



## Besoins en eau et quelques méthodes de gestion de l'irrigation au niveau de la parcelle du riz (*Oryza Sativa L.*) irrigué (Revue bibliographique)

Lage M.<sup>1</sup> et El Mourid M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INRA, Centre régional de la recherche agronomique du Gharb, Kénitra, BP. 257 - Maroc

<sup>2</sup> INRA, Centre régional de la recherche agronomique de Doukkala-Abda-Chaouia, Settat, BP. 589, Maroc

### Résumé

*Le riz (*Oryza sativa L.*) est la céréale la plus cultivée dans le monde après le blé. Il occupe actuellement une superficie d'environ 460 Million d'hectares. Il était essentiellement cultivé dans les tropiques et à l'équateur où il bénéficie de l'eau et de la chaleur. Actuellement, il est cultivé même sous climat méditerranéen pourvu qu'il soit irrigué durant la période estivale.*

*Au Maroc, la superficie réservée au riz est de 12 000 ha localisée dans la région du Gharb. Le cycle de développement de cette culture se déroule entre mai et octobre. Plusieurs contraintes entravent l'expansion de cette culture, la plus importante étant la contrainte climatique essentiellement l'eau. Vu que cette culture est totalement irriguée, elle consomme énormément d'eau. Sa consommation au champ est estimée à 17 400 m<sup>3</sup>/ha. Elle correspond à la compensation des besoins d'évapotranspiration, d'évaporation du plan d'eau, du drainage et des infiltrations des eaux dans le sol.*

*Les besoins en eau du riz peuvent être approchés soit par des méthodes indirectes qui englobent les méthodes empiriques, soit par des méthodes directes basées sur l'équation du bilan hydrique expérimentalement avec ou sans avoir recours à la lysimétrie. Le choix de chacune de ces méthodes est lié à l'objectif de l'utilisateur ainsi qu'à la disponibilité des données relatives à la région d'étude.*

*Des études menées dans la région méditerranéenne dans le but de réduire la consommation en eau du riz soit par une gestion de la submersion ou par l'utilisation d'autres techniques d'irrigation autre que la submersion, ont abouti à des résultats variables et concluants. Notre objectif est de faire une mise au point sur les acquis dans ce domaine.*

**Mots-clés :** Riz, besoins en eau, techniques d'irrigation

## **Abstract:** Water requirements and some water management practices for lowland rice (*Oryza Sativa L.*).

*After wheat, rice (oryza sativa) is the world's most important food crop with 460 millions hectares (ha). It is a warm season crop and grown essentially in the humid tropical and subtropical regions where it beneficiates from heat and humidity. Recently, rice has been grown ever under the mediterranean climate where summer irrigation is possible.*

*In Morocco, the area reserved for rice is 12 000 ha. This crop is relatively new and entirely mechanized. Rice production is concentrated in the Gharb region (north western region) on flat heavy soils. Growing season may through october.*

*This crop faces many constraints wich are technical (soil leveling, disease, and low rate of utilisation of certified seeds), socio-economic (low consumption of rice, 1kg /person/year) and climatic (mainly precipitations). Water availability is the most limiting factor : low rainfui affects water storage in the dams and limits the increase of the rice area. In Morocco rice uses 17 400 m<sup>3</sup>/ha of water. This high water consumption covers evapotranspiration, water evaporation, drainage and soil infiltration.*

*Water needs might be determined empirically or by measurments with or without the use for the lysimeter methode. The choice of one of the two methods depends on the purpose and the avalability of data for the region.*

*Studies undertaken in order to reduce water use by rice, mainly in the mediterranean region, have led to different results. Most irrigation techniques used have resulted in a lower grain yield than the flooding technique. Other studies are now undertaken. Many researchers think that research should be done on genetic improvement, by mutagenesis, to create varieties adapted to flooding conditions. Reducing rice water consumption, is the main objective of mediterranean countries. Our objective is it to review ?*

**Key words :** Rice, irrigation water requirements, irrigation technics

## **ملخص : حاجيات الأرز من الماء و بعض تقنيات الري (دراسة بيبليوغرافية)**

لاج م1. و مرید م2

1: المركز الجهوي للبحث الزراعي للغرب، القنيطرة، المغرب

2: المركز الجهوي للبحث الزراعي، سطات، المغرب

تعتبر زراعة الأرز أكثر زراعات الحبوب انتشارا في العالم بعد القمح إذ تحتل ما يناهز

460 مليون هكتار. كانت هذه الزراعة تعتبر من خاصيات المناطق الأسيوية نظرا لاحتياجها للماء و الحرارة معا. إلا أنه حاليا أصبحت هذه الزراعة منتشرة في منطقة البحر الأبيض المتوسط و تزرع في فصل الصيف حيث تعتمد على الري.

تعتبر هذه الزراعة حديثة العهد بالمغرب. لا تتجاوز المساحة المخصصة لها 12000 هكتار مركزة على منطقة الغرب. كما أن دورة نموها تمتد من شهر ماي إلى شهر أكتوبر من نفس السنة.

إن تطور هذه الزراعة تعترضه عدة عقبات، أهمها قلة الماء، مما يحد من اتساع المساحة المخصصة لها. يستهلك الأرز بالمغرب كمية كبيرة من الماء تناهز 17 400 م<sup>3</sup>/هكتار، في حين تبقى الحاجيات الحقيقية اللازمة للأرز بمنطقة الغرب غير محددة. أن هذه الدراسة البيئيوجرافية تسعى إلى جمع و تحليل المعطيات الخاصة بالبحث في مجال تدبير ري زراعة الأرز.

**كلمات مفتاحية : الأرز، الحاجيات المائية، تقنيات الري**

## Introduction

En climat méditerranéen, la production du riz est limitée par la rareté de l'eau. Cette culture est particulièrement cultivée en été. Dans ce type de climat, la pluviométrie s'étale de 275 à 900 mm dont plus de 65 % sont des pluies hivernales (FAO. 1990). L'évapotranspiration annuelle atteint 1 200 mm/an dépassant largement la pluviométrie totale (FAO. 1990). Donc la pratique de la culture du riz nécessite l'irrigation dans ces régions. Les riziculteurs dans ces pays conduisent le riz de la même façon que dans les tropiques par submersion totale, ce qui nécessite d'énormes quantités d'eau. Actuellement des recherches sur les techniques d'irrigation de pointe qui visent l'économie de l'eau, pour le riz cultivé en climat méditerranéen, sont en cours (FAO. 1990).

Le riz au Maroc est conduit d'une façon intensive et mécanisée. Il est cultivé dans des clos aménagés pour assurer l'irrigation par submersion. Cette culture a permis une valorisation des terres hydromorphes de la région du Gharb .

La riziculture au Maroc a connu un développement important mais reste tributaire des conditions climatiques. Actuellement, la superficie aménagée pour le riz est de 12.000 ha. Cette dernière est conditionnée par la disponibilité de l'eau au niveau du barrage Idriss premier ; d'où seulement 5 000 à 9 000 ha sont emblavés par cette culture. Dans le cadre de "aménagement

hydro-agricole du Gharb, il est prévu d'étendre cette superficie à 39.000 ha ce qui représentera 15 % de la superficie irrigable totale de la zone (Bouhache 1981).

Au Gharb, les besoins en eau d'irrigation du riz sont estimés à 17.400 m<sup>3</sup>/ha (Lahlou 1989). Cette consommation excessive ne reflète pas les vrais besoins en eau du riz. Or, vu la conjoncture climatique défavorable qu'a connue notre pays et qui s'est répercutée sur les disponibilités en eau des barrages, et afin de permettre l'élaboration d'un bon programme rizicole et mieux exploiter les eaux d'irrigation, une connaissance précise des besoins réels en eau du riz est nécessaire.

## Besoins en eau du riz

D'après Doorenbos et Pruitt (1977), les besoins en eau sont définis comme étant la quantité d'eau dont a besoin une culture saine, poussant dans de grands champs sous des conditions non limitantes, pour compenser les pertes en eau à travers l'évapotranspiration. C'est aussi le volume de l'eau consommée au cours de tout le cycle de développement de la plante allant de la mise en eau à la récolte.

Les principaux facteurs influençant la consommation en eau sont, l'évaporation, les infiltrations latérales, la préparation du sol et la submersion initiale. Les conditions agissant sur ces facteurs sont le climat, les caractéristiques du sol, la longueur de la période d'irrigation, la profondeur de la nappe, le rendement et la méthode de plantation (semis direct à sec, le prégermé, le repiquage) et d'irrigation (Grist 1986). D'après Ingram (1993), généralement, un riz pluvial nécessite 700 à 800 mm d'eau pour une durée du cycle de 130 jours. Le riz irrigué nécessite 100 à 725 mm pour la préparation du sol et 800 à 900 mm pour la croissance du riz ce qui donne un total de 900 mm à 1.625 mm. Plusieurs études ont montré que la consommation en eau d'irrigation du riz varie entre 800 mm (Kung et Atthhyodhim 1968) et 1 500 mm (Jing 1988), et que les besoins de la plante se chiffrent entre 20 et 30 % de la consommation totale.

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de la consommation en eau du riz en Asie.

**Tableau 1.** Quelques données sur la consommation en eau du riz en Asie (synthèse)

Pays	Eau consommée	Transpirée	Pécolée	Evaporée	Référence
Japon	685 à 1300	NC	NC	NC	Léonard (1948)
Chine (province de Human)	864	55 %	25 %	20 %	Pan (1952)
Thaïlande (1965)	1 240	NC	NC	NC	Kung <i>et al.</i>
Laos	1 257 (112j)	20 % (2.4mm/j)	60 % (7.3mm/j)	21 % (2.7mm/j)	Kotter(1969)
Sri Lanka	1830 (3 à 4mois)				Lord (1932)

NC : Non communiqué

Kung (1966 b) conclue qu'en moyenne, les besoins en eau du riz en Asie du repiquage à la récolte varient de 800 mm à 1.200 mm avec des extrêmes de 520 mm et 2 549 mm. La transpiration varie de 200 à 500 mm ; l'évaporation entre 180 et 380 mm et la percolation entre 200 et 700 mm. La consommation par jour varie entre 6 et 10 mm. (extrêmes 5.6 et 20.4 mm).

## Méthodes de mesure des besoins en eau du riz

Les besoins en eau du riz doivent être planifiés durant toute sa période de croissance. Ces besoins doivent couvrir : a- l'évapotranspiration (ET) ; b- l'infiltration et la percolation (I et P). Quand le couvert végétal croît, l'ET devient dépendante de sa surface foliaire totale (Brij et Early 1981). L'ET est difficilement mesurable au champ, mais plusieurs méthodes ont été développées pour l'estimer à partir d'un bac d'évaporation ou à partir des données agrométéorologiques.

L'infiltration latérale et la percolation verticale constituent le mouvement de l'eau dans le sol. Ces deux variables sont aussi difficilement mesurables séparément, ce qui conduit à les mesurer ensemble (IP). Donc les besoins en eau du riz sont définis comme étant la somme de ET et de IP durant toute la période de sa croissance (Brij et Early 1981).

## Détermination de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration (ET) peut être estimée indirectement par l'une des multiples méthodes se basant sur des paramètres météorologiques. Certaines utilisent des équations qui se basent sur des méthodes telles que l'aérodynamique ou le transfert de masse, l'équilibre énergétique (méthode de ratio de Bowen) et la combinaison entre les deux. La méthode de l'équilibre énergétique est la meilleure méthode dans cette approche (De Datta 1981). Mais ces méthodes requièrent des instrumentations complexes (Tomar and O'Tool 1980). Le groupe de recherche de l'évapotranspiration (RGE 1967) a rapporté que l'ET estimé à partir de ces méthodes est inférieure à l'évaporation totale mesurée par un évaporimètre de 20 cm de diamètre.

D'autres méthodes se basent sur de simples relations empiriques pour estimer l'évapotranspiration potentielle. Doorenbos et Pruitt (1977) suggèrent les méthodes de Blanney - Criddel, la radiation solaire, l'évaporation bac et l'équation de Penman pour calculer l'évapotranspiration de référence moyennant des données climatiques. L'effet des caractéristiques de la culture sur ses besoins en eau est donné par le coefficient cultural  $K_c$  qui est la relation entre ET référence ( $Et_0$ ) et l'évapotranspiration de la culture :  $ET_{culture} = K_c Et_0$ .

D'après Wickham et Sen (1978), sur toutes les méthodes d'estimation de l'évapotranspiration, l'équation de Penman a une base théorique solide, mais demande des données qui sont rarement collectées. Une autre approche, est de corrélérer les mesures de l'évapotranspiration (ET) et les données de l'évaporation à partir d'un bac ouvert (EP), installé dans un champ de riz durant toute une saison de croissance. Johnson (1965) a développé les relations linéaires suivantes entre ET et EP pour un riz conduit sous submersion durant ses trois phases de croissance. Les relations trouvées sont mentionnées dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Relations entre l'évapotranspiration (ET) et l'évaporation bac d'un riz conduit sous submersion (Jonhson 1965)

Stade de croissance	Relation trouvée	R <sup>2</sup>
Stade végétatif	ET = 1.104 EP + 0.35	0.93
Stade reproducteur	ET = 1.145 EP	0.93
Stade maturité	ET = 0.880 EP + 0.81	0.96

Aussi pour deux saisons de croissance du riz en Philippines, Kampen (1970) a obtenu les équations suivantes pour un riz conduit sous submersion :

**Tableau 3.** Relations entre l'évapotranspiration (ET) et l'évaporation bac d'un riz conduit sous submersion pour deux saisons de croissances (Kampen 1970)

Stade de croissance	Saison humide		Saison sèche	
	Relation trouvée	R <sup>2</sup>	Relation trouvée	R <sup>2</sup>
Stade végétatif	ET = 0.8 EP + 0.3	0.88	ET = 0.9 EP + 0.5	0.77
Stade reproducteur	ET = 0.8 EP + 0.2	0.77	ET = 0.9 EP + 0.5	0.83

Ces équations ont été utilisées dans les études des bilans hydriques en Luzon centrale (Philippines) et elles ont donné des satisfactions dans l'estimation de l'ET pour les différents stades de croissance du riz (Sahni et Early 1981).

D'autres relations reliant l'évaporation à partir d'un bac classe A et l'évapotranspiration ont été mises en évidence. La relation suivante a été établie par Tomar et O'Toole (1979) :  $ET = 1.2 EP$ . Par contre, Yoshida (1979) a démontré que l'évapotranspiration potentielle estimée à partir d'un champ de riz est plus faible que celle de l'évaporation bac observée. Le potentiel d'évapotranspiration (E) est fortement corrélé avec le bac d'évaporation par la relation :  $E = 0.93 E_{bac}$ .

D'après Wikham et Sen (1978), l'évaporation à partir d'un bac ouvert donne beaucoup plus de satisfaction pour l'estimation de l'ET, et donc de l'évaporation du riz sous les conditions de submersion, que d'autres techniques. Aussi l'installation et l'utilisation d'un bac d'évaporation sont moins coûteuses que celles d'un solarimètre. Il y a cependant des cas où les bacs ne peuvent pas être utilisés. Donc, il faut un simple modèle reliant la radiation solaire à l'évaporation à partir d'un bac ouvert. Des relations entre la radiation solaire (S) et l'évaporation bac classe A ( $E_{bac}$ ) ont été mises en évidence. Pour un sol couvert de riz avec une alimentation en eau suffisante sans aucun déficit hydrique, l'évapotranspiration peut utiliser toute la radiation nette. Le taux d'évapotranspiration correspondra au taux maximum selon l'équation :

$$E = 0.0105 S \text{ (mm/j), (Yoshida 1979)}$$

$$S = \text{radiation solaire incidente (cal/cm}^2\text{/j)}$$

$$E = \text{évapotranspiration}$$

Cette équation donne l'estimation de l'évapotranspiration potentielle d'un champ de riz s'il n'y a pas d'effet oasis pouvant l'affecter. Ce modèle a été utilisé durant 10 ans aux Philippines

pour calculer le déficit hydrique annuel, mensuel et hebdomadaire. Cette équation est la même que celle trouvée par l'IRRI sur des mesures expérimentales au champ où ils ont obtenu l'équation suivante,  $ET = 0.01072 S$  (Yoshida 1979).

Les mesures expérimentales directes utilisées pour le calcul des besoins en eau du riz sont très diverses et varient selon leur coût et selon la complexité de l'opération à mener. La plupart ont été basées sur l'utilisation d'un lysimètre, outil qui permet la mesure de tous les termes de l'équation du bilan hydrique, mais elle est très coûteuse. Pour le riz en irrigué, la lysimétrie pesable est nécessaire pour les mesures journalières à des intervalles courts dans le temps. Par contre pour le riz pluvial, différentes méthodes peuvent être utilisées (Forest et Kalms 1984).

Tomar et O'Tool (1980) ont proposé un microlysimètre simple et sensible pour mesurer l'évapotranspiration journalière et horaire à partir d'un champ de riz submergé. La méthode consiste à mesurer cette évapotranspiration à partir de la baisse du niveau d'eau dans une colonne d'eau liée à cet appareil. Ce microlysimètre peut être même installé un à deux jours avant la plantation de la culture.

#### Détermination de la percolation

Une des méthodes préconisée consiste à placer 3 à 4 bacs de dimensions définies, dans un champ de riz. Chacun des bacs permet la mesure d'un des termes de l'équation du bilan hydrique (Tableau 4).

**Tableau 4.** Equipement utilisé pour la détermination des besoins en eau et de la percolation du riz en Thaïlande (Kung *et al.* 1965)

Bacs	Description	Traitements	Mesures
A	Avec fond	Avec Riz	T + E
B	Avec fond	Sans riz	E
C	Sans fond	Avec Riz	T + E + P
D	Sans fond	Sans riz	E + P

T= Transpiration ;

P = Percolation (verticale) ;

E = Evaporation

Cette technique a été appliquée dans plusieurs pays d'Asie et d'Afrique. Les résultats d'une étude conduite au Burkina Faso se basant sur cette méthode pour le calcul de la percolation sont mentionnés au tableau ci-dessous.

**Tableau 5.** Evapotranspiration et percolation moyenne journalière (Zida 1994)

Mois	Août			Septembre			Octobre			Novembre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ET (mm/j)	-	4.8	4.9	6	5.7	7.1	6.6	7.7	7.8	7.8	7.5	-
Perc (mm/j)	-	7.4	8	4.3	2.4	1.1	1.8	0.1	1.2	1.5	0.8	-

Pour tenir compte de l'infiltration latérale, une autre pratique utilisée aux Philippines par l'IRRI, simple et moins coûteuse, consiste à mesurer la consommation totale journalière en eau d'un champ de riz (ET + Percolation + Infiltration). Ceci se fait à l'aide d'un "slopping gauge" placé dans un champ bien représentatif (Sahni et Early 1981). Le principe consiste à mesurer la différence de niveau d'eau entre deux périodes bien déterminées quand il n'y a pas de drainage de l'eau de la rizière. La lecture s'effectue par le biais d'une règle graduée. Le résultat obtenu renseigne sur les pertes en eau durant la période déterminée. Les mesures du niveau d'eau dans la parcelle (NE), l'évaporation (EP) et la pluviométrie (PI) sont relevées journalièrement au même moment. L'infiltration latérale et la percolation (IP) peuvent être calculées en utilisant la formule :

$$\text{Besoins en eau} = ET + IP = \frac{(NE_i - NE_f)}{5} + PI$$

(i et f sont les valeurs initiales et finales respectivement du jour j et du jour j+1).

En résumé, le tableau (6) nous donne une idée sur quelques méthodes expérimentales pratiquées aux Philippines pour mesurer les différents termes de l'équation du bilan hydrique.

**Tableau 6.** Comparaison de certaines méthodes alternatives pour mesurer les besoins en eau d'un riz conduit sous submersion (Sahni et Early 1981)

Alternatives	Instrumentation	Termes mesures	Observation
A	Lysimètre + pluviomètre	(ET + P)	L'installation du lysimètre standard est difficile Mesures doivent être faites par un personnel qualifié
B	Bac classe A + Pluviomètre	EP (1) ; ET	Facile à installer, mesures simples
C	Slopping gauge + Bac classe A + Pluviomètre standard	BEE(2) ; EP ET; SP (3)	Facile à installer, mesures simples
D	Slopping gauge + Bac classe A + Pluviomètre Plastic	BEE(2) ; EP ET ; SP(3)	Facile à installer ; mesures plus simples qu'avec le pluviomètre standard
E	Slopping gauge + pluviomètre en plastic	BEE	Installation, mesures et calculs très simples
F	Cylindre pour le calcul de ET + percolation + Pluviomètre en plastic	(ET + P(4))	Ne mesure pas les infiltrations latérales Installation n'est pas difficile mais demande des précautions

(1) : Evaporation bac ; (2) : Besoins en eau ; (3) : Infiltration et percolation, (4) : Percolation

## Quelques méthodes de gestion de l'irrigation au niveau de la parcelle du riz

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, prévient le stress hydrique et facilite l'utilisation des produits chimiques sous forme granulaire (Chandler 1979). La submersion est un outil de gestion et non un besoin en eau pour le riz (Brown *et al.* 1978 ; Bettge et Mc Cauley 1985). Pourvu que le sol contient suffisamment d'eau et d'oxygène (75 à 80 %), le riz croîtra plus vigoureusement et donnera un bon rendement (Junkai 1978 ; FAO 1990).

L'irrigation pour le riz satisfait d'abord ses besoins physiologiques, et puis exerce une influence sur l'aération et la température du sol ainsi que l'humidité du champ (microclimat) (Jing 1988). Donc, l'eau pour le riz, en plus de ces fonctions physiologiques est une composante importante du milieu écologique de cette culture.

La technique de l'irrigation par submersion conduit à une consommation excessive en eau. D'après Brown *et al.* (1978), 48 % de l'irrigation appliquée est perdue à travers l'évapotranspiration, le reste est utilisé pour l'infiltration, la percolation et par le drainage superficiel.

L'importance de ces pertes est influencée par plusieurs facteurs : sol, climat, niveau des techniques de la gestion de l'eau... etc. (Soriano 1993).

D'après Junkai (1978) et la FAO (1990), la méthode habituelle de l'irrigation par submersion ou en nappe profonde doit être abandonnée. Pour couvrir les besoins hydriques du riz au cours de son développement, le maintien d'une couche d'eau dans les rizières ne présente pas d'intérêt particulier. Au contraire cette couche est défavorable au développement racinaire de la plante et à la décomposition de la matière organique du sol (Junkai 1978). D'après la FAO (1990), l'irrigation sans submersion est une manière de diminuer les effets néfastes de la submersion sur l'environnement (développement des maladies chez les humains, la contamination des eaux souterraines par les nitrates, les dégagements de méthane et d'oxyde nitreux qui contribuent à l'effet serre).

Nombreuses sont les études qui ont été conduites pour augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau par le riz conduit sous submersion. Et ceci s'est fait à travers la minimisation des pertes par percolation, infiltration latérale et drainage superficiel.

### Minimisation des pertes par percolation

Plusieurs méthodes ont été testées et comparées à la méthode de la submersion. Puddling (ma-laxation du sol avec de l'eau) est la méthode la plus efficace et la plus utilisée dans la préparation des sols des rizières. Elle permet d'augmenter la capacité du sol à retenir l'eau et diminue le taux de percolation avec un contrôle efficace des mauvaises herbes. (Sanchez 1973 ; De Datta and Kerim 1974 ; De Datta *et al.* 1979). D'après Kawasaki (1975), cette technique a permis une réduction de la percolation de 60 %.

D'autres méthodes pour minimiser les pertes par percolation dans la rizière sont résumées dans le tableau 7.

Les résultats obtenus par tous ces chercheurs ont montré que la technique de submersion totale continue durant tout le cycle de croissance du riz n'est pas nécessaire pour atteindre un rendement potentiel. Plus le niveau de la couche d'eau maintenue dans une rizière est élevé plus les pertes par percolation sont importantes (Soriano 1993).

**Tableau 7.** Méthodes adoptées pour minimiser les pertes en eau d'une rizière (synthèse)

Technique adoptée	Economie d'eau (%)	Rendement*	Références
Maintien d'une couche d'eau entre 5 cm et la saturation (toute la saison de croissance)	41	NC	Subramanian <i>et al.</i> 1978
Irrigation intermittente de 5 cm de niveau après disparition de l'eau stagnante (toute la saison de croissance)	42	1	WTC-TNAU, 1985
Irrigation intermittente de 7cm appliquée 2 à 3 jours après la disparition d'eau stagnante (toute la saison de croissance)	37-44	1	Jha <i>et al.</i> 1981
Irrigation intermittente 1 à 5 jours après la disparition de l'eau de la rizière (sur sol sablo-limoneux)	25-50	NC	Sandhu <i>et al.</i> 1980
Maintien d'une couche d'eau de 2.5 à 3.5 cm (après la floraison)	49	2	Sivanappan et Saifudeen 1977
Conduite du riz sous saturation (tout le cycle de croissance)	30-58	1	Soriano et Bhuiyan, 1989

\* par rapport à la submersion continue

1 : rendement non affecté

2 : rendement plus élevé

NC : non communiqué

## Minimisation des infiltrations latérales

D'après Soriano (1993), une bonne maintenance et consolidation des diguettes entourant la parcelle du riz ; un maintien d'une faible couche d'eau dans la parcelle, un bon nivellement et une irrigation fréquente avec de faibles quantités d'eau permettent de minimiser les pertes par infiltration latérale.

## Minimisation des pertes par drainage superficiel

Ces pertes sont facilement contrôlables par l'augmentation et la consolidation des diguettes entourant la parcelle du riz (Soriano 1993).

## Effet des différentes méthodes de gestion de l'irrigation

Généralement, les recherches sur la meilleure utilisation de l'irrigation sur le riz ont montré que le rendement potentiel est atteint quand le sol est maintenu sous des conditions de saturation ou de submersion (Abd Elhafez 1982 ; Tabbal *et al.* 1993b). Plusieurs études ont été conduites afin de comparer différentes conduites de l'irrigation sur le riz par rapport à la submersion continue. D'après Angladette (1966), la conduite du riz sur un sol saturé en eau en Malaisie a abouti à de faibles rendements. Ceci a été confirmé par une étude conduite en Italie qui a montré une diminution du rendement de 68 % pour un riz sur sol saturé par rapport à un riz submergé (Angladette 1966). Aussi Sharma et Rajat (1979) ont montré que le riz en submersion donne un surplus de rendement de 30 % par rapport au riz non submergé. Par contre une étude conduite par Nour et Mahrous (1994) consistant à tester l'effet de 8 conduites différentes d'irrigation sur le rendement du riz, a démontré que l'irrigation en sol saturé (T2) a donné l'efficacité d'utilisation d'eau la plus élevée durant deux années d'études (respectivement 0.87 et 0.93 kg de grain/m<sup>3</sup> en 1992 et 1993) (tableau 8).

**Tableau 8.** Nombre d'irrigation, Besoins en eau (BEE), Quantité d'eau économisée (EE), efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) pour différents régimes d'irrigation en 1992 et 1993 (Nour et Mahrous 1994)

Traitements	Nombre d'irrigation	BEE m <sup>3</sup> /fed*		EE (%)		Rendement t/fed		EUE kg /m <sup>3</sup>	
		1992	1993	1992	1993	1992	1993	1992	1993
T1	30	6067	6157	-	-	4.25	4.52	0.531	0.559
T2	30	2596	2547	43.3	44.7	3.95	4.15	0.870	0.930
T3	18	4857	4700	15.1	18.0	4.06	4.18	0.596	0.631
T4	17	4723	4570	16.8	19.7	3.91	3.86	0.586	0.595
T5	16	4510	4364	19.4	22.2	3.78	3.83	0.585	0.609
T6	16	4594	4494	18.4	20.6	3.64	3.64	0.556	0.568
T7	15	4206	4069	23.2	25.9	4.03	4.20	0.654	0.702
T8	12	3906	3733	27.0	29.9	2.90	2.66	0.495	0.470

\* fed = fedden 1ha= 2.38 x valeur en fedden

T1 : submersion continue ; T2 : Saturation continue ; T3 : Irrigation chaque 4, 6 et 6 jours aux stades végétatif, reproducteur et maturité pour les intervalles respectifs. T4 : Irrigation chaque 4, 6 et 8 jours comme à T3 ; T5 : Irrigation tous les 4, 6 et 10 jours ; T6 : Irrigation tous les 4, 8 et 8 jours comme à T3 ; T7 : Irrigation tous les 6 jours durant tout le cycle et T8 : Irrigation tous les 8 jours.

Ceci est dû à la réduction importante de la consommation en eau sans une réduction significative dans le rendement. Cette méthode s'est révélée la plus intéressante, mais elle doit être accompagnée d'un bon nivellement et un bon contrôle des mauvaises herbes. Ce résultat a été aussi confirmé par une étude conduite aux Philippines (Tabbal *et al.* 1993) consistant à tester différentes méthodes de gestion de l'eau d'irrigation. Le traitement sous le régime en sol saturé à une consommation en eau de 41 % moindre que celle d'un régime sous submersion. Le rendement dans le premier régime est statistiquement le même que celui de la submersion (tableau 9). Le régime d'irrigation en sol saturé est satisfaisant durant toute la période de croissance du riz à condition que les mauvaises herbes soient bien contrôlées.

**Tableau 9.** Rendement moyen, consommation en eau, efficacité de l'utilisation de l'eau et économie de l'eau dans un régime standard et des pratiques alternatives de la gestion de l'eau d'irrigation (moyenne de deux années 1988-89 et 1990-91) (Tabbal *et al.* 1993)

Traitement	Rendement t/ha	Consommation en eau (mm)	Efficacité de l'utilisation de l'eau kg/ha/mm	Economie de l'eau (%)
T1	5,33	2289.0	2.5	-
T2	5,04	1486.2	3.6	35
T3	4,68	1355.8	3.7	40.7
T4	4,05	896.2	4.8	60.6

T1= submersion continue (niveau d'eau 2 à 7 cm) ;

T2 = comme T1 jusqu'à l'initiation paniculaire puis sol saturé

T3 = Sol saturé durant tout le cycle ; T4 : Irrigation à saturation et assèchement (1 jour) alternativement.

Ceci rejoint les résultats trouvés par Borrell (1991) en Australie qui a montré que l'irrigation par submersion au stade IP et l'irrigation en sol saturé n'ont pas réduit le rendement significativement. L'irrigation en sol saturé a donné la meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Elle est significativement supérieure aux autres traitements (tableau 10).

Aussi, dans le souci de mieux gérer l'irrigation par submersion, d'autres études ont été menées afin de déterminer la meilleure fréquence d'irrigation à appliquer au riz. Nour *et al.* (1994) testant l'effet de l'augmentation de l'intervalle d'irrigation sur le rendement, ont montré que le rendement et ses composantes diminuent en fonction de l'augmentation de l'intervalle d'irrigation (tableau 11).

L'intervalle d'irrigation de 6 jours a donné la meilleure efficacité d'utilisation de l'eau durant les deux années d'étude, comparativement aux deux autres intervalles. Ceci a été confirmé par une étude conduite au Bangladesh (Hassan et Sarkar 1993), qui a montré que l'intervalle de 7 jours a donné la meilleure efficacité de l'eau (tableau 12).

**Tableau 10.** Rendement en grain, et utilisation de l'eau d'une variété Lemont se développant sous 5 méthodes d'irrigation à Millaro research station, North Queensland, 1989 saison sèche (Borrell 1991)

Traitement	Rendement grain (t/ha)	Consommation d'eau (mm)	EUE	EE %
Submersion au semis	9.3	1 400	0.66	0
Irrigation intermittente au stade 3f. suivie de submersion	8.8	1 370	0.65	-
Submersion à l'IP <sup>1</sup>	8.4	1 210	0.69	12
Sol saturé	7.9	940	0.84	31
Irrigation intermittente	5.4	790	0.68	42

1f = feuilles

1IP= initiation paniculaire

**Tableau 11.** Effet de trois différents intervalles d'irrigation sur la consommation en eau de trois variétés du riz semées à la volée (Nour *et al.* 1994)

Traitements*	Besoins en eau totaux (mm)		EUE ( kg/m <sup>3</sup> )	
	1992	1993	1992	1993
Irrigation tous les 6 jours	15 08.3	1 533.0	0.740	0.680
Irrigation tous les 9 jours	13 08.0	1 332.7	0.660	0.620
Irrigation tous les 12 jours	11 62.7	1 193.0	0.640	0.600

\* Moyenne de 3 variétés du riz

**Tableau 12.** Nombre d'irrigation, besoins en eau et efficacité d'utilisation de l'eau d'un riz mutant conduit sous différentes gestions de l'irrigation. Bangladesh, 1992 saison sèche (Has-san et Sarkar 1993)

Traitements	Nombre d'irrigation	BEE (mm)	Rendement grain (t/ha)	EUE (kg/m <sup>3</sup> )
Submersion (5cm + 2cm)	Presque chaque jour.	2739.5	8.6	0.36
Irrigation tous les 3 jours*	7	879.5	7.7	0.87
Irrigation tous les 5 jours*	7	879.5	7.5	0.85
Irrigation tous les 7 jours*	5	779.5	7.5	0.96

\* Application de 5 cm d'eau après la disparition de l'eau en submersion (3, 5 et 7 jours)

La submersion continue demande 214 % plus d'eau que les autres traitements mais produit seulement 13, 15 et 15 % plus de grain que quand 5 cm d'eau est appliquée après 3, 5 et 7 jours, après la disparition de l'eau stagnante. D'après ces auteurs, le traitement de 7 jours est recommandé pour les régions où l'eau est rare.

Des études conduites par l'IRRI. durant une saison sèche en 1969, ont montré qu'il n'y'a aucune différence significative dans le rendement quand la quantité d'eau utilisée par la culture varie entre 750 et 1 000 mm (Tabbal 1993).

Le stress hydrique survenu sur le riz cause une réduction sévère du rendement et de ses composantes (Abd Elhafez 1982). D'après De Datta, (1981), Abd Elhafez (1982), Cruz *et al.* (1986), le riz est sensible au stress quand il est imposé au stade végétatif et au début du stade reproducteur que quand il survient au stade floraison et remplissage des grains. Par contre certains auteurs contredisent ceci en confirmant que le déficit survenu durant le stade végétatif (repiquage à l'initiation paniculaire) a un effet très faible voir même nul sur le rendement que quand il survient au stade reproducteur (initiation paniculaire à floraison) (IRRI. 1973 ; Aragon et De Datta 1982) (tableau 13).

**Tableau 13.** Effet du stress hydrique survenu à différents stades de croissance sur le rendement (IRRI. 1973)

(le stress est appliqué durant 1 mois)		Rendement (t/ha)
<b>Pas de stress</b>	F	R 6.2
<b>Stress précoce</b> //	F	R 4.4
<b>Stress tardif</b> //	F	R 2.0
<b>Stress tardif jusqu'à la récolte</b> //	F	R 0.5

F= floraison ; R = Récolte ; // : Période du stress hydrique appliqué

Les excès de l'eau influencent également le rendement du riz quand ils surviennent durant le stade initiation paniculaire. Le riz submergé durant 7 jours accusera une réduction de rendement de 80 à 100 % (Tabbal *et al.* 1993b)

### Autres techniques d'irrigation du riz

D'après DeDatta (1975), le riz croît sous des conditions de non submersion (upland rice) dans plusieurs pays du monde où il pousse uniquement sous la pluie. Le rendement de ce riz peut atteindre 7 t/ha. Ceci montre que le riz n'a pas besoin de conditions de submersion pour donner de bons rendements, d'où le développement de plusieurs techniques d'irrigation. Les

recherches préliminaires ont testé l'irrigation par aspersion comme une méthode alternative dans le but de minimiser les pertes en eau. Mais les résultats trouvés ont été très différents (Ferguson and Gilmour 1977, 1978 ; Wetscott and Vines 1986 ; McCauley 1990). D'après Westcott et Vines (1986), cette technique a augmenté l'infestation par des maladies telles que *rhizoctonia solani* et par conséquent elle influe sur le rendement en grain significativement (4,45 t/ha contre 7,14 t/ha en 1983 et 5,9 t/ha contre 7,85 t/ha en 1984 respectivement pour l'irrigation par aspersion et la submersion). Ces résultats sont confirmés par McCauley (1990), qui a chiffré cette diminution du rendement à 20 % par rapport à la submersion. Par contre Csaba (1993) a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les rendements moyens de 10 variétés du riz conduites sous les deux systèmes d'irrigation. La moyenne des rendements respectifs (aspersion et submersion) est de 4,77 t/ha et 4,78 t/ha.

Une autre alternative consiste à appliquer l'irrigation à la raie (furrow irrigation). Cette technique a montré des résultats plus satisfaisants avec un surplus de production du riz par unité d'eau d'irrigation appliquée (Wells *et al.* 1991).

Une étude a été conduite en Italie dans le but de tester la croissance de plusieurs variétés de riz sous des conditions sèches, avec l'irrigation gravitaire dans la région nord de l'Italie (Po Valley). La quantité d'eau consommée par le riz était de 4.300 m<sup>3</sup>/ha. Le rendement moyen de 10 variétés conduites sous les conditions de non submersion est de 456 t/ha sur une durée de cycle moyen de 155 jours (Russo 1994). D'après cet auteur, cette consommation en eau est très faible à cause de l'approximité de la nappe d'eau de la surface.

D'autres techniques d'irrigation ont été essayées. Dans le Missouri (USA) par exemple, la culture du riz en planche surélevée avec un système d'irrigation à la raie permet une économie d'eau sans réduction des rendements (6.300 kg/ha) ; avec un grand nombre d'avantages (élimination des diguettes, l'assèchement plus rapide de la rizière avant la récolte et l'efficacité de rotation avec d'autres cultures non inondés). D'autres techniques d'irrigation à la gorgée, automatisées, combinées avec des tuyaux d'alimentation de raie, permettent une économie d'eau en réduisant les pertes par percolation en fin de raie, tout en fournissant une alimentation en eau plus régulière et en réduisant le temps total nécessaire à l'irrigation (FAO 1990).

Certains auteurs montrent que pour la conservation de l'eau des rizières, de nombreuses pratiques peuvent être envisagées comme l'aménagement des parcelles, les entrées d'eau multiples, la réduction des intervalles entre les diguettes, l'entretien des canaux secondaires et tertiaires etc..., car la culture du riz en irrigué nécessite un bon réseau d'irrigation et de drainage ainsi qu'un meilleur nivellement du terrain afin de mieux contrôler le niveau d'eau qui couvre le sol (Dobelman 1976).

D'autres auteurs se sont orientés vers la création de variétés qui s'adaptent aux conditions de la non submersion, par exemple sur les variétés pluviales qui s'adaptent mieux à la sécheresse à cause de leurs systèmes racinaires plus développés que les riz irrigués (Reyniers *et al.* 1976) ou vers la création de nouvelles variétés (FAO 1990). Mazzini (1980) ; Baldi et Mazzini (1983), ont montré par des essais conduits en Italie, que des variétés de riz nouvellement créés ont donné de bons résultats sous des conditions de non submersion. Les rendements moyens étaient de 5,33 t/ha, avec un maximum de 7,83 t/ha et un minimum de 3,37 t/ha.

Selon Ibolya (1980) et FAO (1990), le développement d'un nouveau système de culture du riz qui économise l'eau dans la région méditerranéenne impliquerait un génome modifié du riz.

## Conduite de l'irrigation du riz au Maroc

La superficie réservée au riz au Maroc est de 12 000 ha située dans la région du Gharb dont 1 000 ha sont aménagés par des riziculteurs privés et 11 000 ha par l'état. Mais vu que la conduite de cette culture est conditionnée par la disponibilité en eau du barrage (Idriss premier), seuls 5 000 à 9 000 ha sont cultivées annuellement (Bouhache 1981).

La riziculture au Maroc est conduite par submersion totale durant tout son cycle de croissance avec un certain nombre de remplissage et de vidange qui varient selon l'emplacement du clos au niveau du tertiaire. La culture du riz occupe théoriquement dans les secteurs équipés la tête d'un assolement où il est cultivé trois années sur quatre. Il est cultivé dans des clos aménagés pour assurer l'irrigation par submersion. La superficie d'un clos rizicole varie de 1 à 2,5 ha (Jing 1988). Cette culture a permis une valorisation des terres hydromorphes de la région du Gharb.

## Programme de distribution de l'eau

La lâchée d'eau se fait dans les canaux secondaires alimentant les tertiaires, dont l'exploitation est assurée directement par les agriculteurs. La main d'eau est retenue comme une base de tour d'eau. Elle est de 45 l/s. Elle doit faire l'objet d'une rotation sur 10 jours. Le remplissage d'un clos de 2,5 ha se fait en deux jours (ORMVAG 1990).

## Conduite de l'irrigation

Les facteurs influençant la conduite de l'irrigation du riz au Gharb sont (ORMVAG. 1990) :

- le mode de semis ;
- la position du clos sur le tertiaire ;
- le niveau d'organisation du clos sur le tertiaire (amont ou aval) ;
- la période de semis ;
- l'état du nivellement des clos rizicoles ;
- la situation de l'infrastructure d'irrigation ;
- la disponibilité de l'eau d'irrigation.

L'irrigation du riz au Gharb se caractérise par un certain nombre de remplissages et de vidanges. La hauteur de la lame d'eau pratiquée varie entre 10 cm et 50 cm. Ceci est dû essentiellement au mauvais nivellement des rizières (ORMVAG 1990). Le nombre de vidanges et de remplissages des clos rizicoles au cours de tout le cycle du riz varie en fonction de l'état des canaux d'irrigation, de l'organisation des riziculteurs (tour d'eau) et de la position du clos sur le tertiaire. D'après une enquête effectuée dans la région du Gharb, 28 % des riziculteurs en-

quêtés pratiquent trois remplissages et plus de deux vidanges, 42 % pratiquent trois remplissage et deux vidanges, 28 % pratiquent deux remplissages et une vidange et enfin seulement 2 % pratiquent un seul remplissage et pas de vidange (Coulibaly et Echcharki 1995). Les riziculteurs pratiquant deux vidanges sont ceux de l'aval ou du milieu du canal (ORMVAG 1990).

Après le deuxième remplissage, 90 % des riziculteurs irriguent et vidangent selon la hauteur du plant du riz, au niveau du point le plus haut et du point le plus bas dans le clos. Les riziculteurs ont tendance à chercher un niveau moyen qui n'occasionne ni l'asphyxie du riz ni le stress en eau. Ce compromis est très difficile à atteindre du fait du mauvais nivellement des rizières (ORMVAG. 1990). En général, les clos sont submergés constamment une fois que le plant du riz a atteint 10 cm de hauteur. La hauteur de la lame d'eau faible au début suit la croissance du riz jusqu'à sa stabilisation qui varie entre 10 et 50 cm.

### Estimation de la consommation en eau dans une rizière

Au Maroc, les premiers essais sur la détermination expérimentale des besoins en eau du riz ont été conduits en 1953 dans la région du Gharb (Coyetaux 1953). Les résultats trouvés ont montré que le riz au Gharb consomme 11 000 m<sup>3</sup>/ha. Mais la plupart des termes de l'équation de la conservation de la masse à savoir l'infiltration des eaux d'irrigation au niveau du sol, ainsi qu'au niveau des canaux d'amenée de l'eau ont été estimées théoriquement. Une autre étude conduite par l'office du Gharb a estimé la consommation en eau du riz à 13 710 m<sup>3</sup>/ha à partir de l'ETP turc selon l'équation ET culture = 1,2 ETP turc. (Ezzamiti 1983) (Tableau 14).

**Tableau 14.** Estimation de la consommation en eau du riz à partir de l'ETP Turc (Ezzamiti 1983)

	Période de croissance					Total
	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	
Consommation en eau du riz m <sup>3</sup> /ha	4 070	2 240	3 020	2 360	2 020	13 710

Ces besoins incluent d'autres qui ont été ajoutés pour couvrir la quantité nécessaire à la submersion (2 500 m<sup>3</sup>/ha pour un remplissage et 2 500 m<sup>3</sup>/ha pour deux mises à sec réparties en juin et août).

D'autres essais ont été conduits par l'ORMVAG (1986) dans la région rizicole, dans le but de connaître la consommation en eau du riz en fonction de la date de semis. Les résultats trouvés ont montré que quelque soit la date de semis pratiquée la consommation en eau varie autour de 12 000 m<sup>3</sup>/ha (Tableau 15). Le semis est réalisé avec une quantité d'eau de 2 500 m<sup>3</sup>/ha. Une première vidange s'ensuit. Ensuite un deuxième remplissage de 1 250 m<sup>3</sup>/ha s'effectue 14 jours après le semis. Une deuxième vidange est effectuée 6 semaines après la première suivie d'un troisième remplissage de 1 250 m<sup>3</sup>/ha. Le tableau ci dessous résume les besoins en eau d'irrigation du riz pour quatre dates de semis échelonnées dans le temps (ORMVAG 1986).

**Tableau 15.** Besoins en eau d'irrigation du riz (m<sup>3</sup>/ha) en fonction des dates de semis (ORMVAG 1986).

	Date de semis			
	1-7 Mai	8-14 Mai	15-21 Mai	22-28 Mai
Consommation totale (m <sup>3</sup> /ha)	12148	12211	12177	12070

Ces quelques études réalisées au Maroc sur la consommation en eau du riz, ont montré que celle-ci ne dépasse guère les 14 000 m<sup>3</sup>/ha.

D'après cette étude bibliographique sur la gestion de l'eau dans les rizières et les techniques d'irrigation adoptées autres que la submersion, nous constatons que le problème de l'eau au niveau des rizières est un problème capital. La recherche sur la méthode d'irrigation la moins coûteuse et la plus pratique a conduit au développement de plusieurs idées de recherche. Certains auteurs prônent le changement de la technique d'irrigation actuellement répandue qui est la submersion et de conduire le riz comme les autres céréales. D'autres, sont pour une meilleure gestion des eaux au niveau de la parcelle sans changer la technique habituelle (submersion continue). Et enfin, une autre équipe (améliorateurs et agrophysiologistes) optent pour la création de nouvelles variétés qui s'adapteraient à un système d'irrigation autre que la submersion.

## Conclusion

La quantification des besoins en eau du riz est une étape importante et décisive, qui permettra de mieux appréhender les besoins réels de cette culture. Plusieurs méthodes ont été mises au point dans ce sens. La plupart d'entre elles sont complexes et imprécises. D'après de nombreuses études, la lysimétrie reste la meilleure méthode du point de vue précision bien que les méthodes empiriques gardent leurs intérêts par leurs simplicité et leur rapidité d'obtenir des résultats.

Une fois la consommation de la plante est déterminée, il sera question de minimiser les pertes en eau causées par le système de submersion. Serait-il question de changer la technique d'irrigation ? or la plupart des résultats trouvés dans de nombreux pays n'ont pas abouti à des résultats satisfaisants vu que les techniques d'irrigation essayées continuent à se heurter à des diminutions de rendements ; ou serait il préférable de créer de nouvelles variétés capables de s'adapter aux conditions de non submersion ? l'amélioration génétique, ouvrira alors de nouvelles voies plus prometteuses. C'est sur cette problématique que nous avons orienté les travaux de recherche futurs à l'INRA Maroc pour mieux cerner les apports d'eau au riz.

## Références bibliographiques

- Abd El-Hafiz S.A. (1982). Effect of irrigation and fertilization on rice yield and soil properties. Ph.D. Thesis. Fac. agric. Mansoura Univ.Egypt.
- Angladette A. (1966). Les besoins en eau du riz : irrigation-drainage. pp.371-396. Dans techniques agricoles et productions tropicales.
- Aragon L.E. and DeDatta S.K. (1982). Drought response of rice at different nitrogen levels using line sprinkler system. *Irrig. sci.* (3): 63-73.
- Baldi G. et Mazzini F. (1983). Coltivazione del riso senza sommersione: Risultati ottenuti con linee selezionate per l'ambiente italiano. Annali dell'accademia di agricoltura di Torino. Volume centoventicinquesimo.
- Bettge R.F. and McCauley G.N. (1985). Trends in irrigation water use. Texas rice belt. P. 372-379. In C.B. Keyes Jr. And T.J. Ward (ed.) Development and management aspects of irrigation and drainage systems. Asce, New york.
- Borrell A.K. (1991). Irrigation methods for rice in Tropical Asia. In International rice research newsletter. Vol. 16 number 3, june 1991; p28.
- Bouhache A. (1981). Analyse qualitative et quantitative des semences d'adventices dans les sols des rizières du Gharb. Mémoire du 3<sup>e</sup> cycle. Option Pastoralisme. IAV. Hassan II, Rabat.
- Brij M., Sahni and Alan C. Early (1981). Alternative methods for determining water requirements for lowland paddy rice production. Agricultural engineering journal. Vol. XII No. 1 First quarter. pp 6-10.
- Brown K.W., Turner F.T., Thomas J.C., Deuel L.E. and Keener M.E. (1978). Water balance of flooded rice paddies. *Agric. Water Manag.*, 1: 277-291.
- Chandler R.F., J.R. (1979). Rice in the tropics: A guide to the development of national programs. Westview Press, Boulder, CO.
- Coytaux A. (1953). Les besoins en eau des rizières. Bulletin de la société des agriculteurs du Maroc, 7<sup>e</sup> année, N°68, janvier 1953.
- Coulibaly D. et Echcharik C. (1995). Contribution à l'étude de la consommation en eau et de l'amélioration de la conduite de l'irrigation du riz dans le Gharb. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle en Génie rural. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Juillet.
- Cruz R.T., Toole J.C.O., Dingkuhn M., Yambao E.B., Thagrij M. and De Datta S.K. (1986). Shoot and root responses to water deficits in rainfed lowland rice. *Aust. J. Plant Physiol*, 13: 567-575.
- Csaba I.M. (1993). Study of agronomical and morphological traits of rice grown under sprinkler irrigation. PHD Thesis, 1993, Szarvas, Hungary.
- De Datta S.K. (1975). Upland rice around the world, p.254 in: Major research in upland rice. IRRI. Los Banos. Laguna, Philippines.
- De Datta S.K. (1981). Water use and water management and practices for rice. In principles and practices of rice production. John Wiley and sons, Inter science press, New york. 297-347.
- De Datta S.K. et Kerim M.S. (1974). Water and nitrogen economy of rainfed rice as affected by soil puddling. *Soil Sci. Soc. Am., Proc.* 38 (3): 515-518.
- De Datta S.K., Morris R.A. and Barker R. (1979). Land preparation and crop establishment for rainfed lowland rice. Selected papers from 1978 Irrc. IRRI.

- Dobelmann J.P. (1976). La rizière. PP.125-130 In. Riziculture pratique. 1- Riz irrigué. Techniques vivantes. Section agronomie tropicale.
- Doorenbos J. et Pruitt W.O. (1977). Les besoins en eau des cultures. Bulletin FAO. d'irrigation et de drainage. N° 24
- Ezzamiti A. (1983). Etudes des besoins en eau des cultures dans le Gharb. Rapport d'activité de l'ORMVA. du Gharb.
- FAO. (1990). Report of the consultation on the establishment of an inter-regional cooperative research network on rice. Arles, France, 11-14 sept. 1990. Food and agriculture organization of the united nations. Part III.
- Ferguson J.A. and Gilmour J.T. (1978). Water and nitrogen relations of sprinkler irrigated rice. *Ark. farm. res.*, 3: 2.
- Ferguson J.A. and Gilmour J.T. (1977). Center-pivot sprinkler irrigation on rice. *Ark. Farm. Res.*, 2: 12.
- Forest F. et Kalms J.M. (1984). Influence du régime d'alimentation en eau sur la production du riz pluvial. Simulation du bilan hydrique. *Agronomie tropicale*. Vol.39 (1). pp.42-50.
- Grist D.H. (1986). Irrigation and drainage. In tropical agriculture series, sixth edition, Chapitre 4. pp 41-68. Isbn 0582404037.
- Hassan A.A. and 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. Vol 18, number 2, june, 1993. P34.
- Ibolya K.S. (1980). L'importance des recherches sur la résistance de la variété du riz aux conditions climatiques défavorables. Bulletin d'information des riziculteurs de France. Le 9<sup>e</sup> congrès international de la riziculture à Vercelli, Italie.
- Ingram K.T. (1993). Water relations in the soil-plant-atmosphere continuum. Background paper for irrigation water management training course. IRRI. Philippines.
- International rice research institute (IRRI) (1973). Annual report for 1972. Los Banos, Laguna, Philippines.
- Jha K.P., Dinesh C., Challaiah. (1981). Irrigation requirement of high-yielding rice varieties grown on soils having shallow water-table. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 51(10): 732-737.
- Jing Z. (1988). Rapport de fin de mission 1986-1988. Mission chinoise de service technique du riz. ORM-VAG Maroc.
- Johnson K. (1965). Irrigation for rice. Paper presented at a saturday seminar, IRRI. Los Banos, Philippines.
- Junkai Li. (1978). Irrigation du riz. PP.127-145 In riziculture.
- Kalms J-M. et Imbernon J. (1983). Modalités d'alimentation en eau du riz pluvial bilan des recherches méthodologiques effectuées à Bouaké en Côte d'ivoire. *Agronomie tropicale*, Vol. 38 (3).pp.198-205
- Kampen J. (1970). Water losses and water balance studies in lowland rice irrigation. Ph.D. thesis, Cornell university, 416p.
- Kawasaki T. (1975). Physical properties of soil and water requirement in paddy field after direct drilling on ponding on upland conditions. Fundamental studies on establishing rational management system of direct drilling of aquatic rice on dried condition. *Trans. Jpn. Soc. Irrigation Drain Reclamation*. England 59: 10-15.

- Kotter E. (1969). Determination of water requirement of rice in Laos. *Int. rice comm. news letter*, 17(4), 13-20.
- Kung P. (1966b). Desirable technics and procedures on water management of rice culture. In *mechanization and the world's rice Conference*. Blackwell, Oxford.
- Kung P. and Atthayodhin G. (1968). Water requirement in rice production. Mimeo paper. 14pp.
- Kung P., Atthayodhin G. et Druthabandhu S. (1965). Determining water requirement of rice by field measurement in Thailand. *Int. Rice Comm. Newl.*, 14 (4) : 5-18.
- Lahlou O. (1989). La riziculture dans le Gharb : Situation actuelle et perspectives. *Compte rendu de la journée d'étude sur : Les contraintes liées à la riziculture marocaine et les méthodes actuelles d'amélioration génétique du riz*. Université Mohamed V. Faculté des sciences. Kénitra 15 Avril.
- Leonard W.H. (1948). Rice as a crop in Japon. *J. Amer. Soc. Agron.*, (40) : 579-602.
- Lord L. (1932). *Annals royal bot. Gardens, Peredeniya*, 11: Pt.4.
- Matsushima (1960). In current notes, *Malay. Agric. J.*, 43(2): 121.
- Mazzini F. (1980) I. La culture du riz par irrigation effectuée en rotation : recherche d'un indice physiologique utilisable dans la selection. *Bulletin d'information des riziculteurs de France*. Le 9<sup>e</sup> congrès international de la riziculture à Vercelli (Italie).
- McCauley G.N. (1990). Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. *Agronomy Journal*. 82 (4) July-August.
- Nour M.A.M. and 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).
- Nour M.A., Ghanem S.A. and El-Serafy A.M. (1994). Effect of different water regime on the productivity of some transplanted rice. *Rice research and training center, field crop research institute, Agriculture research center, Sakha, Kafr El-Sheikh, Egypte*.
- Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG) 1986. Rapport de la commission d'évaluation de la consommation réelle en eau du riz dans le Gharb. Sgrid/Bti, Septembre.
- Office régional de mise en valeur agricole (ORMVAG) 1990. Rapport d'activité de la campagne rizicole 1990.
- Pan C.L. (1952). Rice improvement in China. *Int. Rice. Comm. News letter*, 2, 10-12.
- Research group of evapotranspiration. (1967). Evapotranspiration from paddy field. *J. Agric. Meteor.* (Tokyo) 22: 149-157.
- Reyniers F.N., Kalms J.M. et Ridders J. (1976). Différences de comportement d'un riz pluvial et d'un riz irrigué en condition d'alimentation hydrique déficitaire. 1/Etude des facteurs permettant d'esquiver la secheresse. *L'agronomie tropicale*. Avr.-Juin. Vol. 31 (2).
- Russo S. (1994). Preliminary studies on the varieties adaptability to the aerobic irrigated rice. *Instituto sperimentale per la cerealicoltura-Sezione specializzata per la risicoltura Vercelli-Italy*.
- Sahni B.M. et. Early A.C. (1981). Alternative methods for determining water requirements for lowland paddy rice production. *Philippines agricultural engineering journal*. Vol. XII N°1. First quarter.
- Sanchez P.A. (1973). Puddling tropical rice soils. Two effects of water loses. *Soil Science*. 115(4): 303-308.
- Sandhu B.S., Khera K.L., Prihar S. and 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.

- Sivanappan R.K. and Saifudeen E.S.A. (1977). Water saving method of irrigation for high yielding rice crop. *Madras Agric. Jour.* **64 (11)**: 745-749.
- Sharma S.K et Rajat D. (1979). Effect of water regimes, levels of nitrogen and methods of nitrogen application on grain yield, protein percentage and nitrogen uptake in rice. Il Riso, rassegna trimestrale di studi, anno ventottesimo numero uno, Marzo.
- Soriano R.S. and Bhuiyan S.I. (1989). Irrigation application alternatives and their effects on water use and rice yield. Saturday seminar paper presented at Irri, College, Laguna on 28 October 1989.
- Soriano R.S. (1993). Water saving methods of rice-farm irrigation. Background paper for irrigation water management training course. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Subramanian S., Sundrasingh S.D. and Ramaswami K.P. (1978). Crop sequence studies under different irrigation regimes and manuring for vagai periyar command Madras Agrin. *Jour.* **65 (9)**: 567-571.
- Tabbal D.F. (1993a). Irrigation and crop production scheduling principles. Background paper for Irrigation Water Management Training Course. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Tabbal D.F., Lampayan R.M. et Bhuiyan S.I. (1993b). Water efficient irrigation technique for rice. Background paper for irrigation water management training course. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Tomar V.S. et O'Toole J.C. (1980). Measurement of evapotranspiration in rice. In Proceedings of a symposium on Agrometeorology of the rice crop, 1980. The International rice research institute, Los Banos, Philippines.
- Tomar V.S. et O'Toole J.C. (1979). Evapotranspiration from rice fields. IRRI. Res. pap. ser. No.34. Int. rice res. Inst., Los Banos, Philippines.
- Water Technology Center-Tamil Nadu agricultural university. (1985). Water management research in Tamil Nadu. Wtc-Tnau, Coimbatore.
- Wells B.R., Kamputa D., Norman R.J., Vories E.D. and Baser R. (1991). Fluid fertilizer management of furrow irrigated rice. *J. fertil. Issue*, **8**: 14-19.
- Westcott M.P. et Vines K.W. (1986). A comparison of sprinkler and flood irrigation for rice. *Agronomy Journal*. **78**: 637-640.
- Wickham T.H. et Sen L.N. (1978). Water management for lowland rice : Water requirement and yield response. In soils and rice. IRRI. Los Banos, Philippines. pp. 649-669.
- Yoshida S. (1979). A simple evapotranspiration model of a paddy field in Tropical asia. *Soil Sci. Plant Nutr.* **25(1)**: 81-91.
- Zida Z. (1994). Etudes des besoins en eau du riz et de la gestion de l'eau à la parcelle sur le périmètre irrigué de Mogtedo (Burkina Faso). Brio. N° 004, Mars 1994.