

Efficience de l'utilisation de l'eau chez le blé et l'orge sous différents régimes hydriques et de fertilisation azotée dans des conditions subhumides de Tunisie

Mellouli H.J., Ben Naceur M., El Felah M., El Gharbi M.S., Kaabia M., Nahdi H., Slafer G.A., Karrou M.

in

Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.).
Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 1]

Bari : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 56 Vol.I

2007

pages 179-189

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=800111>

To cite this article / Pour citer cet article

Mellouli H.J., Ben Naceur M., El Felah M., El Gharbi M.S., Kaabia M., Nahdi H., Slafer G.A., Karrou M.
Efficience de l'utilisation de l'eau chez le blé et l'orge sous différents régimes hydriques et de fertilisation azotée dans des conditions subhumides de Tunisie. In : Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.). *Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 1]*. Bari : CIHEAM, 2007. p. 179-189 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 56 Vd.I)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

EFFICIENCE DE L'UTILISATION DE L'EAU CHEZ LE BLE ET L'ORGE SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDRIQUES ET DE FERTILISATION AZOTEE DANS DES CONDITIONS SUBHUMIDES DE TUNISIE

H. J. Mellouli *, M. Ben Naceur *, M. El Felah *, M. S. El Gharbi *, M. Kaabia *, H. Nahdi *,
G. A. Slafer ** and M. Karrou ***

* Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT)
Rue Hedi Karray 2049 Ariana – Tunisie.
E-mail: mellouli.hafedhjamil@itresa.agrinet.tn

** University of Lleida - Centre UdL-IRTA – Spain / Coordinateur scientifique du projet WatNitMED

*** INRA – Settat – Maroc / Co Coordinateur scientifique du projet WatNitMED
pour les partenaires du sud de la Méditerranée.

SUMMARY - Water Use Efficiency of Durum Wheat (Karim) and Barley (Manel) Tunisian varieties, which were subjected to 4 Nitrogen levels, was assessed under rainfed and full irrigated conditions in a sub humid region of Tunisia. Karim wheat variety was subjected to 0; 50; 100 and 150 Kg N/ha. Manel Barley variety was tested with 0; 25; 50 and 100 kg N/ha. For both wheat and barley, results showed that there's no significant interaction between the water regime and the nitrogen rate for the water consumption, the yield and the water use efficiency. Significant difference obtained between the water regimes and no effect of the nitrogen level on the case of the water consumption and inversely for the grain and biological yields. Biological and Grain Water Use efficiencies were significantly influenced by the water regime as well as the nitrogen rate. 100 Kg N/ha and 50 kg N/ha could be qualified as optimal amount respectively for Wheat and Barley. Never less, economical analysis of the results should be realized in order to identify the best nitrogen management Strategies. Under Sub humid environment, cereal complementary irrigation would be useful as solution only when rainfall scarcity occurs during the critical growing stages.

Key words: Durum wheat, barley, water consumption, nitrogen, yield, water use efficiency

RESUME – L'Efficiencia de l'Utilisation de l'Eau chez deux variétés Tunisiennes de blé dur (Karim) et d'orge (Manel) a été étudiée, dans des conditions subhumides ; en pluvial et en irrigué et en les soumettant à quatre niveaux de fertilisation azotée. Le blé Karim a été conduit moyennant 0 ; 50 ; 100 et 150 kg N/ha, alors que l'orge Manel a reçu des niveaux d'apport de 0 ; 25 ; 50 et 100 kg N/ha. Les résultats ont fait ressortir une absence d'interaction entre le régime hydrique et le niveau de fertilisation azotée pour la consommation d'eau, les rendements et l'efficiencia de l'utilisation de l'eau. Une différence significative de l'effet du régime hydrique et une similarité des impacts des niveaux d'azotes sur la consommation d'eau chez les deux cultures ont été obtenues. L'inverse de ces résultats a été obtenu dans le cas des rendements biologiques et grainières. L'efficiencia de l'utilisation de l'eau a été significativement influencée aussi bien par les régimes hydriques que ceux azotés. Les quantités de 100 kg N/ha pour le blé et 50 Kg N/ha pour l'orge, pourraient être qualifiées comme optimales. Néanmoins, une analyse économique des résultats obtenus, serait d'une grande opportunité en permettant d'identifier la stratégie de gestion la plus rentable. Sous un environnement subhumide, reconnu pour sa pluviosité, l'irrigation des céréales ne serait utile que lorsqu'un déficit pluviométrique s'établitte durant les phases critiques du développement végétatif.

Mots-clés : Blé dur, orge, consommation d'eau, azote, rendement, efficiencia de l'utilisation de l'eau

INTRODUCTION

Face à l'évolution démographique, à la fragilité du milieu agricole et à des ressources en eau limitées, il est évident que les pays Méditerranéen, ceux du sud du bassin en particulier, auraient à soulever un défi d'augmentation de la production agricole, particulièrement les rendements des cultures stratégiques : les céréales, afin d'assurer une sécurité alimentaire, mais tout en veillant à une

sécurité hydrique et en respectant la durabilité des écosystèmes naturels (Mellouli *et al.*, 2002). Les hauts rendements des céréales nécessitent, en plus des traitements chimiques, l'irrigation et l'utilisation des fertilisants minéraux. Toutes ces opérations engendrent un coût élevé de la production et des risques de pollution environnementale (Guarda *et al.*, 2004). Néanmoins, des hauts rendements atteignant les maxima ne sont pas associés à une Efficience de l'Utilisation de l'Eau maximale (Zhang et Owies, 1999). L'amélioration de l'Efficience de l'Utilisation de l'Eau (EUE), notée dans la littérature anglo-saxonne par Water Use Efficiency (WUE) pourrait être obtenue notamment par l'amélioration génétique des cultures permettant l'augmentation du rapport biomasse/transpiration et/ou par des pratiques agricoles maximisant la transpiration, à travers notamment une préparation adéquate du sol, une fertilisation efficiente et également moyennant la réduction des pertes d'eau par ruissellement, par drainage ou percolation profonde et par évaporation (Cook et Veseth, 1991 ; Gregory *et al.*, 2000). L'augmentation des quantités d'eau utilisables par la culture (comme l'irrigation) pourrait aboutir à une augmentation aussi bien des rendements que de l'EUE, mais à condition que l'augmentation de la transpiration serait proportionnellement plus importante que les pertes d'eau (Gregory, 1989). Cependant, l'augmentation de l'EUE n'est pas toujours avantageuse pour les rendements, puisque l'amélioration de la biomasse végétale pourrait être à l'origine d'une variation non économique de l'EUE (Van den Boogaard *et al.*, 1997).

En Afrique du Nord et l'ouest de l'Asie, les principaux facteurs dont dépendent les rendements des céréales sont l'eau et l'azote (Oweis *et al.*, 2003). Ceci a été démontré également en Tunisie (Yankovitch, 1956 ; Kopp, 1981 ; Sanaâ ; 1993 ; Latiri-Souki ; 1994). Un apport non raisonné en azote pourrait aboutir, sous des conditions optimales d'humidité du sol, à un développement en biomasse aux dépens des rendements (Cook et Veseth, 1991) et pénalisant ainsi l'EUE. Alors que cet apport en condition de sécheresse serait sans aucun effet bénéfique sur les rendements, voire avec un impact plutôt négatif compte tenu que l'humidité du sol serait non favorable pour sa valorisation (Sbouï *et al.*, 1997) et du fait qu'un déséquilibre s'établisse entre un développement d'une biomasse non proportionnelle avec la faible disponibilité en eau dans le sol (Cook et Veseth, 1991).

En Tunisie, les rendements céréaliers sont sujettes à une importante fluctuation, compte tenu de la variabilité de la pluviométrie interannuelle, en plus des déficits hydriques saisonniers qui pourraient régner, même durant une année pluvieuse (Sakiss *et al.*, 1994). D'un autre côté, la conduite des céréales en irrigué, bien qu'en continuel accroissement, elle nécessiterait encore son développement, surtout sous des conditions de changements climatiques et des périodes de sécheresse qui se sont devenues de plus en plus fréquentes (Louati *et al.*, 2004). Ainsi, en milieu à ressources en eau limitées, comme le cas de l'Afrique du nord, une maximisation de l'efficience de l'utilisation de l'eau devrait être recherchée (Oweis *et al.*, 2000). Cette maximisation pourrait être obtenue moyennant une gestion intégrée des ressources naturelles (l'eau et le sol), un usage raisonné des traitements chimiques et un apport efficient en fertilisants, dont l'azote vient en tête de la liste. Ainsi, afin de contribuer à la compréhension de l'interaction eau×azote et rendement permettant d'aboutir à une meilleure efficience de l'utilisation de l'eau, un programme de recherche in situ a été initié, à partir de la campagne agricole 2005/2006, en Tunisie dans le cadre du projet WatNitMED. Ce programme vise d'apporter des éléments de réponses pour la gestion de l'eau et de l'azote en milieu semi-aride et subhumide. Dans cet article on présentera les principaux résultats obtenus sous les conditions subhumides.

MATERIEL ET METHODES

Milieu physique

L'expérimentation a été conduite à la station expérimentale de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie à Oued Mliz (Nord Ouest de Tunisie) située à 200 m d'altitude, 36°27' Nord de Latitude et 8°26' Est de Longitude. Le climat est subhumide avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 500 mm/an. Le sol est profond, homogène et de texture limono argileuse (*Tableau 1*). Compte tenu des humidités à la capacité au champ ($H_{V_{CC}}$) et au point de flétrissement permanent ($H_{V_{PPF}}$), la réserve hydrique utile (RU) moyenne est de l'ordre de 150 mm/m (*Tableau 1*).

Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques du sol (moyennes de 3 profils)

Horizon (cm)	0-20	20-40	40-60	60-100
Argile (%)	29	30	30	37
Limon (%)	42	42	37	36
Sable (%)	29	28	33	27
Densité apparente (g/cm ³)	1,35	1,40	1,45	1,45
HV _{CC} (vol/vol)	0,359	0,351	0,384	0,372
HV _{PFP} (vol/vol)	0,233	0,220	0,234	0,217
Stock hydrique à CC (mm/m)			370	
Stock hydrique au PFP (mm/m)			220	
Réserve Utile (mm/m)			150	
CE (mS/cm)	1,17	0,67	0,80	0,97
Calcaire Total %	26	31	30	31
Calcaire Actif %	4,8	4,3	6,7	5,0
pH	8,4	8,6	8,7	8,9
Matière Organique %	2,03	1,40	1,10	0,77,

Matériel végétal

L'étude a porté sur deux variétés de céréales Tunisiennes (blé et orge) à haut potentiel de production qui se caractérisent par leur résistance à la verse, notamment la variété de blé dur « KARIM » (*Triticum durum Desf*) et d'orge « MANEL » (*Hordeum vulgare L.*). La variété « Karim », sélectionnée par l'INRAT et enregistrée depuis 1980, est actuellement la plus cultivée en Tunisie et couvre environ 50% des emblavures en blé dur. La variété « Karim » est également cultivée au Maroc. La variété « Manel », sélectionnée par l'INRAT, est officiellement enregistrée en 1996. Elle est caractérisée par une grande capacité de tallage. Elle occupe 40% des superficies cultivées en orge en Tunisie.

Mise en place de l'essai

Compte tenu de la sécheresse qui a régné durant le mois de Novembre 2005 (Fig. 1), une pré-irrigation de 40 mm a été fournie le 02/12/2005. Néanmoins, après cette pluie, il a eu 4 événements pluvieux successivement de 4,3 ; 4,6, 1,5 et 30,4 mm (soit environ 40 mm) entre le 07 et le 10/12/2005.

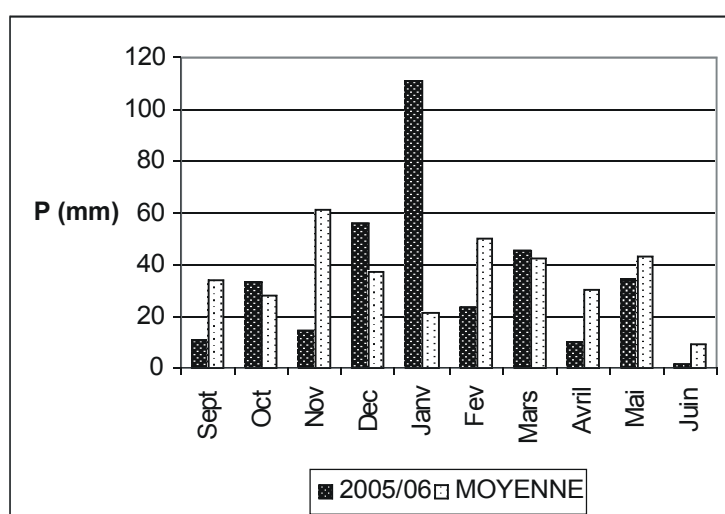


Fig. 1. Pluie enregistrée dans la station expérimentale Oued Mliz en comparaison avec la moyenne historique.

Le semis du champ expérimental a été effectué le 12 Décembre 2005 à raison de 350 et 250 semences/m² respectivement pour le blé et l'orge. La fertilisation azotée a été fournie sous forme d'ammonitrate 33,5% en 3 fractions : le quart au stade 3-5 feuilles, la moitié au stade plein tallage et le quart restant à la montaison. Les doses apportées, selon les traitements, sont 0 ; 50 ; 100 et 150 Kg N/ha dans le cas du blé alors que l'orge a reçu selon le traitement azoté 0 ; 25 ; 50 et 100 kg N/ha.

Dispositif expérimental et traitement statistique

L'essai a été conduit sur un terrain divisé en 2 grandes parcelles représentant les 2 variétés. Chacune des 2 parcelles a abrité les essais relatifs à différents régimes azoté et hydrique. 2 régimes hydriques ont été étudiés à savoir le pluvial et l'irrigation moyennant l'apport de 100% ETM. L'irrigation a été effectuée en se basant sur des calculs des besoins en eau selon la méthode de FAO 56 (Allen *et al.*, 1998), moyennant les données agro météorologiques fournies par la station au voisinage de l'essai (*Tableau 2*).

Tableau 2. Dates et quantités d'irrigation des deux cultures de blé et d'orge

Date	Blé		Orge	
	Stade	Quantité (mm)	Stade	Quantité (mm)
28/02/2006	Tallage	10	Tallage	10
28/03/2006	Montaison	20	Epiaison	30
06/04/2006	Gonflement	30	Anthèse	20
18/04/2006	Grain Laiteux	40	Grain Laiteux	40
	Total	100	Total	100

Le dispositif expérimental est en Split Plot à 3 répétitions, avec comme facteur principal le régime hydrique et comme facteur secondaire l'apport en azote. D'abord les régimes hydriques ont été randomisés, ensuite au niveau de chaque traitement hydrique, les régimes azotés ont été également randomisés. Les parcelles d'irrigation sont entourées dans toutes les directions de 4 m de bordure, alors qu'à l'intérieur 2 m a été retenu comme largeur des bandes entre les traitements azotés. Chaque parcelle élémentaire, correspondant à une combinaison d'un régime hydrique et d'un niveau d'apport en azote couvrait 25 m². Ainsi, pour chaque culture, 2 régimes hydriques et 4 niveaux d'apports azotés ont été étudiés.

Le traitement statistique des résultats a été réalisé grâce au logiciel STATITCF – version V (Beaux *et al.*, 1991). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance à deux facteurs par le test F de Fisher pour vérifier l'hypothèse d'égalité des moyennes au seuil de risque de 5%. Elle est complétée par des comparaisons multiples des moyennes par le test de Newman et Keuls quand l'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée, selon Steel Robert (1980) et Dagnélie (1986). Les sorties graphiques ont été réalisées avec le logiciel Excel XP.

Paramètres étudiés

Evapotranspiration réelle de la culture (ETR)

L'évapotranspiration réelle (ETR) a été déterminée en calculant le « bilan hydrique » du sol, le long des profils limités par une profondeur de référence Z_r égale à 1 m, dont les différents termes sont reliés par l'équation suivante (Katerji *et al.*, 1984 ; Vachaud *et al.*, 1991) :

$$ET = (P + I - R) - \Delta S_r - D$$

avec : (i) ET, P et I: respectivement l'évapotranspiration, les pluies et l'irrigation pendant un intervalle de temps (Δt) compris entre t et t + Δt ; (ii) R : ruissellement, qui était nul ; (iii) D: Flux vertical d'eau à la profondeur Z_r pendant le même intervalle de temps, exprimé positivement pour un drainage et négativement en cas de remontée capillaire et (iv) ΔS_r : Variation du stock hydrique entre t et t + Δt , pour l'horizon du sol compris entre la surface et la profondeur Z_r.

Les stocks hydriques ont été déterminés par intégration trapézoïdale des valeurs d'humidité volumique du sol le long de son profil (Haverkamp *et al.*, 1984). L'humidité volumique du sol a été suivie avant et après chaque irrigation, par pas de 10 cm jusqu'à une profondeur de référence, $Z_r = 1$ m, située sous la zone racinaire, moyennant des échantillonnages gravimétriques. Des tensiomètres ont été installés au niveau des profondeurs 35 ; 85 et 105 cm. Les premiers ont servi pour appuyer le programme du pilotage des irrigations, alors que les deux derniers ont permis de contrôler le flux à partir de la profondeur de référence.

Rendement

Au niveau de chaque répétition relative aux divers traitements 3 échantillons, de 1 m² chacun, des rendements ont été prélevés. Ainsi, pour une combinaison donnée des régimes hydrique et azoté, la moyenne de neuf échantillons de la production a été obtenue. Aussi bien les rendements biologiques que grainières ont été déterminés. La récolte du blé a été réalisée le 21/06/2006, alors qu'elle a été le 31/05/2006 dans le cas de l'orge.

Efficience de l'utilisation de l'eau

Pour chaque variété et selon le traitement hydrique et azoté, l'Efficience de l'Utilisation de l'Eau (EUE) a été obtenue en rapportant le rendement par rapport à la consommation de l'eau correspondante (Cooper *et al.*, 1987 ; Gregory *et al.*, 2000 ; Zwart et Bastiaanssen, 2004). Elle a été calculée en prenant en considération les rendements biologiques (Paille et grain) et ceux en grains. L'EUE est généralement exprimée en kg/ha/mm et elle définit la quantité de production obtenue par une unité d'eau utilisée; ainsi on peut convertir son unité en kg/m³ (1 kg/m³ = 10 kg/ha/mm) qui est plus aisément perceptible.

RESULTATS ET DISCUSSION

Evapotranspiration réelle (ETR)

Durant le cycle de développement des cultures 240 mm de pluie a été enregistrée. Les irrigations ont été réalisées de façon à maintenir l'horizon situé au-delà de la profondeur maximale du système racinaire, non humidifiée. Ainsi, à ce niveau, les humidités mesurées avant et après chaque irrigation n'avaient pas varié et étaient légèrement inférieures à la capacité au champ dans les traitements irrigués et se rapprochant de l'humidité correspondant au point de flétrissement permanent dans le cas des parcelles conduites en pluvial. De ce fait, puisque la nappe phréatique est profonde et en supposant l'absence de l'hystérèse dans le processus hydrodynamique du sol (Libardi *et al.*, 1980), l'échange d'humidité pendant un intervalle de temps ΔT , se limiterait à un flux de drainage dû au gradient du potentiel de gravité et il serait équivalent à la conductivité hydraulique à l'état non saturé. Celle-ci est très faible suite à la teneur du sol en éléments fins (Argile et Limon) qui atteint 73% au niveau de l'horizon entre 80 et 100 cm (Tableau 1). En outre, les teneurs en eau au niveau de cet horizon ont demeuré invariables durant l'essai. Ainsi, le flux (D) à partir de la profondeur 1,0 m pourrait être admis inexistant. Ce qui simplifie l'équation du bilan hydrique, permettant de déterminer l'évapotranspiration de la culture.

Les figures 2 et 3 montrent les effets des régimes hydrique et azoté sur l'ETR des cultures de blé et d'orge. L'analyse statistique des résultats a montré qu'aussi bien pour le blé que pour l'orge, seul le régime hydrique qui était significatif avec absence d'interaction significative entre le régime hydrique et niveau d'apport d'azote. Les consommations d'eau moyennes, tous les régimes azotés confondus, étaient respectivement sous des conditions irriguées et celles pluviales de 434 et 342 mm dans le cas du blé alors pour l'orge, elles étaient de 394 mm et 317 mm. Soit pour les deux cultures environ 80%. Il en ressort que le déficit hydrique entre le pluvial et l'irrigué ne s'est manifesté que de 20%. La valeur correspondant au blé irrigué rejoint celle mentionnée dans la littérature comme besoins en eau maximaux du blé en Tunisie (Nasr *et al.*, 1998).

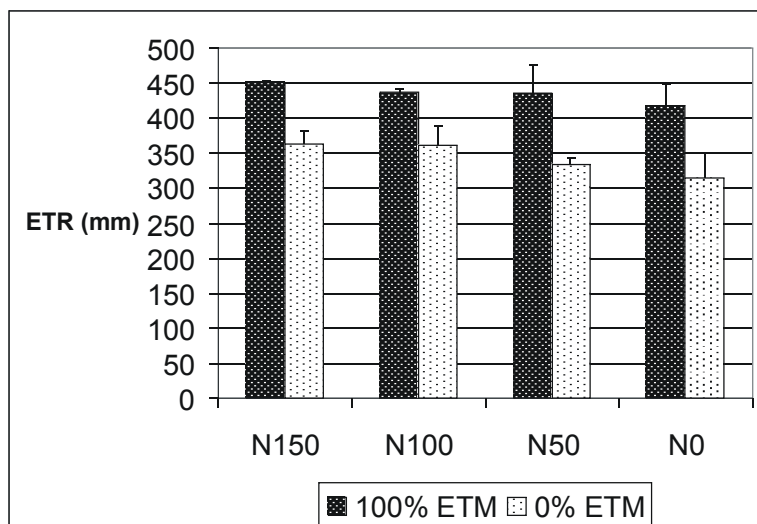


Fig. 2. Evapotranspiration réelle de la variété du blé dur « KARIM » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

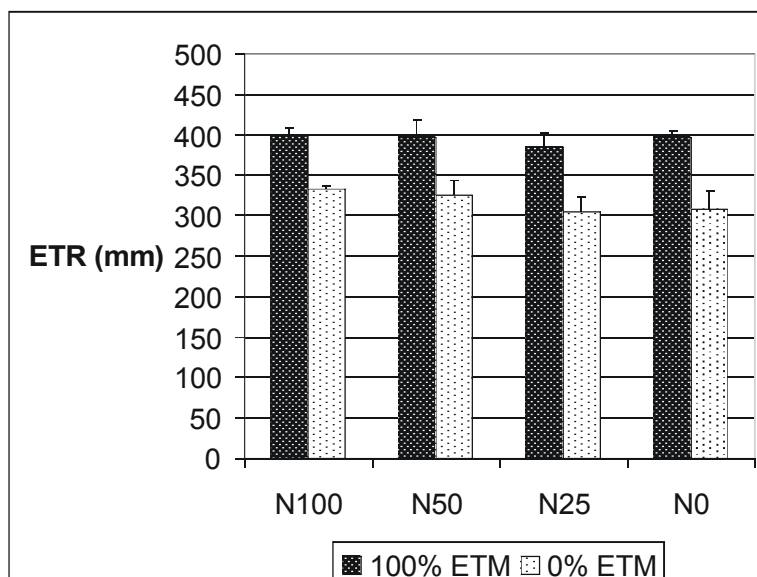


Fig. 3. Evapotranspiration réelle de la variété d'orge « MANEL » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

Rendement

L'effet du niveau d'apport d'azote a marqué clairement les rendements biologiques et ceux en grains aussi bien pour le blé que pour l'orge, alors que le régime hydrique n'a pas influencé ces paramètres (Figs. 4, 5, 6 et 7). L'analyse statistique a confirmé ceci en montrant que dans le cas du blé les niveaux d'azotes 150 et 100 Kg N/ha offrent significativement les meilleures rendements, alors que la dose 50 kg N/ha serait semblable à celle nulle. Dans le cas de l'orge, les mêmes conclusions ont été obtenues. Se sont les doses 100 et 50 Kg N/ha qui sont significativement préférables et la dose 25 kg N/ha a abouti au même niveau des rendements obtenus en conditions d'absence de fertilisation azotée. Aucune interaction significative entre le régime hydrique et niveau d'apport d'azote n'a été obtenue. Ainsi, *a priori*, on pourrait prédire que les doses 100 et 50 Kg N/ha serait recommandable respectivement pour le blé et l'orge.

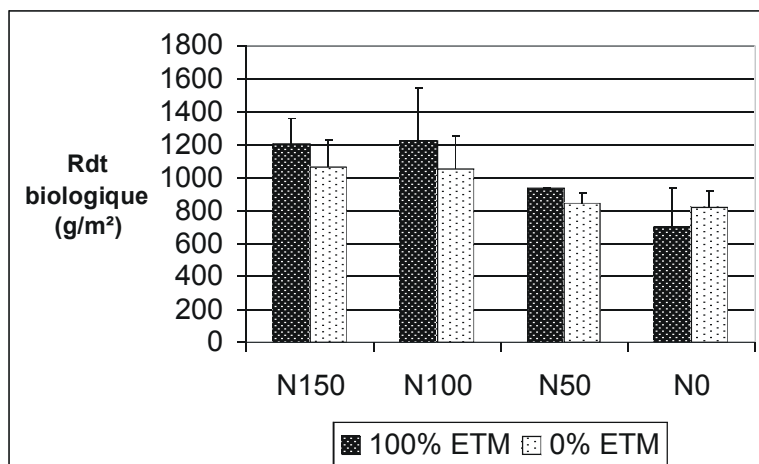


Fig. 4. Rendement (Rdt) biologique de la variété du blé dur « KARIM » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

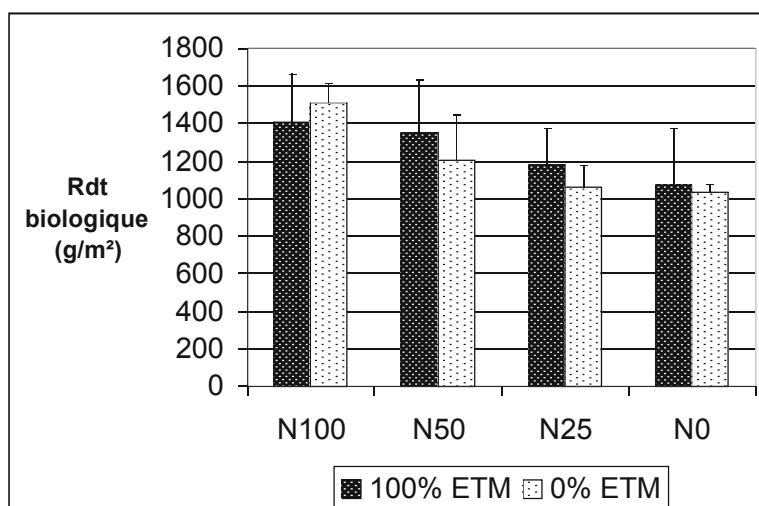


Fig. 5. Rendement (Rdt) biologique de la variété d'orge « MANEL » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

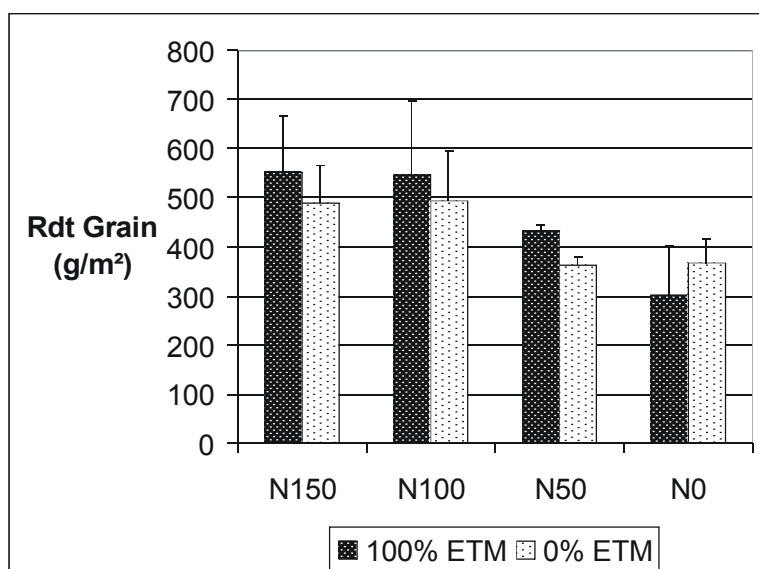


Fig. 6. Rendement (Rdt) en grains de la variété du blé dur « KARIM » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

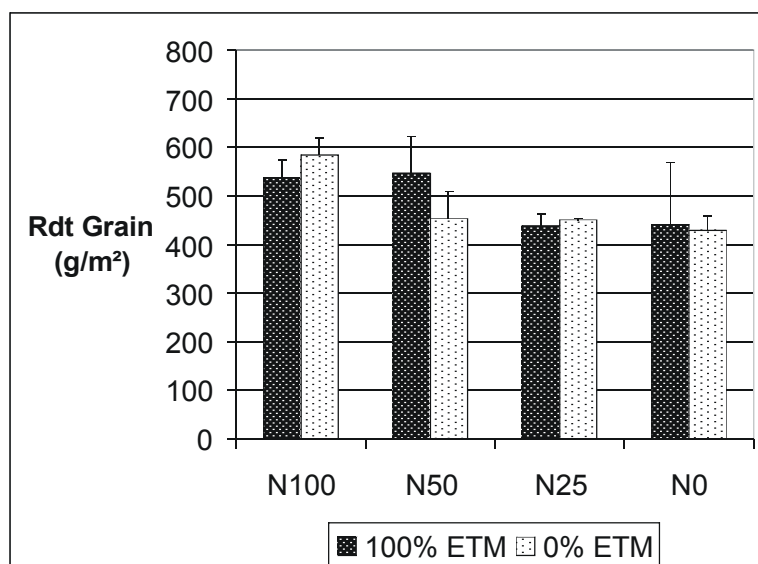


Fig. 7. Rendement (Rdt) en grains de la variété d'orge « MANEL » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

Efficiencia de l'utilisation de l'eau

Les figures 8, 9 10 et 11 montrent que l'efficiencia de l'utilisation de l'eau est meilleure lorsque la culture est menée sous des conditions pluviales en comparaison avec celle irriguée, sans restriction hydrique. De même pour les régimes azotés se sont les deux plus fortes doses qui permettent d'obtenir les meilleures efficiencias. En effet, l'analyse statistique a fait ressortir que, bien que sans interaction significative entre le régime hydrique et le niveau d'apport d'azote, le système pluvial emporte sur celui irrigué. Ceci pourrait être attribué à la différence significative de la consommation d'eau avec une absence d'effet sur les rendements, qui ont été influencés par les niveaux d'azotes. D'un autre coté, les 2 niveaux d'azote les plus élevés se distinguent significativement des deux autres. Ainsi, on pourrait confirmer que respectivement pour le blé et l'orge, les doses d'azotes recommandables serait respectivement 50 et 100 kg N/ha.

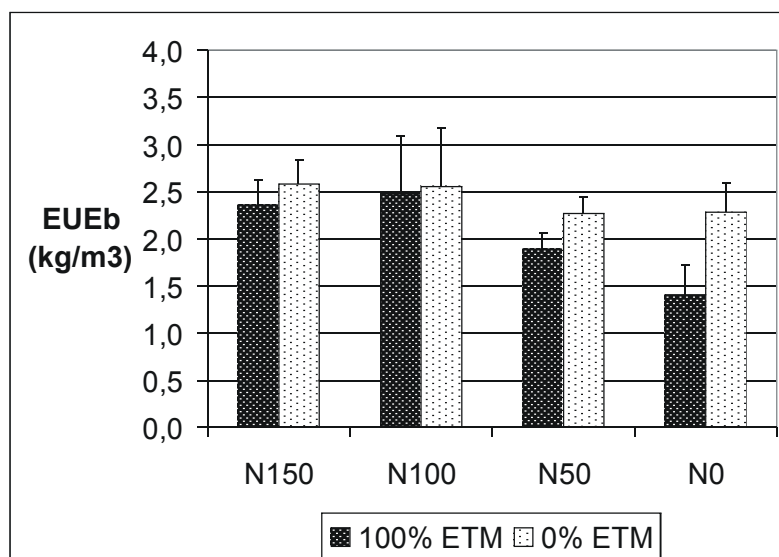


Fig. 8. Efficiencia de l'Utilisation de l'Eau biologique (EUEb) de la variété du blé dur « KARIM » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

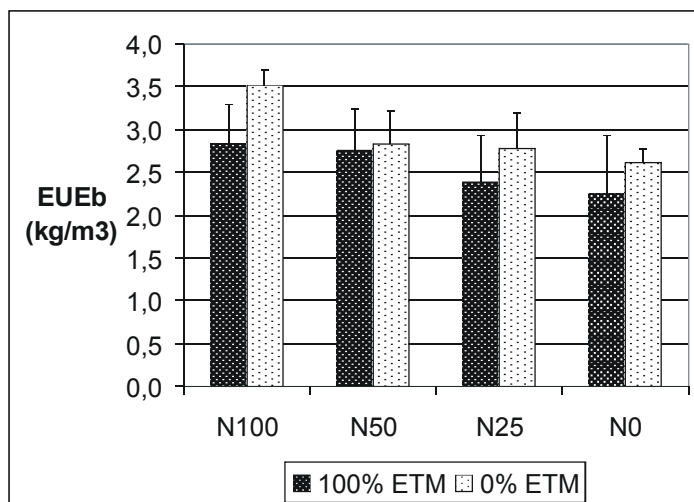


Fig. 9. Efficacité de l'Utilisation de l'Eau biologique (EUEb) de la variété d'orge « MANEL » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

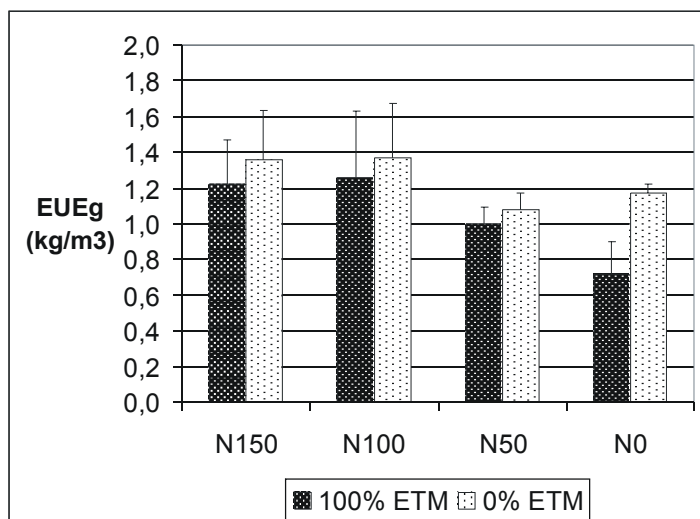


Fig. 10. Efficacité de l'Utilisation de l'Eau en grain (EUEg) de la variété du blé dur « KARIM » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

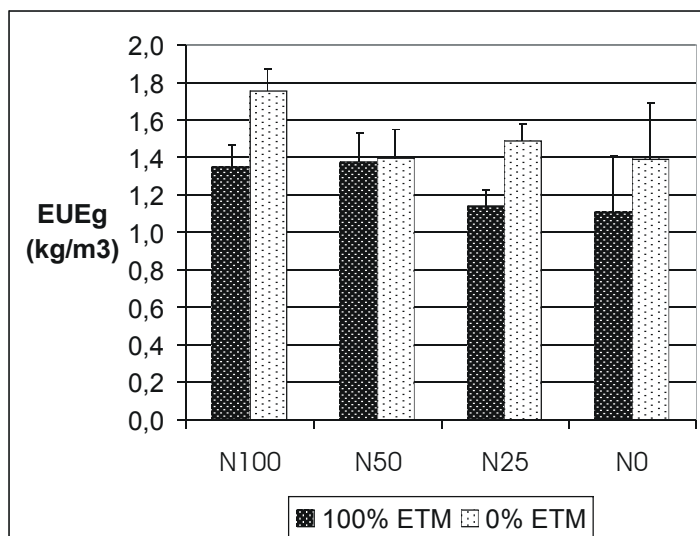


Fig. 11. Efficacité de l'Utilisation de l'Eau en grain (EUEg) de la variété d'orge « MANEL » selon les différents régimes hydriques et les niveaux d'apport azoté.

Par ailleurs, le fait qu'en pluvial les rendements étaient non influencés par les régimes hydriques, avec une supériorité l'EUE, montre que les réserves hydriques, emmagasinées grâce à la pré irrigation citée précédemment et aux pluies de Décembre et Janvier, ont compensé les déficits pluviométriques des mois de Février et d'Avril (Fig. 1), survenus respectivement lors du tallage et de l'épiaison. Ces réserves ont été explorées par les cultures sans en avoir des incidences négatives sur les rendements. En effet, compte tenu de la consommation d'eau citée précédemment, les réserves hydriques du sol ont dû contribuer à concurrence de 100 mm dans le cas du blé, indépendamment du régime hydrique (entre 12/12/2005 et 21/06/2006) et de 50 et 80 mm pour l'orge respectivement en irrigué et en pluvial (entre 12/12/2005 et 31/05/2006). Ainsi, sous des conditions climatiques subhumides, en présence d'un sol de texture fine et ayant une bonne capacité de rétention de l'eau, l'irrigation ne serait utile que dans le cas d'une sécheresse prolongée et allant jusqu'au mois de Mars (stade épiaison).

CONCLUSION

A travers ce travail on a pu établir la consommation et l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez 2 variétés Tunisiennes de blé (Karim) et d'orge (Manel), qui sont largement adoptées dans les systèmes de production céréaliers en Tunisie. Soumis à 2 régimes hydriques, en irrigué à 100% ETM et en pluvial, en présence de 4 niveaux d'apport en azote, l'efficacité de l'utilisation de l'eau est meilleure lorsque la culture est menée sous des conditions pluviales en comparaison avec celle irriguée, sans restriction hydrique. Il en est de même pour les régimes azotés, se sont les deux plus fortes doses qui permettent d'obtenir les meilleures efficacités. Ainsi, on pourrait confirmer que respectivement pour le blé et l'orge les doses d'azotes recommandables seraient respectivement de 50 et 100 kg N/ha. Néanmoins, une analyse économique de l'EUE en terme de productivité devrait être réalisée afin d'identifier les doses d'azotes les plus rentables, ce qui permettrait d'élaborer des stratégies de gestions de ce fertilisant de grande importance et d'une utilité confirmée pour les céréales. D'ailleurs, une telle approche figure dans les objectifs et les activités tracés par le projet WatNitMED, dont ce travail a été inscrit parmi ses activités de recherche.

Acknowledgements

The research for this paper was funded by the Commission of the European Communities (Specific Target Research Project: Contract number 509107 INCO – Management Improved of WUE and NUE of Mediterranean Strategic Crops (Wheat and Barley) : WaNitMED).

REFERENCES

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Beaux, M.F., Gouet, H., Gouet, J.P., Morghem, P., Philippeau, G., Tranchefort, J. et Verneau, M. (1991). *Manuel d'utilisation du Logiciel STATITCF*. Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF). France.
- Cook, R.J. and Veseth, R.J. (1991). Limiting Effects of the Physical and Chemical Environment. In *Wheat Health Management – Plant Health Management Series*. The American Phytopathological Society Press, pp. 21-39.
- Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D., and Harris H.C. (1987). Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture, Farming Systems series-5*, 23: 113-158.
- Dagnelie, P. (1986). *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques*. Vol.2, p : 463. Presse Universitaire de Gembloux. Belgique.
- Gregory, P.J. (1989). Water-use efficiency of crops in the semi-arid tropics. In *Soil, crop, and water management system for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelien zone*, Niamey, Niger. ICRISAT, Patancheru, A. P. 502 324, India, pp. 85-98.
- Gregory, P.J.; Simmonds, L.P. and Pilbean, C.J. (2000). Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agronomy Journal*, 92: 814-820.

- Guarda, G., Padovan, S. and Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *Europ. J. Agronomy*, 21: 181-192.
- Haverkamp, R., Vauclin, M., and Vachaud, G. (1984). Error analysis in estimation soil water content from neutron probe measurements: 1. Local stand point. *Soil Science*, 137 (2) : 78-90.
- Katerji, N., Daudet, F. et Valancogne, C. (1984). Contribution des réserves profondes du sol au bilan hydrique des cultures: Détermination et importance. *Agronomie*, 4 (8): 779-787.
- Kopp, E. (1981). Efficacité de la fumure azotée : Régime de l'azote et fertilité latente des sols conduits en sec ou à l'aspersion dans la Haute vallée semi-aride de la Medjerda en Tunisie. *Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie*, 252 p.
- Latiri-Souki, K. (1994). *Analysis of the effects of water and nitrogen supply on the yield and growth of durum wheat under semi-arid conditions in Tunisia*. PhD Thesis, University of Reading. U K.
- Libardi, P.L., Reichards, K, Nielsen, D.R. and Biggar J.W. (1980). Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.*, 44: 3-7.
- Louati, M.E-H., Mellouli, H.J., and El Echi, M.L. (2004). Tunisia. In *Drought Preparedness and Mitigation in the Mediterranean: Analysis of the Organizations and Institutions*. Results of the research carried out within the MEDROPLAN project "Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning", Contract N° ME8/AIDCO/2001/0515/59770-P027 of the Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management of the European Commission. Options méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches N° 51, CIHEAM. Iglesias A. and Moneo M. (eds), pp. 155-190.
- Mellouli, H.J., van Wesemael, B., Poesen J. and Hartmann R. (2000). Evaporation losses from bare soils as influenced by cultivation techniques in semi-arid regions. *Agricultural Water Management Journal*, 42: 355-369.
- Nasr Z., Ben Mechlia N., Oueslati T., et Zairi A. (1998). Mesure de la consommation en eau journalière du blé par une méthode microclimatique. *Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie*, 71, 141-156.
- Oweis, T., Zhang, H. and Pala M. (2000). Water Use Efficiency of Rainfed and Irrigated Bread Wheat in a Mediterranean Environment. *Agronomy Journal*, 92: 231-238.
- Oweis, T. and Hachum A.Y. (2003). Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa. In *CAB International 2003 – Water Productivity in Agriculture : Limits and Opportunities for Improvement*. Kijne W., Barker R. and Molden D. (eds), pp. 179-198.
- Sakiss N., Ennabli N., Slimani M.S. et Baccour H. (1994). *La pluviométrie en Tunisie a-t-elle changé depuis 2000 ans : Recherche de tendances et de cycles dans les séries pluviométriques*. Institut National de la Météorologie (INM), Institut National Agronomique de Tunis (INAT) & Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE). 283 p. Tunis.
- Sanaâ, M. (1993). *Dynamique et bilan de l'azote minéral dans quelques sols calcaires de Tunisie*. Thèse de Doctorat, Université de Gand, Belgique.
- Sboui, T., M'hiri, A., Sanaâ, M. et Van Cleemput O. (1997). Efficacité des engrais azotes sur le blé après deux années sèches. *Revue de l'Institut National Agronomique de Tunisie*, 12 (1) : 21-35.
- Steel Robert G.D., (1980). *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. McGraw-Hill Book Company.
- Vachaud, G., Vauclin, M. et Cisse, L. (1991). Mesures in situ de la consommation en eau de cultures pluviales par humidimétrie neutronique. In *Proc. Inter. Soil Water Balance in the Soudano-Sahelian Zone Workshop*. Niamey, Niger, February 1991. Sivakumar, M. V. K., Wallace, J. S., Renard, C. & Giroux C. (eds). IAHS Publ. N° 199, IAHS Press, Institute of Hydrology , Wallingford, UK., pp. 275-288.
- Van den Boogaard, R.; Alewinjse, D.; Veneklaas E.J. and Lambers, H.; 1997. Growth and water use efficiency of 10 *Triticum aestivum* at different water availability in relation to allocation of biomass. *Plant, Cell and Environment*, 20: 200-210.
- Yankovitch L. (1956). Résultats de 22 années d'expériences dans les case lysimétriques et cases de végétation du service botanique et agronomique de Tunisie. *Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie*, 29 : 1-223.
- Zhang, H. and Oweis T. (1999). Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management Journal*, 38: 195-211.
- Zwart, S.J. and Bastiaansen W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management Journal*, 69: 115-133.