

Effet du régime hydrique sur la productivité et la teneur en huile du tournesol

Said Ouattar, Mohammed El Asri, Brahim Lhatoute, Ouïam Lahlou

Le tournesol (*Helianthus annuus* L.) est cultivé au printemps, en conditions pluviales, dans plusieurs régions méditerranéennes. Dès son installation, la culture est ainsi exposée à des conditions d'alimentation hydrique plus ou moins favorables selon les disponibilités pluviométriques annuelles. Des disponibilités hydriques limitées réduisent les niveaux de rendement [1]. Cette réduction est plus sévère si le stress hydrique intervient durant la période reproductrice et notamment pendant les 40 jours qui encadrent la pleine floraison [2-6]. Des déficits hydriques supérieurs à 100 mm, entre le stade « bouton floral 3 cm » et la fin floraison, limitent le rendement grain à des niveaux inférieurs à 20 quintaux [7-10]. La teneur en huile est plus affectée par les déficits hydriques qui interviennent au cours des 20 jours qui suivent la fin floraison [2]. L'objectif de cette étude est de tester l'effet du régime hydrique sur l'élaboration du rendement chez le tournesol.

Matériel et méthodes

Deux essais ont été installés durant les années 1989 et 1990 à la Ferme d'Application du Gharb de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, située à Moghrane (32°N, 7°W),

S. Ouattar, O. Lahlou : Département d'agronomie et d'amélioration des plantes, IAV Hassan II, BP 6202, Rabat, Maroc.

M. El Asri : Programme oléagineux, INRA, 3, Esplanade de Docteur-Giguot, Meknès, Maroc.

B. Lhatoute : Omnium Nord Africain, Casablanca, Maroc.

Maroc. Les essais sont conduits sur des vertisols à texture argileuse. Le matériel végétal utilisé est le cultivar de tournesol « Record ». Cinq régimes hydriques ont été testés : trois d'entre eux ont reçu une dose fixe d'environ 50 mm appliquée, soit au stade bouton floral, soit au stade début floraison, soit au stade fin floraison. Les deux autres régimes ont servi de témoins et sont le régime fréquemment irrigué et celui soumis au régime des précipitations.

Ces régimes hydriques sont :

1. Régime irrigué au stade bouton floral étoilé avec une dose de 50 mm (RE3), appelé régime bouton floral.
2. Régime irrigué en début de floraison avec une dose de 50 mm (RF1), appelé régime début floraison.
3. Régime irrigué en fin de floraison avec une dose de 50 mm (RF4), appelé régime fin floraison.
4. Régime irrigué trois fois aux trois stades précités avec à chaque fois une dose d'environ 50 mm (RI), appelé régime fréquemment irrigué.
5. Régime sec ou témoin non irrigué conduit avec les précipitations de l'année (RNI), appelé régime sec.

Le système d'irrigation utilisé est le gravitaire et le dispositif expérimental retenu est le bloc aléatoire complet avec quatre répétitions.

Au cours du cycle de la culture, des prélèvements réguliers ont été effectués à des intervalles de 15 jours. A chaque prélèvement, la matière sèche aérienne, la surface foliaire et l'humidité du sol sont mesurées. La répartition de la matière sèche entre les différents organes de la partie aérienne de la plante a été déterminée après étuvage à 75° C pendant 48 heures. La mesure de la surface foliaire a été faite avec un planimètre électronique. Les réserves hydriques du sol ont été déterminées par la méthode gravimétrique

sur une profondeur de 120 cm. L'évapotranspiration réelle est déterminée par l'équation du bilan hydrique. A la récolte, la biomasse, le rendement grain et la qualité technologique des graines sont déterminés sur la base d'un échantillon de 240 plantes par parcelle élémentaire. Pour la qualité technologique de la graine, la teneur en protéines a été déterminée par la méthode de Kjeldhal et la teneur en huile par extraction à l'éther de pétrole (cité [11]).

Les données climatiques (précipitations et températures) sont mesurées par une station météorologique à proximité.

Les analyses statistiques des résultats sont obtenues par le programme MSTAT. Le test d'égalité de Duncan a été utilisé pour la comparaison des moyennes (avec $\alpha = 5\%$).

Résultats

La pluviométrie totale en 1989 a été de 475 mm dont 156 mm pendant le cycle de la culture. En 1990, 425 mm ont été enregistrés au total dont 60 mm pendant le cycle de la culture. L'effet du régime hydrique sur le rendement grain, sur la biomasse aérienne totale et sur l'indice de récolte est présenté dans le *Tableau 1*. Pour les deux années, les rendements observés sous le régime irrigué trois fois (RI) représentent le double du rendement grain du régime hydrique sec (RNI). L'apport d'une seule irrigation au stade début floraison (RF1) est aussi productif que le régime à trois irrigations. Ces régimes sont suivis de près par l'irrigation précoce au stade bouton floral (RE3). L'irrigation tardive au stade fin floraison (RF4) entraîne le plus faible accroissement du rendement grain. L'amélioration des disponibilités en eau du sol pendant la phase début flo-

raison a eu l'effet le plus déterminant sur le rendement grain.

L'analyse statistique a révélé une différence hautement significative entre les différents régimes hydriques sur la biomasse totale. La biomasse produite est d'autant plus élevée que l'irrigation est précoce. L'irrigation précoce au stade bouton floral est aussi productive que le régime à trois irrigations. L'irrigation au stade fin floraison n'entraîne aucune amélioration de la biomasse par rapport au régime sec.

L'indice de récolte varie de 0,19 à 0,34 et d'une manière significative selon le

régime hydrique. Les indices de récolte les plus élevés sont enregistrés par les régimes début floraison et fin floraison.

L'année 1990 a enregistré des teneurs en protéines plus fortes et des teneurs en huile plus faibles que l'année 1989. L'effet du régime hydrique sur la qualité technologique de la graine est variable. Les plus fortes teneurs en protéines et les plus faibles teneurs en huile sont observées sous le régime sec. L'irrigation en fin floraison améliore nettement la teneur en huile (Tableau 2).

La réponse de l'indice foliaire au régime hydrique est nette. L'amélioration de l'indice foliaire est déterminée par la quantité et la précocité de l'apport d'eau (figure 1). L'analyse statistique confirme l'effet significatif des différents traitements testés sur l'indice foliaire et notamment l'effet du régime bouton floral (Tableau 3).

La durée d'action de la surface foliaire cumulée (LADc) observée sous le régime sec est réduite de moitié par rapport au régime fréquemment irrigué. Pour les autres régimes, l'amélioration du LADc va de paire avec la précocité de l'irrigation (figure 2).

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne à la récolte a varié de 21 à 30 kg/ha/mm. La plus forte efficacité est observée sous le régime bouton floral et la plus faible sous le régime fin floraison. Pour le rendement grain, l'efficacité d'utilisation de l'eau a varié de 5,2 à 8,8 kg/ha/mm. L'irrigation de début floraison s'est avérée la plus efficace (Tableau 4).

Tableau 1

Effet du régime hydrique sur le rendement grain, la matière sèche totale aérienne et l'indice de récolte

Régimes hydriques	Essai 1989			Essai 1990		
	Rendement (qx/ha)	Biomasse (qx/ha)	Indice	Rendement (qx/ha)	Biomasse (qx/ha)	Indice
RI	31,4 A	142,1 A	0,22 BC	33,7 A	124,7 A	0,28 AB
RE3	23,5 B	109,9 B	0,21 BC	28,7 BC	108,4 AB	0,27 AB
RF1	29,9 A	103,2 C	0,29 A	31,5 AB	97,4 B	0,33 A
RF4	21,6 B	85,2 D	0,26 AB	25,7 C	76,0 C	0,34 A
RNI	15,2 C	81,9 D	0,19 C	16,9 D	70,1 C	0,25 B
LSD	4,3	6,4	0,05	6,9	17,1	0,07

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

Effect of water regime on grain yield (RG), biomass (RB) and harvest index (HI)

Tableau 2

Effet du régime hydrique sur les teneurs en huile et en protéines des akènes de tournesol

Régimes hydriques	Essai 1989		Essai 1990	
	T. protéines (%)	T. huile (%)	T. protéines (%)	T. huile (%)
RI	15,5 D	52,6 A	24,6 B	43,7 B
RE3	16,9 BC	50,9 BC	25,6 AB	43,0 B
RF1	17,4 B	51,5 B	24,9 B	43,2 B
RF4	15,1 D	51,7 AB	22,3 C	44,8 A
RNI	18,2 A	48,8 D	26,6 A	41,7 C
LSD	0,79	0,98	1,00	0,93

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

Effect of water regime on seed oil and protein content of sunflower

Discussion

La plus forte production de biomasse est obtenue sous le régime fréquemment irrigué. Pour les autres régimes hydriques, la biomasse produite est d'autant plus élevée que l'irrigation est précoce. En fin floraison, un apport d'eau n'entraîne aucune amélioration par rapport au régime sec. Ces résultats peuvent être expliqués par l'effet de l'apport d'eau sur la croissance foliaire et la dynamique de son fonctionnement au cours du cycle de la culture. En effet nous avons montré que l'apport d'eau affecte positivement l'indice foliaire (figure 1). Les irrigations les plus précoces sont celles qui améliorent le plus ce paramètre. Durant la phase végétative, l'irrigation au stade bouton floral favorise l'indice foliaire par l'augmentation du nombre de feuilles et leur élargissement. Les irrigations de début et de fin floraison sont intervenues à des stades qui ne permettent pas de compenser les réductions antérieures de l'appareil photosynthétique déjà établi. En revanche, elles ont assuré, durant la phase reproductrice, le maintien de la surface foliaire existante en état vert et fonctionnel. Ces résultats confirment ceux d'autres études [7, 10, 12-15].

Ainsi, l'analyse de l'évolution de la durée d'action de la surface foliaire cumulée (LADc), paramètre qui intègre l'indice foliaire et la durée d'action des feuilles, est un bon indicateur de l'effet du régime hydrique sur la capacité photosynthétique potentielle. Cet indice est influencé par la quantité et le stade d'apport d'eau. A la récolte, l'amélioration moyenne par rapport au témoin sec a varié entre 6 et 100 % (Tableau 3). Les irrigations pendant la période végétative ont amélioré le LADc par l'amélioration de la surface foliaire maximale et par sa durée d'action (figures 1 et 2). Les irrigations de postfloraison, enfin, ont favorisé la durée d'action de la surface foliaire en retardant la sénescence. L'effet d'amé-

lioration est d'autant plus marqué que l'irrigation est précoce. Ces ajustements de l'appareil foliaire et de la dynamique de son fonctionnement aux disponibilités hydriques sont rapportés par d'autres auteurs [16-19].

Des liaisons étroites entre l'évolution de la durée d'action de la surface foliaire cumulée (figure 2) et l'évolution de l'évapotranspiration réelle cumulée (figure 3) sont mises en évidence. Les résultats des ajustements linéaires entre ces deux paramètres, pour les différents traitements, montrent que plus de 97 % de la variabilité de l'évapotranspiration de la culture est expliquée par la durée d'action de la surface foliaire (Tableau 5).

L'efficacité d'utilisation de l'eau a

varié de 21 à 30 kg/ha/mm pour la production de biomasse. Ces niveaux sont semblables à ceux rapportés en Espagne pour un semis d'hiver mais dépassent les niveaux observés pour un semis de printemps [20]. Pour la biomasse, la plus forte efficacité est réalisée sous le régime bouton floral ; alors que c'est le régime début floraison qui assure la meilleure efficacité pour la production de grain (Tableau 4). Ce paramètre d'efficacité a été amélioré par l'irrigation du début floraison de 58 % par rapport au régime pluviométrique. Ces résultats rejoignent ceux d'autres auteurs [16-18, 21-26].

L'analyse du rendement peut par ailleurs être effectuée en se basant sur

Summary

Effect of water regime on sunflower productivity and seed oil-content

S. Ouattar, M. El Astri, B. Lhatoute, O. Lahlou

Sunflower is in the process of becoming the most important annual oil crop in the world. Crop production in Mediterranean areas is generally limited by lack of water. The objective of this study was to understand sunflower responses to different water regimes. Two experiments were conducted in 1989 and 1990 at the Experimental Farm of the Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (32°N, 7°W), Morocco. Five water regimes were tested. The water regimes were rain-fed (RS), irrigation at early bud (RE3), irrigation at early flowering (RF1), irrigation at late flowering (RF4) and irrigation at each of the above three stages (RI). Results of the two experiments showed that the triple irrigation increased sunflower yield two-fold when compared to the rain-fed treatment (RI vs RS). A single irrigation applied at early flowering was as productive as three irrigations (RF1 vs RI). Irrigation at late flowering had the lowest effect on yield (FR4 vs RS).

The high yields observed under the triple-irrigation treatment was a con-

sequence of high evapotranspiration combined with average harvest index and water use efficiency. A single irrigation at early flowering was as productive because this water regime resulted in the highest harvest index and a high water use efficiency. The late flowering irrigation had the lowest water use efficiency and a little effect on yield.

A single irrigation at early bud produced the same biomass as the three irrigations treatment. The positive effect of irrigation on biomass production decreased as the irrigation date was delayed. Irrigation at late flowering had little effect on biomass production.

Irrigations applied during the vegetative-period improved cumulative Leaf Area Duration by increasing maximum Leaf Area Index and Leaf Area Duration. On the other hand, post-flowering irrigations mainly affected Leaf Area Duration by delaying senescence. Cumulative leaf area duration was shown to be highly correlated with cumulative crop evapotranspiration. Linear regressions of

the two parameters indicated that 97 % of crop evapotranspiration variability was explained by leaf area duration.

Water use efficiency varied from 21 to 30 kg/ha/mm for biomass production and from 5.2 to 8.8 for grain production. Early bud irrigation induced the highest efficiency for biomass production, and early flowering irrigation the highest efficiency for grain production.

The effect of water regimes on sunflower seed quality was variable. The highest seed protein content and the lowest seed oil content were observed under the rain-fed treatment. A single irrigation at late flowering improved seed oil content.

The results of these experiments showed that a single well-targeted irrigation has tremendous potential for enhanced sunflower productivity under rain-fed mediterranean environments.

Cahiers Agricultures 1992 ; 1 : 173-9.

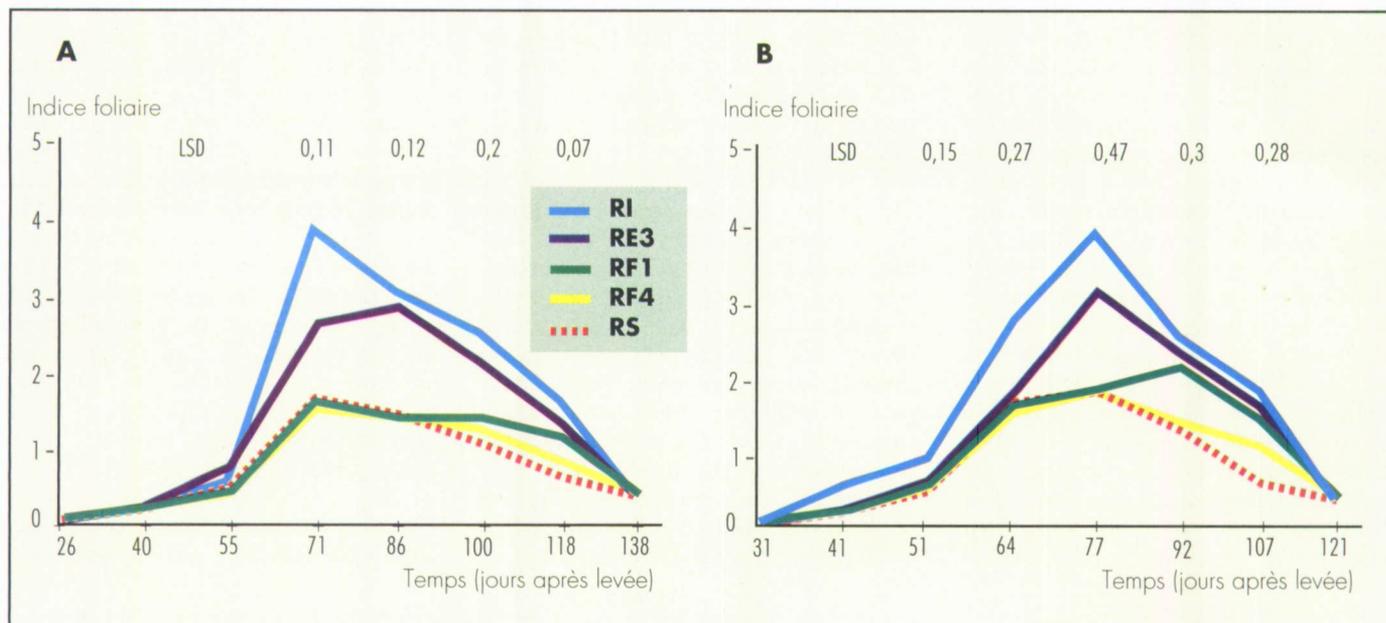


Figure 1. Évolution de l'indice foliaire du tournesol en 1989 (a) et 1990 (b) sous l'effet de différents régimes hydriques. Les régimes sont le régime pluvial (RS), le régime irrigué au stade bouton floral (RE3), le régime irrigué au stade début floraison (RF1), le régime irrigué au stade fin floraison (RF4) et le régime irrigué à chacun des trois stades cités (RI). Les valeurs de la plus petite différence significative (LSD) sont indiquées pour chaque date de prélèvement (5 %).

Figure 1. Changes in sunflower Leaf Area Index in 1989 (a) and 1990 (b) under different water regimes. The regimes were : rain-fed (RS), irrigated at early bud (RE3), irrigated at early flowering (RF1), irrigated at late flowering (RF4) and irrigated at each of the three above stages (RI). LSD values for each sampling date are represented (5 %).

Tableau 3

Effet du régime hydrique sur l'indice foliaire (LAI) et la durée d'action de la surface foliaire cumulée (LADc)

Régimes hydriques	Essai 1989		Essai 1990	
	LAI	LADc	LAI	LADc
RI	3,9 A	201,0 A	4,1 A	190,1 A
RE3	2,9 B	166,8 B	3,2 B	146,2 B
RF1	1,8 D	117,7 C	2,0 C	121,0 C
RF4	1,9 C	106,2 D	2,1 C	110,3 D
RNI	1,8 D	100,2 D	2,0 C	99,2 E
LSD	0,11	6,64	0,47	9,89

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

Effect of water regime on Leaf Area Index (LAI) and cumulative leaf area duration (LADc)

trois paramètres essentiels, à savoir l'évapotranspiration réelle (ETR), l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) et l'indice de récolte (HI). Ainsi le rendement peut être décomposé comme suit :

$$\text{Rendement grain} = \text{ETR} \times \text{EUE} \times \text{HI}$$

Les relations entre ces paramètres et le rendement grain montrent des coefficients de corrélation de 0,66 pour l'évapotranspiration réelle, de 0,41 pour l'indice de récolte et de 0,39 pour l'efficacité d'utilisation de l'eau. Ces résultats indiquent, dans les conditions de ces essais, qu'un rendement grain élevé est déterminé en premier lieu par la quantité totale d'eau con-

sommée, ensuite par le niveau de répartition des assimilats entre le grain et la paille, enfin par l'efficacité d'utilisation de l'eau. La supériorité du régime à trois irrigations s'explique par sa plus forte évapotranspiration, ses niveaux de l'indice de récolte et son efficacité d'utilisation d'eau. L'apport d'une seule irrigation au stade début floraison (RF1) est aussi productif que le régime à trois irrigations du fait que ce régime assure le plus fort indice de récolte et une très bonne efficacité d'utilisation de l'eau. L'irrigation tardive au stade fin floraison (RF4) entraîne le plus faible accroissement du rendement grain du fait qu'elle se traduit par la plus faible efficacité d'utilisation de l'eau (Tableaux 1 et 4). L'effet du régime hydrique sur la qualité technologique de la graine est variable. Les plus fortes teneurs en protéines sont observées sous le régime sec. Le résultat est inverse pour la teneur en huile. L'irrigation en fin floraison améliore nettement la teneur en huile (Tableau 2). Ceci peut être lié à la synthèse active des acides gras qui s'effectue essentiellement durant la phase fin floraison-maturité. Les résultats d'autres chercheurs vont dans le même sens [2, 3, 19, 26].

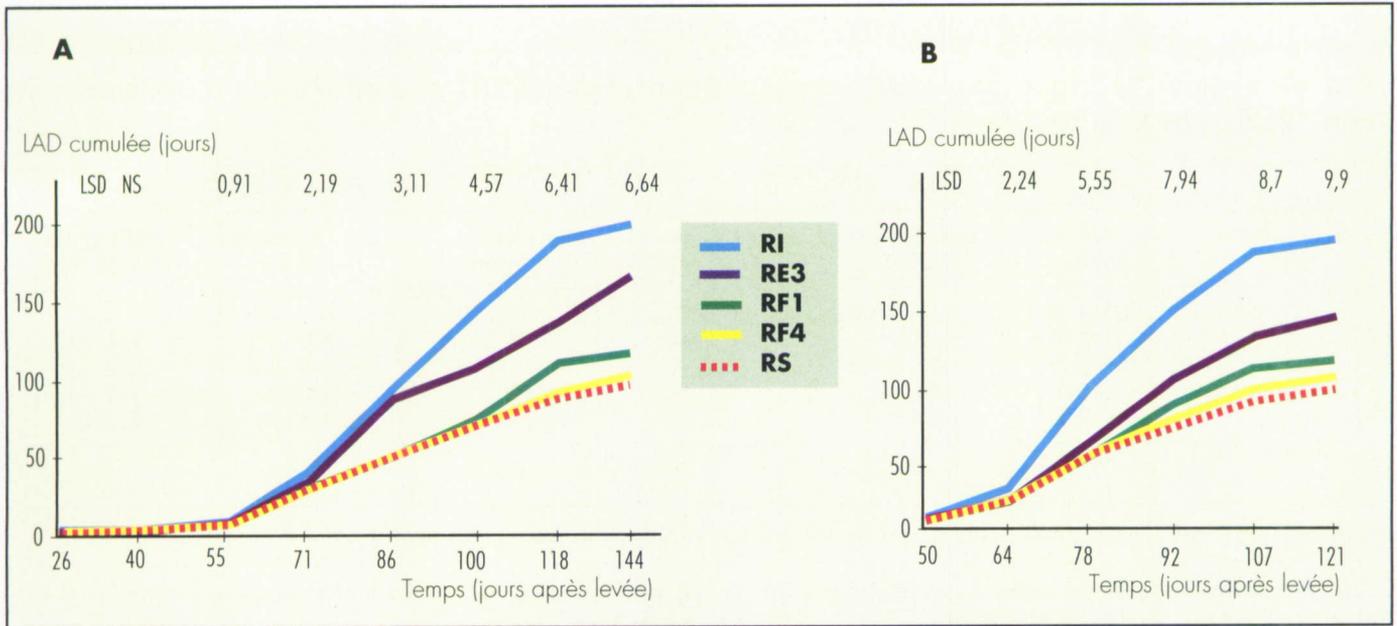


Figure 2. Évolution de la durée d'action cumulée de la surface foliaire (LAD cumulée) du tournesol en 1989 (a) et 1990 (b) sous l'effet de différents régimes hydriques. Les régimes sont le régime pluvial (RS), le régime irrigué au stade bouton floral (RE3), le régime irrigué au stade début floraison (RF1), le régime irrigué au stade fin floraison (RF4) et le régime irrigué à chacun des trois stades cités (RI). Les valeurs de la plus petite différence significative (LSD) sont indiquées pour chaque date de prélèvement (5 %).

Figure 2. Changes in cumulative Leaf Area Duration of sunflower grown in 1989 (a) and 1990 (b) under different water regimes. The regimes were : rain-fed (RS), irrigated at early bud (RE3), irrigated at early flowering (RF1), irrigated at late flowering (RF4) and irrigated at each of the three above stages (RI). LSD values for each sampling date are represented (5 %).

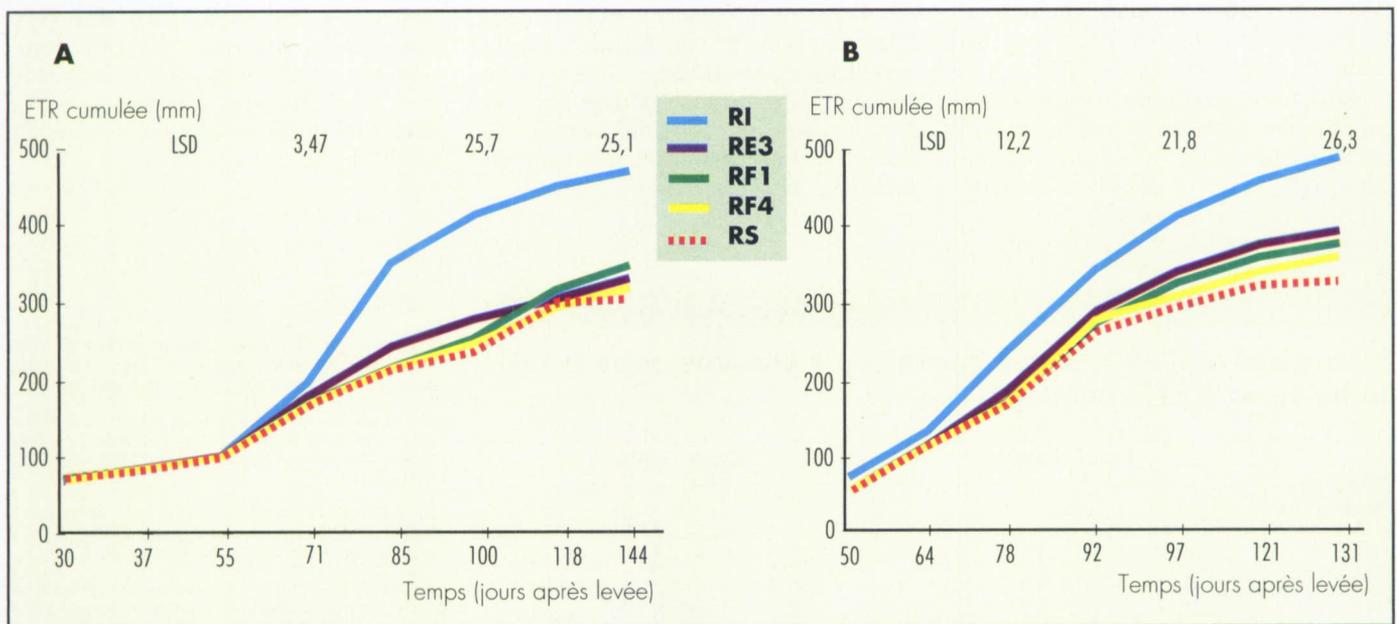


Figure 3. Évolution de l'évapotranspiration cumulée (ETR cumulée) du tournesol en 1989 (a) et 1990 (b) sous l'effet de différents régimes hydriques. Les régimes sont le régime pluvial (RS), le régime irrigué au stade bouton floral (RE3), le régime irrigué au stade début floraison (RF1), le régime irrigué au stade fin floraison (RF4) et le régime irrigué à chacun des trois stades cités (RI). Les valeurs de la plus petite différence significative (LSD) sont indiquées pour chaque date de prélèvement (5 %).

Figure 3. Changes in cumulative crop evapotranspiration of sunflower grown in 1989 (a) and 1990 (b) under different water regimes. The regimes were : rain-fed (RS), irrigated at early bud (RE3), irrigated at early flowering (RF1), irrigated at late flowering (RF4) and irrigated at each of the three above stages (RI). LSD values for each sampling date are represented (5 %).

Tableau 4

Effet du régime hydrique sur l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) chez le tournesol

Régimes hydriques	Essai 1989			Essai 1990		
	ETR (mm)	EUE biomasse (kg/ha/mm)	EUE grain (kg/ha/mm)	ETR (mm)	EUE biomasse (kg/ha/mm)	EUE grain (kg/ha/mm)
RI	483,0 A	29,7 AB	6,6 B	494,0 A	25,2 AB	6,7 B
RE3	371,4 B	30,3 A	6,2 BC	402,7 B	28,6 A	7,6 AB
RF1	355,9 B	29,6 AB	8,2 A	390,1 B	25,4 AB	8,2 A
RF4	349,5 B	25,7 C	7,0 B	366,9 C	21,3 B	7,1 AB
RNI	297,8 C	27,9 B	5,2 C	339,3 D	21,4 B	5,2 C
LSD	25,1	1,73	1,16	26,3	5,84	1,35

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

Effect of water regime on crop evapotranspiration (ETR) and on crop water use efficiency for grain and biomass production (EUE) of sunflower

Conclusion

Les résultats de ces études montrent que l'apport d'une seule irrigation au stade début floraison est aussi productif que le régime à trois irrigations. L'irrigation tardive au stade fin floraison entraîne le plus faible accroissement du rendement grain du fait de sa faible efficacité d'utilisation de l'eau.

La plus forte production de biomasse est obtenue aussi bien par le régime fréquemment irrigué que par le régime qui a reçu une seule irrigation au stade

bouton floral. Pour les autres régimes hydriques la biomasse produite est d'autant plus faible que l'irrigation est tardive.

Les irrigations pendant la période végétative ont amélioré la durée d'action de la surface foliaire cumulée par l'amélioration de la surface foliaire maximale et de la durée d'action de celle-ci. En revanche, les irrigations de postfloraison ont favorisé surtout la durée d'action de la surface foliaire en retardant la sénescence.

La comparaison des efficacités d'utilisation de l'eau pour le grain montre, d'une part qu'il est inutile de conduire la culture en satisfaisant ses besoins maximums en eau, et d'autre part qu'une seule irrigation au stade début floraison assure la plus forte efficacité. Sur le plan qualitatif, les plus fortes teneurs en protéines sont observées sous le régime sec. L'irrigation en fin floraison améliore nettement la teneur en huile ■

Tableau 5

Paramètres statistiques des ajustements linéaires entre la LAD cumulée et l'ETR cumulée

Régimes hydriques	Essai 1989			Essai 1990		
	a	b	r	a	b	r
RI	1,8	112,4	0,98	- 24,2	0,45	0,98
RE3	1,6	101,8	0,97	- 20,8	0,42	0,99
RF1	2,4	90,4	0,98	- 15,3	0,36	0,98
RF4	2,3	91,3	0,98	- 12,6	0,35	0,98
RNI	2,1	92,1	0,97	- 15,0	0,35	0,99

Tous les r obtenus sont très hautement significatifs.

Linear regression coefficients of cumulative leaf area duration against cumulative crop evapotranspiration

Références

1. Prunty L. Sunflower cultivar performance as influenced by soil water and plant population. *Agronomy journal* 1981 ; 73 (2) : 257-60.
2. Robelin M. Action et arrière action de la sécheresse sur la croissance et la production du tournesol. *Annales Agronomiques* 1967 ; 18 (6) : 579-99.
3. Talha M, Osman F. Effect of soil water stress on water economy and oil composition in sunflower. *J Agric Sci Camb* 1975 ; 84 : 49-56.
4. Marc J, Palmer JH. Relationship between water potential and leaf and inflorescence initiation in *Helianthus annuus*. *Physiol plant* 1976 ; 36 : 101-4.
5. Sionit N. Water status and yield of sunflower subjected to water stress during four stages of development. *J Agric Sci Camb* 1977 ; 89 (3) : 663-70.
6. Cox WJ, Jolliff GD. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy journal* 1986 ; 78 (2) : 226-30.

7. Van Paemel H. Le tournesol économe en eau. *France Agricole* 27 mai 1988 ; (2239) : 31-2.
8. CETIOM. La culture du tournesol, 1988 : 20 p.
9. CETIOM. La culture du tournesol, 1989 : 24 p.
10. Laurandel H. Tournesol et soja : irriguer à bon escient. *France Agricole* juin 1989 ; (2294) : 4 suppl.
11. Audouin CM. Biochimie industrielle alimentaire. Travaux pratiques, ENSIA, 1988 : 3 p.
12. Van Paemel H. Tournesol : raisonner l'irrigation. *Nouvel Agriculteur* 26 mai 1989 ; (143) : 34-5.
13. Rawson HM, Turner NC. Recovery from water stress in five sunflower cultivars. I — Effects of the timing of water application on leaf area and seed production. *Austr J Pl Physiol* 1982 ; 9 (4) : 437-48.
14. Abdel-Gawad AA, Ashoub MA, Saleh SA, El-Gazzar MM. Vegetative characteristics of some sunflower cultivars as affected by irrigation intervals. *Annals Agric Sci*, Fac Agric Ain Shams, Univ Cairo (Egypt) 1987 ; 32(2) : 1797-211.
15. Abdel-Gawad AA, Ashoub MA, Saleh SA, El-Gazzar MM. Yield response of some sunflower cultivars to irrigation intervals. *Annals Agric Sci*, Fac Agric Ain Shams, Univ Cairo (Egypt) 1987 ; 32(2) : 1229-42.
16. Blanchet R, Gelfi N, Merrien A. Rôle de la structure des feuilles dans la consommation d'eau du tournesol. *Informations techniques*, CETIOM, 1978 ; 63 : 12-22.
17. Merrien A, Blanchet R, Gelfi W. Relationships between water supply, leaf area development and survival, and production in sunflower (*H. annuus* L.). *Agronomie* 1981 ; 1 (10) : 917-22.
18. Mailhol P. Intérêt de l'irrigation. In : Bonjean A, éd. *Tournesols de France*, 1986 : 79-84.
19. Merrien A. Physiologie du tournesol. *Cahier technique*, CETIOM, 1986 : 46 p.
20. Gimeno V, Fernandez-Martinez JM, Fereres E. Winter planting as a means of drought escape in sunflower. *Field Crops Research*, 1989 ; (22) : 307-16.
21. Rollier M. Étude des besoins en eau du tournesol : 2^e partie. *Informations Techniques*, CETIOM, 1975 ; (45) : 1-39.
22. Blanchet R, Gelfi N. Influence de diverses modalités d'alimentation hydrique sur le comportement foliaire et la production du tournesol. Cultivar Relax. 8^e Conférence Internationale sur Tournesol. Minneapolis-Minnesota (USA) 1980 : 348-63.
23. CEMAGREF. Facteurs climatiques et tournesol. Étude n° 28. Section Productions Agricoles, 1981 : 118 p.
24. Moutonnet P, Bois JF. Efficience comparée de l'eau transpirée par le maïs, le tournesol et le riz. *Agricultural Meteorology* 1982 ; 27 : 209-15.
25. Balas B. Irrigation du tournesol. Synthèse des travaux effectués par la CACG dans la région des Cotraux Est du Grès. Mémoire du 3^e cycle CACG, 1988.
26. Ordoñez AA, Company ML. El cultivo del girasol. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1990 : 29-55.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser l'effet du régime hydrique sur l'élaboration du rendement chez le tournesol (*Helianthus annuus* L.). Deux essais ont été réalisés en 1989 et 1990 à la Ferme expérimentale de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, située à Moghrane (32° N, 7° W), Maroc. Cinq régimes hydriques ont été testés : trois d'entre eux ont reçu une dose fixe d'environ 50 mm appliquée, soit au stade bouton floral, soit au stade début floraison, soit au stade fin floraison. Les deux autres régimes ont servi de témoins et sont le régime fréquemment irrigué (application de trois irrigations, d'environ 50 mm chacune, aux stades bouton floral, début et fin floraison) et le régime soumis aux précipitations. L'analyse des résultats des deux années

montre que les rendements observés sous le régime irrigué trois fois représentent le double du rendement grain du régime hydrique pluvial. L'apport d'une seule irrigation au stade début floraison est aussi productif que le régime à trois irrigations du fait que ce régime assure le plus fort indice de récolte et une très bonne efficience d'utilisation de l'eau.

Une seule irrigation, au stade bouton floral, produit autant de biomasse que le régime à trois irrigations. Pour les autres régimes hydriques, la biomasse produite est d'autant plus faible que l'irrigation est tardive. Les irrigations pendant la période végétative ont amélioré la durée d'action de la surface foliaire cumulée (LADc) par l'amélioration de la surface foliaire maximale et de sa durée d'action. En revanche,

les irrigations de postfloraison ont favorisé surtout la durée d'action de la surface foliaire en retardant la sénescence. Des liaisons étroites entre évolution de la durée d'action de la surface foliaire cumulée et évolution de l'évapotranspiration réelle cumulée sont mises en évidence.

L'efficience d'utilisation de l'eau a varié de 21 à 30 kg/ha/mm pour la production de biomasse et de 5,2 à 8,8 kg/ha/mm pour le rendement grain. Pour la biomasse, la plus forte efficience est réalisée sous le régime bouton floral ; alors que c'est le régime début floraison qui assure la meilleure efficience pour la production de grain. Les plus fortes teneurs en protéines sont observées sous le régime sec. L'irrigation en fin floraison améliore nettement la teneur en huile.