



Projet INCO-WADEMED

Actes du Séminaire

Modernisation de l'Agriculture Irriguée

Rabat, du 19 au 23 avril 2004



Productivité de l'eau pour une culture du riz irrigué (*Oryza Sativa* L.) conduit sous différents modes d'irrigation dans la région du Gharb (Maroc)

M. Lage¹, A. Bamouh², T. Badawi³, M. El Mourid⁴

¹ Chercheur à l'Institut National de la Recherche Agronomique, PCP, Rabat, Maroc.

² l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département d'agronomie, Rabat, Maroc.

³ Field Crop Research Institute, Egypte.

⁴ ICARDA, Tunis, Tunisie.

E-mail : lage@ibnawam.inra.org.ma

Résumé - Au Maroc, le riz est cultivé dans la région du Gharb où les sols sont pour la plupart lourds et de texture argileuse. Implantée en été, cette culture dépend totalement de l'irrigation. La méthode appliquée est l'irrigation par la submersion. Cette technique engendre une consommation en eau très élevée qui varie entre 1 500 et 2 500 mm par cycle de croissance. Or, la conjoncture actuelle recommande d'économiser l'eau. La culture du riz se trouve ainsi menacée de disparition et avec elle toute une activité socio-économique importante. L'objectif de cette étude est de rechercher un mode d'irrigation à même d'augmenter la productivité de l'eau de la parcelle de riz. Pour cela, une étude a été conduite durant trois années (1995, 1996, 1997) à la station expérimentale de l'INRA dans la région du Gharb, sur un sol argilo-limoneux. La productivité de l'eau a été calculée sous 4 régimes d'irrigation et comparée au témoin, irrigation traditionnelle (M1) sous submersion totale avec une lame d'eau d'environ 2 à 5 cm durant les trois phases du développement de la culture (végétative, reproductive, maturation). Le régime d'irrigation M2 consiste à conduire le riz sous submersion uniquement durant la phase végétative. Les deux autres phases de croissance du riz, sont conduites avec une irrigation gravitaire intermittente (II) à intervalle d'une semaine. Les 3 autres régimes d'irrigation, consistent en une irrigation du riz autre que la submersion, par irrigation gravitaire durant tout le cycle de croissance du riz, à intervalle d'irrigation variable : de 3 jours (M3), 6 jours (M4) et 9 jours (M5). Les résultats de cette étude relative à la consommation en eau du riz, à la méthode d'irrigation la plus productive et à la fréquence des irrigations à appliquer, ont montré que l'eau apportée par l'irrigation à la parcelle du riz conduite sous submersion est en grande partie perdue par infiltrations et percolations. Plus de 2 000 t d'eau sont utilisées pour produire 1 t de riz, alors que le riz n'a besoin que de 800 t pour ses propres besoins physiologiques. Le riz conduit sous la submersion totale a consommé en moyenne 1 390 mm durant son cycle de développement, avec un taux d'évapotranspiration de 0,47 (évapotranspiration/dose d'irrigation de la parcelle) et une productivité de l'eau de 5 kg de grain de riz/mm.ha. Les régimes M2, M3, M4 et M5 ont montré une supériorité très hautement significative par rapport au témoin concernant la productivité de l'eau avec des valeurs respectives de 8 kg de grain/mm.ha pour M2; 6,6 pour M3; 7,7 pour M4 et 7,9 pour M5. La méthode d'irrigation la plus productive à appliquer au riz dans les conditions du Gharb, est l'irrigation par submersion avec une couche d'eau très mince, de 2 à 5 cm, sur une parcelle nivelée durant la phase végétative, suivie d'une irrigation intermittente à intervalle d'une semaine durant les deux autres phases (M2). Cette méthode a permis la réduction des apports en eau de plus de 1/3 par rapport à la méthode conventionnelle de submersion : le riz a été conduit sous irrigation intermittente sans stagnation d'eau durant les deux tiers de son cycle de croissance, permettant d'économiser 40 % d'eau, sans réduction significative du rendement, par rapport au témoin. Le riz conduit dans des conditions de non submersion durant

son cycle de croissance voit son rendement stagner à de faibles niveaux, comparativement aux modes conduits sous submersion durant une ou toutes les phases de croissance. Le régime d'irrigation M2 a permis une valorisation de l'eau d'irrigation comparativement au témoin et aux autres traitements testés. Sa supériorité réside dans le fait qu'il a produit un rendement égal au témoin conduit en submersion mais avec une économie importante en eau d'irrigation et aussi une bonne répartition de l'irrigation durant les trois phases de croissance du riz. Ce régime d'irrigation est à recommander pour être testé en grandes parcelles pilotes, avant qu'il ne soit vulgarisé auprès des riziculteurs.

Mots clés : consommation en eau, économie d'eau, irrigation, irrigation gravitaire, irrigation par submersion, riz (Oryza sativa L.), productivité de l'eau, Maroc, Gharb.

1 Introduction

L'eau est devenue une ressource de plus en plus rare. Actuellement, 31 pays sont en déficit d'eau. Ce nombre s'accroîtra à 48 en 2025 et atteindra 55 en 2050 (CGIAR, 1999[8]). La pénurie actuelle en eau signifie qu'il y a un besoin urgent de mettre en place des pratiques qui utiliseront plus efficacement l'eau en agriculture, notamment pour le riz qui est l'une des plus importantes céréales dans le monde (Wim van der Hoek, 2001[39]). Cette culture consomme le double de la quantité d'eau que consomme toute autre céréale à cause de la technique d'irrigation utilisée, la submersion. Plus de 2 000 tonnes d'eau sont utilisées pour produire une tonne de riz (CGIAR, 1999[8]). Le riz est une céréale adaptée aux conditions de submersion. Cette technique permet un contrôle des mauvaises herbes non aquatiques, augmente l'assimilation des nutriments, empêche l'installation du stress hydrique et facilite l'utilisation des produits chimiques granulés (Chandler, 1979[7]). La submersion pour la culture du riz est un outil de gestion de l'irrigation et non un besoin réel en eau (Brown *et al.*, 1978[6]; Bettge et McCauley, 1985[3]). Pourvu que le sol contienne suffisamment d'eau et d'oxygène (75 à 80 %), le riz croîtra plus vigoureusement et donnera de bons rendements (Junkai, 1978[19]; FAO, 1990[14]). D'ailleurs, le riz croît sous des conditions de non submersion (*upland rice*) dans plusieurs pays du monde où il est conduit en pluvial (De Datta, 1975[10]). La conduite du riz par la technique de submersion a souvent donné le maximum de rendement (De Datta, 1981[11]; Nour et Mahrous, 1994[26]), mais engendre d'importantes pertes en eau d'irrigation et a un impact néfaste sur l'environnement (FAO, 1990[14]). La submersion n'est pas nécessaire pour atteindre le rendement potentiel chez le riz (Guerra *et al.*, 1998[15]). L'utilisation de l'eau au niveau de la parcelle de riz peut être subdivisée en trois composantes : l'eau pour la préparation du sol et l'installation de la culture ; l'eau pour répondre aux besoins d'évapotranspiration (ET) ; et l'eau pour compenser les pertes en infiltration, percolation et parfois le drainage superficiel (Brown *et al.*, 1978[6]; Sahni et Early, 1981[29]; Jing, 1988[18]; Tuong et Bhuiyan, 1999[35]). Les infiltrations latérales et les percolations sont des mouvements de l'eau dans le sol qui entraînent des pertes à l'extérieur de la parcelle de riz ou en profondeur hors de la zone racinaire (Wickham et Sen, 1978[38]; Sahni et Early, 1981[29]). Cette eau n'est pas valorisée par la culture. Les deux paramètres sont mesurés ensemble, car il est difficile de les séparer au champ. Ils sont difficilement prévisibles car ils sont très variables d'un endroit à l'autre en fonction du type de sol, de la topographie du site, de la pente, de la proximité d'un canal d'irrigation, de la hauteur de la lame d'eau dans une parcelle de riz et des pratiques culturales (Sahni et Early, 1981[29]; Tabbal, 1993[33]). En général, le bilan hydrique au niveau de la parcelle du riz ne tient compte que de l'évapotranspiration, des pertes par infiltrations latérales et par percolation (Sahni et Early, 1981[29]).

2 Objectif de l'étude

Dans la région du Gharb, le riz représente une importante activité économique et constitue une source d'emploi en amont et en aval de la production par la création de 2,3 millions journées

de travail, soit l'équivalent de 9 000 emplois permanents (MADRPM, 1998[?]). Cependant, la consommation d'eau pour l'irrigation, en excès, qui ne correspond pas aux besoins réels de la culture, constitue une entrave majeure pour son développement et son extension. Vu les conditions climatiques défavorables que connaît le Maroc et qui se sont répercutées sur les disponibilités en eau des barrages, la recherche de nouveaux modes de gestion de l'irrigation plus efficaces, ayant une meilleure productivité de l'eau, adaptées aux conditions marocaines ou méditerranéennes, est nécessaire. Dans notre étude, les modes d'irrigation testés pour économiser de l'eau concernent uniquement le contexte de la parcelle. L'objectif est d'essayer de mieux utiliser l'eau d'irrigation par une meilleure valorisation de cette ressource.

3 Matériel et Méthodes

3.1 Présentation du site expérimental

Le site expérimental est situé à la station expérimentale de l'INRA du Gharb (34° 31'21" de latitude N, 6° 21'40" de longitude 10,5 m d'altitude), à Sidi Allal Tazi, sur la rive gauche de l'oued Sebou, en plein centre de la zone rizicole marocaine. Le sol des rizières est un sol argilo-limoneux, lourd très peu perméable et légèrement salé. Le type d'irrigation pratiqué sur le riz est l'irrigation gravitaire (ORMVAG, 1990[28]). Les données climatiques durant les trois saisons de croissance du riz sont données en annexe 1 (tableau 4).

3.2 Dispositif expérimental

L'expérimentation a été suivie durant trois campagnes rizicoles, 1995, 1996 et 1997. Le dispositif adopté était un bloc aléatoire complet à 4 répétitions avec comme traitement, le mode d'irrigation appliqué. La variété de riz choisie est la variété Hayat, type Japonica, d'origine marocaine, demi-précoce, ayant une durée du cycle de croissance de 125 jours et résistante à la verse. Chaque bloc comportait deux modes d'irrigation (M1 et M2) en 1995, et trois supplémentaires (M3, M4, M5) en 1996 et 1997. La dimension de chaque traitement était de 56,25m² (7,5 m x 7,5 m). La distance entre les parcelles élémentaires était de 5 m.

La préparation mécanique du sol s'est faite sur un terrain sec au mois de mai. Le nivellement s'est fait aussi sur un terrain sec finement émiétté à l'aide d'une niveleuse à traction mécanique, puis retravaillé superficiellement avec un passage de covercrop. Le riz est semé directement sur un sol sec, en bandes séparées de 25 cm avec une densité de 500 grains/m². Tous les traitements ont reçu la même fumure minérale et les mêmes traitements phytosanitaires. La dose d'engrais apportée était de 100 N-100 P₂O₅-50 K₂O unités/ha (azote-phosphore-potassium) comme engrais de fond et 60 unité/ha d'urée (46 % d'azote) en engrais de couverture, réparti à deux stades, au début du tallage et à l'initiation paniculaire, à raison de 30 unités par apport. Les traitements phytosanitaires réalisés durant le cycle de la culture sont : le printazol 75 contre les mauvaises herbes, le sulfate de cuivre contre les algues, le systoate contre les pucerons et le thiodan contre la sésamie. Un désherbage manuel contre le panicum (*Echinochloae Crus-galli* (L.)) a été pratiqué à raison de 4 passages au cours du cycle de la culture.

3.3 Traitements d'irrigation

Les modes d'irrigation testés sont décrits sur la figure 1.

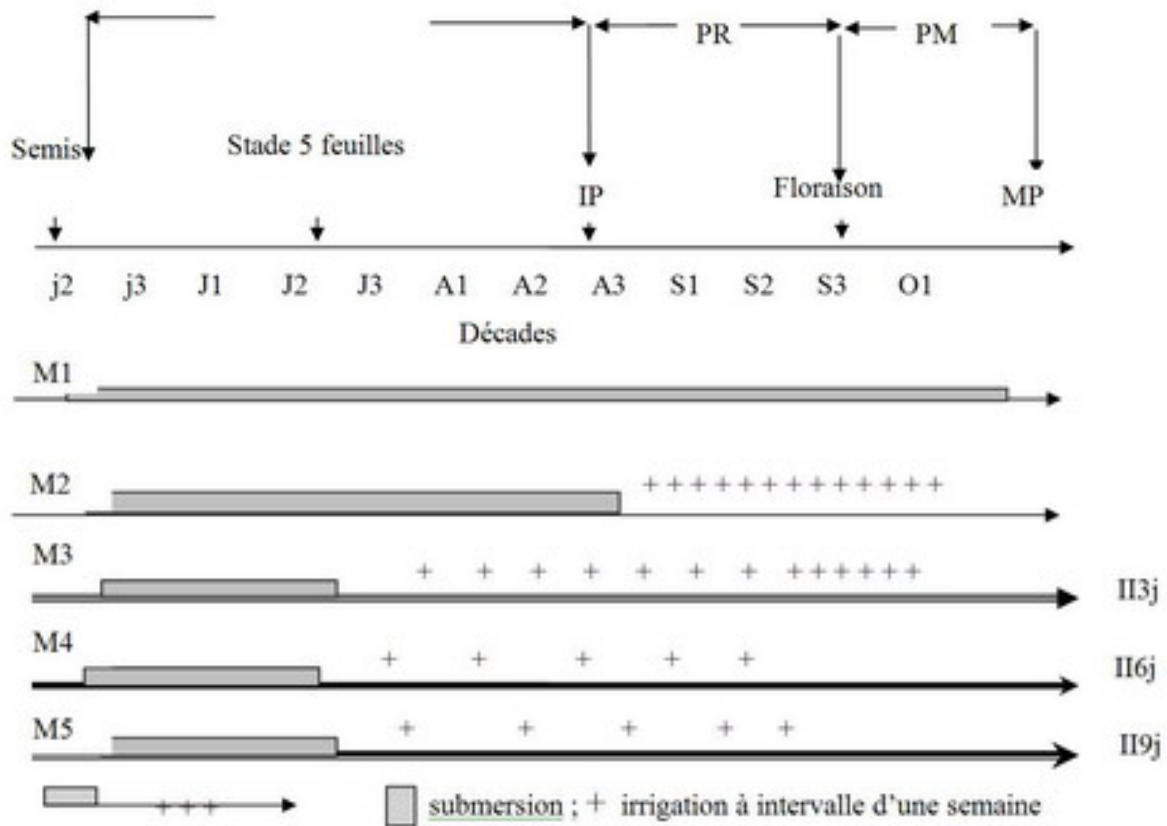


FIG. 1 – Description graphique des applications de l’irrigation pour chaque traitement d’irrigation. II3j, irrigation à intervalle de 3 jours durant le cycle de croissance du riz ; II6j, irrigation à intervalle 6 jours ; II9j, irrigation à intervalle 9 jours ; PV, phase végétative ; PR, phase reproductive ; PM, phase de maturité ; IP, initiation paniculaire ; MP, maturité physiologique.

3.4 Mesures des apports en eau d'irrigation

La mise en eau a été faite respectivement le 15 juin en 1995, 17 juin en 1996 et le 13 juin en 1997. La première submersion a été effectuée juste après le semis avec un volume d'environ 2 000 m³/ha. Une première mise à sec suivie d'un autre remplissage d'environ 1 000 m³/ha a été effectuée environ 10 jours après la première mise en eau. Une deuxième mise à sec a été réalisée après la première, juste avant le début des régimes différenciés d'irrigation. Une dernière mise à sec a été effectuée 15 jours avant la récolte pour les traitements en submersion.

Jusqu'au stade 5 feuilles, tous les traitements ont été irrigués de la même façon, avec des remplissages et des vidanges de la parcelle. Ensuite, chaque traitement a subi un régime d'irrigation différent. La hauteur de la lame d'eau ainsi que le temps de remplissage de la parcelle sont mesurés pour chaque traitement. L'essai a été alimenté à partir d'un canal tertiaire sur lequel est connecté un seuil parshall de 6 pouces, placé à la prise d'alimentation pour la mesure des débits entrants. Il couvre une gamme de débit de 1,4 à 110,4 l/s.

Pour mesurer la consommation totale journalière en eau du champ, une pratique adoptée par l'IRRI (International Rice Research Institute), simple et moins coûteuse a été utilisée. Cette pratique est basée sur l'utilisation d'un *sloping gage* placé dans le traitement T1 (submersion continue) (Sahni et Early, 1981[29]). Le principe consiste à mesurer la différence de niveau d'eau entre deux dates déterminées quand il n'y a pas de drainage de l'eau de la rizière ou irrigation.

3.5 Mesures agronomiques et industrielles

Sur 1 m linéaire prélevé dans chaque traitement, ont été déterminés la hauteur de la plante, le stade de développement, la matière sèche des plantes, la surface foliaire et le nombre de talles, à plusieurs dates durant le cycle de la culture. Une surface de 1 m² a été prélevée de chaque traitement et de chaque répétition durant la maturité physiologique du riz pour déterminer les composantes du rendement (le nombre de panicules par plante, le nombre d'épillets par panicule, le nombre de panicules fertiles, le poids de 1 000 grains). Le rendement en grain a été déterminé jusqu'à la maturité complète du riz. Pour les analyses industrielles, 100 g de riz paddy ont été prélevés de chaque traitement pour déterminer le pourcentage en riz cargo ou riz complet (riz sans glume et glumelles), en riz blanchi entier (sans téguments, après blanchissage), en casses et en impuretés afin d'évaluer le rendement industriel (% riz entier blanchi/riz paddy). Les analyses technologiques ont porté sur les taux de protéines et de matière grasse dans les grains blancs du riz. La récolte a été réalisée à une humidité du grain de 20 % (McCauley, 1990[23]). Pour le calcul du rendement, le taux d'humidité a été ramené à 14 %.

3.6 Analyse statistique des données

Les analyses statistiques des données ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS. Les moyennes des traitements d'irrigation entre elles ont été comparées à l'aide du test de la plus petite différence significative (LSD) avec un seuil de probabilité de 5 %. Les traitements d'irrigation ont été comparé au témoin par le test de Dunnett avec un seuil de probabilité de 5 %.

4 Résultats et discussion

4.1 Consommation, productivité de l'eau et efficacité de l'irrigation du riz conduit sous submersion (T1)

4.1.1 Consommation en eau et efficacité de l'irrigation

L'efficacité de l'irrigation a été calculée uniquement pour le mode d'irrigation conduit sous submersion continue (M1). La consommation moyenne en eau de ce traitement pour les trois années d'étude a été de 13 906 m³/ha avec un maximum de consommation 15 711 m³/ha (1995) et un minimum de 12 290 m³/ha (1996). Cette consommation en eau est nettement inférieure à celle rapportée en Asie où elle varie entre 22 890 m³/ha et 27 395 m³/ha (Tabbal *et al.*, 1993[34]; Hassan et Sakar, 1993[16]) mais elle est dans la gamme de celle rapportée par Badawi (1999[2]) en Egypte où elle varie pour différentes variétés entre 13 135 et 16 935 m³/ha. Par ailleurs, elle est nettement supérieure à celle reportée par Sriramany et Murty (1996[32]) en Thaïlande, qui ont chiffré la quantité totale d'irrigation du riz durant sa saison de croissance à 7 780 m³/ha avec 2 000 m³/ha pour la préparation du sol. En général, la consommation en eau d'irrigation du riz varie entre 800 mm et 27 400 mm (Kung et Atthhyodhim, 1968[22]; Jing, 1988[18]; Bhuiyan, 1992[4]; Ingram, 1993[17]; Tabbal *et al.*, 1993[34]). Les seuls besoins de la plante (évapotranspiration, ET) se chiffrent entre 500 et 1 200 mm. Le reste est perdu soit par infiltration, soit par percolation ou par drainage superficiel (Brown *et al.*, 1978[6]; Sahni et Early, 1981[29]; Jing, 1988[18]; Guerra *et al.*, 1998[15]).

D'après Ingram (1993[17]), le riz en irrigué demande entre 100 à 725 mm d'eau pour la préparation du sol et 800 à 900 mm pour sa croissance d'où une consommation totale d'eau de 900 à 1 625 mm.

La consommation en eau du riz reste élevée du fait que les pertes en eau dues aux infiltrations latérales et aux percolations ainsi qu'à l'installation de la culture représentent 51 % des apports totaux en eau d'irrigation. L'évapotranspiration représente près de la moitié des apports en eau d'irrigation avec une efficacité de l'irrigation (EI) de 49 % (tableau 1).

Dans plusieurs pays rizicoles, l'efficacité de l'irrigation, ayant comme numérateur l'évapotranspiration, est faible et varie entre 25 et 48 %. La cause majeure de ces valeurs faibles est constituée par les pertes élevées en infiltration latérale qui s'accroissent avec l'augmentation de la hauteur de la lame d'eau dans la parcelle du riz. Ces pertes peuvent être nettement réduites par la réduction de la hauteur de cette lame d'eau à un niveau inférieur à 5 cm (Brown *et al.*, 1978[6]; Walker et Rushton, 1985[37]).

Sharma (1989[31]) a rapporté que les infiltrations peuvent varier entre 50 et 80 % par rapport aux besoins totaux d'irrigation. L'infiltration varie entre 0 à 20 mm/jour et peut même excéder 20 mm/jour (Wickham et Sen, 1978[38]; Tuong et Bhuiyan, 1999[35]). Ces pertes varient en fonction du type de sol, des techniques culturales pratiquées, de la profondeur de la nappe phréatique et de la solidité des diguettes entourant la parcelle du riz (Keersebilsk et Soeprapto, 1985[20]).

4.1.2 Productivité de l'eau

La productivité de l'eau calculée au niveau de la parcelle de riz se définit comme étant le rapport entre la quantité de grain ou de matière sèche produite par unité d'eau consommée (kg/mm/ha) (Tuong *et al.*, 1998[36]). Cette productivité varie selon la composante d'eau prise en compte. Si nous tenons compte de l'ensemble des pertes en eau, nous constatons qu'il faut 2 000 m³/ha d'eau en moyenne pour produire 1 tonne de paddy (tableau 1). Comparée à la productivité ayant

TAB. 1 – Consommation moyenne en eau (mm/jour), efficacité de l'irrigation et productivité de l'eau (kg de grain/m³) calculés pour le témoin (T1).

	ET IP + ET	Irrigation	Totale (ET+IP+IC)
1995	6,8 (0,91)	10,8 (0,55)	15,6 (0,38)
1996	6,8 (1,41)	9,6 (0,98)	12,3 (0,75)
1997	-	10,1 (0,61)	13,7 (0,41)
Moyenne (mm/j)	6,8 (1,2)	10,2 (0,71)	13,9 (0,50)
Total (mm/cycle)	680	1020	1390
EI (%)	49	73	-
mm d'eau d'irrigation / t paddy	86	141	200

ET, évapotranspiration ; IP, infiltration + percolation ; IC, installation de la culture ; EI, Efficacité de l'irrigation. Les valeurs de la productivité de l'eau sont données entre parenthèses.

comme base l'évapotranspiration cette valeur s'avère élevée. La productivité de l'eau basée sur l'évapotranspiration dépasse d'environ 140 % la productivité ayant comme composante d'eau l'irrigation totale, et d'environ 70 % quand la composante d'eau est la consommation totale en eau moins l'eau utilisée pour la préparation du sol (tableau 1). Plus de la moitié (57 %) d'eau (par tonne de paddy) apportée dans la parcelle du riz n'est pas productive et ne sert qu'à couvrir les pertes dues aux infiltrations et aux percolations ainsi qu'à l'installation de la culture. Seulement 43 % de l'eau totale apportée au niveau de la parcelle du riz (par tonne de paddy) est réellement productive. Les valeurs relatives à la productivité de l'eau (tableau 1) sont dans la gamme rapportée par plusieurs auteurs pour le riz conduit sous submersion avec une variation due au type d'installation de la culture. Ces valeurs varient entre 0,95 et 1,61 pour la productivité par rapport à l'évapotranspiration et entre 0,34 et 0,68 quand on tient compte des pertes au niveau de la parcelle et de 0,39 à 0,58 quand on tient compte en plus des eaux perdues pour l'installation de la culture (Bhuiyan *et al.*, 1995[5] ; Mishra *et al.*, 1990[24] ; Kitamura *et al.*, 1990[21] ; Sandhy *et al.*, 1980[30]).

4.2 Consommation et productivité de l'eau par le riz en fonction des différents modes d'irrigation testés

4.2.1 Consommation en eau du riz

L'eau apportée à chaque traitement d'irrigation représente l'eau d'irrigation totale à l'entrée de la parcelle (tableau 2).

Tous les modes d'irrigation ont montré une diminution significative dans leurs consommations moyennes en eau par rapport au témoin. Cette diminution a permis une économie de l'eau de respectivement de 40, 49, 56 et 58 % par rapport au témoin pour les modes M2, M3, M4 et M5 (tableau 2). Certaines études ont montré que la conduite du riz sous irrigation à intervalle de 6 jours n'a permis qu'une faible économie en eau de 7 à 8 % par rapport à l'irrigation par submersion (Badawi, 1999[2]).

4.2.2 Productivité de l'eau

Les résultats de la productivité de l'eau moyenne pour les trois années d'expérimentation, ont montré une supériorité significative pour le mode d'irrigation M2 par rapport au témoin et par rapport aux autres modes d'irrigation (tableau 2). Pour l'ensemble des traitements, ils ont montré

TAB. 2 – Analyse de la variabilité de la consommation en eau (CE) (m^3/ha) et de la productivité en eau (PE) du riz (kg de grain/ m^3 d'eau utilisée) entre les traitements d'irrigation et par rapport au témoin (M1).

Modes d'irrigation	Années			Moyenne (1995-1996-1997)	
	1995	1996	1997	CE	PE
M1	15711 -(a) ¹	12291-(a)	13714 -(a)	-(a)	0,50 -(cd)
M2	8812 * ² (b)	8279 *(e)	8425 *(e)	*(e)	0,80 *(a)
M3		7588 *(f)	6636 *(f)	*(f)	0,66 *(c)
M4		6563 *(gh)	5682 *(g)	*(g)	0,77 *(ab)
M5		6369 *(h)	5405 *(gh)	*(g)	0,79 *(ab)

¹ Dans chaque colonne, les mêmes lettres (entre parenthèses) signifient que les traitements ne sont pas significativement différents entre eux à 5 % (LSD 5 %);

² Différences par rapport au témoin (test de Dunnett); * significative à 5 %; Ns non significative.

une supériorité significative dans leur productivité de l'eau par rapport au témoin (tableau 2). Nous constatons donc que quand le riz est conduit sous irrigation intermittente durant ses deux dernières phases de croissance (M2), ou durant tout son cycle de croissance (M3, M4 et M5), on observe une augmentation significative de la productivité de l'eau par rapport au témoin.

Nour et al. (1994[27]) ont montré que plus l'intervalle d'irrigation augmente et plus la productivité de l'eau diminue à cause de la diminution du rendement. Cette productivité a varié de 0,71 kg de grain/ m^3 d'eau quand l'intervalle d'irrigation est de 6 jours à 0,64 kg de grain/ m^3 d'eau quand l'intervalle d'irrigation est de 9 jours. L'intervalle d'irrigation d'une semaine a été retenu comme meilleur intervalle à préconiser pour le riz (Hassan et Sarkar, 1993[16]; Nour *et al.*, 1994[27]). Dans la présente étude, la productivité de l'eau est passée de 0,66 kg de grain/ m^3 pour un intervalle d'irrigation de 3 jours (M3) aux environs de 0,79 kg de grain / m^3 quand l'intervalle d'irrigation a augmenté à 9 jours (M5). Cette augmentation de la productivité de l'eau en fonction de l'augmentation de l'intervalle d'irrigation de ces traitements provient à la fois de la diminution significative du rendement en grain et de la consommation en eau.

4.3 Caractéristiques agronomiques du riz en fonction des régimes d'irrigation

4.3.1 Analyse des composantes du rendement

L'analyse des composantes de rendement montre que le nombre d'épis/ m^2 , le nombre de grains fertiles/épi et le poids de 1 000 grains sont significativement affectés dans certains traitements (tableau 3). Durant la phase végétative, le nombre de talles est déterminé et le nombre potentiel de panicules est formé (De Datta, 1981[11]). Le stress hydrique survenu durant cette période a significativement affecté le nombre de talles/ m^2 et a donc influencé le nombre de panicules formés/ m^2 ce qui a diminué le rendement en grain dans les modes M3, M4 et M5. D'après De Datta (1981[11]), quand le stress hydrique survient tôt durant la croissance du riz, il réduit le tallage et par conséquent le rendement en grain. Selon une étude conduite sous serre, le stress hydrique appliqué durant la période végétative, comparativement au riz submergé, a réduit le nombre de talles/pied de 7,2 à 4,8 et le nombre de panicules est passé de 7,2 à 4,4 (De Datta *et al.*, 1973[9]). Le nombre de grains par panicule du riz conduit sous stress hydrique uniquement durant la phase végétative a été de 114, comparativement aux de 89 grains par panicule du riz conduit en irrigation par submersion et le poids de 1 000 grains a été égal dans ces deux situations (De Datta *et al.*, 1973[9]). Ceci n'a cependant pas été le cas des traitements M3, M4 et M5. Ces traitements ont reçu une irrigation à fréquence variable sans stagnation d'eau. Les effets du stress hydrique cumulé depuis la phase végétative ont significativement affecté le

nombre d'épis/m², le nombre de grains fertiles/épi et le poids de 1000 grains (M5) (tableau 3). Quand un stress hydrique s'installe tôt dans le riz, il réduit le tallage et s'il continue durant la phase reproductive, il conduit à une réduction dans le nombre de grains fertiles et aussi dans le poids de 1 000 grains (De Datta *et al.*, 1973[9]).

TAB. 3 – Composantes du rendement en fonction des traitements d'irrigation (Moyenne de 3 années).

Traitements	Composantes de rendement		
	NE/m ²	NG/épi	Poids 1000 grains (g)
M1 (témoin)	401	116	30
M2	344 Ns	120 Ns	29 Ns
M3	310*	98*	29 Ns
M4	285*	94*	29 Ns
M5	318*	95*	28*

NG, nombre de grains ; NE, nombre d'épis. Comparaison des traitements par rapport au témoin (Test de dunett). *significative à 5 % ; Ns, non significative.

Le mode d'irrigation M2, dont l'irrigation a été intermittente durant les deux dernières phases de croissance, n'a pas montré de différence significative dans le nombre de grains fertiles par épi ou le poids de 1000 grains par rapport au témoin. Ceci peut être dû au fait que l'intervalle d'irrigation d'une semaine durant la période reproductrice n'a pas causé un stress hydrique significatif et que la quantité d'eau apportée a été suffisante pour répondre aux besoins en eau du riz durant cette période. D'après De Datta (1981[11]), quand le stress hydrique se développe seulement entre le maximum tallage et la montaison, le rendement n'est pas significativement touché comparativement au riz submergé. Sous un stress hydrique sévère, la phase post-floraison est la moins sensible au stress hydrique et les stades de la fécondation et du remplissage des grains sont les plus sensibles. D'après le même auteur, le riz a besoin d'une faible quantité d'eau durant la phase maturité.

En résumé, le stress hydrique durant la première phase de croissance du riz a réduit le tallage et donc le nombre d'épis/m². D'après Chandler (1979[7]), la submersion du riz durant la phase végétative permet un contrôle efficace des mauvaises herbes non aquatiques, augmente l'assimilation des nutriments, prévient le stress hydrique et facilite l'utilisation des produits chimiques granulés. Un stress hydrique étendu jusqu'à la phase reproductive diminue le rendement par diminution du nombre d'épillets par panicule, du nombre d'épillets fertiles (M3, M4 et M5) et du poids de 1000 grains (M5). Une irrigation intermittente d'une durée d'une semaine, durant la phase reproductive et maturité (M2) n'a d'effet significatif ni sur le rendement ni sur ses composantes. Nous constatons que quand la consommation en eau est inférieure ou égale à 700 mm par cycle végétatif du riz (tableau 2), le rendement s'en trouve réduit, c'est le cas des traitements M3, M4 et M5. Ceci pourrait être expliqué par le fait que la quantité de 700 mm ne couvre pas les besoins réels du riz. Des études conduites à l'IRRI ont montré que quand la quantité d'eau utilisée par le riz varie entre 750 et 1 000 mm aucune différence significative n'a été enregistrée au niveau du rendement grain du riz mais quand elle est inférieure à 650 mm, aucun rendement n'est obtenu. Mais ceci dépend de la période où le stress hydrique survient (Tabbal, 1993[33]).

4.3.2 Effet des traitements d'irrigation sur les caractéristiques morphologiques, la durée du cycle et les caractéristiques industrielles et technologiques.

La hauteur du plant de riz, la longueur de la panicule, la durée du cycle végétatif ont été comparés pour chacun des traitements avec le témoin. Les résultats ont montré que la hauteur du plant de riz et la longueur de la panicule n'étaient pas significativement affectés par le régime d'irrigation appliqué (Annexe 3 (tableau 6)). D'après Tabbal (1993[33]) et Anbumozhi *et al.*

(1998[?]), la hauteur du riz est plus sensible à la hauteur de la lame d'eau dans une parcelle de riz.

La variété Hayat présente un cycle végétatif d'une durée de 125 jours. Le changement du mode d'irrigation de la submersion, au riz irrigué par irrigation intermittente a permis d'augmenter significativement la durée du cycle de 2 jours, depuis l'installation de la culture jusqu'à la floraison (annexe 2 (tableau 5)). D'après Dobelman (1976[12]), les techniques culturales peuvent modifier la longueur du cycle végétatif de quelques jours chez le riz.

Le rendement industriel du riz, le taux de protéine, ainsi que le taux de matières grasses dans le riz n'étaient pas significativement affectés par le régime d'irrigation (annexes 4 (tableau 7) et 5 (tableau 8)).

5 Conclusion

Pour la production du riz, l'objectif principal est d'apporter une quantité d'eau suffisante pour répondre à ses besoins en évapotranspiration. Les autres composantes du bilan hydrique au niveau de la parcelle, telles que les infiltrations latérales et les percolations, sont des pertes non nécessaires au développement du riz, car elles ne sont pas utilisées par la plante.

Les résultats de cette étude relative à la consommation en eau du riz, à la méthode d'irrigation la plus productive et à la fréquence des irrigations à appliquer, ont montré que :

1. l'irrigation appliquée à la parcelle du riz en conduite sous submersion est en grande partie perdue dans les infiltrations et les percolations. Plus de 2 000 t d'eau sont utilisées pour produire 1 t de riz, alors que le riz n'a besoin que de 800 t pour ses propres besoins physiologiques ;
2. la méthode d'irrigation la plus productive à appliquer au riz dans les conditions du Gharb, est l'irrigation par submersion avec une couche d'eau très mince, de 2 à 5 cm, sur une parcelle nivelée durant la phase végétative, suivie d'une irrigation intermittente à intervalle d'une semaine durant les deux autres phases (M2). Cette méthode a permis la réduction des apports en eau de plus de 1/3 par rapport à la méthode conventionnelle de submersion. Le principe de cette méthode réside dans le fait que le riz a été conduit sous irrigation intermittente sans stagnation d'eau durant les deux tiers de son cycle de croissance ce qui a permis une économie d'eau de 40 %, sans réduction significative du rendement, par rapport au témoin ;
3. Le riz conduit dans des conditions de non submersion durant son cycle de croissance voit son rendement stagner à de faibles niveaux, comparativement aux modes conduits sous submersion durant une ou toutes les phases de croissance.

Le régime d'irrigation M2 a permis une valorisation de l'eau d'irrigation comparativement au témoin et aux autres traitements testés. Sa supériorité réside dans le fait qu'il a produit un rendement égal au témoin conduit en submersion mais avec une économie importante en eau d'irrigation et aussi une bonne répartition de l'irrigation durant les trois phases de croissance du riz. Ce régime d'irrigation est à recommander pour être testé en grandes parcelles pilotes, avant qu'il ne soit vulgarisé auprès des riziculteurs.

Références

- [1] Anbumozhi V., Yamaji E., Tabuchi T., 1998. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. *Agricultura Water Ma-*

- nagement 37 : 241-253.
- [2] Badawi A.T., Ghanem S.A., 1999. Water use efficiency in rice culture in Egypt. National Rice Research Program. Agricultural Research Center, Giza, 12619, Egypt.
 - [3] Bettge R.F., McCauley G.N., 1985. Trends in irrigation water use. Texas rice belt. *In* C.B. Keyes, Jr. And T.J. Ward (ed.), Development and management aspects of irrigation and drainage systems. ASCE, New York, Etats-Unis. p. 372-379.
 - [4] Bhuiyan S.I., 1992. Water management in relation to crop production : case study on rice. *Outlook Agric.* 21 (4) : 293-299.
 - [5] Bhuiyan S.I., Sattar M.A., Khan M.A.K., 1995. Improving water use efficiency in rice irrigation through wet seeding, *Irr. Sci.*, 16 :1-8.
 - [6] Brown K.W., Turner F.T., Thomas J.C., Deuel L.E., Keener M.E., 1978. Water balance of flooded rice paddies. *Agric. Water Manag.* 1 :277-291.
 - [7] Chandler R.F., 1979. Rice in the tropics : A guide to the development of national programs. Westview Press, Boulder, CO.
 - [8] Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), 1999. New Rice Techniques promise up to 25 % less water usage. Mid-Term meeting in Beijing, China, May 24-28 1999.
 - [9] De Datta S.K., Abilay W.P., Kalwar G.N., 1973. Water stress effects in flooded tropical rice. Pages 19-36 *in* International Rice Research Institute. Water management in Philippine irrigation systems : Research and operations. Los Banos, Philippines.
 - [10] De Datta S.K., 1975. Upland rice around the world. *In* : Major research in upland rice. IRRI. Los Banos. Laguna, Philippines. p. 254.
 - [11] De Datta, S.K., 1981. Water use and water management and practices for rice. *In* Principles and practices of Rice Production. John Wiley & Sons, Inter science press, New York, Etats-Unis. p. 297-347.
 - [12] Dobelmann J.P., 1976. La rizière. *In*. Riziculture Pratique. 1- Riz irrigué. Techniques vivantes. Collection publiée par l'agence de coopération culturelle et technique avec la collaboration du conseil international de la langue française. Section agronomie tropicale. p. 125-130.
 - [13] Doorenbos J., Pruit W.O., 1977. Les besoins en eau des cultures. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 24.
 - [14] FAO, 1990. Report of the consultation on the establishment of an inter-regional cooperative research network on rice. Arles, France, 11-14 septembre 1990. Food and agriculture Organization of the United Nations. Part III.
 - [15] Guerra L.C., Bhuiyan S.I., Tuong T.P., Barker R., 1998. Producing more rice with less water from irrigated systems. <http://www.irri.org/morerice.html>.
 - [16] Hassan A.A., Sarkar A.A., 1993. Yield and water use efficiency of newly developed rice mutants under different water management practices. *In* Water Management In International Rice Research Notes, 18(2). P34.
 - [17] Ingram K.T., 1993. Water relations in the Soil-Plant-Atmosphere continuum. Background paper for Irrigation Water Management Training Course. IRRI Philippines.
 - [18] Jing Z., 1988. Rapport de fin de mission 1986-1988. Mission chinoise de service technique du riz. ORMVAG, Maroc.
 - [19] Junkai Li, 1978. Irrigation du riz. PP.127-145 *In* Riziculture.
 - [20] Keersebilck N.C., Soeprapto S., 1985. Physical measurements in lowland soils techniques and standardizations. *In* Soil Physics and rice, IRRI, Manille, Philippines. P 100-111. ISBN 971-104-146-4.

- [21] Kitamura Y., 1990. Management of irrigation system for diouble cropping culture in the tropical monsoon area. Technical bulletin 27, Tropical Agriculture Research Center, Japon.
- [22] Kung P., Atthayodhin G., 1968. Water requirement in rice production. Mimeo paper. 14 p.
- [23] McCauley G.N., 1990. Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. *Agronomy Journal* 82(4) July-August.
- [24] Mishra H.S., Rathore T.R., Pant R.C., 1990. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution. Irrigation requirement and yield of rice in Mollisols of the Tarai region. *Agri. Water Manage.* 18 :231-241.
- [25] Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et des Pêches Maritimes (MADRPM), 1999. Projet de plan national rizicole, rabat, Maroc.
- [26] Nour M.A.M., Mahrous F.N., 1994. Effect of varying irrigation intervals during tillering, reproductive and ripening stages on rice yield and its components. *Egypt. J. Appl. Sci.* 9(7).
- [27] Nour M.A., Ghanem S.A., El-Serafy A.M., 1994. Effect of different water regime on the productivity of some transplated rice. Rice research and training center, Field crop Research Institute, Agriculture Research Center, Sakha, Kafr El-Sheikh, Egypte.
- [28] Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG), 1990. Rapport d'activité de la campagne rizicole 1990.
- [29] Sahni B.M., Early A.C., 1981. Alternative methods for determining water requirements for lowland paddy rice production. *Philippines Agricultural Engineering Journal* XII(1). First quarter.
- [30] Sandhu B.S., Khera K.L., Prihar S., Singh B., 1980. Irrigation needs and yield of rice on a sandy loam soil as affected by continuous and intermittent submergence. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 50(6) :492-496.
- [31] Sharma P.K., 1989. Effect of periodic moisture stress on water-use efficiently in wetland rice. *Oryza* 26(3) : 252-257.
- [32] Sriramany S., Murty V.V.N., 1996. A real water allocation model for large irrigation systems. *Irrigation and Drainage Systems* 10 :109-129.
- [33] Tabbal D.F., 1993. Irrigation and crop production scheduling principles. Background paper for Irrigation Water Management Training Course. IRRI, Los Banos, Philippines.
- [34] Tabbal D.F., Lampayan R.M., Bhuiyan S.I., 1993. Water efficient irrigation technique for rice. Background paper for Irrigation Water Management Training Course. IRRI, Los Banos, Philippines
- [35] Tuong T.P., Bhuiyan S.I., 1999. Increasing water use efficinecy in rice production : farm-level perspectives. *Agricultural Water Management* 40 :117-122.
- [36] Tuong T.P., Pablico P.P., Yamauchi M., Confessor R., Moody K. 1998. Increasing water productivity and weed suppression of wet seeded rice : Effect of water management and rice genotypes. *Exp. Agric.* (Submitted)
- [37] Walker, S.H. et K.R. Rushton, 1985. Water losses through the bunds of irrigated rice fields. *In Les besoins en eau des cultures, actes de la conférence internationale, Paris, France, 11-14 Septembre 1984.* INRA, Paris, France. pp 649-660.
- [38] Wickham T.H., Sen L.N., 1978. Water management for lowland rice : Water requirement and yield response. *In Soils and rice.* IRRI. Los Banos, Philippines. p. 649-669.
- [39] Van der Hoek W., Sakthivadivel R., Renshaw M., Silver J.B., Birley M.H., Konradsen F., 2001. Alternate Wet/Dry Irrigation in rice cultivation. A practical way to save water and control Malaria and Japanese Encephalitis? Research Reports. International Water Management Institute (IWMI).

Annexes

TAB. 4 – Annexe 1. Moyenne mensuelle des valeurs journalières de la radiation solaire (Rs), températures moyennes et vitesse des vents (V) pour les trois années d'expérimentation (station météo de CTCAS-Souk Tlet du Gharb).

Mois	Rayonnement global (Mj/m ²)			Température (°C)			Vitesse des vents (m/s)		
	1995	1996	1997	1995	1996	1997	1995	1996	1997
Juin	22,24	25,45	22,16	21,20	24,58	20,64	2,54	2,12	2,11
Juillet	24,60	24,79	22,30	25,11	25,21	23,02	2,51	2,00	2,10
Août	22,17	23,06	19,28	24,59	22,68	23,49	2,31	1,51	1,88
Septembre	19,22	16,86	15,69	21,63	21,71	23,64	2,29	1,32	1,78

TAB. 5 – Annexe 2. Apparition du stade floraison (en nombre de jour) en fonction des traitements d'irrigation (1996).

Traitements	NjF
M1	76,0
M2	76,00
M3	78,00 *
M4	78,00 *
M5	78,00 *
Dunnnett (5 %)	1,25

NjF = Nombre de jours de la levée à la Floraison

TAB. 6 – Annexe 3. Hauteur du plant de riz (H) et longueur de l'épi (LP) en fonction des différents traitements d'irrigation (moyenne de 3 années).

Traitements	H (cm)	LE (cm)
M1	76,1	12,2
M2	73,1	11,9
M3	75,5	12,2
M4	73,2	12,1
M5	74,7	11,7
Dunnnett (5 %)	ns	ns

TAB. 7 – Annexe 4. Nombre de grains entiers blanchis (GE) dans 100 grammes de paddy, en fonction des traitements d'irrigation (moyenne des 3 années).

Traitements	GE (%)
M1	58,3
M2	54,6
M3	55,2
M4	52,5
M5	57,9
Dunnnett (5 %)	ns

TAB. 8 – Annexe 5. Analyses technologiques : taux de protéine (TP) et de matière grasse (TMG) dans les grains blancs du riz en fonction des différents traitements d'irrigation (Moyenne de 1996-1997).

Traitements	TP(g)	TMG (g)
M1	8,01	0,43
M2	7,70	0,48
M3	7,84	0,57
M4	7,75	0,25
M5	8,09	0,19
Dunnnett (5 %)	ns	ns