LES BESOINS EN EAU DE LA CULTURE DU BLÉ DANS LES RÉGIONS DÉSERTIQUES (CAS DE LA WILAYA D'ADRAR)

A. LAABOUDI (1), C. ALLAOUA (2), M. KHARSSI (3)

(1), (3) - INRAA, Station expérimentale d'Adrar, B.P: 299 Adrar, 01000 Algérie
(2) - INRAA, Station expérimentale Mahdi Boualem, B.P: 37, Baraki, Alger

RÉSUMÉ

L'Algérie connaît une dépendance chronique en produits alimentaires notamment en produits céréaliers. L'encouragement de l'agriculture dans les zones sahariennes en vue de réduire cette dépendance n'a pas abouti aux résultats escomptés à cause de l'existence d'un certain nombre de contraintes dont la gestion de l'irrigation est la plus importante. Ce travail de recherche effectué au cours de deux campagnes successives sur une variété de blé tendre (*Triticum vulgare* : Variété HD1220), vise la détermination des besoins en eau de la culture du blé dans la région d'Adrar en utilisant les cases lysimétriques. Il est apparu que la consommation journalière en période de pointe atteint 12.9 mm/j et l'ETM cumulée de la culture est équivalente à 885 mm en moyenne. Les valeurs du coefficient cultural (kc), progressent durant les premiers stades végétatifs de la plante pour atteindre une valeur maximale de 1.37 au stade floraison puis régressent.Par ailleurs, notre étude a montré que parmi les méthodes de l'estimation de l'ETP, la formule de Penman modifiée donne les meilleurs résultats.

Mots clés : Zones sahariennes, ETP, ETM, Blé tendre, Cases lysimétriques, Coefficient cultural.

ملخص

تعرف الجزائر تبعية مزمنة من حيث الإنتاج الغذائي و خصوصا منتجات الحبوب، و بالرغم من تشجيع الزراعة في المناطق الصحراوية و إدخال معدات الري العصرية قصد التخفيف من هذه التبعية، فإن هذه لم تحقق الآمال المرجوة، نتيجة وجود العديد من المعوقات في مقدمتها انعدام التحكم في الري. و من خلال الدراسة التي قمت بها على مدى سنتين على محصول القمح اللين (صنف هضاب) من أجل معرفة احتياجاته المائية في هذه المناطق باستعمال الأحواض الليزيمترية، تبين أن القمح يستهلك كميات معتبرة من الماء خصوصا في فترات النمو المتوسطة حيث بلغت قيمة الإستهلاك اليومي مستوى 12.9 مم، و قد بلغ مجموع التبخر النتح الأعظمي حوالي885 مم. أما معامل المحصول فكان أيضا معتبرا و كانت قيمه تزداد شيئا فشيئا حيث بلغت قيمته القصوى 1.37 و ذلك في طور الإزهار، ثم بدأت في التناقص. و تبين أيضا من خلال هذه الدراسة أن من بين أدق الطرق المستعملة لحساب التبخر النتح الكموني هي صيغة بانمان المعدلة.

الكلمات المفتاحية : المناطق الصحراوية، التبخر-النتح الكموني، التبخر-النتح الأعظمي، القمح، الأحواض الليزيمترية، معامل المحصول.

INTRODUCTION

En agriculture, l'eau est l'élément majeur pour une production agricole durable et harmonieuse que l'homme doit savoir maîtriser tantôt pour en éliminer les excès (drainage) tantôt pour en palier le déficit (ANONYME, 1981). DOOREMBOS (1980 in LAABOUDI, 1988) a signalé qu'une humidité contrôlée est indispensable pour obtenir des rendements élevés car la culture craint aussi bien les excès d'irrigation que les arrosages insuffisants. Chez le blé, l'élaboration du rendement dépend de la croissance générale qui est directement fonction de l'alimentation hydrique (DUCROQ, 1981). Le stade végétatif *«floraison»* est considéré comme le plus sensible au déficit hydrique. En début montaison, le manque d'eau a un effet sur le nombre de talles-épis et le nombre potentiel de grains par épi (DOOREMBOS et KASSAM, 1980). Pendant la période de formation du produit, le déficit hydrique diminue le poids des grains. ZAIR (1991) a signalé qu'en zone semi aride le déficit hydrique est plus sévère et les variétés ont des réponses différentes à cause de leurs types de développement différents. De ce fait, la connaissance des besoins en eau des cultures est indispensable. Ils sont définis comme étant la quantité d'eau nécessaire, à une culture donnée et durant tout son cycle végétatif, pour produire un rendement maximal (DANIEL, 1984). Cette quantité d'eau correspond à l'évapotranspiration maximale (ETM). La mesure de celle-ci fait apparaître pour un couvert donné, d'une part, ses fluctuations avec le climat, d'autre part, le niveau des résistances au niveau de la plante en comparant l'ETM à l'ETP. D'une façon classique, l'effet de ces résistances a été apprécié globalement et approximativement par les coefficients culturaux donnés par la formule :

kc = ETM/ETP (ROBELIN, 1983)

où kc : coefficient cultural

ETM : Evapotranspiration maximale (mm)

ETP : Evapotranspiration potentiel (mm).

Dans le but de quantifier les besoins en eau de la culture du blé dans la région d'Adrar en utilisant les cases lysimétriques, nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

- déterminer la formule empirique de calcul de l'évapotranspiration de référence (ETo) la mieux adaptée à la région d'Adrar ;

- mesurer l'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture de blé à l'aide des cases lysimétriques ;

- déterminer le coefficient cultural du blé à ses différents stades végétatifs.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Site expérimental

Les essais ont été réalisés sur le site de la station expérimentale de l'INRAA d'Adrar, située à 5 km au Sud du chef lieu de la wilaya. Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

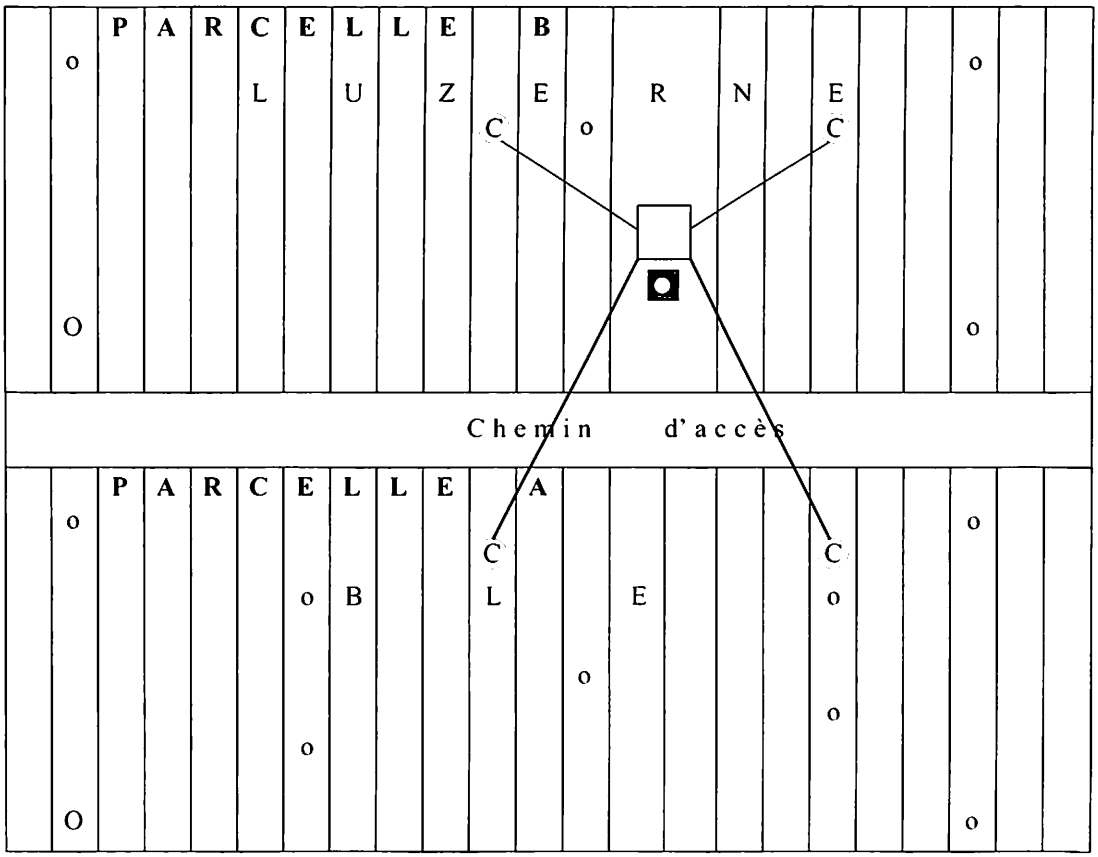
Altitude : 278 m

Latitude : 27° 49' Nord

Longitude : 00°11' Ouest

Les essais ont été réalisés durant deux campagnes consécutives : 1998/1999 en parcelles **A** déjà mise en culture et en 1999/2000 en parcelle **B** mise en culture pour la première fois.

Schéma du dispositif expérimental



- Chambre de contrôle
- Réservoir d'eau
- Cases lysimétriques
- Conduite de drainage
- Endroits de prélèvement des échantillons du sol
- Parcelle élémentaire

Aspect pédologique de la station

Le reg sur lequel est installée la station résulte de la transformation des grés dites continentales intercalaires, c'est une plaine légèrement bosselée à érosion éolienne forte. L'horizon superficiel est constitué d'une couche de cailloux et de graviers soumis à l'action érosive du vent.

Les profils culturaux indiquent que la profondeur du sol varie entre 35 et 55 cm, et présente deux horizons :

Horizon 1 : 0 - 20 cm, friable, couleur brun-foncée, présence de pierres et calcaire ainsi que certaines racines et débris végétaux ;

Horizon 2 : > 20 cm, friable, couleur brun-claire, riche en pierres et en calcaire.

Le pH du sol varie entre 7 et 8,8, sa conductivité électrique (CE) indique une forte salinité en parcelle A, alors qu'elle est inférieure en parcelle B (irriguée pendant plusieurs années) (tableau I).

Tableau I : Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles d'essai.

Parcelles	Densité apparente	Capacité de rétention en eau sol (%)	PH	Conductivité électrique (mmhos/cm)	Conductivité hydraulique K (cm/h)
A	1.5	14.5	8.8	20.24	22
B	1.5	14.5	8.4	10.68	20

Conditions climatiques

La région d'Adrar est caractérisée par un climat désertique, connu pour son aridité très accentuée (figure 1). Cette dernière est due essentiellement à l'excès de l'évaporation par rapport aux précipitations. L'intensité de l'évaporation est étroitement liée à la température de l'air, à l'humidité relative et à la force et la fréquence des vents. Les données climatiques enregistrées depuis le semis du blé jusqu'à la récolte pour les deux campagnes sont mentionnées dans le tableau II.

La pluviométrie est un facteur rare, elle est insignifiante et ne peut être en aucun cas considérée comme une source d'eau pour l'irrigation. Sa moyenne annuelle pour la région est de l'ordre de 15 mm. Durant les deux campagnes d'essai, on a enregistré respectivement 32.25 mm et 22.5 mm. Selon le quotient pluvio-thermique d'Emberger (1932 cité par HALIMI, 1980), cette région est classée dans le domaine de climat désertique (moins de 100 mm).

Figure 1 : Diagramme ombrothermique de Bagnauls et Gaussen de la région d'Adrar (moyenne de 25 ans).

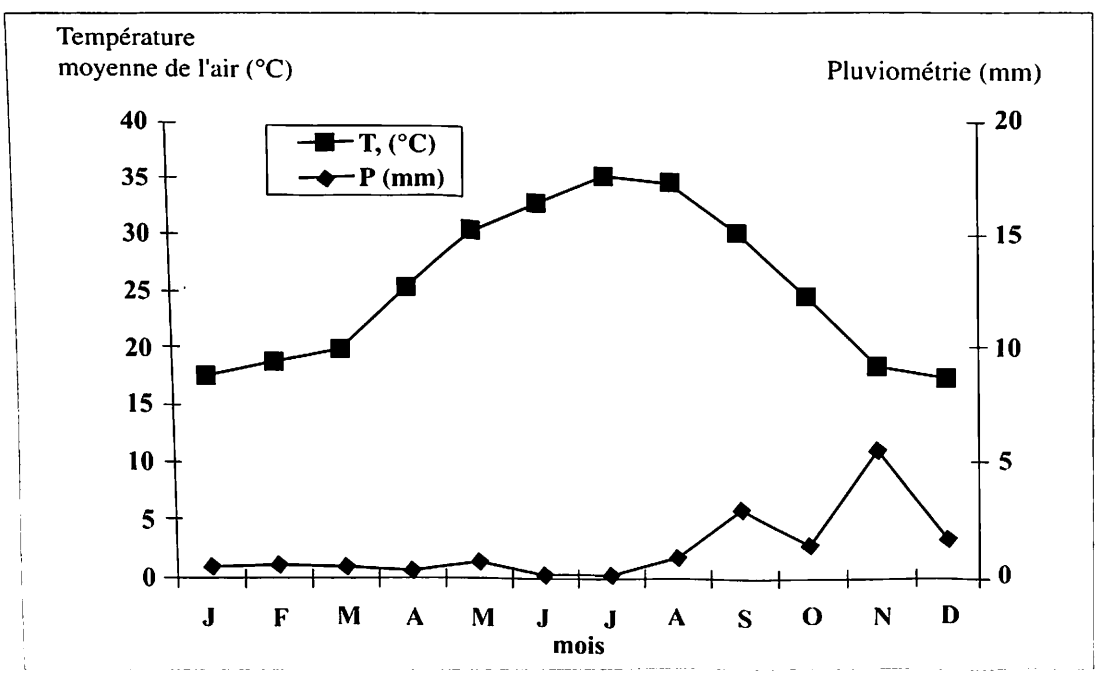


Tableau II : Données climatiques de la région au cours des campagnes d'essai.

Campagnes	Mois	T. Min (°C)	T. Max (°C)	T. Moy. (°C)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation Piche (mm/j)	Humidité relative de l'air (%)
1998/1999	Décembre	-0.5	25	12.3	3.0	4.7	51
	Janvier	-1.0	28	13.5	2.5	3.6	50
	Février	03.0	30.5	16.7	2.7	7.0	49
	Mars	09.0	34.5	21.7	3.3	7.5	34
	Avril	10.0	43.0	26.5	4.2	9.2	30
	Mai	13.5	44.0	28.7	3.6	8.2	29
1999/2000	Décembre	2.0	24.5	13.2	3.0	3.0	63
	Janvier	1.5	25.5	13.5	2.6	2.5	54
	Février	-2.0	28.5	13.2	3.8	7.7	51
	Mars	5.0	37.0	21.0	3.2	8.3	40
	Avril	11.0	40.5	25.7	3.9	8.7	38
	Mai	11.0	46.0	28.5	3.2	9.7	43

Source : Relevés météorologiques de la station expérimentale d'Adrar.

Conduite de l'essai

Pour la préparation du lit de semences, les deux parcelles ont reçu consécutivement une pré-irrigation, un labour profond, un épandage de fumure de fond, un recroisage et ensuite la confection des planches. Le semis du blé a été effectué le 05 et le 06 décembre consécutivement pour la première et la deuxième campagne. La dose de semis était de 200 kg/ha.

Les précédents culturaux sont respectivement blé pour la première campagne en parcelle B, puis terre nouvellement cultivée en deuxième campagne en parcelle A.

Pour la fertilisation, une dose de 3 q/ha de triple super phosphate est apportée avant semis et des apports fractionnés de l'engrais azoté (sulfate d'ammonium), à raison de 240 u/ha, sont apportés aux stades 3 feuilles, tallage et début montaison.

L'irrigation est conduite avec une fréquence d'arrosage maintenant l'humidité du sol très proche de la capacité de rétention avec des doses d'arrosage excédentaires afin de permettre un excès d'eau pour le lessivage des sels et le drainage pour la mesure du bilan hydrique.

Tableau I : Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles d'essai.

Parcelles	Densité apparente	Capacité de rétention en eau sol (%)	PH	Conductivité électrique (mmhos/cm)	Conductivité hydraulique K (cm/h)
A	1.5	14.5	8.8	20.24	22
B	1.5	14.5	8.4	10.68	20

Conditions climatiques

La région d'Adrar est caractérisée par un climat désertique, connu pour son aridité très accentuée (figure 1). Cette dernière est due essentiellement à l'excès de l'évaporation par rapport aux précipitations. L'intensité de l'évaporation est étroitement liée à la température de l'air, à l'humidité relative et à la force et la fréquence des vents. Les données climatiques enregistrées depuis le semis du blé jusqu'à la récolte pour les deux campagnes sont mentionnées dans le tableau II.

La pluviométrie est un facteur rare, elle est insignifiante et ne peut être en aucun cas considérée comme une source d'eau pour l'irrigation. Sa moyenne annuelle pour la région est de l'ordre de 15 mm. Durant les deux campagnes d'essai, on a enregistré respectivement 32.25 mm et 22.5 mm. Selon le quotient pluvio-thermique d'Emberger (1932 cité par HALIMI, 1980), cette région est classée dans le domaine de climat désertique (moins de 100 mm).

Figure 1 : Diagramme ombrothermique de Bagnauls et Gaussen de la région d'Adrar (moyenne de 25 ans).

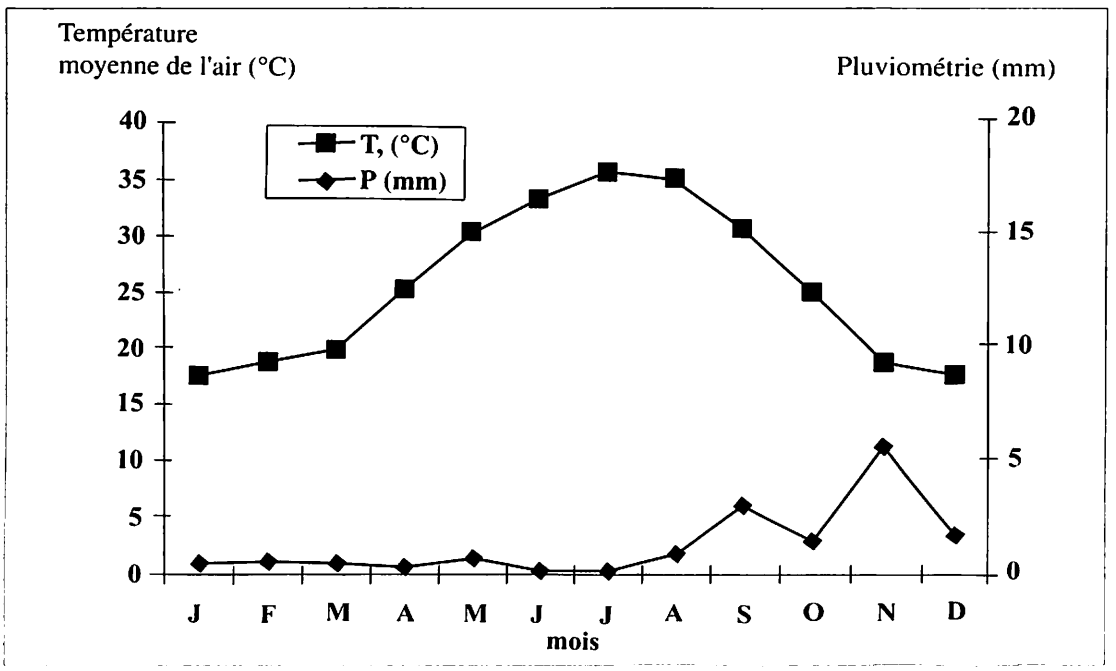


Tableau II : Données climatiques de la région au cours des campagnes d'essai.

Campagnes	Mois	T. Min (°C)	T. Max (°C)	T. Moy. (°C)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation Piche (mm/j)	Humidité relative de l'air (%)
1998/1999	Décembre	-0.5	25	12.3	3.0	4.7	51
	Janvier	-1.0	28	13.5	2.5	3.6	50
	Février	03.0	30.5	16.7	2.7	7.0	49
	Mars	09.0	34.5	21.7	3.3	7.5	34
	Avril	10.0	43.0	26.5	4.2	9.2	30
	Mai	13.5	44.0	28.7	3.6	8.2	29
1999/2000	Décembre	2.0	24.5	13.2	3.0	3.0	63
	Janvier	1.5	25.5	13.5	2.6	2.5	54
	Février	-2.0	28.5	13.2	3.8	7.7	51
	Mars	5.0	37.0	21.0	3.2	8.3	40
	Avril	11.0	40.5	25.7	3.9	8.7	38
	Mai	11.0	46.0	28.5	3.2	9.7	43

Source : Relevés météorologiques de la station expérimentale d'Adrar.

Conduite de l'essai

Pour la préparation du lit de semences, les deux parcelles ont reçu consécutivement une pré-irrigation, un labour profond, un épandage de fumure de fond, un recroisage et ensuite la confection des planches. Le semis du blé a été effectué le 05 et le 06 décembre consécutivement pour la première et la deuxième campagne. La dose de semis était de 200 kg/ha.

Les précédents culturaux sont respectivement blé pour la première campagne en parcelle B, puis terre nouvellement cultivée en deuxième campagne en parcelle A.

Pour la fertilisation, une dose de 3 q/ha de triple super phosphate est apportée avant semis et des apports fractionnés de l'engrais azoté (sulfate d'ammonium), à raison de 240 u/ha, sont apportés aux stades 3 feuilles, tallage et début montaison.

L'irrigation est conduite avec une fréquence d'arrosage maintenant l'humidité du sol très proche de la capacité de rétention avec des doses d'arrosage excédentaires afin de permettre un excès d'eau pour le lessivage des sels et le drainage pour la mesure du bilan hydrique.

Méthode de mesure de l'ETM

L'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture est mesurée à l'aide de deux cases lysimétriques. Ce sont des cuves métalliques étanches de forme cylindrique de 3 m² de surface chacune, enterrées dans le sol et dans lesquelles la culture *«test»* est conduite dans des conditions d'alimentation hydrique non restrictives. Le calcul de la quantité d'eau évapotranspirée se fait par la différence entre les apports en eau par l'irrigation et la pluviométrie et les pertes d'eau par le drainage. Ce calcul des besoins en eau de la culture est basé sur la méthode directe du bilan hydrique selon la formule suivante :

$$ETM = P + I - D \pm \Delta S \text{ exprimée en mm}$$

Où ETM : évapotranspiration maximale
P : pluviométrie
I : irrigation
D : drainage
ΔS : variation du stock d'eau (paramètre négligeable).

La détermination de l'évapotranspiration de référence ETo est basée sur la formule de Penman modifiée. L'équation utilisée dans cette méthode se présente comme suit :

$$ETo = C\ [\ w.R.n\ +\ (1 - w).\ f(u)\ (ea-ed)\ ]$$

Avec :

C : coefficient d'ajustement tenant compte du rapport U diurne / U nocturne (U étant la vitesse du vent), de l'humidité relative et du rayonnement descendant moyen de courte longueur d'onde ;
w.R.n : paramètre de rayonnement ;
(1 - w). f(u) (ea-ed) : Paramètre aérodynamique.

Le calcul s'effectue selon la méthode décrite dans le bulletin FAO n° 24 (les besoins en eau des cultures).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le rendement et ses composantes

Le rendement est important en première campagne (700 g/m²) soit l'équivalent de 70 q/ha comparativement à celui de la deuxième campagne (43 q/ha) où il est nettement inférieur. Le comportement végétatif et les composantes du rendement de la première campagne sont aussi nettement meilleurs comparés à ceux de la deuxième campagne (tableau III). Ceci pourrait s'expliquer par l'effet de la salinité qui a eu tendance à augmenter dans le sol de la parcelle cultivée durant les campagnes d'irrigation. Ce résultat confirme celui obtenu par DAOUD et BELDJOUDI (1994) pour la variété de blé Waha, qui en utilisant différentes concentrations de NaCl dans l'eau d'irrigation, ils ont démontré que la concentration croissante en NaCl provoque une diminution de l'assimilation par la plante de l'azote et du potassium. Par ailleurs, la diminution du rendement est forte entre 0 et 4 g/l de NaCl puis varie peu entre 4 et 8 g/l.

Tableau III : Composantes du rendement.

Paramètres	Campagne 1999-2000	Campagne 2000-2001
Tallage (nombre de talles/pied)	2 - 3	1 - 3
Hauteur de la tige (cm)	102	75
Nbre de grains/épi	72	44.3
PMG (g)	33	31.2
Rdt (g/m²)	700	430.8

Le choix de la formule empirique

Le choix de la formule empirique de l'évapotranspiration potentielle (ETP) la mieux adaptée à la région est réalisé en appliquant les différentes formules de l'ETP durant le cycle végétatif de la culture du blé (tableau IV).

La comparaison des valeurs de celles-ci avec l'ETM de la culture du blé obtenues dans la même période, indique que certaines formules ont tendance à sous-estimer les besoins en eau du blé (Thornthwaite, Turc). Ceci s'accorde avec les résultats obtenus par SMADHI (2000). Par contre, la formule de Bouchet sous-estime ces besoins uniquement en période hivernale mais par contre les surestime en période printanière. Ceci est dû au fait qu'elle est basée essentiellement sur la température et néglige l'effet des autres facteurs.

En ce qui concerne la formule de Penman modifiée, celle-ci donne des valeurs qui se rapprochent le mieux de l'ETM du blé et donne des valeurs de l'ETP très proches de la réalité ; ce qui s'accorde avec les résultats obtenus par BAMOUH (2000) et l'OADA (2000).

L'évapotranspiration maximale (ETM)

Le suivi du bilan hydrique est effectué du stade levée jusqu'au stade maturation pour la première campagne, et du semis jusqu'à la récolte et même après, pour la deuxième campagne. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau V.

On constate qu'il y a un décalage entre les stades végétatifs, et aussi dans la durée de certains entre eux. Par exemple : le stade levée est plus court (10 jours) durant la première campagne par rapport à la deuxième campagne (21 jours) alors qu'au contraire, le stade montaison est plus long : 37 jours et 30 jours respectivement pour la 1ère et la 2ème campagne. Ceci est dû principalement aux conditions climatiques observées durant les stades végétatifs mentionnés. En outre, il a été constaté des différences de consommation journalière en eau entre les deux campagnes au sein du même stade végétatif mais ces différences seront réduites si on raisonne par la moyenne du stade végétatif (tableau VI).

Tableau IV : ETP (mm/j) évaluée à partir de certaines formules empiriques (campagne 98/99).

Mois	Thornthwaite (1)	Turc (2)	Penman (3)	Bouchet	Nb de jours/ mois
Décembre	0.29	2.11	4.64	3.42	21
Janvier	0.36	2.52	5.60	3.82	31
Février	0.97	3.44	7.46	9.01	28
Mars	1.47	5.15	8.98	10.82	31
Avril	2.72	6.29	10.50	15.74	20
Total	144.38	504.20	968.30	1092.70	131

(1), (2) et (3) : détail des formules joint en annexe.

Tableau V : Consommation moyenne journalière en eau du blé par stade végétatif au cours des deux campagnes.

Campagne 1998 - 1999		Campagne 1999 - 2000	
Stade végétatif	ETM (mm/j)	Stade végétatif	ETM (mm/j)
Levée	1.92	Levée	3.18
3 feuilles	2.65		1.56
Tallage	3	3 feuilles	2.47
	3.38	Tallage	3.59
Montaison	5.07		3.96
	5.49	Montaison	4.97
	8.48		7.97
	9.3		8.17
Epiaison	9.3	Epiaison	9.73
Floraison	11.07	Floraison	10.19
Laiteux-pâteux	12.5	Laiteux-pâteux	11.58
Maturation	8.1		13.39
		Maturation	8.85
		Maturité	3.99

Tableau VI : Evolution de l'ETM moyenne journalière et de l'ETM cumulée par stade végétatif du blé au cours des deux campagnes d'essai (1 et 2).

Stade végétatif	ETM 1 (mm/j)	ETM 1 cumulée/ stade végétatif (mm)	ETM 2 (mm/j)	ETM 2 cumulée/ stade végétatif (mm)
Semis	3.5	35	4.35	36.9
Levée	1.92	19.2	2.3	48.3
3 feuilles	2.65	26.5	2.47	24.7
Tallage	3.19	63.8	3.77	75.4
Montaison	7.08	261.96	7.04	211.3
Epiaison	9.3	102.3	9.73	97.3
Floraison	11.07	132.84	10.19	112.09
Laiteux-pâteux	12.5	125	13.39	133.9
Maturation	8.1	72.9	8.85	88.5
Total du cycle		839.5		828.36

La consommation de pointe moyenne des deux campagnes s'élève à 12.94 mm/j. Elle est supérieure à celle obtenue par MOUHOUCHE et BOULAASSEL (1998) et KENFAOUI (1997), qui ont souligné que les besoins en eau du blé varient de 2 à 10 mm/j durant le cycle végétatif.

Le résultat obtenu durant la deuxième campagne de l'essai indique que la culture a consommé durant tout son cycle végétatif (134 jours) une quantité d'eau équivalente à 828.4 mm. Cette quantité est presque identique (839.4 mm) à celle de la première campagne pour les stades végétatifs identiques.

La quantité totale consommée en moyenne des 2 campagnes (833.9 mm) est largement supérieure à celle évaluée par DOOREMBOS et KASSAM (1980), qui ont signalé que les besoins en eau (ETM) correspondant à de bons rendements sont de l'ordre de 450 à 650 mm selon les climats et la longueur du cycle végétatif. Egalement, elle est supérieure aux 539 mm selon ROBELIN (1983) et aux 620 mm obtenus par MALDJI (1994) en utilisant le modèle FAO Cropwat pour le calcul des besoins en eau des cultures.

Il est à signaler que la consommation en eau de la culture du blé dans les conditions désertiques devient plus forte dès le stade montaison, à partir duquel la consommation cumulée atteint 669 mm, ceci est largement supérieur à 314.9 mm obtenu par BOULAASSEL *et al.*, (1997) durant la même période.

Coefficients culturaux

Le coefficient cultural rythme la consommation en eau de la culture. On note que cette consommation est faible aux stades initiaux, elle augmente au fur et à mesure pour atteindre son maximum aux stades de pleine activité physiologique, puis elle régresse à maturation. Le maximum du coefficient est atteint au stade floraison (kc = 1.37). Au stade montaison, le kc est égal à l'unité, cela peut se traduire par l'équivalence entre l'évapotranspiration maximale et l'évapotranspiration potentielle (ETM = ETo) ; donc la culture de blé se comporte de manière identique que la culture de référence.

Tableau VII : Valeurs du coefficient cultural du blé au cours de deux campagnes successives.

Stade végétatif	kc_1	kc_2
Levée	0.33	0.44
3 feuilles	0.50	0.61
Tallage	0.61	0.63
Montaison	1.04	1.03
Epiaison	1.15	1.14
Floraison	1.38	1.37
Laiteux-pâteux	1.36	1.34
Maturation	0.87	0.89
Maturité		0.40

On a considéré pour conclure cette partie que les besoins en eau de la culture du blé (ETM) dans la région d'Adrar ainsi que les coefficients culturaux correspondants sont représentés respectivement par leurs moyennes obtenues au cours de deux campagnes d'expérimentation (tableau VIII).

Tableau VIII : Evaluation de la consommation en eau (ETM) et des coefficients culturaux du blé dans la région d'Adrar.

Stade végétatif	ETM (mm/j)	kc
Levée	2.11	0.38
3 feuilles	2.56	0.55
Tallage	3.48	0.62
Montaison	7.06	1.01
Epiaison	9.5	1.14
Floraison	10.6	1.37
Laiteux-Pâteux	12.94	1.25
Maturation	8.5	0.63

Les valeurs du kc obtenues sont supérieures à celles recommandées par DUCROQ (1981) par l'application de la formule de Blany-Criddle (ETM = kc.ETP), dont les valeurs varient comme suit : kc = 0.45, 1 et 0.5 respectivement aux cours des phases végétatives de la culture du blé. Elles sont considérées plus proches de celles obtenues par BELAALA (1994), DOOREMBOS et PRUITT (1976) qui ont évalué le kc à 1.2 pour les stades intermédiaires du blé d'hiver, mais par contre elles sont supérieures à celles obtenues par SHALHEVET *et al.*, (1981) avec une valeur maximale du kc obtenue de l'ordre de 0.8 . Il est à souligner que le coefficient cultural pour une culture donnée dépend de plusieurs facteurs entre autres les conditions climatiques et la méthode employée pour la détermination de l'évapotranspiration de référence (MINJEAU et ROBELIN 1977, cités par ROBELIN 1983).

Efficience de l'utilisation de l'eau (EUE)

L'efficience de l'utilisation de l'eau par la culture du blé varie entre 20.23 et 10.7 kg/mm/ha (rendement en matière sèche) respectivement pour la première et la deuxième campagne. Ces résultats sont relativement proches de ceux obtenus par BOULAASSEL (1997) sur deux variétés de blé (Waha et Acsad 65) avec des valeurs moyennes variant entre 11.6 et 17.85 kg/mm/ha sur les deux campagnes expérimentales.

La valeur de l'EUE pour la première campagne est plus élevée que celle de la deuxième campagne induisant un rendement plus important. On observe que l'EUE diminue durant la deuxième campagne en même temps que l'augmentation de la salinité du sol. De ce fait, on peut dire que cette dernière est parmi les facteurs responsables contribuant à la réduction du paramètre (EUE). Globalement, ces résultats confirment que la quantité d'eau nécessaire pour produire un kg de matière sèche est importante dans les conditions climatiques arides.

CONCLUSION

L'expérimentation réalisée dans la région d'Adrar en vue de connaître les besoins en eau de la culture du blé, nous amène à tirer les conclusions suivantes :

1 - Le rendement d'une culture ne peut être stable tant que les facteurs de l'environnement ne le sont pas. Dans la région d'Adrar, l'hétérogénéité du sol, qui est très fréquente, induit une hétérogénéité spatiale de la biomasse produite.

2 - La consommation en eau du blé croît au fur et à mesure avec le développement végétatif de la culture, elle augmente rapidement dès le stade montaison et l'équivalent des 2/3 de la consommation totale sont consommés durant le stade montaison (épi 1 cm) ; la consommation de pointe est enregistrée au stade laiteux-pâteux (12.94 mm/j).

3 - Les valeurs du coefficient cultural (kc) du blé progressent régulièrement puis diminuent. Au stade montaison, la valeur du kc est voisine de 1. A ce moment, le blé se comporte donc comme une culture de référence. Le maximum est atteint au stade floraison (kc = 1.37).

4 - L'efficience de l'utilisation d'eau confirme que la quantité d'eau nécessaire pour produire un kg de matière sèche est importante. Cependant, au vu des conditions de la région d'Adrar caractérisées par la ressource hydrique non renouvelable, des charges élevées de son exploitation et de la forte demande climatique, il est recommandé de rentabiliser au mieux cette ressource dans le cadre d'un développement durable de l'agriculture.

Références bibliographiques

ANONYME. 1981. Larousse agricole. Edition 1981.

BAMOUH A., 2000. Gestion de la contrainte pluviométrique pour l'amélioration de la production végétale et de l'efficience d'utilisation de l'eau. Bulletin de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture. Maroc.

BELAALA H., 1994. Contribution à la cartographie des besoins en eau des cultures en Algérie du Nord. Mém. Ing. Agr. 52 p et annexe. INA, El-Harrach.

BOULAASSEL A., 1997. Utilisation rationnelle de l'irrigation d'appoint sur deux variétés de blé dur (Waha et Acsad 65). Thèse de magister. INA, El-Harrach.

BOULAASSEL A., MOUHOUCHE B., MAATALLAH H., 1997. Optimisation de l'irrigation sous pivot dans le Sud Algérien, cas de Gassi Touil. Séminaire sur l' environnement. Adrar 1997.

DANIEL H., 1984. L'eau et le sol. Principes et processus physiques.

DAOUD Y., BELDJOUDI Z., 1994. Etude expérimentale de la tolérance d'une variété de blé dur (Waha) à la salinité. Ann. de l'INA, pp : 31-40.

DOOREMBOS J., KASSAM A.H., 1980. Réponse du rendement à l'eau. Bul. Irr. Drai. n° 33 FAO, Rome. 235 p.

DOOREMBOS J., PRUITT W.O., 1976. Les besoins en eau des cultures. Bul. Irr. Drai. n° 24 FAO, Rome. 235 p.

HALIMI A., 1980. L'Atlas Blidéen, climats et étages végétaux.

KENFAOUI A., 1997. La salinité des eaux d'irrigation.

LAABOUDI A., 1988. Influence des techniques culturales sur la température et l'eau du sol. Mém. Ing. Agr., 84 p. et annexe. INA, El-Harrach.

MOUHOUCHE B., BOULAASEL A., 1998. Gestion rationnelle des irrigations de complément de légumineuses alimentaires et de céréales. Recherche agronomique, 1 , pp : 21-31.

OADA. 2000. L'importance des éléments de la météorologie pour la détermination des besoins en eau des cultures et les autres utilisations agricoles. Colloque international de la micro-irrigation, Blida 2000.

ROBELIN M., 1983. Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. Physiologie du maïs. pp : 445-473.

SHALHEVET J., BIELARIE H., SHIMSHI D., 1981. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. IIIC publication, 5, 130 p.

SMADHI D., 2000. Evapotranspiration potentielle et besoins en eau de la culture du blé dur dans la région de Sétif (cas du bassin versant de Boussellam). Recherche agronomique, 3, pp : 29-40. INRAA.

ZAIR M., 1991. Contribution à l'étude de l'influence du déficit hydrique sur le développement du blé en zones semi arides. Céréaliculture, 24, pp : 9-13.

ANNEXE

Les formules de l'ETP

(1) Formule de Thornthwaite : $ETP = Ct^a$

ETP est l'évapotranspiration mensuelle en centimètres pour un mois fictif de 30 jours et une durée théorique d'ensoleillement de 12 heures sur 24, t est la température moyenne mensuelle en °C pour le mois considéré, C et a sont des fonctions de l'indice thermique annuelle (constantes pour un lieu donné).

(2) Formule de Turc :

$$ETP = 0.40\ (Ig+50)\frac{t}{t+15} + C$$

Où
ETP est exprimé en mm d'eau par mois
C : facteur correctif
Ig = IgA (0.18 + 0.62h/H)

Avec :
IgA : radiation maximale théorique
h/H est le rapport entre la durée d'insolation effective (h) à la durée du jour astronomique (H) (en heures).

Ig est la radiation solaire globale du mois considéré sur une surface horizontale (calories/cm²/jour)
t est la température moyenne mensuelle en °C du mois considéré
C = 0 si Hr % est supérieur à 50

(3) Formule de Penman :

$$ETo = C\ [w.R.n + (1 - w)\ .f(u)\ (ea-ed)]$$

ETo : évapotranspiration de référence en mm/j
C : coefficient d'ajustement pour tenir compte du rapport U diurne/U nocturne (U : vitesse du vent), de l'humidité relative et le rayonnement descendant moyen de courte longueur d'onde
w.R.n : paramètre de rayonnement (Rn rayonnement net total en mm/j et w coefficient de pondération dépendant de la température et de l'altitude)
f(u) fonction du vent (U : vitesse du vent en km/j)
(ea-ed) est le déficit de la tension de vapeur (ea = tension de vapeur saturante et ed est la tension de vapeur réelle).

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles d'essai
Tableau II : Données climatiques de la région au cours des campagnes d'essai
Tableau III : Composantes du rendement
Tableau IV : ETP (mm/j) évaluée à partir de certaines formules empiriques (campagne 98/99)
Tableau V : Consommation moyenne journalière en eau du blé par stade végétatif au cours des deux campagnes
Tableau VI : Evolution de l'ETM moyenne journalière et ETM cumulée par stade végétatif du blé au cours des deux campagnes d'essai (1 et 2)
Tableau VII : Valeurs du coefficient cultural du blé au cours de deux campagnes successives
Tableau VIII : Evaluation de la consommation en eau (ETM) et des coefficients culturaux du blé dans la région d'Adrar.