

Effet du déficit hydrique sur la croissance, le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'eau chez le bersim (*Trifolium alexandrium*) au Tadla

B. BOUAZZAMA¹, A. BOUAZIZ², D. XANTHOULIS³, J.C. MAILHOL⁴, P. RUELLE⁴

(Reçu le 29/12/2017; Accepté le 08/03/2017)

Résumé

L'étude de la réponse des cultures au déficit hydrique est importante dans les zones où les ressources en eau sont limitées. Cette étude a été réalisée sur la période 2008-2011 dans l'objectif d'étudier l'effet du déficit hydrique sur la productivité du bersim dans le périmètre de Tadla. Quatre régimes hydriques (100 %, 80 %, 60 % et 40 % ETc) ont été comparés sous les deux techniques d'irrigation gravitaire et localisée. Les observations ont porté sur le sol, la biomasse à chaque coupe et le système racinaire. Les résultats ont montré que le rendement annuel maximal moyen obtenu est de 16,2 t/ha. Les réductions de rendements en appliquant 60% des apports en eau sont de 40 et 42% en 2009/10 et 2010/11 respectivement. La contribution des cycles sans irrigation au rendement annuel varie de 35% sous le régime 100% ETc à 52% sous 40% ETc. L'efficacité d'utilisation de l'eau du bersim sur toute la période de culture est de 3,37 kg/m³. Le rendement moyen maximal obtenu sous le goutte à goutte est de 15,7 t/ha. Il a été obtenu avec un apport en eau de 411 mm, ce qui a permis une économie d'eau de 57% par rapport au gravitaire.

Mots clés: Bersim, déficit hydrique, irrigation gravitaire, micro irrigation, efficacité d'utilisation de l'eau, Maroc

Effect of water stress on growth, yield and water use efficiency of berseem (*Trifolium alexandrium*) in Tadla

Abstract

The study of crop response to water deficit is important in areas where water resources are limited. This study was carried out over the period 2008-2011 in order to study the effect of water deficit on the productivity of berseem in the Tadla region. Four water regimes (100%, 80%, 60% and 40% ETc) were compared under both flood and drip irrigation techniques. Observations were made on the soil, biomass at each cut and root system. The results showed that the average annual maximum yield obtained was 16.2 t/ha. Reductions in yields by applying 60% of water inputs are 40% and 42% in 2009/10 and 2010/11, respectively. The contribution of cycles without irrigation to annual biomass yield varies from 35% under 100% ETc to 52% under 40% ETc. Water use efficiency of berseem over the entire crop period is 3.37 kg/m³. The maximum average yield obtained under drip irrigation was 15.7 t/ha. It was obtained with a water supply of 411 mm which allowed a saving of 57% of water supply versus flood irrigation technique.

Keywords: Berseem, water stress, flood irrigation, drip irrigation, water use efficiency, Morocco

INTRODUCTION

La culture de bersim ou trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrium* L.) est très répandue dans le bassin méditerranéen. Au Maroc, les dernières statistiques font état d'une superficie d'environ 60000 ha durant la campagne 2013/14 (MAPM, 2015) dont 85% des emblavements sont pratiqués dans les zones irriguées. Au périmètre irrigué de Tadla, la superficie semée par cette légumineuse est de l'ordre de 2519 ha (DRA, 2015). 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 (Bounejmata, 1997), avec un potentiel de 15 t MS/ha en irrigué (Ameziane, 1975). Au Tadla, les rendements varient de 38 à 60 t MV/ha (ORMVAT, 2015).

L'élevage bovin laitier au Tadla repose principalement sur les cultures fourragères produites par les éleveurs. Bien que l'alimentation des vaches laitières est renforcé par des aliments concentrés dont les coûts sont élevés et très

fluctuants, la part des fourrages en vert et en foin doit être maintenue même en période de repos végétatif des luzernières qui occupent 80% des superficies emblavées par les fourrages au Tadla. Le bersim peut constituer un fourrage principal pour apporter un complément protéique en vert, aussi longtemps que possible en hiver et au printemps.

Légumineuse annuelle à pousse hivernale et printanière, le bersim revêt un intérêt chez les éleveurs laitiers au Tadla. Ce fourrage vert très digestible et riche en matières azotées favorise la production laitière (Bounejmata, 1997). 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; Mrabet et al., 2005).

N'étant pas conservé mais utilisé en vert au fur et à mesure de sa production, le maintien d'une production stable du bersim en terme de quantité et de qualité durant sa période de production est un caractère aussi important que la production totale durant la campagne agricole. L'utilisation

¹ Centre Régional de la Recherche Agronomique de Tadla, INRA, Beni Mellal, Maroc. Email: bassoubouazzama@gmail.com

² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

³ Unité d'Hydraulique et d'Hydrologie, Université de Liège Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique

⁴ Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), Montpellier, France

de l'irrigation permet d'allonger le cycle de production en avançant la date de semis et en régularisant la production de printemps. Cependant, l'intensification par l'irrigation doit être raisonnée pour optimiser l'utilisation de l'eau. L'emplacement du cycle du bersim dans une période souvent pluvieuse impose une irrigation de complément en début et en fin, avec un souci d'appréciation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Le présent travail se propose, à travers l'étude de l'effet de régimes hydriques sur les paramètres de croissance et de production du bersim, de 1) déterminer le potentiel de production de cette légumineuse fourragère au Tadla et 2) établir la relation entre la matière sèche et la consommation en eau. La confrontation du potentiel de production de cette culture sous les deux techniques d'irrigation gravitaire et localisée constitue le 3^{ème} objectif.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude a été réalisée sur la période 2008-2011 au domaine expérimental de l'INRA situé au périmètre irrigué de Tadla (X = 32,3°; Y = 6,31°; Z = 450 m). Le sol de la zone d'étude appartient à la classe luvisol chromique (Badraoui et al., 2001). Le climat est de type aride à semi-aride avec une saison humide de novembre à mars et une saison sèche d'avril à octobre. La température moyennes annuelle est de 18 °C avec un maximum de 45° C en août et un minimum de 0° C en janvier. La moyenne annuelle des précipitations est de 307 mm sur la période 1981-2011. L'été connaît également l'arrivée des vents chauds appelés localement *Chergui*. Le tableau 1 donne quelques paramètres climatiques du site d'expérimentation durant les trois années d'expérimentation. Les données climatiques sont collectées à partir d'une station climatique automatique située près des parcelles d'expérimentation.

Avant le démarrage des essais, des échantillons de sol ont été collectés sur les horizons 0-30, 30-60 et 60-120 cm pour analyses au laboratoire. Quelques caractéristiques physiques et chimiques du sol de la parcelle d'expérimentation ont été déterminées et données dans le tableau 2. L'eau d'irrigation, provenant d'un barrage situé à 20 km,

est de bonne qualité avec une conductivité électrique de 0,4 dS/m et un pH de 7,2.

L'essai a été réalisé sur deux parcelles séparées une à côté de l'autre. La première est alimentée par l'irrigation gravitaire et l'autre est équipée en goutte à goutte. Les deux parcelles sont découpées selon un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet avec trois répétitions. Au niveau de chaque parcelle, le même facteur étudié est le régime hydrique. Quatre régimes hydriques définis sur la base de coefficients qui affectent l'ETc du bersim ont été comparés. Ces régimes sont 100%, 80%, 60% et 40% ETc pour T1, T2, T3 et T4 respectivement. En 2010/11, un régime pluvial (T5) a été considéré.

Dans la parcelle sous micro irrigation, les rampes sont espacées de 40 cm sur le même porte rampes. Les goutteurs sont intégrés, espacés de 40 cm sur la rampe et ont un débit nominal de 2 l/h. A l'entrée de chaque placette, une électrovanne et un compteur sont installés.

Le matériel végétal utilisé est la variété 6454 qui appartient au type « *Miscawi* ». Elle est recommandée au Maroc pour les zones irriguées. Pour les trois campagnes, les semis ont été réalisés le 11/11/2008, 16/09/2009 et 14/09/2010. Le retard du semis en 2008 est dû aux pluies abondantes survenues sur la période septembre – décembre de la même année.

Sous le gravitaire, l'eau est apportée moyennant des bassins de 60 m² (5*12 m). Des espacements (bordure) de 10 m ont été envisagés afin d'éviter les mouvements de l'eau entre les traitements comparés. A chaque irrigation un débit moyen de l'ordre de 12 l/s est réglé en aval de la pompe. L'eau est arrêtée lorsque le bassin est totalement rempli.

Le déficit hydrique théorique (DHT, mm) par régime hydrique est calculé par:

$$DHT = K_{c,ajust} * ET_0 * kr - Pe$$

Avec:

$K_{c,ajust}$: Coefficient cultural ajusté du bersim

ET_0 : Evapotranspiration de référence (mm j⁻¹)

Tableau 1: Données climatiques pour la période de croissance du bersim au niveau du site d'essai

Mois	Température moyenne (°C)						ET ₀ (mm)			Précipitation (mm)		
	Min.			Max.			08/09	09/10	10/11	08/09	09/10	10/11
	08/09	09/10	10/11	08/09	09/10	10/11						
Sept.	15,4	13,9	15,2	30,9	30,5	35,9	127,9	127,0	123,1	31,9	17,5	0,0
Oct.	11,5	13,3	10,2	23,3	33,2	26,7	75,7	97,5	80,6	64,5	5,1	51,1
Nov.	4,7	9,8	6,1	21,1	26,3	23,5	39,1	56,3	49,3	74,8	5,0	35,5
Déc.	0,4	2,9	4,1	16,3	19,3	23,2	31,6	37,6	44,0	57,7	82,3	83,8
Jan.	0,4	1,9	1,5	16,3	18,4	23,3	36,7	38,0	44,3	121,2	58,6	29,6
Fév.	5,2	5,7	3,3	19,0	20,3	21,1	64,6	48,4	59,9	106,5	109,8	0,0
Mars	8,1	8,7	5,5	22,4	24,5	23,1	93,6	77,3	86,5	59,6	63,3	74,5
Avr.	9,6	12,8	10,7	27,8	31,9	26,8	126,0	114,4	130,3	0,0	19,0	36,7
Mai	13,9	14,6	11,9	34,7	30,7	27,8	183,8	152,1	152,1	2,6	3,5	85,6

kr: Coefficient de réduction qui définit les traitements d'irrigation. Il est pris égal à 1,0; 0,8; 0,6 et 0,4 pour T1, T2, T3 et T4 respectivement.

Pe: pluie efficace, 80% des pluies sont considérées efficaces (Doorenbos et Kassam, 1979).

Le calcul de l' ET_0 est réalisé moyennant la formule de FAO Penman Monteith (Allen et al. 1998). Le déclenchement de l'irrigation gravitaire a lieu pour chaque régime hydrique une fois le cumul de DHT atteint 35 mm qui correspond à RFU sur 80 cm. Cette stratégie de déclenchement de l'irrigation s'est traduite par des intervalles et nombre d'irrigation variables selon les traitements comparés.

Sous l'irrigation localisée, la dose nette d'irrigation (DNI, mm) est calculée par la relation suivante (Vermeiren et Jobling 1983):

$$DNI = DHT * E * 1/CU$$

Avec E est l'inverse du rendement de l'irrigation (pris égal à 1,1), CU est le coefficient d'uniformité de l'irrigation mesuré au début de chaque campagne. La durée d'irrigation est calculée par la formule:

$$T = \frac{DNI}{P_f} \text{ en (h, mn)}$$

P_f : la pluviométrie fictive (mm/h) donnée par la formule : $P_f = n * Q$

Avec n est le nombre de goutteurs par m² et Q est le débit réel moyen du goutteur mesuré au début de chaque campagne agricole.

En absence de pluie, l'eau est appliquée tous les deux à trois jours pour tous les régimes hydriques. L'utilisation des formules de calcul précédemment évoquées se traduit par des durées d'irrigation variables entre traitements (décroissante de T1 à T4).

Sous les deux techniques d'irrigation, l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture est estimée en utilisant l'équation du bilan hydrique donnée comme suit:

$$ETR = P + I + \Delta S - D$$

Dans laquelle ETR est l'évapotranspiration réelle de la culture (mm), P est la pluie (mm), I est la dose d'irrigation apportée (mm), D est la perte par drainage au-delà de la zone racinaire (mm), ΔS est la variation du stock en eau.

La teneur en humidité dans le profil du sol est mesurée par la méthode gravimétrique avant chaque irrigation et à chaque coupe. La méthode gravimétrique a été utilisée moyennant des prélèvements au niveau des horizons 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 et 100-120 cm. Le ruissellement est négligé puisqu'il s'agit de l'irrigation localisée et gravitaire par des bassins à extrémité bloquée par des ados. Sous le gravitaire, des mesures supplémentaires d'humidité ont été réalisées moyennant des capteurs capacitifs de type ECHO₂-EC5 (Decagon) durant 2010 et des sondes de type *Sentek Diviner* en 2011 après leurs étalonnages sur terrain.

La variation du stock en eau dans la zone racinaire est calculée entre deux coupes du bersim. Le calcul du gain ou la perte en eau entre deux coupes est donné par la formule suivante:

$$\Delta S = (S_2 - S_1) da \cdot Z/100$$

Où S1 et S2 sont l'humidité initiale et finale (%) dans l'horizon du sol respectivement, da est la densité apparente (g cm⁻³), et Z est l'épaisseur de l'horizon considéré (cm). La densité apparente a été mesurée par la méthode du cylindre pour chaque horizon. Le drainage D est donné par les sorties du modèle CropSyst après sa calibration et validation (Bouazzama, 2013). Des tensiomètres sont installés sous chaque régime aux profondeurs 20, 40, 60, 80, 100 et 120 cm. Le suivi de la charge hydraulique a pour objectif de localiser les plans de flux nul et d'apprécier l'état du stress hydrique au niveau du profil du sol pour chaque régime hydrique.

La fauche du bersim a lieu à chaque fois que les plants du bersim sous le régime T1 (100% ETC) en gravitaire atteignent une hauteur de 40 à 50 cm de hauteur. A chaque coupe, le rendement est déterminé sur trois placettes de 9

Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques du sol de la parcelle d'essais

Caractéristique	Horizon		
	0 - 30	30 - 60	60 - 120
Argile (%)	27,7	43,3	47,4
Limon fin (%)	3,9	15,9	16,6
Limon grossier (%)	49,2	2,8	19,3
Sable fin (%)	12,3	11,2	11,3
Sable grossier (%)	5,7	27,6	6,1
Matière organique (%)	1,91	1,08	1,08
pH	7,97	8,22	8,43
Conductivité électrique (mS/cm)	1,03	0,45	0,53
Humidité à la capacité au champ (%)	27,3	27,8	26,7
Humidité au point de flétrissement (%)	16,2	16,7	16,1
Densité apparente	1,38	1,46	1,57

m² au niveau de chaque répétition et au niveau de tous les traitements. Chaque échantillon fait l'objet de mesure de poids total de la matière verte. Une partie de la matière verte (environ 1 kg) est pesée puis mise à l'étuve à 80°C pendant 72 heures pour la peser de nouveau et calculer le taux de matière sèche. En plus des mesures à la coupe, des mesures supplémentaires de rendement en biomasse sont réalisées sous le gravitaire entre deux coupes successives sur des placettes de 4 m². Chaque mesure est associée à la mesure du taux de matière sèche. Avant chaque coupe et entre deux coupes, l'indice foliaire est mesuré moyennant un appareil LI COR 2300.

L'analyse statistique a été réalisée moyennant le logiciel Minitab. La comparaison des moyennes a été réalisée par la méthode LSD.



Photo 1: Parcelle d'essai sur le bersim conduit en gravitaire



Photo 2: Essai d'irrigation localisée du bersim

RÉSULTATS DE L'ESSAI SUR L'IRRIGATION GRAVITAIRE

Distribution d'humidité et le système racinaire dans le profil du sol

Les mesures d'humidité du sol effectuées en fin du 5^{ème} cycle et illustrées par la figure 1a (2010) et la figure 1b (2011) permettent d'effectuer des comparaisons entre régimes hydriques en relation avec l'importance des apports en eau par irrigation (Tableau 3) et le développement de la culture. En général, les teneurs en eau augmentent avec la profondeur avec un assèchement vers la surface, surtout au niveau des régimes T3 et T4 où l'humidité descend en dessous de H_{pf} (16%) sur les profondeurs de 40 cm et 80 cm respectivement. Sous le régime T1 et parfois sous T2, les teneurs en eau au delà de 80 cm avoisinent les valeurs de H_{cc} (28%). Les teneurs en eau par horizon suivent un ordre constant et décroissant avec des valeurs plus élevées en allant de T1 vers T4 qui n'a pas reçu d'irrigation. Sous les régimes plus irrigués, les teneurs en eau élevées au-delà de 80 cm attestent qu'il y a des pertes par drainage. Les variations des teneurs en eau sous tous les régimes hydriques confondus concernent principalement la tranche 0-80 cm (barres d'erreur) colonisée par les racines. La baisse des teneurs en eau sous T4, sur tout le profil, montre que toutes les couches sont sollicitées par les prélèvements racinaires et également par l'évaporation directe de l'eau via des fissures constatées en fin du mois d'avril.

Pour mieux expliquer la variabilité de l'humidité en fonction des horizons, nous avons établi la distribution du système racinaire sous T1 et T4 au 10/4/2010 et illustrée par la figure 2. Les profils établis montrent que le maximum de la masse racinaire se situe dans les 30 cm de profondeur et que la distribution des racines en profondeur est affectée par le régime hydrique. Sous le régime stressant, on constate une diminution brusque de la teneur racinaire entre 20 et 30 cm de profondeur. A partir de 30 cm, la diminution est progressive. Sous le régime T1, la diminution de la densité racinaire entre 20 et 30 cm est moins prononcée.

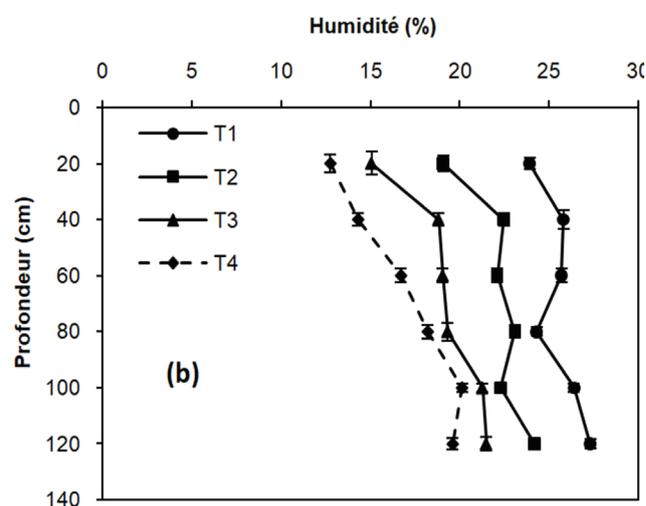
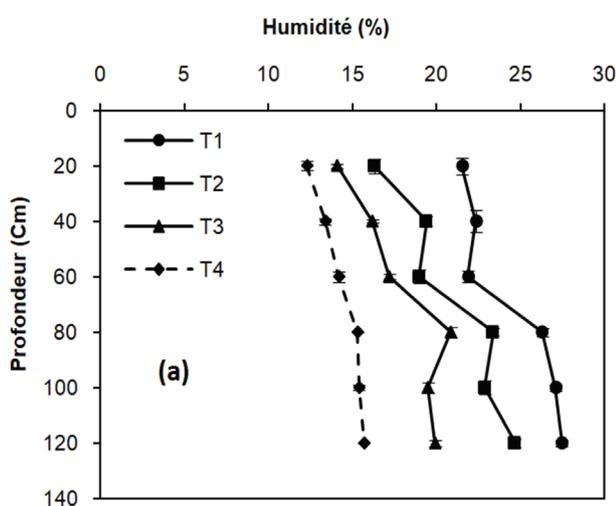


Figure 1: Distribution d'humidité volumique à la 5^{ème} coupe au a) 27 avril 2010 et b) 19 avril 2011

Apport en eau d'irrigation par traitement

Sur la période du 11/11/08 au 18/02/09, le nombre de jours de pluie est 18 jours avec un cumul de 149 mm. L'importance et la répartition de la pluie enregistrée depuis l'installation de la culture a imposé l'arrêt de l'irrigation après la levée totale de la culture. Une seule irrigation a été appliquée sur toute la parcelle après le semis pour assurer et homogénéiser la levée. Durant le 2^{ème} cycle (18 février - 4 avril), quelques apports en eau ont été effectués durant le mois de mars. Les apports sont de 236, 132 et 0 mm pour les régimes T1, T2 et T3 respectivement. Sachant que le cumul des pluies durant le 2^{ème} cycle est de 84 mm.

Durant la 2^{ème} campagne (2009/10), les apports en eau ont été différenciés entre les traitements durant le premier et le 5^{ème} cycle. Deux irrigations non différenciées ont été appliquées sur toute la parcelle directement après semis et une semaine après pour favoriser la germination et homogénéiser la levée. En 2^{ème} cycle, tous les régimes ont reçu une irrigation apportée au 24 novembre pour T1 et T4 et au 2 décembre pour les régimes T2 et T3. Après cette date, l'arrivée des pluies et leurs espacements dans le temps ont imposé l'arrêt des arrosages pendant le reste du 2^{ème} cycle et durant le 3^{ème} et 4^{ème} cycle. En 5^{ème} cycle, le régime T1 a reçu trois irrigations alors que le traitement T2 a été arrosé

deux fois. Le régime T3 a reçu une seule irrigation tandis que T4 n'a pas reçu de complément après la 4^{ème} coupe. Le nombre total d'irrigations appliquées par régime hydrique du semis à la dernière coupe est de 9, 7, 5 et 4 irrigations pour les régimes T1, T2, T3 et T4 respectivement.

En 3^{ème} campagne, cinq traitements ont été comparés. Le régime T1 non stressant s'est traduit par des apports en eau sur tous les cycles alors que le traitement T5 totalement pluvial n'a reçu aucun apport. Le nombre total d'irrigations apportées est de 11, 8, 4 et 2 pour les régimes T1, T2, T3 et T4 respectivement.

Ainsi, les différents régimes d'irrigation appliqués ont permis d'avoir une variabilité au niveau du volume d'eau apporté, du nombre d'irrigations et le moment d'apport. Le tableau 3 reprend les volumes apportés par cycle et par campagne agricole.

Effet du régime hydrique sur la croissance et l'indice foliaire du bersim

Mis à part la 1^{ère} campagne, l'apparition du stade floraison a eu lieu progressivement durant les deux dernières semaines du 5^{ème} cycle au niveau des régimes stressant T3 et surtout T4. En revanche, pour le traitement T2 ayant reçu au moins une irrigation durant ce cycle le stade floraison

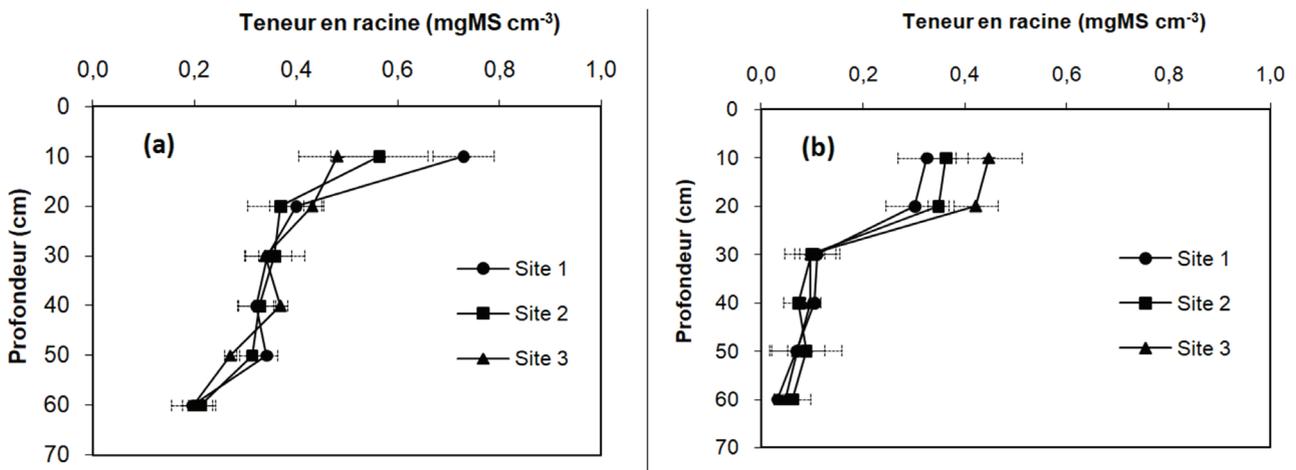


Figure 2: Profil racinaire du bersim sous le régime T1 (a) et T4 (b)

Tableau 3: Récapitulatif des apports en eau (mm) par régime et par cycle de croissance

Campagne	Régime	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5
2008/09	T1	90	236	-	-	-
	T2	90	132	-	-	-
	T3	90	0	-	-	-
2009/10	T1	448	93	0	0	256
	T2	328	141	0	0	207
	T3	215	173	0	0	106
	T4	158	150	0	0	0
2010/11	T1	408	118	102	192	260
	T2	326	106	97	90	211
	T3	219	0	0	101	125
	T4	215	0	0	0	0
	T5	0	0	-	-	-

n'a commencé que vers deux à trois jours avant la dernière coupe alors que sous le régime non stressant T1, la floraison n'a pas été observée. Ces observations montrent que la décision de réaliser les coupes en fonction de l'apparition de la floraison est impossible pour la variété du bersim utilisée sous les conditions de Tadla.

Durant la première campagne (2008/09), le premier cycle de la culture a duré environ 103 jours. Deux périodes de croissance ont été distinguées. Une première de la levée jusqu'à la 13^{ème} semaine caractérisée par une lenteur de la croissance due essentiellement aux faibles températures et la radiation solaire (ciel couvert) qui ont marqué cette période. Les valeurs de LAI ont atteint à peine 2,23 (Tableau 4). La deuxième période a connu une augmentation du LAI suite à un changement au niveau du climat marqué par la hausse des températures et la radiation solaire. Les valeurs de LAI atteintes à la coupe varient de 2,5 à 3,2. Le 2^{ème} cycle a duré 46 jours et a connu une croissance rapide et une réponse aux régimes hydriques comparés.

Concernant les deux campagnes 2009/10 et 2010/11, la durée du premier cycle est également plus longue (62 jours en 2009/10 et 63 en 2010/11). Selon Kandil et al. (2005) cette longue durée du premier cycle est nécessaire pour stocker suffisamment de carbohydrates dans les racines. Quant aux autres cycles, leurs durées qui correspondent au nombre de jours nécessaires pour atteindre une hauteur des plants de l'ordre de 45 à 50 cm varient en fonction de la température, la radiation solaire et le régime hydrique. Les moments de coupe ont été retardés durant le 2^{ème} et 3^{ème} cycle de 2010 suite aux pluies qui ont rendu le terrain inaccessible. Les durées par cycles sont de 56, 44, 37 et 30 jours en 2010 alors qu'en 2011, les durées sont de 55, 43, 36 et 31 jours pour le cycle 2, 3, 4 et 5 respectivement. A part le premier cycle dont la durée est normalement de deux mois environ, les cycles ultérieurs chez le bersim sont en moyenne d'une durée d'environ 32 à 38 jours (Narendra et al., 2003).

Pour un fourrage destiné à l'affouragement en vert où plusieurs récoltes (coupe) se succèdent, la productivité doit être exprimée sous forme de vitesse de croissance journalière qui est fonction de la variété et des paramètres

du milieu (Hnatyszyn et Guais, 1988). L'évolution de la productivité journalière moyenne par cycle de repousse selon les régimes hydriques est présentée dans la figure 3 pour la campagne 2009/10.

Durant la campagne 2009/10, en considérant les cycles 1 et 5 dont les régimes hydriques ont été différenciés, les vitesses de croissance diminuent avec le stress hydrique avec des différences significatives ($P = 0,05$) en 1^{er} cycle et hautement significative ($P = 0,01$) en dernier cycle. Les vitesses varient entre 17 et 47 kg MS/ha/jour durant le premier cycle et entre 46 et 102 kg MS/ha/jour en 5^{ème} cycle. Dans le cas des cycles intermédiaires où la parcelle a été alimentée uniformément par les pluies, la vitesse de croissance varie de 67 à 87 kg MS/ha/jour et atteint la valeur maximale en 4^{ème} cycle durant lequel l'humidité du sol, la température de l'air et la radiation solaire sont optimum. Les vitesses moyennes de croissance par régime en 5^{ème} cycle sont de 102, 85, 72 et 46 kg MS/ha/jour respectivement sous T1, T2, T3 et T4. La forte valeur enregistrée sous T1 en 5^{ème} cycle est attribuée aux conditions hydriques confortables associées à une importante radiation solaire durant le mois d'avril.

La faible productivité enregistrée durant le 2^{ème} et 3^{ème} cycle en comparaison au 4^{ème} cycle bien que les plants sont bien alimentés et uniformément par la pluie peut être attribuée à la radiation solaire et la température qui constituent les deux facteurs limitant durant cette période de l'année. Durant la campagne 2010/11, la même tendance sur la radiation solaire a été observée puisque elle est descendue vers des valeurs de 10,8 MJ/m²/j¹ sur la période s'étendant de la 2^{ème} décade de novembre 2010 jusqu'au début de la 1^{ère} décade de février 2011. Finalement, le potentiel de croissance du bersim est plus élevé au 4^{ème} et 5^{ème} cycle pour les deux campagnes.

Sur les deux campagnes 2009/10 et 2010/11, l'indice foliaire a été mesuré au milieu de chaque cycle et à chaque coupe pour chaque traitement. La différenciation des régimes hydriques durant le 2^{ème} cycle en 2008/09 et durant le 1^{er} et le 5^{ème} cycle des deux autres campagnes met en évidence l'effet significatif ($P = 0,05$) du régime

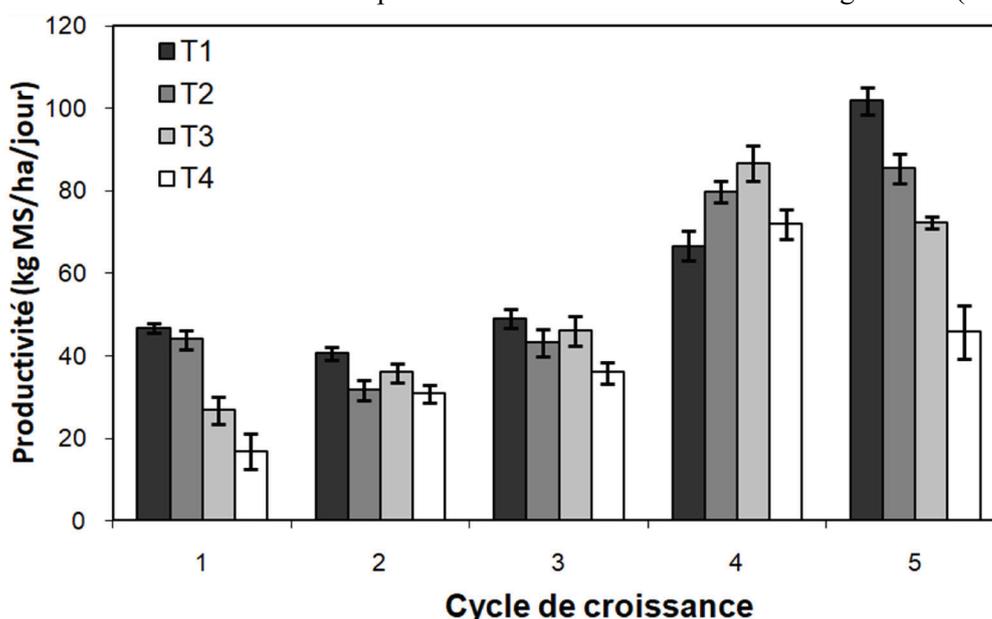


Figure 3: Évolution de la productivité journalière du bersim par cycle selon régime hydrique (campagne 2009/10)

hydrique sur le LAI du bersim. La comparaison multiple des moyennes montre que le LAI est toujours supérieur sous T1 suivi du T2, T3 et T4 dans cet ordre. Les valeurs mesurées en 2^{ème} cycle pour les deux dernières campagnes suivent le même ordre. Ceci montre que l'effet du stress sur LAI durant le premier cycle a influencé la croissance de la culture au 2^{ème} cycle. Quant au 3^{ème} et 4^{ème} cycle, les valeurs enregistrées de LAI sont statiquement égales en raison des pluies abondantes qui ont imposé l'arrêt des irrigations. En 2010/11, les irrigations supplémentaires apportées sous T1 et T2 n'ont pas d'effet significatif sur le LAI puisque les valeurs mesurées sont statistiquement égales.

Sur toute la période d'essai, les valeurs de LAI oscillent entre un maximum de 5,32 enregistré au 2^{ème} cycle sous T1 de la campagne 2008/09 et un minimum de 1,94 observé sous le régime stressant T4 au premier cycle de 2009/10. Narendra *et al.* (2003) ont mesuré le LAI du bersim non soumis au stress hydrique et ont trouvé qu'il varie dans une gamme de 0.11 après une coupe à 3,85 mesuré avant la coupe de 5^{ème} cycle. La valeur élevée mesuré en 2008/09 est due en partie à la dose de semis qui est de 45 kg/ha.

Effet du régime hydrique sur le taux de matière sèche et le rendement en matière sèche à la coupe

La teneur en matière sèche mesurée aux coupes est illustrée par la figure 4. Le stress hydrique augmente le taux de matière sèche puisque les valeurs obtenues sous T3 et T4 sont supérieures à celles sous les régimes T2 et T1 durant les cycles où les régimes hydriques ont été appliqués. En 2009/10, les valeurs moyennes obtenues varient entre 12,8 et 24,2 % sous T1 et T4 respectivement au cycle 1 et entre 11,8 et 23,2% sous les mêmes régimes au 5^{ème} cycle. Les valeurs obtenues en 2010/11 sous le régime T4 sont plus élevées. Pour les deux campagnes illustrées par la figure 4, les teneurs en matière sèche les plus faibles ont été obtenues au 2^{ème} et 3^{ème} cycle sans constater des différences significatives entre les différents régimes. En 2009/10, les valeurs moyennes obtenues sans distinction entre régimes hydriques sont de $8,8 \pm 0,6$ et $7,8 \pm 0,7$ % au 2^{ème} et 3^{ème} cycle respectivement. La pluie et l'irrigation tendent à augmenter de 15 à 23% la teneur du bersim en

eau et par conséquent augmentent inutilement les poids à transporter en affouragement verts.

Les rendements moyens en matière sèche obtenus durant les différents cycles sont récapitulés dans le tableau 5. L'effet du régime est significatif ($P = 0,05$) sur les rendements obtenus durant les cycles 1 et 5 où l'irrigation est différenciée. Le rendement en matière sèche diminue avec le stress hydrique. L'effet des régimes appliqués durant le 1^{er} cycle des deux campagnes 2009/10 et 2010/11 a influencé significativement les rendements obtenus en 2^{ème} cycle bien que les pluies ont imposé l'arrêt de l'irrigation sur les deux tiers de la durée du 2^{ème} cycle. Les différences entre les rendements du 3^{ème} et 4^{ème} cycle sont non significatives en raison des apports en eau homogénéisés par la pluie. Cependant, les valeurs obtenues sous T4 au 2^{ème} cycle est inférieures aux autres régimes en raison de l'effet du stress hydrique durant le premier cycle.

Sur l'ensemble du cycle cultural, les rendements totaux moyens obtenus sont de 14,3; 12,9; 11,5 et 8,4 t.MS/ha sous les régimes T1, T2, T3 et T4 respectivement en 2009/10. Durant la 3^{ème} campagne, les valeurs obtenues sont de 13,9; 12,1; 10,5 et 8,2 t.MS/ha sous les mêmes régimes respectivement. Le rendement maximal obtenu par coupe est de 3,9 t MS/ha sous le régime T1 en 2008/09. Le potentiel de cette variété est de 15 t.MS/ha et réalisé en six coupes (Ameziane, 1995). Sous le traitement pluvial conduit en 2010/11, deux cycles ont été réalisés et ont permis un rendement total en matière sèche de 3,5 t/ha.

Le cumul de la biomasse récoltée pendant les cycles 3 et 4 où aucune irrigation n'a été appliquée en 2009/10 représente environ 35,3; 37,5; 45,8 et 52,1% des rendements annuels enregistrés sous T1, T2, T3 et T4 respectivement. En 2010/11, les deux irrigations appliquées sous T1 et la seule apportée sous T2 (cycle 3 et 4) n'ont pas beaucoup d'effet sur les rendements obtenus puisque le cumul des rendements des deux cycles sont de 4,98; 4,78; 4,37 et 4,52 t/ha sous T1, T2, T3 et T4 respectivement.

Au 5^{ème} cycle où aucune irrigation n'a été apportée sous le régime T4, les améliorations du rendement à la coupe en 2009/10 sont d'environ 69,4; 52,9 et 35,3% pour les

Tableau 4: Valeurs de LAI par coupe et par régime hydrique pour les trois campagnes

Campagne	Régime	Coupe 1	Coupe 2	Coupe 3	Coupe 4	Coupe 5
2008/09	T1	2,87 ± 0,41 a	5,21 ± 1,04 a	-	-	-
	T2	3,01 ± 0,56 a	3,32 ± 0,84 b	-	-	-
	T3	2,96 ± 0,10 a	2,41 ± 0,73 c	-	-	-
2009/10	T1	3,98 ± 0,56 a	4,59 ± 1,02 a	3,97 ± 0,96 a	4,87 ± 0,78 a	4,82 ± 0,95 a
	T2	3,19 ± 0,71 b	4,47 ± 0,95 a	3,39 ± 0,77 a	4,77 ± 0,83 a	4,14 ± 1,00 b
	T3	2,58 ± 0,82 c	4,08 ± 1,10 b	3,70 ± 1,01 a	5,02 ± 1,03 a	3,42 ± 0,68 c
	T4	1,98 ± 0,42 d	3,69 ± 0,84 c	3,86 ± 0,65 a	4,19 ± 0,87 b	2,13 ± 0,84 d
2010/11	T1	3,89 ± 0,62 a	3,81 ± 1,02 a	3,77 ± 0,88 a	3,56 ± 0,74 a	4,52 ± 0,97 a
	T2	3,12 ± 0,57 b	3,76 ± 0,86 a	3,57 ± 1,03 a	3,62 ± 0,82 a	4,13 ± 1,02 b
	T3	2,36 ± 0,61 c	2,81 ± 0,71 b	3,01 ± 0,91 b	3,71 ± 0,69 a	3,74 ± 0,79 c
	T4	2,28 ± 0,43 c	2,65 ± 0,52 b	2,97 ± 0,53 b	2,81 ± 0,57 b	2,58 ± 0,65 c

régimes T1, T2 et T3. En 2010/11, ces proportions sont de 61,6; 41,1 et 21,2% sous les mêmes régimes.

Bilan hydrique et efficacité d'utilisation de l'eau

Les pertes en eau par drainage ont été obtenues à partir des sorties du modèle CropSyst après calage et validation

(Bouazzama, 2013). La figure 5 récapitule par régime et par cycle les pertes par drainage ainsi que les apports en eau par irrigation et la pluie. En général, les pertes par drainage augmentent avec les apports en eau au niveau de la parcelle durant les deux campagnes illustrées par les graphes. A titre indicatif, le rapport drainage/apport en eau est de 0,57; 0,51; 0,33 et 0,21 sous le régime T1, T2,

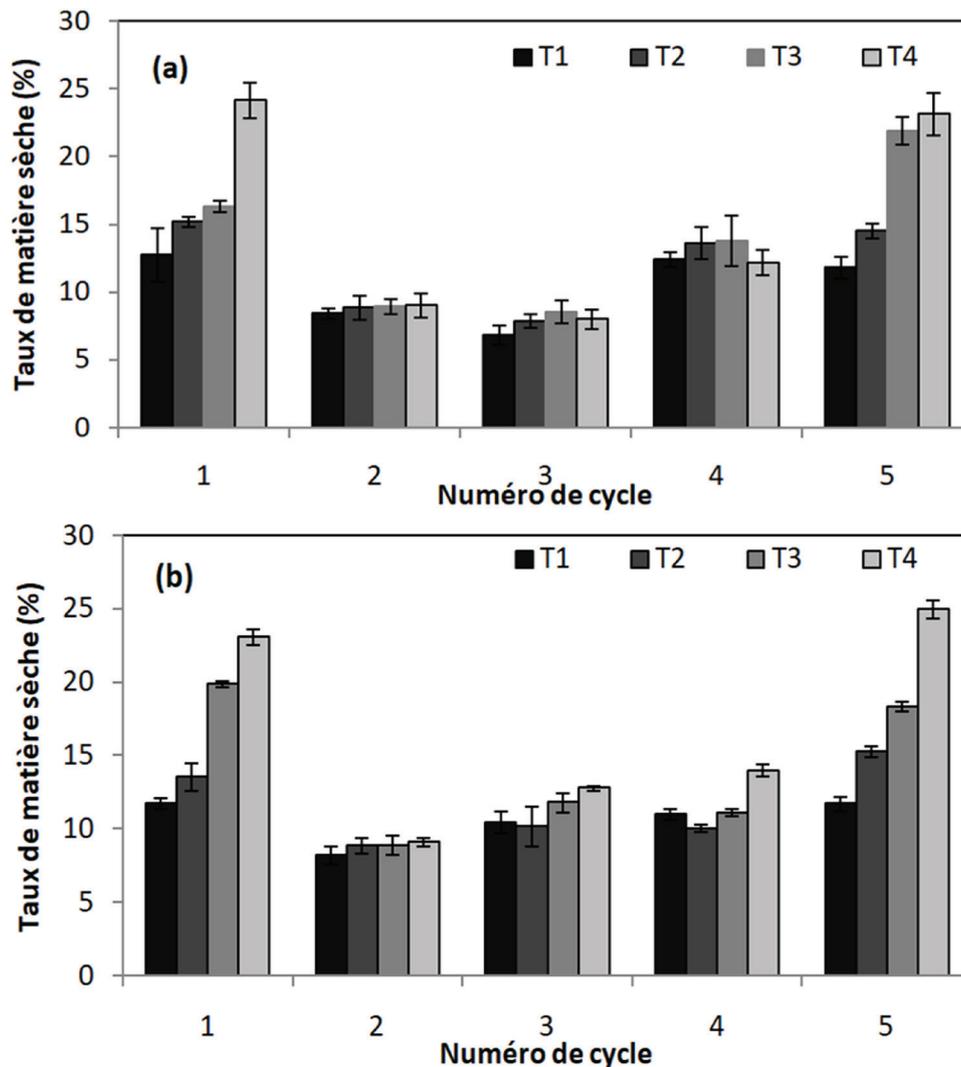


Figure 4: Taux de matière sèche par régime hydrique et par cycle en a) 2009/10 et b) 2010/11

Tableau 5: Rendement moyen en matière sèche (t MS/ha) par cycle et par régime hydrique

Campagne	Régime	Coupe 1	Coupe 2	Coupe 3	Coupe 4	Coupe 5
2008/09	T1	2,24 ± 0,72 a	4,18 ± 0,66 a	-	-	-
	T2	2,13 ± 0,68 a	3,78 ± 0,74 b	-	-	-
	T3	2,09 ± 0,57 a	3,09 ± 0,41 c	-	-	-
2009/10	T1	2,53 ± 0,63 a	3,05 ± 0,54 a	2,26 ± 0,15 a	3,28 ± 0,33 a	3,17 ± 0,39 a
	T2	2,21 ± 0,33 b	2,62 ± 0,45 a	1,92 ± 0,13 a	2,96 ± 0,60 a	2,72 ± 0,52 b
	T3	1,68 ± 0,43 c	2,01 ± 0,67 b	2,12 ± 0,18 a	3,20 ± 0,65 a	1,93 ± 0,26 c
	T4	0,92 ± 0,28 d	1,70 ± 0,23 b	1,66 ± 0,23 b	2,73 ± 0,25 a	1,41 ± 0,50 d
2010/11	T1	2,63 ± 0,15 a	2,79 ± 0,65 a	2,42 ± 0,23 a	2,56 ± 0,25 a	3,63 ± 0,19 a
	T2	2,32 ± 0,37 b	2,35 ± 0,67 b	2,09 ± 0,36 a	2,69 ± 0,21 a	2,71 ± 0,44 b
	T3	2,11 ± 0,71 c	2,13 ± 0,60 c	2,15 ± 0,27 a	2,26 ± 0,18 b	1,84 ± 0,39 c
	T4	1,66 ± 0,36 d	2,17 ± 0,58 c	2,39 ± 0,18 a	2,13 ± 0,40 b	1,27 ± 0,33 d

T3 et T4 respectivement en 2010/11. Pour les différents régimes étudiés, les pertes par drainage sont plus élevées durant les premiers cycles en raison des apports importants au semis et le système racinaire encore moins développé. En considérant le régime T1, les pertes par drainage en cycle 1 représentent 43% des pertes totales de la campagne 2009/10 contre 18% en 5^{ème} cycle.

Une bonne partie des pertes par drainage se produit souvent lorsqu'une pluie vient immédiatement (1 à 4 jours) après une irrigation. C'est le cas des irrigations réalisées le 24/11/09 et le 02/12/09 pour lesquelles le modèle a simulé des pertes par percolation de l'ordre de 49 et 57% des volumes reçus par l'irrigation et la pluie. Le même problème s'est reproduit durant la campagne 2010/11. Après l'irrigation du 06/10/2010, une pluie de 38 mm a eu lieu deux jours après. Cinq jours après l'application de 117 mm au 16/11/2010, la pluie a apporté 45 mm. Pour ce dernier cas, le modèle a simulé une perte de 65 mm. D'autres situations ont été enregistrées le 18/01/2011 et 09/03/2011. Dans ce cas, la technique d'irrigation peut être mise en cause en raison des doses appliquées à chaque irrigation. Le bersim étant une culture à enracinement moins puissant et superficiel fait qu'il manifeste un stress hydrique dès que les horizons de surface se sèchent bien que les horizons profonds aient encore des teneurs en eau non négligeables.

Les pertes profondes en eau par percolation deviennent minimisées si les apports en eau sont de faible dose et espacés dans le temps. Ce constat est prouvé en considérant les cycles où la pluie est abondante et espacée dans le temps. C'est le cas des cycles 2 et 3 de 2010/11 sous les régimes T3 et T4 où aucun apport par irrigation n'a été fait. Le cumul de la pluie est de 111 mm réparti sur huit événements pluvieux avec des pertes par drainage nulles.

Les bilans hydriques ont été effectués par cycle pour chaque régime hydrique durant les deux campagnes 2009/10 et 2010/11. Les résultats obtenus (Tableau 6) montrent que l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) varie principalement en fonction de la période: elle est faible pendant le cycle d'installation, optimale pendant

les trois cycles (2, 3 et 4) et diminue au dernier cycle sous le stress hydrique. L'EUE varie également en fonction du régime hydrique durant les cycles où les traitements d'irrigation ont été différenciés. Le tableau 6 donne les valeurs de l'EUE pour les différents cycles par régime hydrique. Le stress hydrique durant le cycle d'installation agit sur la croissance racinaire et par conséquent sur la capacité d'alimentation en eau de la plante. En 5^{ème} cycle, sous les régimes stressant T3 et surtout T4, l'EUE devient faible du fait que la plante fleurit sans produire beaucoup, l'irrigation n'est plus correctement valorisée.

La représentation des rendements cumulés en fonction des ETR correspondant montre que la production de matière sèche est une fonction linéaire de la quantité d'eau évapotranspirée (ETR) (Figure 6). L'efficacité d'utilisation de l'eau du bersim au Tadla sur toute la période de culture est de 3,3 et 3,5 kg.m⁻³ en 2009/10 et 2010/11 respectivement. Dans une étude dans la plaine de *Mtidja* en Algérie, Merafet *et al.*, (2005) a trouvé que l'efficacité d'utilisation de l'eau du bersim *Mescawi* conduit sous l'aspersion est de 4 à 5 kg.m⁻³ sur la période mi-février-mi mai. La combinaison des résultats des deux années a permis d'établir une relation linéaire significative entre le rendement et la consommation réelle en eau. L'EUE global sur les deux campagnes est de 3,37 kg.m⁻³.

CONFRONTATION DES RENDEMENTS ET LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU EN FONCTION DE LA TECHNIQUE D'IRRIGATION

Pour comparer les performances des deux techniques d'irrigation, nous avons récapitulé dans le tableau 7 les valeurs moyennes des deux campagnes 2009/10 et 2010/11 des apports en eau par irrigation ainsi que les rendements annuels correspondants obtenus pour chaque régime hydrique.

Les rendements annuels obtenus varient entre un minimum de 8,2 t/ha enregistré sous irrigation gravitaire sous le régime stressant T4 en 2009/10 et 16,2 t/ha obtenu sous irrigation localisée avec le régime T1 en 2010/11.

Tableau 6: Variation de l'efficacité d'utilisation de l'eau par régime hydrique

Cycle	T1	T2	T3	T4
2009/10				
Cycle 1	1,68 a	1,58 a	1,37 b	1,16 b
Cycle 2	3,77 a	3,75 a	3,41 b	2,88 c
Cycle 3	2,01 a	2,33 a	2,16 a	2,03 a
Cycle 4	2,83 a	2,94 a	2,97 a	3,32 a
Cycle 5	2,52 a	2,43 b	2,14 c	1,66 d
ETR/ETM	0,93	0,82	0,73	0,59
2010/11				
Cycle 1	1,46 a	1,53 a	1,36 b	1,15 b
Cycle 2	3,96 a	3,27 b	2,84 c	2,64 d
Cycle 3	3,61 a	2,64 b	3,68 a	4,16 a
Cycle 4	2,39 a	2,38 a	2,48 a	2,96 b
Cycle 5	2,43 a	2,26 b	1,53 c	1,27 d
ETR/ETM	0,94	0,78	0,64	0,51

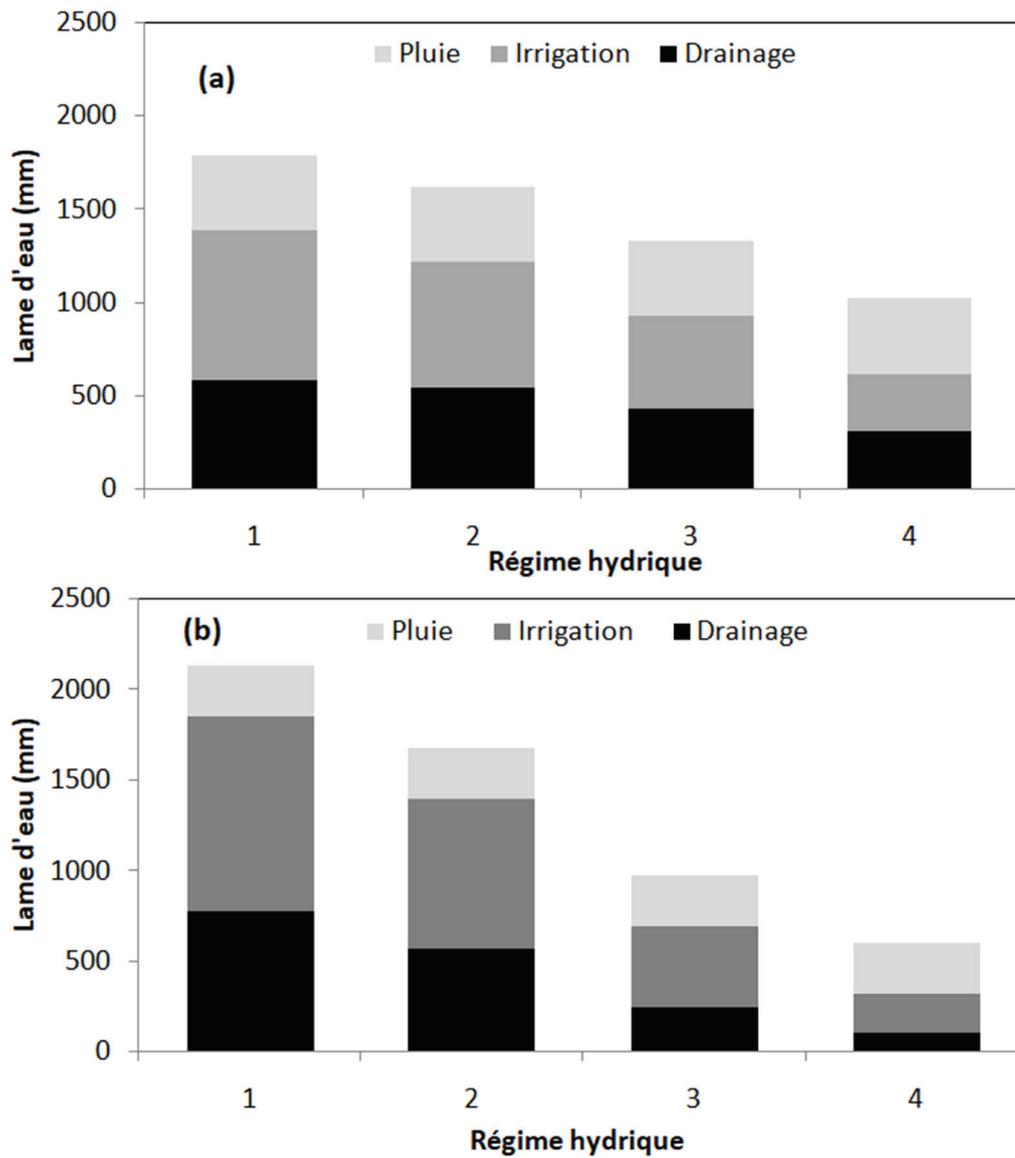


Figure 5: Cumul des apports (irrigation et pluie) en eau et drainage par régime hydrique en a) 2009/10 et b) 2010/11

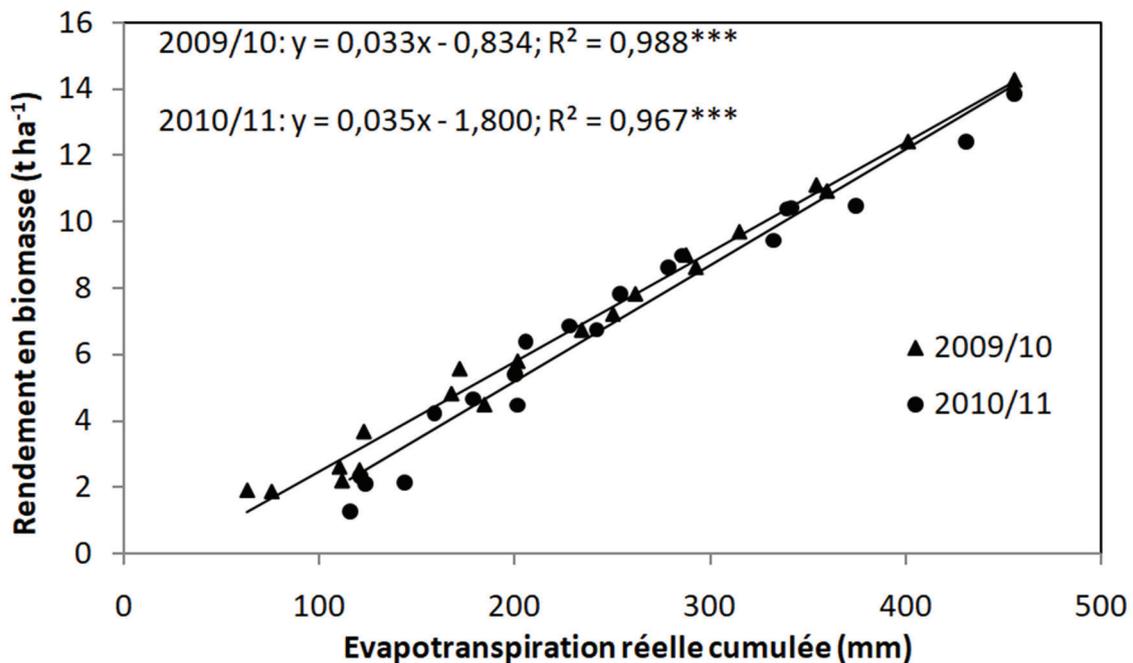


Figure 6: Relation rendement en biomasse et la consommation en eau chez le bersim

Pour chacune des techniques d'irrigation et en considérant le rendement obtenu en appliquant le régime T4, les améliorations des rendements sont de 50, 32 et 17% sous T1, T2 et T3 sous irrigation localisée tandis que sous irrigation gravitaire, les améliorations du rendement sont de 70, 51 et 33% sous les mêmes régimes. Les améliorations des rendements moyens sous irrigation localisée par rapport au gravitaire sont de 11,3; 11,2; 11,8 et 26,5% pour T1, T2, T3 et T4 respectivement. Ces valeurs indiquent l'importance des gains en rendements sous irrigation localisée en comparaison avec l'irrigation gravitaire.

L'économie nette moyenne en eau d'irrigation permise par l'irrigation localisée est de 57, 56, 49 et 40% pour les régimes T1, T2, T3 et T4 respectivement en comparaison au même régime sous irrigation gravitaire. En considérant les besoins en eau du bersim estimés par lysimètre à 525 mm (Bouazzama, 2013), on constate que les apports par irrigation gravitaire sous le régime T1 dépassent de loin cette valeur d'environ 79%, alors que sous irrigation localisée les apports sont inférieurs et que le complément est assuré par la pluie.

Pour comparer davantage les deux techniques d'irrigation, nous avons calculé la productivité de l'eau d'irrigation (EEI) en divisant le rendement total annuel en matière sèche sur le volume brute en eau réellement appliqué sans considérer les pertes éventuelles en eau par drainage surtout au niveau du gravitaire. Les résultats (Tableau 7) montrent que pour les différents régimes hydriques, la productivité de l'eau d'irrigation est toujours élevée sous irrigation localisée en comparaison au gravitaire. Pour chaque technique, la productivité de l'eau augmente avec le stress hydrique. La productivité de l'eau d'irrigation constatée sous irrigation localisée est due au rendement élevé obtenu et surtout à l'économie de l'eau en comparaison à l'irrigation gravitaire.

La représentation graphique des rendements en fonction de la productivité de l'eau pour les différentes combinaisons de la technique d'irrigation et le régime hydrique est illustrée par la figure 7. L'irrigation localisée sous le régime T1 et T2 permet d'assurer les meilleures productivités de l'eau associées à des rendements les plus élevés.

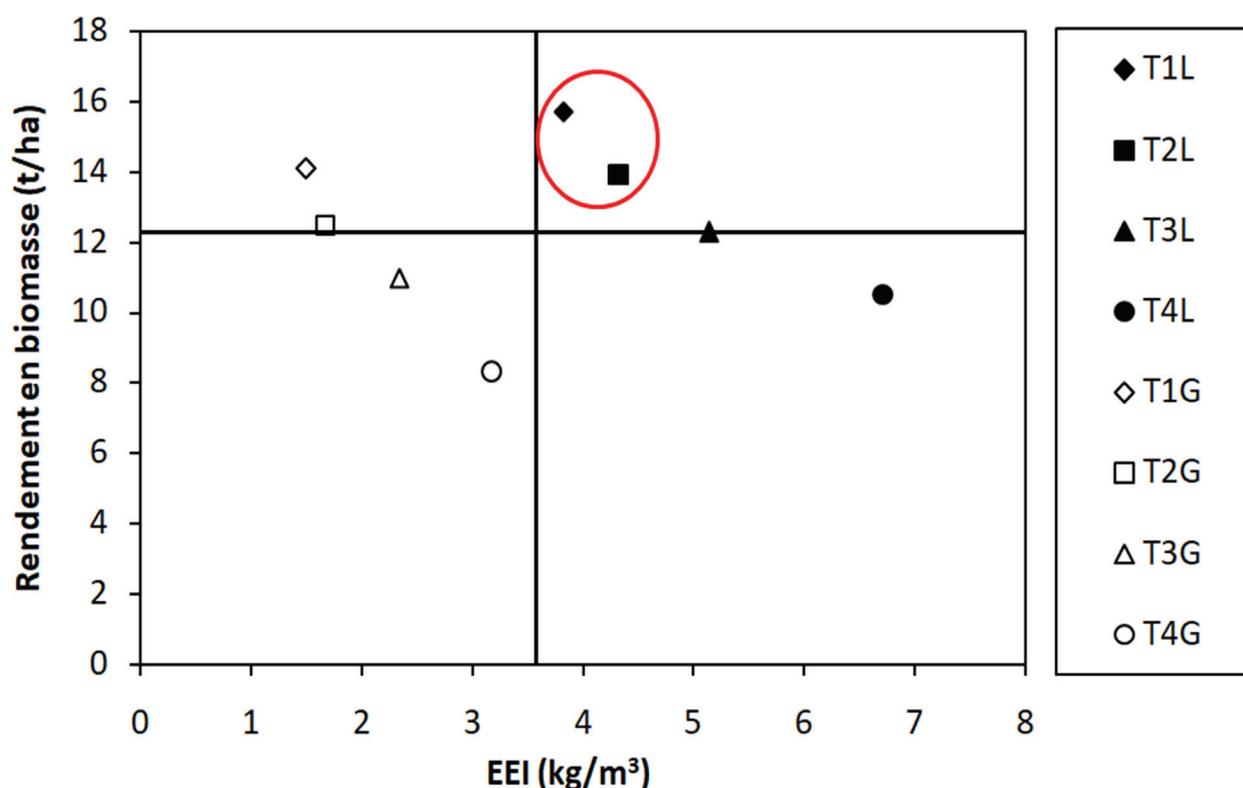


Figure 7: Combinaison régime hydrique - technique d'irrigation en fonction du rendement et la productivité de l'eau du bersim

Tableau 7: Valeurs comparatives du rendement, apport en eau et efficacité de l'eau d'irrigation en fonction de la technique d'irrigation

Paramètres	Irrigation localisée				Irrigation gravitaire			
	T1L	T2L	T3L	T4L	T1G	T2G	T3G	T4G
Rendement (t.MS/ha)	15,7	13,9	12,3	10,5	14,1	12,5	11,0	8,3
Apport en eau (mm)	411,0	323,0	239,0	157,0	939,0	753,0	470,0	262,0
Nombre d'irrigation	44,0	44,0	44,0	44,0	9,0	7,0	5,0	4,0
Apport par pluie (mm)	327,0	327,0	327,0	327,0	327,0	327,0	327,0	327,0
Économie d'eau (%)	57,4	56,2	49,1	40,0	-	-	-	-
EEI (Kg/m³)	3,8	4,3	5,1	6,7	1,5	1,7	2,3	3,2

CONCLUSION

Les réductions de rendements en apportant 60% des besoins en eau sont de 40 et 42% en 2009/10 et 2010/11 respectivement. La productivité journalière du bersim augmente avec plus d'apport en eau en dehors de la période pluvieuse où la radiation solaire est un facteur limitant. La valeur maximale de 102 kg MS/ha/jour a été obtenue au dernier cycle (printemps) sous le régime non stressant (100% ETc). La teneur en matière sèche augmente avec le stress hydrique. La culture du bersim présente un intérêt en raison de sa situation sur la période pluvieuse. La contribution des cycles sans irrigation au rendement total annuel peut varier de 35% à 52% sous les régimes 100% ETc et 40% ETc respectivement.

La réalisation des bilans hydriques par régime hydrique montre que les pertes par drainage augmentent avec plus d'apport en eau. Les pertes sont plus élevées en 1^{er} cycle en comparaison au 5^{ème} cycle en raison des apports importants au semis et en raison du système racinaire encore moins développé au début.

L'efficacité d'utilisation de l'eau varie principalement en fonction de la période : elle est faible pendant le cycle d'installation, optimale pendant les trois cycles 2, 3 et 4 et diminue au dernier cycle avec le stress hydrique. Au premier cycle, elle varie de 1,56 à 1,16 sous 100% ETc et 40% ETc respectivement. Au 5^{ème} cycle, elle varie de 2,43 à 1,47 kg/m³ sous les mêmes régimes respectivement.

La combinaison des résultats des deux années a permis d'établir une relation linéaire significative entre le rendement et la consommation réelle en eau. L'EUE global sur les deux campagnes sur toute la période de culture (pente de la droite de régression) est de 3,37 kg m⁻³.

Les rendements moyens en biomasse de deux années obtenus sous le goutte à goutte varient entre 10,5 t/ha obtenu sous 40% ETc et 15,7 t/ha permis par le régime non stressant 100% ETc. Ce dernier rendement a été obtenu avec un apport en eau de 411 mm. L'application du régime 100% ETc sous goutte à goutte a réalisé une économie de 57% par rapport au même régime sous le gravitaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper* 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Ameziane T.E. (1975). Contribution à l'étude de la production du bersim irrigué dans le Gharb, mémoire de 3^{ème} cycle, IAV Hassan II, Rabat, Maroc.
- Badraoui M., Stitou M. (2001). Status of soil survey and soil information systems in Morocco. *Options Mediterr. Ser. B*, 34: 193-204.
- Bouazzama B. (2013). Amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau chez les principales cultures fourragères au Tadla- Maroc. Thèse de doctorat. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique.
- Bounjemate M. (1997). Bersim (*Trifolium alexandrinum*), production et utilisation des cultures fourragères au Maroc, Ed. G. Jaritz et M. Bounjemate, INRA, Rabat (Maroc), 144-147.
- Doorenbos J., Kassam AH. (1979). Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 33. FAO, Rome, Italy.
- DRA (2015). Données statistiques. Beni Mellal, Maroc
- El Masri A. (2007). Les cultures fourragères et l'eau souterraine dans le périmètre irrigué de Tadla: Valorisation des ressources en eau et durabilité de la nappe phréatique. Mémoire du troisième Cycle, IAV Hassan II- Rabat
- Gaillard B., Legoupil J.C., Ruffin J.C. (1977). Le bersim ou trèfle d'Alexandrie, fourrage irrigué méditerranéen dans le haut Cheliff, *Agronomie Tropicale* 32: 364-376.
- Hnatyszyn M., Guais A. (1988). Les fourrages et l'éleveur, TEC DOC; Lavoisier, 257-362
- Kandil A.A., Salama A.M., El Moursy S.A., Abido W.A. (2005). Productivity of Egyptian clover affected by seeding rates and cutting schedules. II- chemical dry matter analysis. *P.J.B.S.* 8: 1766-1770
- 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: 34-41.
- Merabet B.A., Bassaid F., Abdelguerfi A., Daoud Y. (2005). Production et qualité fourragère du trèfle d'Alexandrie en fonction de l'alimentation hydrique en Mitidja (Algérie). *Fourrages* 181: 179-191
- ORMVAT (2015). Rapport d'activité annuelles.
- Tyagi N.K., Sharma D.K., Luthra S.K. (2003). Determination of evapotranspiration for maize and berseem clover. *Irrig. Sci.* 21: 173-181
- Vermeiren L., Jobling G.A. (1983). L'irrigation localisée: calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage* 36, 219 p