

L'IRRIGATION DE COMPLEMENT DU BLE DUR. INFLUENCE DE LA NATURE DU MATERIEL VEGETAL ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE INTERANNUELLE DANS UNE PLAINE SEMI-ARIDE D'ALGERIE

Reçu le 13/03/2004 – Accepté le 26/06/2005

Résumé

Ce travail a pour objet d'évaluer le comportement de quelques variétés de blé dur locales ou introduites soumises à des conditions hydriques différentes en zone semi-aride. Les essais ont été réalisés pendant 2 campagnes agricoles pour 4 variétés, et pendant 3 campagnes consécutives pour une variété introduite pour cerner l'influence de la variabilité climatique interannuelle. Les variétés introduites montrent, pour tous les traitements et pour toutes les campagnes, une nette supériorité en rendement grain par rapport aux variétés locales. La conduite en régime hydrique potentiel aboutit à des rendements élevés, avec une moindre variabilité interannuelle, les rendements en grains obtenus sont compris entre 54 et 59 q/ha, alors que la conduite pluviale aboutit à de faibles rendements en grains et à une forte variabilité interannuelle des rendements qui varient entre 15 et 30 q/ha. La mise en œuvre de l'irrigation de complément augmente le rendement et réduit sensiblement sa variabilité interannuelle. Les résultats obtenus montrent que l'irrigation de complément et l'utilisation d'un matériel végétal performant constituent deux facteurs d'amélioration et de stabilisation des rendements en blé dur.

Mots clés: blé dur, irrigation de complément, variabilité climatique.

Abstract

This work aimed to evaluate the behaviour of some new local durum wheat varieties submitted to different water regimes in the semi-arid areas. The trials have been realised during 2 agricultural seasons for four varieties and for three consecutive seasons for an introduced variety in order to study the yearly climatic variability. The introduced varieties showed their grain yield superiority in all treatments and seasons in comparison to the local varieties. The higher results appeared when water regimes were supplied. The yearly variability was less apparent. Grain yields ranged from 47 to 59 qx/ha, however when rainfed, the yields were lower (15 to 30 qx/ha) and variable among years. The use of complementary irrigation increases the yield and decreases the yearly variability. The results showed that the complementary irrigation and the use of adequate varieties are the two factors of improvement and stabilization to the yields of durum wheat.

Keywords: durum wheat, complementary irrigation, climatic variability.

B.A. MERABET

Institut National Agronomique
El-Harrach, Algérie.

A. BOUTIBA

Université Hassiba Ben Bouali
Chlef, Algérie.

ملخص

إن الهدف الأساسي لهذا العمل هو دراسة تصرف عدد من أصناف القمح الصلب المحلي والغير المحلي تجاه أنظمة الري مختلفة وذلك في منطقة ذات مناخ شبه جاف. أجريت التجارب خلال حملتين زراعتين مع استعمال أربعة أنواع من القمح المحلي، وخلال ثلاثة حملات زراعية مع استعمال نوع واحد من القمح المستورد من أجل دراسة التغيرات السنوية. التجارب بينت أن الأنواع المستوردة أعطت منتوجا أكبر مقارنة مع الأنواع المحلية وهذا مهما كانت الظروف المائية في التربة. ومن جهة أخرى تبين أن المساحات المحتوية على ظروف مائية كافية أعطت أكبر مردود فلاحي شبه مستقر من سنة إلى أخرى ويتراوح من 47 إلى 59 ق/ها مقارنة مع المساحات الغير المسقية التي أدت إلى مردود متدهور من 15 إلى 30 ق/ها. وبالتالي يتبين أن الري التكميلي يؤدي إلى زيادة في المردود وانخفاض ملحوظ في تغيراته من سنة إلى سنة أخرى. النتائج المحصل عليها تبين بوضوح أن الري التكميلي واستعمال النوعية النباتية المناسبة يكونان العنصرين الهامين لترقية وتثبيت المحاصيل بالنسبة إلى القمح.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، الري التكميلي، التغيرات المناخية.

En Algérie, le rendement moyen annuel des céréales calculé pour une séquence de 5 ans et pour deux périodes séparées de plus d'un siècle (1871- 1875 et 1991-1995) est toujours compris entre 6 et 8 q/ha [1, 2].

Les rendements des céréales dépendent des caractéristiques endogènes spécifiques à chaque cultivar (structure génétique) dont l'expression est fonction des facteurs du milieu [3]. Les exigences climatiques des céréales définies par la F.A.O. [4] situent la pluviométrie totale nécessaire en période de croissance entre 450 et 1000 mm, avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 45 à 90 mm pour la phase végétative, de 60 à 90 mm pour le stade floraison, et de 55 à 80 mm pour le stade maturation.

Dans nos régions, le déficit hydrique constitue le principal facteur limitant des rendements en céréales [5]. Plusieurs voies d'amélioration de la conduite technique des céréales peuvent être envisagées en zone à déficit hydrique: sélection et emploi de génotypes résistants à la sécheresse et capables de maintenir un niveau de rendement satisfaisant en présence de déficit hydrique, position du cycle de la culture dans des périodes où le déficit hydrique est moins probable ou moins accentué (esquive) en jouant sur la date de semis et la précocité variétale, mise en œuvre de techniques culturales permettant d'améliorer le stockage de l'eau au cours de la période humide par la gestion de l'interculture (désherbage, binage) ou le choix du précédent cultural, choix d'un niveau de rationnement suffisant de la culture par les techniques culturales appliquées au semis du blé (densité de peuplement, fumure minérale équilibrée). Or, dans nos régions, les pluies ont un caractère aléatoire [6] qui rend peu crédible toute tentative de prévision climatique à l'échelle d'un cycle végétatif d'une céréale.

Pour obtenir des rendements stables dans le temps, et comparables aux besoins de la population algérienne (soit un rendement moyen annuel national de 25 q/ha pour une sole céréalière de l'ordre 2.5 millions d'hectares), il faut combler partiellement ou totalement le déficit hydrique par des irrigations. L'irrigation de complément permet de se prémunir des aléas climatiques, et d'obtenir des rendements relativement stables dans le temps, avec des produits présentant une qualité appréciable et constante [7]. La valorisation des eaux de pluie par des irrigations de complément est souvent importante (le rendement moyen peut augmenter de 12 à 35 q/ha), mais il est nécessaire d'utiliser des variétés adaptées. En effet, des variétés qui ont une résistance remarquable à la sécheresse ont souvent un potentiel de rendement faible, l'irrigation de complément n'améliore pas substantiellement leur performance. Inversement des blés créés pour être cultivés à l'irrigation souffriront considérablement d'un épisode de sécheresse et ne peuvent donc bien valoriser l'irrigation de complément [8].

Par ailleurs, dans nos régions, les pluies, à caractère faible et aléatoire, incitent à mieux identifier la contrainte hydrique, et à la caractériser à une échelle temporelle la plus appropriée qui serait l'échelle journalière [5].

Pour mieux caractériser les conditions d'alimentation en eau du végétal, il faut tenir compte de l'influence de la nature du sol et de sa position topographique, le raisonnement doit aller au-delà du bilan hydrique climatique, il doit se faire en terme de bilan hydrique pédologique par le suivi du profil hydrique [9]. Le recours au bilan hydrique pédologique sol permet l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) qui, par définition, dépend du niveau d'évapotranspiration potentielle (ETP), de l'humidité du sol, et de la régulation stomatique [10]. La quantité d'eau contenue dans le sol constitue un réservoir $R(t)$ d'eau variant au cours du temps en fonction des apports, et des pertes dues à l'ETR du couvert végétal [11].

Les cultivars de blé diffèrent entre eux par leur tolérance intrinsèque à la sécheresse qui s'exprime par des ajustements continus entre les disponibilités et les besoins en eau et par leur capacité spécifique à valoriser l'eau [5]. Les besoins en eau, exprimés par l'évapotranspiration maximale de la culture (ETM) qui est fonction de la demande climatique, sont donc définis pour un terroir donné [12]. La relation entre la production du végétal et les conditions de son alimentation hydrique peut être décrite par une équation de régression établie entre la matière sèche produite (Y) et l'indice de transpiration qui correspond au rapport ETR/ETM calculé pour la totalité du cycle végétatif de la culture. La pente de la droite, ou le coefficient de régression, indique la réponse à l'eau ou encore la sensibilité de la culture à la sécheresse, elle permet de classer les cultivars selon leur comportement à l'égard de l'eau [13]. Ces relations peuvent être également calculées autrement, par exemple pour exprimer la diminution du rendement relatif ($1 - Y/Y_m$, Y_m est le rendement obtenu en l'absence d'une contrainte hydrique) et le déficit de l'évaporation relatif ($1 - ETR/ETM$), dans ce cas, la droite de réponse à l'eau passe par l'origine et sa pente est le coefficient de réponse à l'eau (K_y). Le blé dur

est considéré comme une espèce moyennement résistante à la sécheresse, mais des différences importantes de comportement sont observées selon les cultivars [14].

La diversité génétique exploitable entre les espèces et les variétés, ainsi qu'une meilleure connaissance de l'évolution des besoins en eau permet de raisonner les choix en matière de rationnement des apports d'eau en dehors des périodes critiques [15]. L'établissement des courbes de réponse à l'eau pour les variétés de blé constitue une donnée fondamentale pour juger de la pertinence d'une option d'irrigation complémentaire selon le cultivar utilisé [16]. En irrigation de complément, on doit comparer, toutes choses égales par ailleurs, les résultats nets entre la culture irriguée et la même culture pluviale. Pour apprécier la productivité de l'eau, on distingue l'efficacité de l'eau totale consommée ou l'efficacité nette d'utilisation de l'eau (EUE) qui est le rapport entre la production (P) à l'eau consommée durant le cycle cultural (ΣETR) et l'efficacité de l'eau apportée (I_f) qui est le supplément de production ΔP rapporté à la quantité d'eau [13].

L'objectif de ce travail est de présenter les résultats obtenus pendant trois campagnes de mesures (1989/92) sur le comportement de variétés de blé dur conduites sous différents régimes hydriques dans une zone céréalière semi-aride du Nord-Ouest algérien. Durant deux années (1989/90 et 1990/91) le comportement de 04 variétés de blé dur (02 variétés d'origine autochtone, et 02 variétés introduites) est caractérisé par l'estimation de leur besoin en eau, l'établissement de leur courbe de réponse à l'eau pour évaluer leur résistance au déficit hydrique, et les efficacités d'utilisation de l'eau et de l'irrigation. Par la suite, l'influence de la variabilité climatique inter-annuelle est étudiée pendant 3 années consécutives sur une seule variété.

MATERIEL ET METHODES

Les essais sont réalisés en plein champ dans la plaine alluviale semi-aride du Cheliff (longitude Greenwich $1^\circ 20'$ E, latitude N $36^\circ 12'$, altitude 102 m).

Les essais se sont déroulés sur une période de trois années (1989 – 1990, 1990 – 1991, 1991 - 1992) sur une parcelle relativement homogène de 2000 m². Les analyses de l'échantillon moyen (mélange de 9 sondages répartis selon les diagonales) représentatif de l'horizon de surface (horizon 0–40 cm) sont effectuées selon la méthode internationale pour la granulométrie, la méthode au cylindre pour la densité apparente, la méthode des puits pour la conductivité hydraulique, et l'extrait de pâte saturée pour la conductivité électrique.

Le sol a une texture limono - argileuse (35 % d'argile, 44 % de limon et 21 % de sable), la densité apparente est de 1.3, la conductivité hydraulique saturée est de 2.5 cm/h, la conductivité électrique est de 2 dS/m. Ce sol est peu évolué d'apport alluvial [16].

Le dispositif utilisé est un bloc aléatoire avec 04 traitements hydriques et 03 répétitions par cultivar utilisé. La parcelle élémentaire est de 40 m², les parcelles élémentaires sont séparées de 1m, et les blocs sont séparés de 2 m.

Les variétés utilisées pour la campagne 1989-1990 sont:

- Mohamed Ben Bachir (MBB), sélection dans la population locale Ben Bachir Triticum Durum, variété à

paille haute et creuse, cycle tardif, tolérante à la sécheresse.

- Chougrane (ex Polonicum), Variété algérienne à paille moyenne et creuse, obtenue par croisement entre la lignée Triticum Polonicum et une lignée obtenue à partir d'un croisement Zenati × Bouteille, cycle semi-tardif, tolérante au froid et à la sécheresse.

- Waha et Tassili (ex. Mexicali), variétés introduites, précoces, connues pour leur haut potentiel de rendement en irrigué, variétés à paille courte sensible aux gelées.

Pour la campagne 1990-1991, nous avons utilisé les variétés Oued Zenati et Aribis comme variétés autochtones :

- Oued Zenati (OZ), lignée tirée en 1936 d'une population locale Bidi 17, c'est une plante à paille haute (1,30 m dans les conditions favorables) et pleine, à feuilles larges et retombantes, cycle tardif de productivité moyenne, sensible à la verse.

- Aribis (ex Capeiti), sélection dans la population Bidi 17 × Eiti, variété à paille moyenne et pleine, cycle précoce, sensible à la sécheresse et tolérante à la verse.

La variété Tassili a fait l'objet du suivi pendant 03 campagnes consécutives pour cerner l'influence de la variabilité climatique inter-annuelle sur son comportement.

Les semis ont été réalisés à la mi-décembre avec une densité de 120 kg/ha. Les apports d'engrais ont été de 150 kg/ha d'azote, 40 kg /ha de phosphore et 35 kg /ha de potasse. Le travail du sol a consisté en un déchaumage en été, un labour profond en septembre, et un recroisement avec un cover crop 16/32 en octobre. Le lit de semence est réalisé par le cultivateur à dents associé à une barre niveleuse. Trois désherbages, dont un chimique, ont été effectués au cours du cycle de la culture.

Les traitements adoptés pour les 04 variétés sont le traitement pluvial (TO), le traitement avec un apport unique de 50 mm à l'épiaison (TE), le traitement avec deux apports de deux doses de 50 mm respectivement à l'épiaison et à la floraison (TF), et le traitement correspondant à une conduite en régime hydrique potentiel (TM). La dose de 50 mm a été retenue sur la base de la réserve facilement utilisable (RFU) de ce type de sol [18]. Les stades épiaison et floraison ont été retenus car ils correspondent à des périodes de grande sensibilité en eau de la culture [4]. Le bac d'évaporation classe A, protégé par un grillage, a été utilisé comme avertisseur à l'irrigation.

Les mêmes traitements sont appliqués sur la variété Tassili pendant les 03 campagnes (1989-1990, 1990-1991, 1991-1992).

Les apports d'eau sont effectués par aspersion à l'aide d'une canalisation mobile alimentée par un forage de 10 l/s sous une pression moyenne de 3 HPa . L'eau d'irrigation utilisée présente une conductivité électrique (C.E.) de 2,1 dS/m et un taux d'adsorption du sodium (SAR) de 2,0. Selon l'U.S.S.L. [19] cette eau est de qualité moyenne, elle peut être utilisée pour l'irrigation à condition qu'il y ait un drainage naturel.

Un arrosage a été donné au semis sur l'ensemble de l'essai pour établir la culture sur un sol au voisinage de la capacité au champ et favoriser la germination.

Un tube d'accès à la sonde à neutrons (sonde à neutrons 503 hydropobe, tubes verticaux de 1m de longueur, avec

étalonnage gravimétrique et comptage standard dans l'eau avant chaque usage) est installé par parcelle élémentaire pour mesurer la teneur en eau et établir le profil hydrique périodiquement, en particulier avant et après une irrigation.

Les paramètres climatiques sont mesurés pendant la durée des essais au niveau de la station climatique de la zone d'étude. L'évapotranspiration réelle (ETR) ou consommation en eau de la culture est déduite de l'équation simplifiée du bilan hydrique suivante :

$$ETR = P + I - \Delta Q$$

avec :

ΔQ : variation de stock d'eau dans le sol pour un intervalle de temps donné,

P : les pluies cumulées pour le même intervalle de temps,

I : apports par irrigation.

La demande climatique en eau (ETP) est calculée par la méthode de Penman modifiée (FAO) qui fournit les résultats les plus satisfaisants pour estimer l'effet du climat sur les besoins en eau des cultures [20].

A partir du 20^{ème} jour après la levée, des mesures périodiques (toutes les 3 semaines) de l'indice foliaire (L.A.I) sont réalisées par planimètre sur un total de 15 plants prélevés d'une manière aléatoire.

Les mesures de rendements en grain et en paille ont été effectuées à partir de 03 placettes de 1 m² représentatives de chaque parcelle élémentaire.

RESULTATS ET DISCUSSION

Situation pluviométrique durant les campagnes étudiées

La figure 1 présente les données pluviométriques mensuelles pour les trois années d'étude.

La région de Chlef est caractérisée par un climat semi-aride, un régime irrégulier caractérise les précipitations et les températures. Les mois les plus froids sont janvier et février avec des relevés extrême de 0,8°C, il gèle en moyenne 27 jours par année, et on note en moyenne annuelle 38 jours de sirocco.

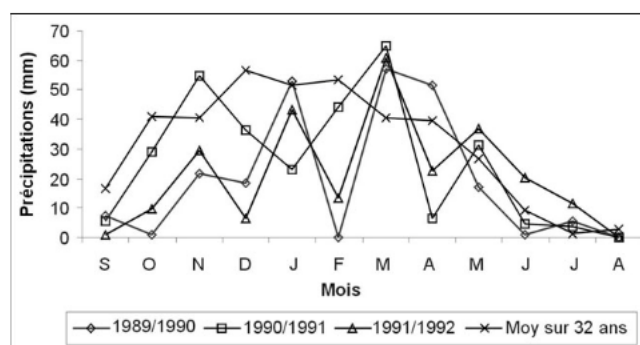


Figure 1: Pluviométrie des trois campagnes de mesure et la moyenne sur 32 ans (1960-92).

L'analyse effectuée durant chaque campagne révèle que les précipitations annuelles enregistrées demeurent inférieures à la moyenne calculée sur 32 ans et qui est de 380 mm. La variabilité interannuelle est très remarquable, les analyses fréquentielles montrent que les précipitations

Tableau 1: Evolution du déficit climatique absolu (ETM - ETR) et de l'indice de consommation (ETR/ETM) par régime hydrique durant deux campagnes.

Campagne 1989/90																
Variétés	Waha				Tassili				MBB				Chougrane			
Traitements	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM
Apports(mm)	0	50	100	160	0	50	100	160	0	50	100	160	0	50	100	160
ETR (mm)	159	193	225	351	143	185	233	341	156	215	241	361	158	206	239	360
ETM-ETR(mm)	193	158	126	0	198	156	108	0	205	146	120	0	202	154	120	0
ETR/ETM	0,5	0,55	0,64	1	0,42	0,54	0,68	1	0,43	0,60	0,67	1	0,44	0,57	0,67	1
Campagne 1990/91																
Variétés	Waha				Tassili				Aribs				Oued Zenati			
Traitements	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM
Apports(mm)	0	50	100	120	0	50	100	120	0	50	100	120	0	50	100	120
ETR (mm)	179	225	265	397	175	207	256	409	189	214	269	406	186	212	268	400
ETM-ETR(mm)	217	172	132	0	233	202	153	0	217	192	137	0	214	188	132	0
ETR/ETM	0,45	0,57	0,67	1,00	0,43	0,51	0,63	1,00	0,47	0,53	0,66	1,00	0,47	0,53	0,67	1

enregistrées ont des périodes de retour de 9 ans sur 10 pour 19989-1990 (233 mm), et d'une année sur deux pour 1990-1991 (303 mm).

Bilan offre – demande en eau

L'évaluation des déficits climatiques absolus (ETM - ETR) ainsi que l'indice de satisfaction (ETR/ETM) enregistrés selon les régimes hydriques sur les deux campagnes sont indiqués dans le tableau 1.

Sur l'ensemble du cycle, les besoins en eau (ETM) des cultivars de blé sont indiqués par les valeurs des ETR, mesurées in situ, du traitement TM. Ces besoins se situent entre 341 et 408 mm. Quelle que soit l'année, les besoins en eau exprimés par les variétés cultivées sont nettement supérieurs aux totaux pluviométriques enregistrés sur l'ensemble du cycle végétatif.

En conduite pluviale (TO), les écarts ETM-ETR sont très élevés et les manques équivalent toujours à plus de 60% des pluies enregistrées lors du cycle végétatif de la culture. Par ailleurs, la pluviométrie efficace ou la quantité d'eau effectivement stockée dans la zone racinaire et qui a servi à l'ETR, ne représente en réalité que 60 à 70% des totaux enregistrés.

L'indice de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) assuré par les pluies varie selon la variété entre 42 et 45 % . A Meknes (MAROC), qui est une région relativement plus favorisée par les pluies (531 mm en moyenne), l'ETR moyenne estimée sur une séquence de 30 ans (1951-1989) ne représente que 55.1% de l'ETM du blé en pluvial [21].

Les irrigations effectuées sous esquive (TE qui correspond à un apport de 50 mm à l'épiaison, et TF qui correspond à deux apports avec 50 mm à l'épiaison et 50 mm à la floraison) améliorent très sensiblement l'indice de satisfaction des besoins, en effet, pour le traitement TF il avoisine les 68 % et la différence variétale n'est que de 5 %.

Les besoins en eau

Les résultats de l'effet variétal sur les ETM obtenus sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2: Les besoins en eau des différentes variétés.

1989-1990		1990-1991	
Variétés	ETM (mm)	Variétés	ETM (mm)
MBB	361,2 A	Tassili	408,7 A
Chougrane	359,8 A	Aribs	405,7 AB
Waha	351,2 B	Oued Zenati	400,4 BC
Tassili	341,0 C	Waha	396,5 C

Les valeurs d'une même colonne portant la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5%.

La consommation globale en ETM se situe, pour les deux campagnes étudiées entre 341 et 409 mm. Des différences de comportement apparaissent entre les variétés et entre les deux campagnes. En effet, pendant la campagne 1989-90 relativement plus sèche (233 mm de précipitations annuelles), les variétés introduites sont plus exigeantes en eau. Par contre, pendant la seconde campagne, relativement plus humide (303 mm de précipitations annuelles), les variétés introduites se comportent différemment, Tassili est la variété la plus exigeante et Waha en est la moins exigeante des 4 variétés étudiées. La variété Waha apparaît, sur les deux années, comme la plus économe en conditions potentielles.

Le coefficient cultural Kc

La figure 2 présente l'évolution des valeurs moyennes du coefficient cultural (Kc) selon les stades phénologiques pour la campagne 1989-90. Le coefficient cultural est obtenu en divisant les ETM obtenus in situ (et qui correspondent aux ETR du traitement TM conduit en régime hydrique potentiel) par l'ETP calculée par la formule de Penman modifiée [20].

Les valeurs de Kc évoluent au cours du cycle végétatif. En effet, durant les premiers stades de développement de la culture (levée-montaison), le Kc des variétés introduites Waha et Tassili est supérieur à celui des variétés locales MBB et Oued Zenati. Par la suite, entre la montaison et l'épiaison, les valeurs de Kc deviennent plus élevées pour les variétés locales. Ce type de comportement serait à rapprocher du caractère précoce des variétés introduites, et du caractère

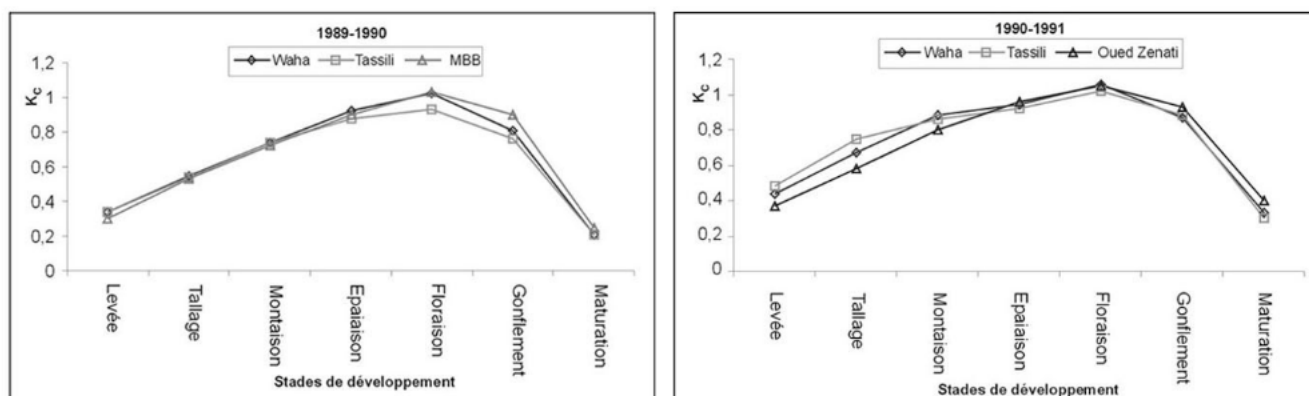


Figure 2: Evolution de Kc en fonction des stades de développement – campagne 1989-90 et 1990-91.

tardif des variétés locales étudiées. Les valeurs maximales de Kc sont comprises entre 1,02 et 1,06, elles ont été observées au stade floraison pour toutes les variétés. Ces valeurs sont comparables à celles proposées par DOORENBOS et KASSAM [14].

Rendements en paille et en grains

Selon les régimes hydriques et le niveau de rendement étudié, les classements variétaux obtenus diffèrent.

A l'ETM, c'est à dire en régime hydrique potentiel, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3: Les rendements en paille et en grains en régime hydrique potentiel.

Variétés	Paille (q/ha)		Rendement en grain (q/ha)	
	1989/90	1990/91	1989/90	1990/91
Waha	58,2 A	69,5 A	54,1 A	56,6 A
Tassili	42,4 B	56,7 B	57,1 A	58,4 A
MBB	29,9 C		27,4 B	
Chougrane	25,2 D		27,2 B	
Oued Zenati		34,8 C		23,8 B
Aribs		34,9 C		27,2 B

Les valeurs d'une même colonne portant la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5%.

Tableau 4: Classements variétaux en régimes hydriques différenciés et déficitaires.

1989/90				1990/91			
Paille (q/ha)		Rendement en grain (q/ha)		Paille (q/ha)		Rendement en grain (q/ha)	
Waha TF	52,0 A	Tassili TF	40,2 A	Waha TF	61,0 A	Tassili TF	48,5 A
Tassili TF	36,2 B	Waha TF	38,0 B	Tassili TF	51,0 B	Waha TF	44,2 B
MBB TF	35,4 BC	Tassili TE	28,9 C	Waha TE	49,5 B	Tassili TE	37,3 C
Waha TE	34,6 C	Waha TE	28,7 C	Tassili TE	42,6 C	Waha TE	35,3 C
Tassili TE	29,9 D	Chougrane TF	20,9 D	Aribs TF	35,9 D	Tassili TO	29,8 D
MBB TE	28,5 E	MBB TF	20,4 D	OZ TF	35,1 D	Aribs TF	28,1 D
Chougrane TF	27,3 E	Chougrane TE	18,9 E	Waha TO	33,3 DE	Waha TO	27,3 E
Chougrane TE	21,3 F	MBB TE	18,5 EF	OZ TE	31,9 DE	OZ TF	24,4 F
Waha TO	16,8 G	Waha TO	17,6 F	Aribs TE	30,9 E	Aribs TE	23,7 F
Tassili TO	16,1 G	Tassili TO	17,3 F	OZ T0	24,7 F	OZ TE	22,0 F
Chougrane TO	12,1 H	MBB TO	12,4 G	Tassili TO	24,6 F	Aribs TO	19,5 G
MBB TO	10,6 I	Chougrane TO	11,5 G	Aribs TO	22,4 F	OZ T0	18,0 G

Les valeurs d'une même colonne portant la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5%.

Pour la variable paille, les 6 cultivars étudiés se comportent différemment lors de la première campagne, les variétés Oued Zenati et Aribs ont le même comportement lors de la seconde campagne 1990-91. Les variétés introduites se sont montrées relativement plus productives que les variétés autochtones, la variété Waha produit la plus forte paille. Pour la variable rendement en grain, les résultats montrent la formation de deux groupes homogènes. Le premier groupe formé par les variétés introduites qui produisent entre 41 et 58 q/ha, et le second groupe formé par les variétés locales qui affichent des rendements compris entre 23 et 30 q/ha.. Les variétés introduites présentent de meilleures potentialités de valorisation de l'eau. En régimes hydriques déficitaires, les résultats de l'effet des différents apports d'eau sur les productions en paille aérienne et en grain sont présentés dans le tableau 4.

Les résultats montrent que les variétés introduites Waha et Tassili donnent des rendements plus élevés en conditions hydriques favorables, mais également en conditions de déficit hydrique. Les résultats fournis par ces variétés sont comparables à ceux des variétés Sham 1 (waha) et Belikh originaires du moyen orient [22]. Ils s'expliqueraient essentiellement par un fort indice de récolte et une fertilité élevée de l'épi de ces variétés.

Chez les variétés locales, et plus particulièrement pour

MBB, le stade épiaison apparaît comme la période la plus sensible à la sécheresse. En effet, les écarts observés entre TE (TE correspond à un apport de 50 mm à l'épiaison) et TO (TO correspond à la conduite pluviale) sont de 4 à 7 q/ha en grains et de 7 à 18 q/ha en paille; ces différences sont nettement plus élevées que celles observées entre TF (TF correspond à deux apports avec 50 mm à l'épiaison et 50 mm à la floraison) et TE qui sont de 2 à 4 q/ha en grains et de 2 à 7 q/ha en paille. Ces résultats montrent également que l'irrigation de complément provoque une amélioration relativement plus importante de la production de paille que celle des grains.

Chez les variétés introduites Tassili et Waha, et qui sont considérées améliorées et productives, cette sensibilité est relativement comparable pour les stades épiaison et floraison. En effet, l'écart de production entre les régimes TE et TO, et les régimes TF et TE sont du même ordre de grandeur (pour Waha par exemple, ces écarts sont de l'ordre de 9 à 11 q/ha en grains et en paille pour la campagne 1990/91 et de 17 q/ha pour la campagne 1989/90 qui est relativement plus sèche).

Ces différents comportements sont à rapprocher des valeurs de l'indice foliaire mesuré (L.A.I) (Fig. 3). En régime hydrique potentiel TM, les valeurs de L.A.I obtenues sont de 5,5 et 5,7 respectivement pour Tassili et Waha lors de la campagne 1990/91; par contre, les valeurs observées sont inférieures à 4,5 pour MBB et Oued Zenati. Notons, par ailleurs, que les valeurs de L.A.I chutent au voisinage de l'unité au 140^{ème} jour après la levée.

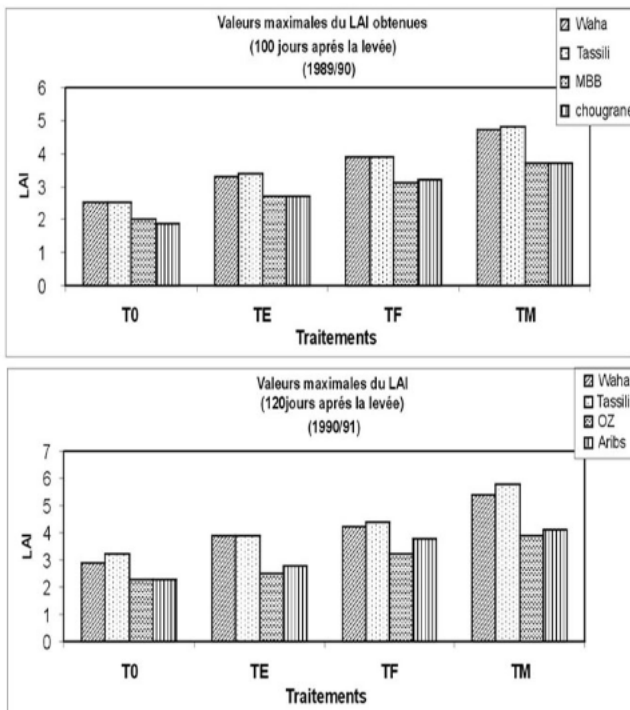


Figure 3: Evolution des valeurs de LAI en fonction des variétés, des traitements et des campagnes agricoles.

Courbes de réponse à l'eau

Les courbes de réponse à l'eau présentées sont relatives à la production en grains (Fig. 4). La pente des droites

donne le coefficient de réponse à l'eau pour chaque variété (Ky) selon la campagne de mesure. Les résultats révèlent que la réponse à l'irrigation diffère selon les variétés et la campagne agricole considérée. Les variétés Waha et Tassili présentent des coefficients plus élevés que les variétés locales. Elles sont donc plus sensibles à la sécheresse. La variété locale Oued Zenati serait relativement la plus résistante à la sécheresse avec un Ky de 0,69.

En pratique, les courbes de réponse à l'eau servent théoriquement de moyen efficace de décision de l'opportunité de l'irrigation en cas de sécheresse ou de coût trop élevé de l'irrigation. Il est important de signaler que ces coefficients sont spécifiques à la variété et au terroir dans lequel ils sont obtenus.

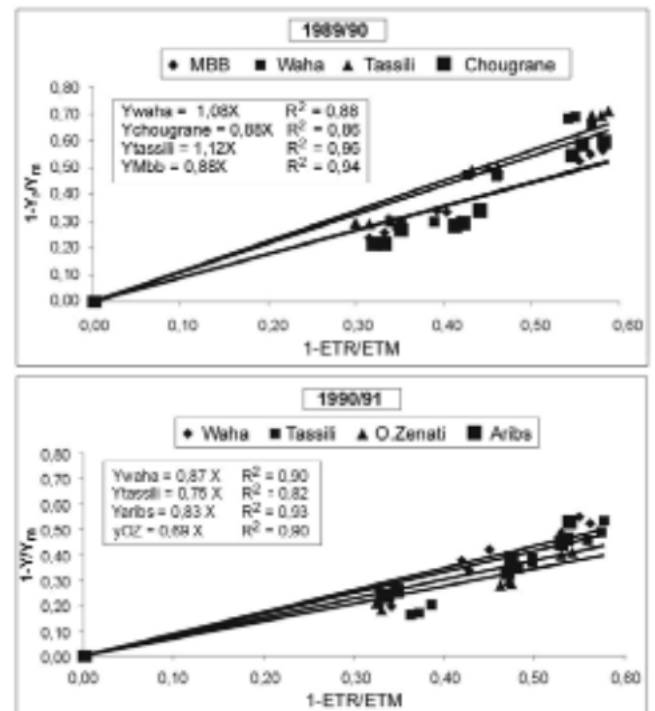


Figure 4: Les fonctions de réponse du rendement en grain à l'eau en fonction des variétés et des campagnes agricoles.

L'efficacité d'utilisation de l'eau

L'efficacité d'utilisation de l'eau, représentée par le ratio entre la production de paille (EUEp) ou le rendement en grains (EUEg) et le volume d'eau apporté, permet d'apprécier les différentes stratégies adoptées dans la conduite des irrigations de complément. Les résultats obtenus (Tab. 5) montrent que les variétés améliorées présentent des valeurs plus élevées que ceux des variétés locales, et cela quels que soit l'année et le régime hydrique auquel est soumise la culture. Leurs efficacités d'irrigation s'améliorent lorsqu'on se rapproche d'une conduite de la culture en régime hydrique potentiel. La campagne 1990-91, relativement plus humide, permet d'obtenir de meilleures efficacités d'utilisation de l'eau apportée par l'irrigation de complément. La stratégie de conduire ces variétés sous esquisse en régime TF (TF correspond à deux apports avec 50 mm à l'épiaison et 50 mm à la floraison) serait la meilleure.

Tableau 5: Les efficacités EUE et If obtenues par traitement et par variété.

Variétés	1989-1990															
	Waha				Tassili				MBB				Chougrane			
Traitement	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM
EUE _p (kg/m ³)	1,1	1,8	2,3	2,5	1,1	1,6	1,6	1,4	0,7	1,3	1,5	1,2	0,8	1,0	1,1	1,1
EUE _g (kg/m ³)	1,1	1,5	1,7	1,5	1,2	1,6	1,7	1,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8
Variétés	1990-1991															
	Waha				Tassili				Oued Zenati				Aribs			
Traitement	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM
EUE _{ms} (kg/m ³)	1,9	2,2	2,3	2,4	1,4	2,1	2,0	1,4	1,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,4	1,3	1,2
EUE _{gr} (kg/m ³)	1,5	1,6	1,7	1,4	1,7	1,8	1,9	1,4	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	1,1	1,0	0,9

Pour les variétés locales, la tendance est plutôt favorable pour le régime TE (TE correspond à un apport de 50 mm à l'épiaison). La plus grande sensibilité à la sécheresse est le stade épiaison pour ces variétés. Les valeurs de EUE_g obtenues en pluvial sont de l'ordre de 0,8 à 1,0 kg/m³, elles sont comparables à celles rapportées par DOORENBOS et KASSAM [14].

L'influence de la variabilité climatique interannuelle

Pour étudier l'influence de la variabilité climatique interannuelle, une analyse des résultats obtenus avec la variété Tassili durant les trois campagnes de mesures est réalisée (1989-90, 1990-91, 1991-92). Le tableau 6 résume les principaux résultats obtenus.

En culture pluviale, la variabilité des rendements sur trois années est très élevée, elle est de l'ordre de 42 % à 49% pour la production de grains, et de 35% à 52 % pour la production de paille.

Avec l'application des stratégies d'irrigation mise en place et l'effet d'augmentation des rendements qui s'en suit, la variabilité interannuelle de la production diminue, elle est de l'ordre de 22 % pour la production des grains.

Les rendements en paille obtenus sont plus faibles en conduite pluviale. Le rendement le plus élevé est produit lors de la campagne agricole 1990-91, qui est relativement plus humide que les deux autres campagnes qui produisent des rendements en paille comparables.

Les rendements en grains varient en fonction des traitements et des campagnes. La campagne 1990-91 produit

également le rendement le plus élevé, la conduite pluviale lors de cette campagne donne un rendement sensiblement plus élevé que celui obtenu avec une irrigation de complément de 50 mm lors de la campagne 1991-92. Pendant les 3 campagnes, le traitement TF correspondant à deux apports de 50 mm chacun aboutit à des rendements plus élevés que ceux obtenus avec le traitement TE correspondant à un apport unique de 50 mm. La conduite en régime hydrique potentiel produit des rendements plus importants que ceux obtenus avec la conduite pluviale et avec les conduites intermédiaires TE et TF.

Concernant les efficacités de l'utilisation de l'eau, elles varient selon les traitements et les campagnes agricoles. Les meilleures efficacités sont obtenues lors de la campagne agricole 1990-91. Pour la production des grains, le traitement TF aboutit aux meilleures efficacités de l'utilisation de l'eau. Par contre, pour la production de paille, les traitements TF et TE aboutissent à des résultats comparables.

CONCLUSION

La conduite de l'irrigation sous esquisse constitue une alternative pour améliorer les rendements du blé dur dans des régions caractérisées par des déficits hydriques, en particulier printaniers. En effet, pendant 3 campagnes agricoles l'irrigation de complément dans cette région a permis d'améliorer fortement les niveaux de rendements obtenus et de réduire la variabilité interannuelle des rendements.

Tableau 6: Les résultats relatifs à la variété Tassili étudiée pendant 3 campagnes.

Campagnes	1989-1990				1990-1991				1991-1992			
P (mm)	233				303				256			
Traitements	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM	TO	TE	TF	TM
Apports d'eau (mm)	0	50	100	160	0	50	100	120	0	50	100	140
ETR (mm)	143	185	233	341	175	207	256	409	146	184	223	367
ETM-ETR(mm)	198	156	108	0	233	202	153	0	220	183	144	0
ETR/ETM	0,42	0,54	0,68	1	0,43	0,51	0,63	1	0,40	0,45	0,55	1
Rendement en paille (q/ha)	16,1	29,2	36,1	47,8	24,6	42,6	51	56,8	11,9	28,3	37,2	51,2
Rendement en grains (q/ha)	17,3	28,9	40,1	57,1	29,8	37,3	48,5	59	15	22,5	37,4	47,2
EUE _p (kg/m ³)	1,1	1,6	1,6	1,4	1,4	2,1	2,0	1,4	0,8	1,5	1,7	1,4
EUE _g (kg/m ³)	1,2	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,4	1,0	1,2	1,7	1,3

Les besoins en eau mesurés pour 6 variétés dont 2 sont introduites sont compris entre 341 et 408 mm, ils sont sensiblement plus faibles que ceux habituellement rapportés et qui de l'ordre de 450 mm [4]. Les 3 campagnes agricoles étudiées présentent des déficits hydriques, le traitement correspondant à la conduite pluviale est donc toujours un traitement à déficit hydrique.

Les variétés introduites montrent, pour tous les traitements et pour toutes les campagnes, une nette supériorité par rapport aux variétés locales. En effet, les variétés introduites produisent des rendements plus élevés que les variétés locales en conduite à régime hydrique potentiel, mais aussi en conduite déficitaire.

Par ailleurs, le suivi pendant 3 campagnes agricoles de la variété Tassili montrent que la conduite pluviale aboutit à de faibles rendements en grains et à une forte variabilité interannuelle des rendements qui varient entre 15 et 30 q/ha. L'apport d'une dose unique de 50 mm à l'épiaison augmente le rendement mais ne réduit pas sensiblement la variabilité interannuelle, les rendements en grains obtenus sont compris entre 22 et 37 q/ha. L'irrigation de complément réalisée sur la base de 2 apports de 50 mm chacun, l'un à l'épiaison et l'autre à la floraison, augmente le rendement et réduit la variabilité interannuelle, les rendements en grains obtenus sont compris entre 37 et 48 q/ha. La conduite en régime hydrique potentielle aboutit à des rendements élevés, avec une moindre variabilité interannuelle, les rendements en grains obtenus sont compris entre 54 et 59 q/ha.

Les résultats obtenus montrent que le potentiel de production céréalière dans nos régions est très appréciable dans la mesure où les rendements en grains obtenus pendant les trois campagnes agricoles ont toujours été supérieurs à 15 q/ha en conduite pluviale pendant des campagnes relativement sèches par rapport aux données moyennes sur 32 ans. Des apports de 50 mm voir de 100 mm, au printemps, améliorent les niveaux de rendement et réduisent la variabilité interannuelle, même si l'échelle d'observation est relativement insuffisante pour bien cerner cette variabilité [12].

Plus globalement, ce travail montre que la faible production céréalière algérienne peut être améliorée et stabilisée par la mise en œuvre de pratiques culturales adaptées.

REFERENCES

- [1]- Slatyer R.O., "The effect of internal water status on plant growth development and yield", Proceeding for the UPSALA Symposium, UNESCO, (1974).
- [2]- Ministère de l'agriculture, Statistiques agricoles, série A, (1996).
- [3]- Jouve P., "Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride", *L'Agronomie tropicale*, 39-4, (1984), pp. 308-316.
- [4]- F.A.O. A framework for land evaluation. F.A.O. soils Bulletin, Rome, N° 32, (1976), 71p.
- [5]- Benseddik B. et Benabdelli K., "Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. Approche éco-physiologique", *Sécheresse*, Vol. 11, N° 1, (2000), pp. 45-51.
- [6]- Bensaad A., "Caractères et mesure de la sécheresse en Algérie orientale", *Publ. Assoc. Intern. Climato*, N°6, (1993), pp. 35-46.
- [7]- Baldy C., "Comportement des blés dans les climats méditerranéens", *Ecologia Mediterranea*, tome III. Fas 3-4, (1986), pp. 73-88.
- [8]- Baldy C., "L'agrométéorologie et le développement agricole des régions arides et semi-arides", INRA Ed. coll. Agrométéorologie, (1986), pp. 76-80.
- [9]- Rognon P., "Les conséquences de la sécheresse climatique sur la pédogenèse", *Sécheresse*, Vol.5, N°3, (1994), pp. 173-184.
- [10]- Tuzet A. et Perrier A., "Les besoins en eau des cultures : analyse et applications", in : TIERCELIN JB, TEC&DOC. Traité d'irrigation. Paris, Lavoisier, (1998), pp. 147-172.
- [11]- Jacquart C. et Choissel E., "Un modèle de bilan hydrique simplifié à deux réservoirs utilisable en agrométéorologie", *La Météorologie*, 8(9), (1995), pp. 29-44.
- [12]- Thevenet G., "L'agronomie d'une sécheresse. Eau et agriculture, mars 1990 : Leçons d'une sécheresse", Actes du colloque, Paris, 8 mars (1990), pp. 28-38.
- [13]- Vilain M., "Les composantes de la production. La production végétale", TEC&DOC, Lavoisier, Vol. 1, (1997), pp. 335-389.
- [14]- Doorenbos J. et Kassam AH., "Réponses des rendements à l'eau", Bull. FAO d'irrigation et de drainage 33, Rome, (1987), pp. 201-209.
- [15]- Remy J.C., "Résistance des plantes à la sécheresse – choix des cultures et des variétés. Eau et agriculture, mars 1990 : Leçons d'une sécheresse", Actes du colloque, Paris, 8 mars (1990), pp. 39-41.
- [16]- Muller B., Lidon B. et Maraux F., "Etude pragmatique et synthétique d'un projet", in : TIERCELIN JB, TEC&DOC. Traité d'irrigation. Paris, Lavoisier, (1998), pp. 232-256.
- [17]- Boulaine J.L., "Les sols des plaines du Cheliff", Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Alger, (1957), 357p.
- [18]- Legoupil J.C., "Evolution de la salure du sol sous irrigation. Résultats expérimentaux", INRA, Alger, 73p.
- [19]- U.S. Salinity Laboratory. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S.D.A., N°60, (1954), 160p.
- [20]- Doorenbos J. et Pruit W.O., "Les besoins en eau des cultures", Bull. FAO d'irrigation et de drainage 33, Rome, (1975), pp. 201-209. Bull. FAO d'irrigation et de drainage 33, Rome, (1975), pp. 30-51.
- [21]- Filali B.A., "Irrigation des céréales : une méthode d'analyse. Cas de la région de Meknes, Maroc", *MEDIT*, 1-2, (1991), pp. 24-29.
- [22]- Ali Dib T., Monneveux P., et Araus J., "Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation", *Agronomie*, 12, (1992), pp. 381-393.

