

Production et qualité fourragère du trèfle d'Alexandrie en fonction de l'alimentation hydrique en Mitidja (Algérie)

B.A. Merabet¹, F. Bassaid¹, A. Abdelguerfi², Y. Daoud³

Dans les régions à climat méditerranéen sub-humide d'Afrique du Nord, le bersim (*Trifolium alexandrinum* L.) est très utilisé pour l'affouragement en vert de fin d'hiver et de printemps des élevages bovins laitiers. L'irrigation permet-elle d'allonger sa courte période de production (90 jours) en culture pluviale ?

RÉSUMÉ

Dans deux essais (semis du 18/10 et du 20/11 en Mitidja, Algérie), avec comme témoin le régime pluvial (T0), trois règles de décision d'irrigation ont été comparées : T1 avec déclenchement de tensiomètres à - 0,05 Mpa, et T2 et T3 selon l'évaporation du bac classe A et irrigation tous les 30 ou 50 mm. Quel que soit le régime hydrique, la période optimale d'efficacité d'utilisation de l'eau se situe de mi-février à mi-mai (4 à 5 kg MS/m³ H₂O). L'avancement du semis d'un mois et l'irrigation ont permis d'allonger la durée d'offre fourragère exploitable de 15 jours environ. Les règles de décision d'irrigation se sont traduites par différents degrés de satisfaction des besoins en eau, auxquels la production de matière sèche est très corrélée, mais l'effet est inverse, défavorable, sur la qualité du fourrages (valeur énergétique et protéique).

MOTS CLÉS

Algérie, Afrique du nord, bersim, date de semis, irrigation, eau, efficacité, légumineuse, production fourragère, *Trifolium alexandrinum*, valeur nutritive, zone méditerranéenne, zone sub-humide.

KEY-WORDS

Algeria, Northern Africa, berseem, efficiency, forage production, irrigation, legume, Mediterranean region, nutritive value, sowing date, sub-humid region, *Trifolium alexandrinum*, water.

AUTEURS

1 : Laboratoire de Maîtrise de l'eau en agriculture, INA, El-Harrach 16200 (Algérie) ; b.merabet@ina.dz

2 : Laboratoire de Ressources Génétiques et Biotechnologies, INA, El-Harrach 16200 (Algérie).

3 : Département de Sciences du sol, INA, El-Harrach 16200 (Algérie).

Intérêt et utilisation du bersim dans la Mitidja

La culture pure de bersim ou trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum* L.) est très répandue dans le bassin méditerranéen. Les superficies sont estimées à 700 000 ha en Egypte (DOVRAT, 1993). Elles sont de l'ordre de 50 000 ha au Maroc, où le bersim constitue le fourrage d'hiver des périmètres irrigués. Dans la plaine du Gharb au nord du Maroc, les niveaux moyens de production chez les agriculteurs se situent entre 8 et 10 t MS/ha (BOUNEJMATE, 1997), avec un potentiel de 15 t MS/ha (AMEZIANE, 1975). Légumineuse annuelle à pousse hivernale et printanière, **le bersim revêt un intérêt certain auprès des éleveurs laitiers en Algérie** (MAP, 1996). Ce fourrage vert très digestible et riche en matières azotées favorise la production laitière. La composition et la valeur du fourrage vert varient dans d'assez larges limites suivant qu'il a été obtenu avec ou sans irrigation (LAUMONT, 1951 ; LAUMONT et al., 1955 ; GAILLARD et al., 1977 ; LAPEYRONIE, 1982).

La vaste **plaine de la Mitidja** s'étend entre l'Atlas Blidéen au sud, et les hauteurs du Sahel et la Méditerranée au nord. Avec une température moyenne annuelle de 18°C et une pluviométrie comprise entre 600 et 900 mm/an pour une demande climatique de 1 300 à 1 400 mm/an, cette plaine se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen sub-humide à hiver doux. L'hiver est excédentaire en eau (70% des précipitations annuelles ont lieu de septembre à février) et le printemps variable mais fréquemment déficitaire, ce qui pénalise souvent les fins de cycle des cultures pluviales exigeantes en eau à cette période (CHADOULI, 1991).

Cette plaine accueille 23% de l'effectif bovin des régions du nord de l'Algérie (MUTIN, 1977), avec une **orientation laitière dominante**. La taille moyenne des troupeaux est de 6 à 8 vaches laitières de race Pie Noire ou Montbéliarde. Une étude récente menée dans 80 exploitations par l'Institut Technique des Elevages montre que la production laitière par exploitation varie entre 9,8 et 15 kg de lait/vache traite/jour. Ce faible niveau s'explique par le faible taux d'auto-provisionnement des élevages en fourrages (seulement 27% de leurs besoins) et le coût élevé des aliments du bétail concentrés. L'alimentation de base du bétail est constituée le plus souvent de foin de vesce-avoine de mauvaise qualité, insuffisamment complétement par des concentrés (ABDELGUERFI et LAOUAR, 2002). **Le bersim a donc une vocation en tant que culture fourragère principale pour apporter un complément protéique en vert, aussi longtemps que possible en hiver et au printemps**. N'étant pas conservé mais utilisé en vert au fur et à mesure de sa production, **la durée de la période de production et la régularité quantitative et qualitative sont des caractères essentiels**, aussi importants que la production totale durant la campagne agricole.

En conduite pluviale, les semis sont souvent tardifs (novembre) et la production peu étalée dans le temps car tributaire des conditions climatiques. Les résultats de plusieurs années d'expérimentation en sec montrent que la production totale varie de 5 à 10 t MS/ha selon

les années, de janvier ou février à avril ou mai selon la pluviométrie printanière (HAMADACHE *et al.*, 1998). L'utilisation de **l'irrigation permet d'allonger le cycle de production** en avançant la date de semis et en régularisant la production de printemps. Mais l'intensification par l'irrigation doit être raisonnée pour optimiser l'utilisation de l'eau d'irrigation. En effet, le rationnement de l'eau est en vigueur dans le réseau public à cause de la faiblesse des ressources hydrauliques et du mode d'irrigation traditionnel gravitaire, qui occasionne des pertes dans le réseau et à la parcelle. Seulement le tiers des 67 000 ha potentiellement irrigables le sont effectivement. La question de l'irrigation du bersim (quand et comment ?) ne peut donc pas être analysée sans tenir compte de ce **contexte de ressources en eau limitantes, donc en termes d'irrigations "de complément"** (en début et en fin de cycle), avec un souci d'appréciation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE). Celle-ci s'exprime par cycle de repousse, en matière sèche récoltée par unité de volume d'eau évapotranspiré (kg MS/m³H₂O), ce qui nécessite la mesure de l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture par période (Bos, 1980).

En pratique, pour prendre en compte la très grande irrégularité pluviométrique aux périodes concernées (début d'automne et printemps), il faut **définir des règles de décision d'irrigation du bersim** permettant d'optimiser la durée de production et la qualité, en même temps qu'une efficacité de l'eau élevée. Deux essais (semis précoce et semis tardif) ont été réalisés durant la campagne agricole 2000-2001 avec ces objectifs.

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal, conditions de culture

La variété utilisée est Miscawi. Parmi les variétés introduites d'Égypte (Miscawi, Fahl, Saidi, Khedrawi), seule la première s'est maintenue en raison de sa parfaite acclimatation aux conditions locales (LAUMONT, 1951). La plante peut atteindre 70 cm de hauteur (GREAVES *et al.*, 1996), mais la fauche se fait à 40-50 cm de hauteur, lorsque les repousses issues des bourgeons adventifs à la base de la tige principale atteignent 5 à 10 cm (GAILLARD *et al.*, 1977 ; ABDELGERFI et LAOUAR, 2002). La profondeur racinaire est comprise entre 40 et 80 cm (VILLAX, 1963). L'induction florale a lieu au printemps lorsque la photopériode dépasse 12 h et que la température augmente (BOUNEJMATE, 1997). En fin de printemps, les plantes se couvrent de fleurs et le potentiel de croissance s'effondre.

Les essais ont été réalisés dans la plaine de la Mitidja (longitude Greenwich 3° 68' E, latitude N 36° 43', altitude 24 m). Le sol est argilo-limoneux (56% en argile, 31% en limon et 13% en sable) à pH neutre à faiblement alcalin (7,5). La conductivité électrique et la réserve maximale d'eau utile (RU_{max}) sont de l'ordre de 1,4 dS/m (sol non salé) et 1,9 mm/cm. Le précédent cultural étant du blé, le travail du sol a consisté en un déchaumage à l'aide d'un trisoc fin juillet, un labour profond à la charrue à soc, fin septembre, et une préparation superfi-

cielle après l'épandage d'engrais de fond (200 kg/ha de phosphate à 45% de P_2O_5). Les semis ont été réalisés au semoir à 30 kg/ha et interligne de 20 cm.

2. Traitements réalisés, dispositif

Dates de semis : Sur la même parcelle, on a implanté un essai précoce (semis le 18 octobre 2000) et un essai identique tardif (le 14 novembre 2000). Chacun est un dispositif en bloc aléatoire complet à 4 traitements hydriques, répété 4 fois. Chaque parcelle élémentaire mesure 6 m².

Règles de décision d'irrigation : Les règles ont été définies de façon à permettre une mise en application ultérieure très simple chez les agriculteurs. Ainsi, le déclenchement utilise deux avertisseurs peu onéreux et très répandus : le tensiomètre à manomètre recommandé pour une conduite de la culture proche de l'ETM, et le bac d'évaporation "classe A" pour une conduite en régime hydrique déficitaire (DOORENBOS et PRUIT, 1975). **Quatre modalités (T0 à T3)** sont appliquées :

- T0 : Pas d'irrigation (traitement dit pluvial).
- T1 : Irrigation quand le tensiomètre descend à -0,05 MPa à 40 cm de profondeur en automne-hiver et à 60 cm de profondeur à partir de mars. Le changement de profondeur prend en compte l'évolution de la profondeur racinaire. Cette règle est calculée pour maintenir un régime d'évapotranspiration maximale (ETM) et une croissance optimale, le seuil -0,05 MPa correspondant à la valeur de tension d'humidité du sol au-dessus de laquelle une diminution de rendement est constatée chez les fourrages verts (TAYLOR et ASHROFT, 1972).
- T2 : Irrigation quand l'évaporation cumulée Ea du bac classe A atteint 30 mm (équivalente dans ce type de sol argileux à une utilisation de 15 à 20% de la réserve utile R_Umax sur 1 mètre de profondeur).
- T3 : Irrigation quand le bac classe A a cumulé une Ea de 50 mm (25 à 30% de R_Umax).

Par souci de simplicité pour une vulgarisation ultérieure, la dose d'irrigation est fixée et la même dans les trois modalités irriguées (T1, T2, T3) au cours d'un même mois. D'après BALDY (1986), le principe de l'irrigation de complément consiste à ramener à la culture un appoint d'eau réduit en espérant l'arrivée de la pluie dans les jours suivants ; de plus, pour minimiser les risques de pertes par percolation, la dose choisie ne vise pas nécessairement à remettre le profil de sol à la capacité au champ. Dans notre contexte, nous avons retenu le principe d'une dose équivalente aux besoins hebdomadaires (ETM) du mois considéré, calculée par le produit de l'ETP journalière moyenne (esti-

TABLEAU 1 : **Besoins en eau du bersim de novembre à mai en Mitidja** (moyennes calculées sur 23 ans ; ETP et ETM : Evapo-transpiration potentielle et maximale ; Kc : coefficient cultural).

TABLE 1 : **Optimal water supply for berseem during the November-May period in Mitidja** (23 years average ; ETP : potential evapotranspiration ; ETM : maximum evapotranspiration ; Kc : crop coefficient).

Mois	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai
ETP (mm/jour)	1,30	1,30	1,02	1,65	2,03	3,20	4,07
Kc	0,95	0,94	0,90	0,95	1,0	0,76	0,92
ETM (mm/jour)	1,23	1,22	0,91	1,56	2,0	2,43	3,74
Dose hebdomadaire (mm)	8,6	8,6	6,4	11,0	14,0	17,0	26,0

mée sur une séquence de 23 ans) et du coefficient cultural Kc du ber-sim (LEGOUPIL, 1972). Pour un mois donné, la dose d'irrigation est fixe (valeurs données à la dernière ligne du tableau 1).

Les apports sont effectués manuellement à l'aide d'un arrosoir relié par tuyau à une citerne. L'eau, provenant d'un forage, présente une conductivité électrique de 1,7 dS/m, donc légèrement supérieure à celle du sol mais le risque de salinisation est faible en raison des pluies excédentaires d'hiver qui assurent le lessivage sur un sol assez bien drainé.

3. Mesures climatiques, profils hydriques, et quantités d'eau consommées

Les données climatiques journalières sont mesurées au niveau de la station climatique de la zone d'étude, la demande climatique en eau étant l'ETP-Penman.

Les deux dispositifs expérimentaux ont fait l'objet d'un **suivi intensif de l'état hydrique du sol**. Pour mesurer la teneur en eau et établir le profil hydrique nécessaire au calcul du stock d'eau dans le sol à un instant donné, nous avons utilisé la méthode neutronique (avec étalonnage gravimétrique et comptage standard dans l'eau avant chaque usage). Un tube d'accès à la sonde à neutrons (503 C.P.N), de 1 m de longueur, est installé verticalement sur chaque parcelle élémentaire. De plus, une répétition de chaque traitement des deux semis a été équipée de tensiomètres aux profondeurs 20, 40, 60, et 80 cm (deux par profondeur), afin de piloter l'irrigation de T1, et de suivre les profils de charge hydraulique dans le sol et situer la profondeur du plan de flux nul (séparation du flux d'évaporation du flux de drainage).

L'évapotranspiration réelle (ETR) est déduite de l'équation du bilan hydrique par la méthode du plan de flux nul (VACHAUD *et al.*, 1978). Entre deux instants (ex. : durée d'un cycle de repousse), l'ETR est la somme algébrique des apports (mm de pluie + irrigation) moins la variation du stock hydrique, ΔS , entre la cote du plan de flux nul et la surface du sol (flux d'évaporation). Le terrain étant plat, le ruissellement est négligé. L'ETR a été calculée en négligeant les épisodes de pluies inférieurs à 5 mm (LUC, 1998).

4. Mesures de la production et de la qualité du fourrage obtenu

Chaque parcelle élémentaire a fait l'objet de mesures de la production en vert et en matière sèche à chaque coupe. La comparaison des traitements a été réalisée par analyse de variance et test de la comparaison des moyennes avec un risque d'erreur de 5%.

Pour prévoir la valeur fourragère (teneur en matières azotées digestibles, MAD, et en unités fourragères, UF Leroy), nous avons utilisé les tables de la valeur alimentaire des fourrages établies par l'INRA (1988). L'azote total est dosé par la méthode de Kjeldahl (pour pouvoir

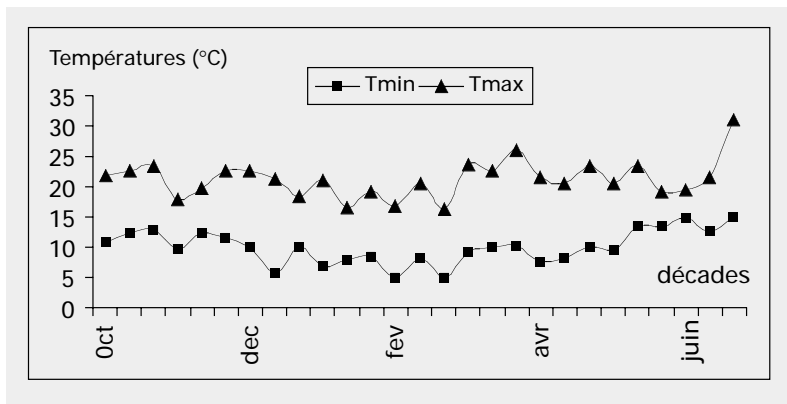


FIGURE 1 : Evolution décadaire des températures minimales (Tmin) et maximales (Tmax) durant la période octobre 2000 - juin 2001.

FIGURE 1 : Values of minimal (Tmin.) and maximal (Tmax.) temperatures taken at 10 day-intervals from October 2000 to June 2001.

calculer les matières azotées totales, MAT), et la cellulose brute (CB) par la méthode de Weende. La teneur en matières minérales (MM) est conventionnellement le résidu après destruction de la matière organique (MO) par incinération.

Résultats

1. Climat et régimes hydriques appliqués

Les données climatiques reportées dans les figures 1 et 2 montrent que les températures ont été normales, sans valeur minimale inférieure à 3°C en dessous de laquelle la plante peut subir des dégâts. Les précipitations ont été élevées d'octobre à février avec 364 mm, ce qui représente 78% du cumul de la campagne agricole (466 mm d'octobre à juin inclus). A partir du 1^{er} mars, 40 jours sont totalement secs et toutes les décades sont déficitaires.

La pluviométrie abondante jusqu'à la fin février ayant optimisé l'alimentation hydrique jusqu'à la mi-mars (figure 2), **les 4 traitements hydriques n'ont été différenciés qu'après la deuxième**

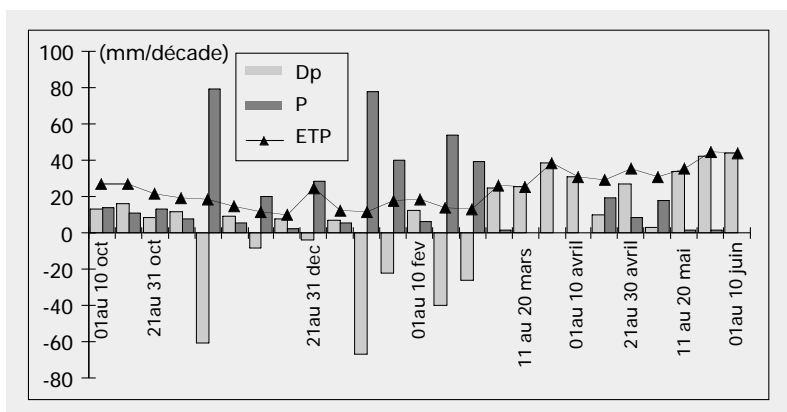


FIGURE 2 : Evolution décadaire des précipitations (P), de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et du déficit pluviométrique (Dp) durant la période octobre 2000 - juin 2001.

FIGURE 2 : Values of rainfall (P), potential evapotranspiration (ETP) and rainfall deficit (Dp) taken at 10 day intervals from October 2000 to June 2001.

coupe (13 mars pour les semis précoces, 19 mars pour les semis tardifs). Durant la période déficitaire qui suit, les 4 traitements hydriques sont appliqués jusqu'au stade floraison (fin du cycle cultural). Les régimes hydriques résultant des quatre modalités d'irrigation pendant cette période sont présentés dans le tableau 2.

Le plan de flux nul nécessaire pour la détermination de ΔS est resté près de la surface (entre 0 et 20 cm de profondeur) durant toute la période pluvieuse (mi-février). Au-delà, il a oscillé entre 20 et 40 cm de profondeur pour T1, entre 40 et 60 cm pour T2, et autour de 60 cm pour T3. Pour T0, il a atteint assez rapidement la profondeur 60 cm mais sans aller au-delà, ce qui laisse supposer que c'est la profondeur maximale atteinte par l'enracinement.

Sur l'ensemble des deux cycles végétatifs à régimes hydriques différenciés (cycles 3 et 4), **le ratio ETR/ETP** a été respectivement pour T1, T2, T3 et T0 de 0,99, 0,81, 0,71, et 0,64 pour les semis précoces ; et 0,92, 0,77, 0,72, et 0,53 sur les semis tardifs (tableau 2). Ce rapport entre l'ETR permise par les régimes hydriques et la demande climatique quantifie le niveau de la contrainte hydrique subie globalement sur cette période.

2. Phénologie, croissance et production de matière sèche

L'avancement du semis à mi-octobre comparé à mi-novembre (pratique habituelle) a permis d'allonger la période d'exploitation de 8 jours à la première fauche.

TABLEAU 2 : Effets des traitements hydriques sur le rapport de consommation en eau (ETR/ETP), la production de bersim (MS) et l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), pour des semis précoces et tardifs (ΔS : variation du stock hydrique du sol).

TABLE 2 : Effects of treatments on water consumption ratio (ETR/ETP), berseem dry matter yield (MS) and water use efficiency (EUE), for early and late sowing date (ΔS : soil water reserve variation).

N° de cycle	a) Semis précoce											
	3 (14 mars-15 avril)				4 (16 avril-9 mai)				5 (10 mai-2 juin)			
	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	
ETP (mm)	101	101	101	101	76	76	76	76	96	96	96	
Pluie (mm)	0	0	0	0	35,8	35,8	35,8	35,8	0	0	0	
Irrigation (mm)	62	48	17	0	34	34	34	0	52	52	52	
ΔS (mm)	-34,8	-25,8	-46,1	-51,8	-7,4	1,2	6,7	-22,6	-25,9	-18,1	-19,7	
ETR (mm)	96,8	73,8	63,1	51,8	77,2	68,6	63,1	58,4	77,9	70,1	71,7	
ETR/ETP	0,96	0,73	0,62	0,51	1,02	0,90	0,83	0,77	0,81	0,73	0,75	
MS (t/ha)	5,5 a	3,8 b	3,4 b	2,5 c	3,6 a	2,8 b	2,1 b	2,1 b	1,9 a	1,1 b	0,9 c	
EUE (kg/m ³)	5,7 a	5,1 b	5,4 b	4,8 b	4,7 a	4,1ab	3,3 c	3,6 bc	2,4 a	1,6 b	1,3 b	
N° de cycle	b) Semis tardif											
	3 (19 mars-23 avril)				4 (24 avril-21 mai)							
	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0				
ETP (mm)	112	112	112	112	92	92	92	92				
Pluie (mm)	0	0	0	0	35,8	35,8	35,8	35,8				
Irrigation (mm)	82	82	68	0	26	26	26	0				
ΔS (mm)	-21,2	-17,7	-20,6	-66,8	-22,7	1,8	3	-6,3				
ETR (mm)	103,2	99,7	88,6	66,8	84,5	60,0	58,8	42,1				
ETR/ETP	0,92	0,89	0,79	0,60	0,92	0,65	0,64	0,46				
MS (t/ha)	4,9 a	4,4 b	3,7 b	3,2 c	3,6 a	3,4 b	3,3 a	2,0 b				
EUE (kg/m ³)	4,8 a	4,5 a	4,2 b	4,8 a	4,3 a	5,7 a	5,6 a	4,8 ab				
NB : Par cycle, les valeurs d'une même ligne portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%												

L'apparition du stade floraison est intervenue progressivement durant la semaine du 12 au 19 mai pour tous les traitements de l'essai tardif ainsi que pour le traitement en pluvial (T0) de l'essai précoce. En revanche, **pour les traitements irrigués (T1, T2, T3) de l'essai précoce, le stade floraison n'a été noté que durant la première semaine de juin**, avec T1 en dernier. Les lois générales déterminant la mise à fleur (photopériode supérieure à une valeur seuil, sommes de températures) font que les semis précoces ont normalement une date de floraison qui précède de quelques jours celle des semis tardifs. Le retard de floraison de ces trois traitements avec semis précoces provient du fait que, lors de la fauche du 9 mai, les futures inflorescences (non épanouies) ont été coupées ; alors que, dans le traitement T0, les inflorescences ont été sauvegardées car leur hauteur était plus faible que dans T1-T2-T3, à cause de la sécheresse précoce. Ceci pose *a posteriori*, comme souvent dans les essais fourragers, la question de l'ajustement du protocole de fauche par rapport à la phénologie.

Pour un fourrage destiné à l'affouragement en vert où plusieurs récoltes (coupes) se succèdent, l'expression de la productivité s'exprime sous forme de vitesse de croissance journalière (kg MS/ha/jour) qui est fonction de l'espèce, de la variété et des paramètres du milieu (HNATYSZYN et GUAIS, 1988). L'évolution de la productivité journalière par cycle de repousse selon les deux dates de semis est présentée en figure 3.

Les vitesses de croissance aérienne sont les plus élevées de mi-février à mi-mai ; elles varient alors pour la plupart entre 100 et 160 kg MS/ha/jour (figure 3). En dehors de cette période de seulement 100 à 110 jours, la production de matière sèche est très faible.

Les productions sur l'ensemble du cycle cultural confirment le **bon potentiel de la culture rapporté à la disponibilité en eau**. En culture pluviale, elles ont été de 9,0 et 11,5 t MS/ha pour 466 mm de pluviométrie dont 360 et 320 mm utilisés par la culture. Pour obtenir une alimentation hydrique optimale (T1, T2) de mi-mars à mi-mai, il a fallu 150 mm d'eau supplémentaire sur les semis précoces et 110 mm sur les semis tardifs, et les gains ont été de 6 à 3 t MS/ha.

FIGURE 3 : Evolution de la productivité journalière du bersim par cycle selon le régime hydrique.

FIGURE 3 : Effect of water supply and of the growth cycle on the daily growth rate of berseem.

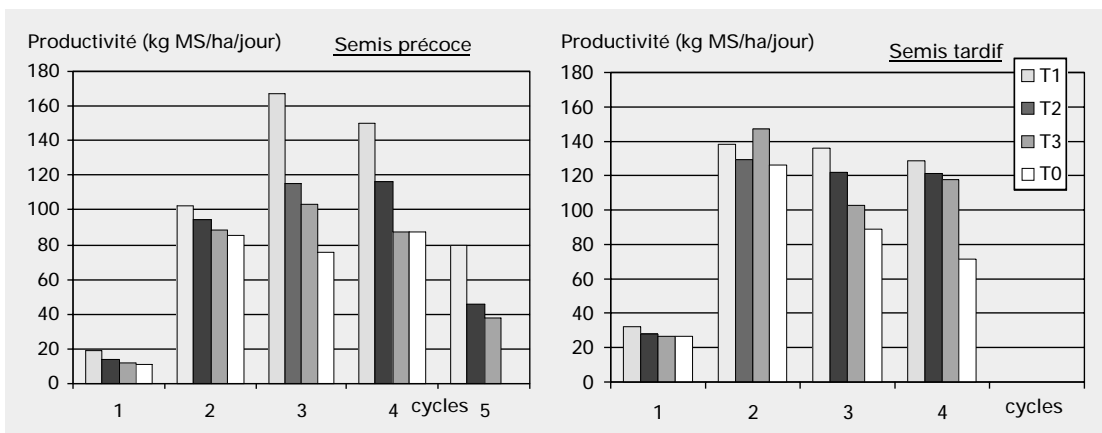


TABLEAU 3 : Teneur en matière sèche (MS) du bersim et composition chimique de la matière sèche selon le traitement hydrique.

TABLE 3 : Dry matter contents (MS) of berseem, with chemical composition according to water supply.

N° de cycle	a) Semis précoce											
	2 (7 février-13 mars)				3 (14 mars-15 avril)				4 (16 avril-9 mai)			
	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0
MS (%)	14,8	-	-	14,9	23,2	23,6	19,0	24,2	19,7	19,0	18,5	26,5
MM (% MS)	16,3	-	-	16,4	14,9	14,5	13,3	14,0	13,3	14,4	14,0	12,0
CB (% MS)	11,3	-	-	11,7	13,6	12,5	14,5	11,6	18,2	16,6	16,4	12,2
MAT (% MS)	14,7	-	-	18,2	15,7	13,7	14,3	22,0	17,0	14,3	16,1	20,1
MO (% MS)	83,7	-	-	83,6	85,1	85,5	86,7	86,0	86,7	85,6	86,0	88,0

N° de cycle	b) Semis tardif											
	2 (13 février-18 mars)				3 (19 mars-23 avril)				4 (24 avril-21 mai)			
	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0
MS (%)	18,0	-	-	16,8	20,2	22,3	20,1	25,6	22,8	23,7	24,0	26,3
MM (% MS)	16,9	-	-	16,9	13,4	13,5	13,1	11,6	13,2	13,3	13,0	13,9
CB (% MS)	11,2	-	-	10,7	14,6	12,6	12,5	11,4	19,2	15,0	14,8	19,5
MAT (% MS)	14,9	-	-	14,0	15,8	15,0	16,5	22,0	14,4	14,8	14,9	18,1
MO (% MS)	83,1	-	-	83,1	86,6	86,5	86,4	88,4	86,8	86,7	87,0	86,1

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE, tableau 2) varie principalement en fonction de la période : elle est faible pendant le cycle d'installation, **optimale pendant environ trois mois, de mi-février à mi-mai** (valeurs entre 3,5 et 5,5 kg MS/m³ d'eau), et chute très fortement à la fin mai avec la floraison.

Dans la période où les régimes hydriques sont différenciés (cycles 3 et 4 des deux dates de semis), les différences d'EUE entre régimes hydriques sont faibles. On peut donc dire en première approximation que, pendant cette période, **le bersim a une réponse à l'irrigation relativement constante de 4,7±1,0 kg MS/m³ d'eau ou 47 kg/mm d'ETR** et que la production de matière sèche est alors une fonction linéaire de la quantité d'eau évapotranspirée ETR, dans la limite ETR ≤ ETP. Dans le détail, la réponse à l'eau tend à être légèrement au-dessus de cette moyenne si l'alimentation hydrique est maintenue optimale (T1, T2), et à être légèrement en dessous si l'alimentation hydrique est plus limitante (T0, T3). Pendant les cycles 3 et 4, où on a à la fois un fort potentiel de croissance et une différenciation des régimes hydriques, les corrélations entre la biomasse produite et les ratios ETR/ETP par cycle sont très élevées (r² de 0,98 à 0,99).

L'efficacité diminue très vite à partir de la mi-mai (cycle 5, semis précoce) : du fait que la plante refléurit sans produire beaucoup, l'irrigation n'est plus correctement valorisée.

3. Qualité du fourrage obtenu

La composition chimique du fourrage obtenu est donnée pour les 4 traitements hydriques et les deux dates de semis dans le tableau 3. La valeur alimentaire a été établie seulement pour les deux traitements extrêmes T0 et T1 (tableau 4). **L'irrigation tend à diminuer la qualité :**

- forte augmentation de la teneur en eau (+30 à 35%), ce qui augmente inutilement les volumes à manutentionner et à transporter en affouragement fauché ;

Semis	Précoce						Tardif					
	2		3		4		2		3		4	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1
UF Leroy/kg MS	0,88	0,77	0,92 a	0,79 b	0,86 a	0,73 b	0,75	0,70	0,94 a	0,84 b	0,78	0,73
MAD/kg MS	136,5 a	106,5 b	161,4 a	96,7 b	144,2 a	99,6 b	103,7	102,5	160,4 a	109,6 b	129,2 a	91,0 b
MAD/UF	155,1	138,2	175,4	122,4	167,7	115,8	138,3	146,4	170,6	130,5	165,6	123,0

NB : Par cycle, les valeurs d'une même ligne portant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%

- augmentation de la teneur en cellulose brute ;
- diminution sensible de la valeur énergétique (plus marquée en semis précoce) ;
- forte réduction (-20 à -30%) de la teneur en MAT, en MAD, et des ratios MAD/UF.

Les valeurs des UF Leroy/kg MS obtenues sont comparables à celles établies par THERIEZ (1965) en Tunisie. Avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,8 UF/kg MS, **l'irrigation permet des gains importants en UF** : 3 600, 1 600 et 720 UF respectivement pour T1, T2, T3 sur semis précoce ; 2 640, 2 080 et 1 040 UF en semis tardif.

TABLEAU 4 : Valeur alimentaire du bersim obtenu avec les traitements T1 et T0, en semis précoce et tardif.

TABLE 4 : Feeding value of berseem in the T0 and T1 treatments for the two sowing dates .

Discussion et conclusions

L'année d'étude s'est caractérisée par des conditions hydriques d'automne et hiver très favorables, qui n'ont pas permis de différencier les régimes hydriques à cette période. Au printemps, la rareté des pluies a permis une bonne différenciation des règles de décision, aux deux dates de semis. La mesure des états et régimes hydriques (profils hydriques, ETR, ETR/ETM par cycle) découlant des règles de décision testées permet de donner des conclusions générales qui dépassent le cadre conjoncturel de cette année d'étude.

Par rapport au traitement T1 qui est la référence d'absence de stress hydrique, les règles de décision T2 et T3 et *a fortiori* T0 (pluvial) ont entraîné des déficits d'évapotranspiration (ETR/ETM < 1) variables. Les productions sur cette période sont parfaitement corrélées aux niveaux de contrainte hydrique estimés par le ratio ETR/ETP. Ces résultats dénotent une **grande sensibilité de la plante au statut hydrique du sol** : dès que la règle de décision d'irrigation accepte des périodes où la réserve hydrique du sol descend entre 90 et 80% de la réserve hydrique maximale (RU_{max}), la baisse de production est significative. Ceci est en accord avec des résultats signalés sur d'autres espèces fourragères (ROBELIN, 1969 ; MANSAT, 1977 ; MARTY *et al.*, 1977 ; VOLAIRE et LELIEVRE, 2001).

De février à mi-mai, le potentiel de croissance et l'efficacité de l'eau (4 à 5 kg MS/m³ H₂O) élevés justifient de pratiquer des irrigations de complément jusqu'à cette date. Mais, après cette date, la physiologie de la plante (du moins de cette variété) ne permet plus une bonne valorisation de l'eau, qui doit alors être réservée à d'autres cul-

tures. Cette conclusion sur **l'intérêt de l'irrigation est à nuancer par les résultats de qualité fourragère** car l'irrigation augmente sensiblement la teneur en eau d'un fourrage déjà très aqueux, et elle tend à faire baisser la valeur énergétique et protéique du fourrage, ainsi que le rapport MAD/UF. La qualité de cette production irriguée reste compatible avec les exigences de bovins laitiers, néanmoins la forte baisse en teneur azotée **peut être un inconvénient quand le bersim est utilisé en faible proportion dans les rations alimentaires** (rôle principal de complément protéique à d'autres aliments peu riches tels que la paille ou le foin).

L'augmentation de la teneur en azote avec le degré de contrainte hydrique, observée aussi chez la luzerne (LEMAIRE *et al.*, 1989), indique que, chez ces légumineuses, le déficit hydrique de printemps affecte la croissance et la photosynthèse (production et polymérisation des sucres) bien avant et plus fort que la fixation d'azote et la production de protéines.

Même avec des semis avancés au 18 octobre, la période d'offre fourragère ne commence que début février et ne dure que 110 jours environ. **La floraison systématique des plantes fin mai ne permet pas d'allonger le cycle, à la fin, sans compromettre la qualité du fourrage ; l'irrigation, en retardant la floraison, prolonge légèrement la période d'offre fourragère.** Seuls des semis plus précoces (juillet à septembre), permis seulement si l'irrigation est disponible en été, pourraient permettre un gain très significatif de durée d'exploitation (30 à 50 jours, début en novembre), comme le préconisent LAUMONT (1951), AMEZIANE (1975, 1987) et BOUNEJMATE (1997).

En pratique, **les trois règles d'irrigation testées ici peuvent être conseillées aux agriculteurs de Mitidja**, au cas par cas selon le degré de contrainte du système d'irrigation. Ce dernier tend en effet à imposer un tour d'eau et une dose minimale plus ou moins maîtrisables ; la souplesse maximale est offerte par les systèmes d'aspersion sur forages individuels.

Accepté pour publication, le 9 octobre 2004.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELGERFI A., LAOUAR M. (2002) : *Les espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)*, FAO, Bureau Régional du Proche Orient, 55-59.
- AMEZIANE T.E. (1975) : *Contribution à l'étude de la production du bersim irrigué dans le Gharb*, mémoire de 3^e cycle, IAV Hassan II, Rabat, Maroc.
- AMEZIANE T.E. (1987) : "Les systèmes fourragers actuels et potentiels en irrigué au Maroc", *Al Awamia*, 62, 45-63.
- BALDY C. (1986) : "L'agrométéorologie et le développement agricole des régions arides et semi-arides", *INRA Ed. Coll.*, 76-80.

- BOS M.G. (1980) : "Standards Irrigation Efficiencies of ICID", *J. of the Am. Soc. Of Civil Engineers*, 104 (2), 18-26.
- BOUNEJMATE M. (1997) : "Bersim (*Trifolium alexandrinum*)", *Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc*, Ed. G.Jaritz et M.Bounejmate, INRA, Rabat (Maroc), 144-147.
- CHADOUALI A. (1991) : "Irrigation des céréales : situation et perspectives. MEDIT Perspectives et Propositions Méditerranéennes", *Revue d'Economie, d'Agriculture et Environnement*, 3, 27-29.
- DOORENBOS J., PRUIT W.O. (1975) : "Les besoins en eau des cultures", *Bull. FAO d'irrigation et de drainage*, 33, 30-51.
- DOVRAT A. (1993) : "Irrigated Forage Production", *Developments in Crop Science*, 24, 179-196.
- GAILLARD B., LEGOUPIL J.C., RUFFIN J.C. (1977) : "Le bersim ou trèfle d'Alexandrie, fourrage irrigué méditerranéen dans le haut Chelif", *Agronomie Tropicale*, 32, 364-376.
- GREAVES W.L., WILLIAMS W.A., THOMSEN C.D. (1996) : *Berseem Clover: A Winter Annual Forage for California Agriculture*, University of California Division of Agriculture and Natural Resources publication, 21536, 12 pp.
- HAMADACHE A., SAOULI-MANTOUCHE M., BOUSSADI M. (1998) : "Les fourrages verts : un impératif au développement de la production laitière : résultats des travaux de recherche sur le trèfle d'Alexandrie", *Céréaliculture*, 32, 5-9.
- HNATYSZYN M., GUAIS A. (1988) : *Les fourrages et l'éleveur*, TEC (DOC ; Lavoisier, 257-362.
- INRA (1988) : *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, Ed. Jarrige R., 476 pp.
- LAPEYRONIE A. (1982) : *Les productions fourragères méditerranéennes*, Techniques Agricoles et Productions Méditerranéennes, G.P Maisonneuve (Larousse, tome 1, 425 pp.
- LAUMONT P. (1951) : "Une excellente plante fourragère méconnue : le trèfle d'Alexandrie", Documents et renseignements agricoles, *Bulletin*, 173, 1-28.
- LAUMONT P., MOURCET E., GUEIT M. (1955) : "Cultures fourragères et plan fourrager dans le cadre d'une exploitation intensive irriguée de la zone de l'oranger", *Progr. Agric. Vitic.*, 144 (29-30), 34-41.
- LEGOUPIL C. (1972) : *Le bersim ou trèfle d'Alexandrie, bilan d'expérimentation 1968-1973*, INRA Alger station expérimentale de Khémis-Miliana, 12 pp.
- LEMAIRE G., DURANT J.L., LILA M. (1989) : "Effet de la sécheresse sur la digestibilité in vitro, la teneur en ADF et la teneur en azote de la luzerne (*Medicago sativa* L.)" *Agronomie*, 9, 841-848.
- LUC J.P. (1998) : "Réserve en eau des sols et bilan pédoclimatique, approche pratique", *Traité d'irrigation*, TEC (DOC, Lavoisier, 191-231.
- MANSAT P. (1977). Les plantes fourragères et l'eau. *Fourrages*, 70, 85-90.
- MAP (1996) : *Conférence Nationale sur le Développement Agricole. Rapport de synthèse. Direction des affaires juridiques et de la réglementation de la production laitière*, Alger, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 20 pp.
- MARTY J.R., BOSC N., HILAIRE A. (1977) : "Production comparée de quelques espèces fourragères en conditions irriguées ou non, efficacité et valorisation de l'eau, coût de production", *Fourrages*, 70, 91-120
- MUTIN G. (1977) : *La Mitidja - Décolonisation et espace géographique*, Office des Publications Universitaires - Alger, 607 pp.
- ROBELIN M. (1969) : "L'alimentation en eau des plantes fourragères", *Fourrages*, 38, 30-40.

- TAYLOR A.S., ASHROFT G.L. (1972): *Physical edaphology. The physics of irrigated and non irrigated soils*, W.H. Freeman and Co. (ed.), 553 pp.
- THERIEZ M. (1965) : "Valeur alimentaire des fourrages tunisiens. I. Méthodes de travail. II. Composition chimique et digestibilité du bersim", *Bull. Ec. Nat. Sup. Agric.* (Tunisie), 8-9.
- VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S., THONY J.L. (1978) : "Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application de caractéristiques hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application à deux types de sols du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique", *Ann. Agr.*, 29 (1), 1-36.
- VILLAX E.J. (1963) : *La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne*, INRA, Rabat (Maroc), 407-416.
- VOLAIRE F., LELIEVRE F. (2001) : "Drought survival in *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* L. under similar rooting conditions in tubes", *Plant and soil*, 229, 225-234.

SUMMARY

Production and forage quality of Berseem clover according to the water supply in Mitidja (Algeria)

Berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) is an annual legume sown in autumn which is much used for the green-feeding of dairy cattle at the end of winter and in spring in the regions of Northern Africa with a sub-humid Mediterranean climate. The short production season of the rainfed crop may be extended by the use of irrigation, sowing ahead of time, and improving growth at the end of spring.

Two trials comparing three decision rules for irrigating a berseem crop were set up in Mitidja in Northern Algeria, with the rainfed crop as control (T0). The two trials differed by their sowing date (respectively 18th October and 20th November). The rules for the decision to irrigate were : T1, irrigation when tensiometers at depths of 40 and 60 cm showed a value of -0.05 Mpa (maintained near soil field capacity) ; T2, irrigation whenever the evaporation of a class A pan cumulated to 30 mm ; T3, the same but when the cumulation reached 50 mm.

The effects on soil water content and reserve and on actual evapotranspiration were measured with neutron probe and tensiometer techniques. The duration of production and the water use efficiency were observed; the DM yield and the quality of the forage were measured at each cut.

The various treatments resulted in different values for the ratio of actual to potential evapotranspiration in spring, highly correlated to the DM production (T1>T2>T3>T0). In all treatments the water use efficiency was optimal between mid-February and mid-May, with an average value 4.7 kg DM/m³ H₂O ; later on, around mid-May, when growth gave way to flowering, it decreased dramatically. The advancement of the sowing date to 18th October resulted in a duration of production of 110 days. A further extension of this duration would require a much earlier sowing date, with irrigation. The positive effects of the irrigation on DM yield were offset by concomitant adverse effects on the forage quality (water and crude fibre contents, energy and protein values).