 45,533 grammes de protéine/personne/j et 5,43 grammes de lipide/personne /J [4].

En Algérie, l'importance socio-économique des céréales est considérable puisqu'elles occupent 60% des terres effectivement cultivées, et représentent l'activité d'une masse importante de la population. Néanmoins, la production demeure faible, et oscille autour de 18 millions de quintaux pour les deux dernières décennies [5]. Le blé dur est la première céréale cultivée en Algérie, mais il est confronté aux stress abiotiques tels que la sécheresse et la salinité [6]. A cause du bas niveau de la productivité, la production de cette culture pluviale ne dépasse pas en moyenne à l'échelle nationale les 10 q/ha [7]. Grâce aux efforts déployés par l'état algérien, les rendements ont connu une amélioration importante durant les dernières années. En effet, d'après les statistiques agricoles, les rendements ont atteint les 16 q/ha [8].

En plus du niveau de technicité assez bas, la sécheresse qui sévit régulièrement marque davantage les faibles rendements. Cette dernière est installée dès qu'il y a un déficit en eau entre la pluviométrie et les besoins en eau des cultures [9].

La production des céréales, (jachère comprise) occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'hectares. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparaît donc comme une spéculation dominante, présente dans tous les étages bioclimatiques, y compris dans les zones sahariennes [4].

Ainsi, la couverture des besoins de consommation en céréales (blé et orge) est assurée à hauteur de 37,7 % par la production nationale au cours de la période 1995-2004. L'offre domestique demeure encore faible, le taux d'autosuffisance se situe aux environs de 28,4 % pour les blés (moyenne de 1995 /2004). La satisfaction de la demande intérieure est assurée alors essentiellement par les importations, à la hauteur de 72% environ pour les blés et à 30,4 % en moyenne pour l'orge.

De son côté Reid [10], signale-t-il que la rentabilité de la culture du blé, dépend de plusieurs facteurs, notamment le choix de la bonne variété, l'ensemencement au bon moment et dans de bonnes conditions pédologiques, la lutte contre les mauvaises herbes et la minimisation des pertes de récolte. La gestion des engrais est un élément important qui peut aider à assurer que les investissements portent leurs fruits.

En effet, malgré les efforts déployés en matière de développement de la céréaliculture [4], entre autres l'introduction de nouveaux facteurs de production et la tentative de mise en place d'une agriculture intensive, la production céréalière reste caractérisée par des variations notables liées aux paramètres climatiques qui sont difficiles à maîtriser. Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la superficie agricole utile (SAU), de la production et du rendement. Ainsi, le manque de précipitations, mais aussi la mauvaise répartition des pluies pendant l'année expliquent en grande partie la forte variation de la production céréalière.

Les potentialités en ressources hydriques souterraines et en terres disponibles dans les régions sahariennes ont incité les pouvoirs publics à encourager l'investissement agricoles, notamment en céréaliculture dans ces régions. Grâce à l'utilisation des

rampes pivotantes, les terres agricoles ont connu une hausse remarquable.

Il y a lieu de noter que la technique d'irrigation par centre pivot a été mise au point aux Etats Unis dans les années 50. Elle a permis de nos jours à des pays comme l'Arabie Saoudite d'atteindre leur autosuffisance en matière de céréales, en dépit des conditions climatiques très défavorables [11].

La région d'Adrar renferme des potentialités naturelles lesquelles peuvent consolider une base très forte pour constituer un essor important pour le développement agricole.

Cependant, les efforts colossaux déployés par l'état Algérien dans ce contexte en vue de promouvoir l'agriculture, et d'atténuer l'importation massive des produits alimentaires à l'échelle locale et nationale, n'ont pas abouti aux objectifs attendus. Les résultats réalisés sont toujours instables avec des fluctuations exorbitantes. Les rendements obtenus sont globalement inquiétants.

De nombreuses contraintes peuvent être à l'origine de cette situation dont notamment les variations climatiques. En effet, les travaux de Laaboudi et al. [12], et ceux de slama et al. [13] ont mis en évidence la réalité de changement climatique dans la région et son impact sur plusieurs facteurs de production.

MATERIELS ET METHODES

Localisation des sites expérimentaux

Notre expérimentation a été réalisée durant trois années consécutives 2005, 2006 et 2007 dans deux sites différents :

Le premier est situé dans le périmètre d'Aougrout à 110 km d'Adrar. Il s'agit d'un pivot installé à 10 km au Sud du chef-lieu de la daïra. Cette localité est connue par une température légèrement plus fraîche par rapport à la zone d'Adrar. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : Latitude : 28°42' Nord, Longitude : 0° 20' Est et altitude : 278 m.

Le second est situé dans la station expérimentale de l'INRAA d'Adrar, située à 5 km au sud du chef-lieu de la wilaya. C'est le milieu de la zone potentiellement agricole. Elle représente donc la moyenne du point de vue conditions climatiques de la région d'Adrar ; étant située entre, d'une part, la partie sud (Zaouite Kounta, Reggane et Aoulef) légèrement plus chaude et d'autre part, la partie nord (Tsabit, Aougrout et Timimoun) légèrement plus froide. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : Altitude : 278 m, Latitude : 27° 49 Nord et Longitude : 00°11 Ouest.

Les différents paramètres climatiques sont relevés à partir de la station météorologique située à l'intérieur de la station expérimentale (INRAA) d'Adrar, juste à proximité de la parcelle d'essai du blé. Il s'agit de la température, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent, la durée d'insolation et la pluviométrie.

L'analyse granulométrique indique que le sol d'Aougrout contient des taux d'argile et de limon supérieur à celui de la station expérimentale d'Adrar où le taux de sable est très élevé (85 %).

En ce qui concerne le matériel végétal ; pour les essais de la station expérimentale, il s'agit d'une variété de blé dur, s'appelée communément Shèn-S , elle est semi précoce et à paille courte. Pour les essais sous pivots, le matériel végétal utilisé diffère selon la disponibilité de la semence à la Coopérative des céréales et légumes secs (CCLS).

Le dispositif expérimental est de type : split plot avec :

5 traitements hydriques,

4 traitements de fertilisation,

3 trois répétitions.
Soit, 60 parcelles élémentaires.

Le semis

Durant la première campagne, la date de semis était le 12/12/2004, à la dose de 200 kg/ha. Il était tardif à cause de la crainte des attaques des criquets. Le précédent cultural est une luzerne, cette luzernière avait occupé la parcelle pendant 5 campagnes. Pour les deux autres campagnes le semis a été effectué le 14 et 15 novembre.

Cinq traitements hydriques sont effectués selon la fréquence d'arrosage (le mode d'irrigation ne permet pas des traitements selon des doses d'arrosage), chaque traitement s'effectue en deux fréquences selon les besoins en eau de la culture qui diffèrent très largement entre les premiers stades de croissance et les stades intermédiaires. La répartition des fréquences d'arrosage est effectuée aléatoirement (tirage au sort).

Quatre traitements différents sont effectués :

Traitement 1 : N, - Traitement 2 : Nk, - Traitement 3 : NP, - Traitement 4: NPK

Les apports de phosphore (P) et de potassium (K) sont faits avant le semis, à raison de 200 unité/ha et 100 unité/ha respectivement. Pour ceux de l'azote (N) (200 unité/ha), ils sont fractionnés de la manière suivante : 1/4, 1/3, 1/3 et 1/4 respectivement aux stades 3 feuilles, tallage montaison et floraison.

Le suivi de la culture s'effectue continuellement et ce pour évaluer le comportement de la culture vis-à-vis des traitements expérimentaux appliqués. Des notations périodiques sont faites pour estimer le développement des racines, de l'appareil végétatif, nombre de talles et l'indice foliaire.

Pendant les trois années, la température varie du 0°C en hiver à 49°C en été (Tableau 1). Le minimum absolu est enregistré comme souvent au mois de décembre et le maximum absolu est enregistré au mois de juillet.

Tableau 1 : variation des températures extrêmes et les moyennes mensuelles au cours de la période d'essai.

Mois	t	T	M	M	M-m	$\frac{M+m}{2}$
Janvier	1	28,5	5,56	20,36	14,8	7,4
Février	1	32,5	8,09	25,5	17,42	8,71
Mars	7	37,2	12,74	28,57	15,83	7,92
Avril	10	43	18,06	34,81	16,74	8,37
Mai	11,2	45	23,35	38,97	15,62	7,81
Juin	20,5	47,5	26,24	43,12	16,88	8,44
Juillet	26	49	30,85	45,95	15,1	7,55
Aout	26	48	29,45	45,22	15,76	7,88
Septembre	19	45	24,6	40,98	16,38	8,19
Octobre	11,3	42	22,57	34	11,43	5,71

Avec T est le maximum absolu observé, t est le minimum absolu observé, m est la moyenne des minima mensuels, M est la moyenne des maxima mensuels, M -m est la moyenne des écarts mensuels et $\frac{M+m}{2}$ est la moyenne mensuelle.

Durant les trois derniers mois de l'année les températures moyennes mensuelles sont presque identiques.

Humidité relative de l'air

Elle est souvent inférieure à 50 %. Elle dépasse ce seuil pendant quatre mois durant l'année. Pendant certaines périodes très courtes (jours pluvieux), durant lesquelles elle peut s'approcher de 100 %. La rosée est un événement très rare.

Le vent

Il souffle presque en permanence, la direction dominante est Nord-est. En direction ouest, il souffle souvent en violentes tempêtes de sable exerçant une double action : l'érosion et le transport et la sédimentation. Bien que la vitesse moyenne paraît faible, la vitesse instantanée peut être très grande et peut atteindre 100 km/heure, elle peut causer des dégâts importants sur les cultures et sur les systèmes de protection (serres, murs et brise-vent).

Durée d'ensoleillement

La durée de l'insolation est souvent supérieure à 7 heures par jour. Ceci indique que le ciel est dégagé la plus part du temps.

Evapotranspiration de référence

Ce paramètre est aussi important, elle il est en relation étroite avec les autres facteurs météorologiques, il indique que les besoins en eau des cultures sont importants. Les valeurs de l'évapotranspiration de référence (ET0) sont en générale élevées. Elles sont en relation étroite avec tous les autres facteurs météorologiques. Les valeurs maximales peuvent atteindre 10 mm/jour. Elles sont enregistrées durant les périodes chaudes et ventées.

Critères d'évaluation du modèle

Un ensemble de critères de performance sont utilisés pour évaluer le modèle. Le critère de Nash-Sutcliffe (E) proposé par Nash et Sutcliffe [14]. Il est calculé par la formule (1) selon Krause et al. [15]. C'est le critère le plus largement utilisé pour la prévision comme pour la simulation.

On considère, selon Line Kong [16], que la modélisation est acceptable si le critère de Nash est supérieur à 0,6-0,7. Au-delà de 0,9, le modèle est considéré comme bon à excellent. Il faut noter que dans l'expression du critère, le numérateur correspond à l'erreur quadratique moyenne. Ainsi, minimiser l'erreur quadratique revient à maximiser le critère de Nash.

Les autres critères de performance utilisés sont : Le coefficient de corrélation R (2), la racine de l'erreur moyenne quadratique RMSE (Root Mean Squared Error) (3); l'erreur moyenne relative absolue *MARE* (Mean Absolute Relative Error) (4) et la moyenne des carrés des erreurs *MSE* (Mean Squared Error) (5). Tous ces paramètres sont donnés par les relations suivantes :

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - Y_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y}_{obs})^2} \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})(Y_{sim} - \bar{Y}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{obs} - \bar{Y}_{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y}_{sim})^2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs} - Y_{sim})^2}{n}} \quad (3)$$

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_{obs} - Y_{sim}|}{|Y_{obs}|} \times 100 \quad (4)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs} - Y_{sim})^2}{n} \quad (5)$$

Avec

E efficacité (critère) de Nash-Sutcliffe, Y_{sim} ; Variable simulée, Y_{obs} ; Variable observée, \bar{Y}_{sim} ; moyenne de variable simulées \bar{Y}_{obs} ; moyenne de variable of observée, n Nombre d'observations.

Pour la régression multiple, on ajoute le test de F. statistique et T. statistique et aussi on doit vérifier le non colinéarité des paramètres en utilisant la matrice de corrélation et VIF (Variance Inflation Factor).

La statistique F est utilisé dans le but de déterminer si la relation entre la variable dépendante et les variables indépendantes est due au hasard. La statistique T est un test d'hypothèse qui permet d'évaluer la contribution marginal des paramètres pour l'estimation de la valeur du modèle. Si la valeur absolue de T est suffisamment élevée, C'est-à-dire supérieure à T théorique, nous pouvons conclure que le paramètre est utile dans l'estimation de la valeur du modèle. On dit que sa contribution est significative.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Influence de la température sur la culture du blé

Sans tenir compte de l'effet de différents traitements, l'analyse statistique indique que l'effet de la campagne (qui reflète la variabilité de la température) est significatif sur presque toutes les composantes de rendement sauf le poids de 1000 grains (PMG). Le PMG est plutôt influencé beaucoup plus par l'irrigation. Ainsi nous constatons que l'effet de l'irrigation seul ou en interaction avec les autres facteurs est hautement significatif (Tableau 2).

Tableau 2 : Analyse statistique de l'interaction (campagne/répétition/fertilisation/irrigation)

Traitements	Rd	BM	PMG	NGE	IR	LEP
Campagne	S	S	Ns	S	S	S
Fertilisation	Hs	Hs	Ns	Ns	S	Ns
Campagne .fertilisation	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
Irrigation	Hs	Hs	Hs	S	S	Hs
Campagne. irrigation	Hs	Hs	Hs	Hs	Hs	Hs
fer. irr	S	Hs	Ns	S	S	Ns
camp.fer. irr	Ns	S	Ns	Ns	nS	ns

Rd, Rendement, BM, Biomasse, PMG, Poids de 1000 grains, NGE, Nombre de grains par épi, IR, indice de récolte, LEP, longueur de l'épi, Hs, Hautement significatif, S, significatif, Ns non significatif, fer, fertilisation, irr, irrigation, camp, campagne

Si on analyse l'évolution de la température moyenne des deux dernières campagnes (dates de semis identiques), on trouve une grande différence entre les allures de celles-ci durant le cycle végétatif de la culture. Durant la campagne 2006/2007 (Fig.1), les stades finaux de la culture ont coïncidé avec une température modérée qui a permis une maturation progressive.

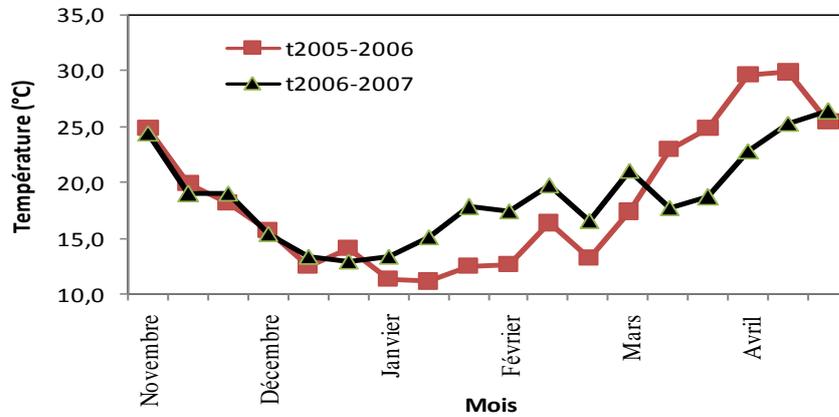


Fig.1 : Evolution de la température moyenne pendant le cycle végétatif du blé (°C/décade)

Il convient de dire que les données météorologiques de la région d'Adrar indiquent que les températures sont en fluctuations permanentes d'une année à une autre. C'est probablement la raison pour laquelle les rendements moyens du blé sous pivots et les rendements pics fluctuent à leurs tours d'une année à une autre (Fig. 02).

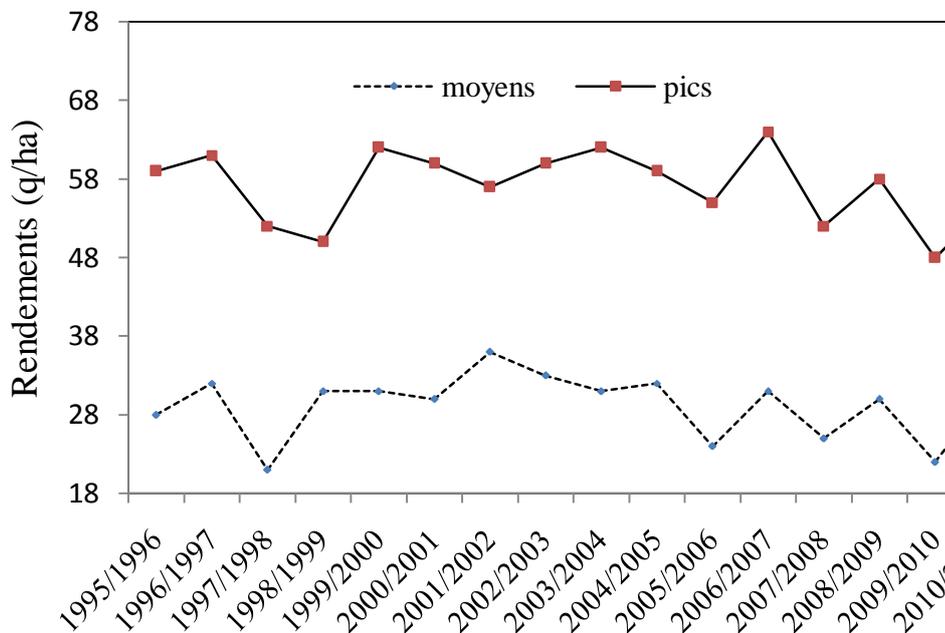


Fig. 2 : Evolution des rendements moyens et les rendements pics du blé sous pivots dans la région d'Adrar

En réalité, l'effet des températures est bien constaté sur terrain. A titre d'exemple, durant la campagne 2009/2010, les rendements réalisés sont les plus faibles (22 q/ha). Plus de 300 ha n'ont rien donné, 10 pivots ont été déclarés sinistrés à cause de température élevées enregistrées dès les premiers stades végétatifs de la culture. Les pivots à semis tardifs sont les plus touchés et les semis précoces ont réalisé des rendements plus faibles par rapport à la normal. Les rendements pics sont aussi les plus faibles ; 48 q/ha et ce, malgré qu'il n'y a pas une relation étroite entre les rendements moyens et rendements pics réalisés sous pivots de la région (Fig. 03).

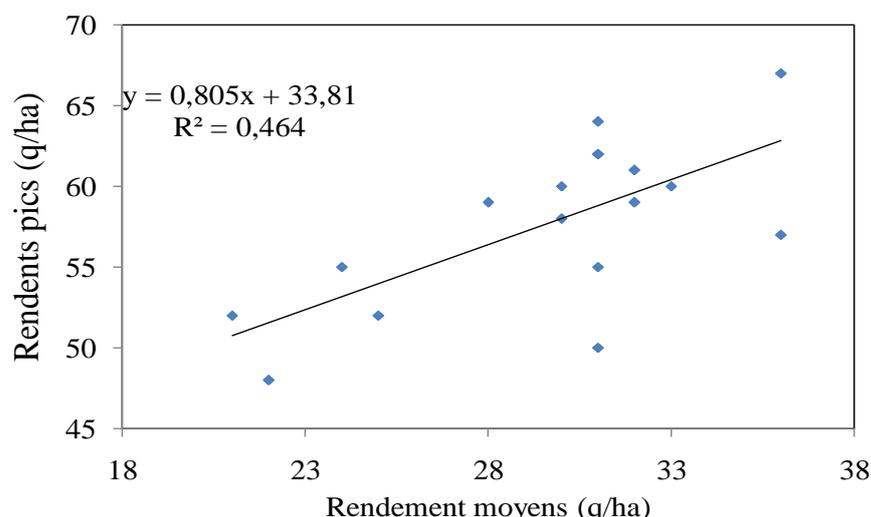


Fig. 03 : Relation entre les rendements moyens et les rendements pics

En outre, Pendant la campagne 2011/2012 durant laquelle les températures tout au long du cycle végétatif du blé sont relativement basses, les rendements obtenus sont les plus élevés ; 36 q/ha et 67 q/ha respectivement pour le rendement moyen et le rendement pic. Pour étudier l'impact de la température sur les rendements du blé sous pivots nous avons effectué l'analyse multi variée des 11 dernières campagnes (2002-2011).

Il convient de noter que la matrice de corrélation des variables (tableau 03) indépendantes indique qu'il n'y a pas de risque de la colinéarité étant donné que le seuil toléré ($|R|= 0,80$).

Tableau 03 : Matrice de corrélation des variables indépendantes

		Janvier		Février	Mars	
		T.Min	T.Max	T.Min	T.Min	T.Max
Janvier	T.Min	1,00	0,52	0,50	0,24	0,11
	T.Max		1,00	0,74	0,00	0,05
Février	T.Min			1,00	0,25	0,19
Mars	T.Min				1,00	0,43
	T.Max					1,00

Les résultats obtenus (tableau 04) indiquent que l'effet des températures basses et celui des températures élevées des trois mois ; janvier, février et mars sont significatifs à l'intervalle de confiance $\alpha= 0.05$.

Tableau 04 : Analyse multi variée de l'effet des températures sur les rendements du blé sous pivots

Paramètres	Coeff. de régression	Statistique t	Probabilité	R ²	statistique F	F théorique
Constante	77,46	8,20	0,0004	0,97	36,15	3, 34
T min janvier	-0,89	-3,08	0,0274			
T max janvier	0,96	4,16	0,0088			
T min février	-1,03	-5,09	0,0038			
T min Mars	-1,09	-5,41	0,0029			
T max Mars	-1,64	-9,44	0,0002			

Nous signalons que la valeur T théorique = 2,57 est inférieure à toutes les valeurs de statistique t, ce qui confirme que tous ces paramètres ont un effet significatif sur le rendement. En outre, la valeur de la statistique F est largement supérieure à la valeur de F théorique, ceci signifie que le coefficient de détermination est significatif.

Il faut noter que la date de semis est généralement située au mois de décembre, la maturation est effectuée pour la plus part des pivots à la fin du mois d'Avril. Les températures extrêmes au début de cycle (stades germination et 3 feuilles) et en fin de cycle (maturation) n'ont pas d'effets significatifs sur le rendement. Pour cette raison elles sont éliminées de l'analyse par la régression multiple.

Les coefficients de régression relatifs aux minimas absolus ont des signes négatifs, cela veut dire que ceux-ci évoluent en sens contraire avec les rendements, donc les valeurs de température les plus basses favorisent mieux l'obtention d'un bon rendement. Mais il faut tenir compte que les basses températures peuvent aussi avoir des conséquences négatives si elles coïncident avec certains stades critiques de la culture. Ainsi Tinuta et Johnson [17], déclarent que les températures froides peuvent provoquer d'importants dommages au stade épiaison, puisque le point végétatif (épi) n'est plus protégé. Ce phénomène s'est manifesté dans le côté Nord de la région d'Adrar suite aux gelées de février 2002. De plus, en cas de gelées pendant l'élongation des entre-nœuds, il peut y avoir affaissement et mort des jeunes tissus en croissance immédiatement au-dessus et sous les nœuds.

Aussi la valeur de statistique T relative au constant est élevée, ceci reflète la part important des facteurs non étudiés dans l'élaboration des rendements.

Il en résulte que pour effectuer un cycle de végétation complet, le blé doit être exposé à des températures froides durant une période de son cycle. Or la période de culture du blé dans la région d'Adrar est coincée entre deux périodes chaudes ; fin du mois de novembre pour la période de semis et fin de mois de mars et le mois d'avril pour la période de maturation. D'où, la production finale qui reste tributaire des conditions climatiques durant la campagne.

En revanche, un semis tardif, accélère les stades végétatifs et décale le cycle végétatif, car la vitesse de développement du blé pourrait être influencée par une moindre satisfaction des "besoins en froid" (vernalisation) pendant l'hiver. Ce non satisfaction se traduit par la réalisation d'une vitesse maximum de développement [18]. Le décalage du

cycle, peut conduire à la coïncidence des stades critiques avec les perturbations climatiques qui se manifestent par la fréquence du vent, des températures élevées qui provoquent l'échaudage et conduisent ainsi aux chutes de rendements.

Estimation des rendements

La présence d'un coefficient de détermination élevé et des coefficients de régression significatifs permet de construire un modèle d'estimation des rendements moyens du blé sous pivots dans la région d'Adrar en connaissant les températures extrêmes des trois mois ; janvier février et mars. Les paramètres statistiques obtenus indiquent que ce modèle est performant (tableau 05).

Tableau 05 : Paramètres statistiques du modèle d'estimation des rendements

R ²	E	MSE (q/ha) ²	RMSE (q/ha)	MARE (%)
0,97	0,97	0,74	0,54	2,07

Etant donné que le pourcentage de l'erreur est très réduit, donc on peut estimer le rendement moyen du blé sous pivot dans la région d'Adrar avec une faible marge d'erreur (Fig. 04).

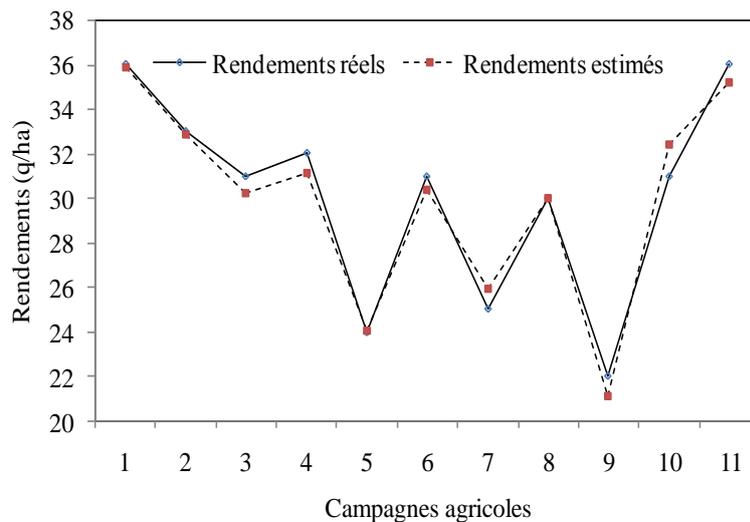


Fig.4 : Evolutions des rendements réelles et rendements estimés de blé sous pivots dans la région d'Adrar

L'équation de ce modèle est représentée sous la forme suivante :

$$Rdt = -0,88t_{jmin} + 0,96 t_{jmax} -1,03 t_{fmin} -1,09t_{mmin}-1,36t_{mamx}+77,46$$
 Avec :

Rdt = Rendement moyen (q/ha),

t_{jmin} : température minimale absolue de Janvier (°C)

t_{jmax} : température maximale absolue de Janvier (°C),

t_{fmin} température minimale absolue de février (°C),

t_{mmin} température minimale absolue de Mars (°C)

t_{mmax} ; température maximale absolue de mars (°C).

Ce modèle d'estimation du rendement ne peut être valable que dans les limites acceptables de variation de température qui ne détruit pas la culture.

Choix de date de semis

Les essais menés à la station expérimentale et sous pivot ont montré que l'effet de la date de semis sur le rendement est important.

Durant la campagne 2004/2005, les dates de semis étaient tardives dans les deux sites expérimentaux. On a réalisé des rendements faibles, 36 et 48.6 q/ha respectivement sous pivot et à la station expérimentale. Ceci est dû principalement au phénomène de l'échaudage qu'a subi la culture à cause de l'élévation brutale de température en fin de cycle.

Nous avons noté qu'au départ, le développement végétatif de la culture était excellent pendant toute la période de végétation, mais du fait que la date de semis était tardive a provoqué, en quelque sorte, un décalage du cycle végétatif, les derniers stades critiques de la culture ont souffert de l'effet de forte évapotranspiration accompagnée d'un climat chaud et sec. Ce qui a défavorisé la migration des réserves et le remplissage complet des grains.

Pour échapper aux effets néfastes du climat, il est primordial d'effectuer le semis à temps. L'expérience montre que la meilleure date de semis se situe dans la deuxième moitié du mois de novembre, un petit décalage est tolérable au Nord d'Adrar.

CONCLUSION

Il convient de dire que les données météorologiques de la région d'Adrar indiquent que les températures sont en fluctuations permanentes d'une année à une autre. C'est probablement la raison pour laquelle les rendements moyens du blé sous pivots et les rendements pics fluctuent à leurs tours d'une année à une autre.

L'analyse multivariée indique que l'effet des températures basses et celui des températures élevées des trois mois ; janvier, février et Mars sont significatifs à l'intervalle de confiance $\alpha= 0.05$.

La présence d'un coefficient de détermination élevé et des coefficients de régression significatifs permet de construire un modèle d'estimation des rendements moyens du blé sous pivots dans la région d'Adrar en connaissant les températures extrêmes des trois mois ; janvier février et mars.

Pour s'échapper aux effets néfastes du climat, il est primordial d'effectuer le semis à temps. L'expérience montre que la meilleure date de semis se situe dans la deuxième moitié du mois de novembre, un petit décalage est tolérable au Nord d'Adrar.

RÉFÉRENCES

- [1]. Chabane M., 2010 - Le réchauffement climatique menace la sécurité alimentaire : quelle vision et quelle politique pour l'avenir en Algérie. Centre régional de recherche en sciences sociales. Laboratoire d'économie et de sciences sociales de rennes. 10p.
- [2]. INRA., 2006 - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau ; Sécheresse et agriculture ; Synthèse du rapport d'expertise Octobre. 3p.
- [3]. Alderfasi A.A., Refay Y.A., 2010 - Integrated use of potassium fertilizer and water schedules on growth and yield of two wheat genotypes under arid

- environment in Saudi Arabia 1- effect on growth characters. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 9 (3): 239-247.
- [4]. Djermoun A., 2009 - La production céréalière en Algérie. Les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*. n° 01 : 45 -53.
- [5]. Boulaâssel A., 1998 - Utilisation rationnelle de l'irrigation d'appoint sur deux variétés de blé dur (Waha et Acsad 65). Thèse de magister. INA El-Harrach. 85 p.
- [6]. Fercha A., 2011 - Some physiological and biochemical effects of NaCl Salinity on Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Advances in Biological Research*. 5 (6): 315-322.
- [7]. Hamadache A., Abdellaoui Z., Aknine M., 2002 - Facteurs agrotechniques damlioration de la productivitédu bl dur en algrie. cas de la zone sub—humide *Recherche Agronomique, INRA, Alger*, n 10 : 5-18.
- [8]. MADR., 2012 - Statistiques agricoles'. Campagne agricole 2011/2012.
- [9]. Riou C., 1980 - Aspects climatiques de la sécheresse de part et d'autre du Sahara (de l'Afrique Centrale sèche à la Tunisie)'. *Cah. O.R.S.T.O.M.. sér. Bd. 11~42*, :43-51, http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/00496.pdf, Available 17 /09/2012.
- [10]. Reid K., 2012 - Fertilisation pour une culture rentable du blé, MAAAR, Ontario, http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/field/news/croptalk/2003/ct_0903a1.htm, Available 17 /09/2012. 6p.
- [11]. Badraoui M., Farhat A., 1998 - Développement de l'Irrigation par Pivot au Maroc. *Bulletin de liaison du Programme National de transfert de technologie en agriculture*. 5p. Available 17/09/2012 at www.agrimaroc.net/01-38.htm.
- [12]. Laaboudi A., Slama A., Hammouda M., 2011 - Impact des changements climatiques sur les ressources en eau dans la région d'Adrar'. *International conference on energy and sustainable development*. Université d'Adrar, November 29-30, 2011. 13 p.
- [13]. Slama A., Hammouda M., Laaboudi A. 2010 - Étude des variations climatiques et leurs Impacts sur le comportement des agriculteurs de la région d'Adrar". 1th *Colloque CICCE proceeding, Rabat, Mai, 20-21, 2010*. 10p.
- [14]. Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970 - River flow forecasting through conceptual models part I. A discussion of principles. *J Hydrol*. 10:282–290.
- [15]. Krause P., Boyle D.P., Base F., 2005 - Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*. Department for Geoinformatics, Hydrology and Modelling, Friedrich-Schiller University, Jena. (5): 89-97.
- [16]. Line Kong A.S., 2011 - Modélisation des crues de bassins karstiques par réseaux de neurones. Cas du bassin du Lez (France). Thèse Présentée à l'Université de Montpellier II pour obtenir le grade de docteur en hydrogéologie. 231p.
- [17]. Tinuta A., Johnson P., 2006 - Dégâts dus au froid dans le blé, MAAAR, Ontario, <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/field/news/croppest/2006/02cpo06a6.htm> . Available 17 /09/2012. 5p.
- [18]. Delécolle R., Jayet P.A., Soussana J.F., 2010 - Agriculture française et effet de serre: quelques éléments de réflexion' <http://wwwv1.agora21.org/mies/chan-clim11.html>, Available 17 /09/2012. 8p.