

Méthode simplifiée pour l'estimation des besoins en eau d'irrigation du riz

Y. DEMBÉLÉ*
S. OUATTARA**
Z. ZIDA*

Résumé

La méthode proposée permet d'estimer, pour différents seuils de probabilité, les besoins en eau d'irrigation du riz sur une base hebdomadaire. L'intervalle entre les irrigations est constant, et les besoins en eau d'irrigation sont déterminés à partir du bilan hydrique à la parcelle en tenant compte des pluies probables. Deux méthodes de transformation des données, les méthodes puissance et SMEMAX, ont été utilisées pour la normalisation des données hebdomadaires de la pluie, variable aléatoire et terme du bilan hydrique. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le premier type de transformation. La méthode a été appliquée au périmètre irrigué de Mogtédou (Centre du Burkina Faso).

Mots-clés : bilan hydrique, coefficients culturaux, évapotranspiration, modélisation, percolation, pilotage de l'irrigation.

Simplified method for the assessment of rice irrigation water requirements

Abstract

A procedure has been proposed to estimate, for different probability levels, weekly rice irrigation water requirements. This method uses the paddy field water balance relationship including probable rainfall. Statistical transformations were used to normalize the weekly rainfall which is the only random variable of the water balance. The transformations are : the power transformation and SMEMAX transformation. The best results are obtained with the former. This procedure has been applied to the Mogtédou irrigated scheme (Center of Burkina Faso).

Key words: water balance, crop coefficients, evapotranspiration, modeling, percolation, irrigation, scheduling.

* INERA, 03 BP 7192 OUAGADOUGOU 03 (BURKINA FASO)

** IIMI / PMI-BF, 01 BP 5373 OUAGADOUGOU 01 (BURKINA FASO)

Introduction

Les besoins en eau du riz irrigué comprennent les volumes d'eau nécessaires à la pépinière, à la préparation du sol (saturation et mise en boue), à l'évapotranspiration de la culture et à la percolation (KAMPEN, 1970 ; DEMBÉLÉ, 1995). Très faibles par rapport aux autres volumes, les besoins en eau de la pépinière sont souvent inclus dans la quantité d'eau nécessaire pour la préparation du sol.

A partir de la mise en place de la culture, les besoins (nets) en eau d'irrigation du riz se réduisent à la somme de l'évapotranspiration et de la percolation, moins les précipitations efficaces (KOPEC *et al.*, 1984). Ils sont alors destinés à entretenir, dans les parcelles, la lame d'eau dont la hauteur est fonction du stade de croissance de la culture. Le rôle principal de cette lame d'eau est de combattre les adventices (TSUTSUI, 1984), et son maintien a souvent été considéré comme nécessaire pour l'obtention de rendements élevés (MANDAL et CHATTERJEE, 1984). Mais pour d'autres auteurs, comme SANDHU *et al.* (1980), on peut obtenir des résultats équivalents en maintenant le sol constamment saturé dans la rizière. Ce qui n'est possible qu'avec une maîtrise totale de l'irrigation (fonctionnement parfait du système d'irrigation).

En Afrique de l'Ouest sahélienne, les besoins en eau du riz irrigué ont fait l'objet de quelques études, notamment au Burkina (IRAT, 1969 ; DEMBÉLÉ, 1991 ; DEMBÉLÉ, 1995), au Mali (HENDRICKX *et al.*, 1986) et au Sénégal (RAES *et al.*, 1991). Mais ces études ont rarement abordés la modélisation de l'irrigation. Or, les modèles du bilan hydrique sont des outils appropriés pour la compréhension du fonctionnement hydrique des rizières et le pilotage de l'irrigation en riziculture (KAMPEN, 1970). Dans la plupart des études qui ont porté sur le pilotage de l'irrigation, c'est la hauteur de la lame d'eau qui est utilisée comme critère de déclenchement de l'irrigation dès qu'elle arrive à un seuil minimum (SIDDEEK *et al.*, 1988 ; AZHAR *et al.*, 1992). Dans la présente démarche, l'irrigation se fait à des intervalles constants, et les besoins en eau d'irrigation sont déterminés avec différents niveaux de probabilité, en tenant compte des précipitations efficaces et du niveau de la lame d'eau avant chaque irrigation. Ce modèle est appliqué au périmètre irrigué de Mogtédou.

Matériels et méthodes

Base du modèle

Le modèle est basé sur le bilan hydrique à la parcelle illustré par la figure 1. Pour une période i donnée, ce bilan peut être formalisé comme suit :

$$L_i = L_{i-1} + Pe_i - ET_i - Pr_i + Ir_i - Dr_i \quad (1)$$

- avec
- L_i : hauteur de la lame d'eau à la fin de la période i (mm) ;
 - L_{i-1} : hauteur de la lame d'eau au début de la période i (fin de la période $i-1$) en mm ;
 - Pe_i : précipitations efficaces durant la période i (mm) ;
 - ET_i : évapotranspiration du riz durant la période i (mm) ;
 - P_i : percolation durant la période i (mm) ;
 - Ir_i : irrigation durant la période i (mm) ;
 - Dr_i : drainage superficiel (éventuel) durant la période i (mm).



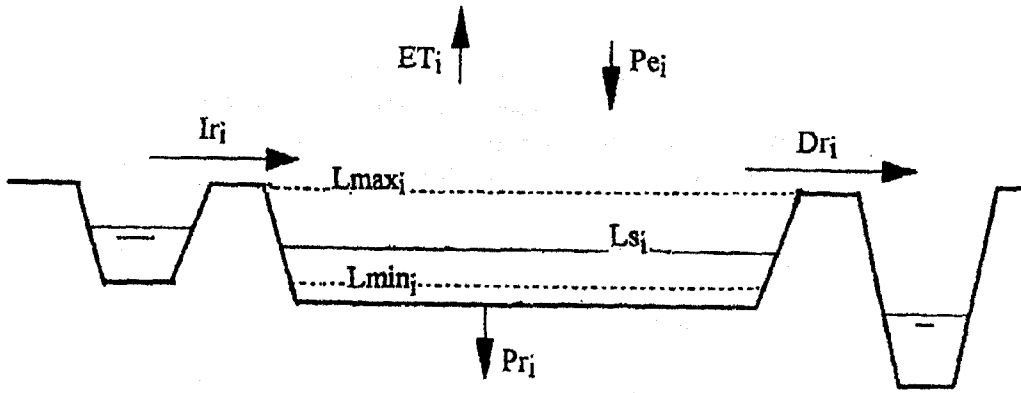


Figure 1. Éléments du bilan hydrique d'une parcelle de riz irrigué

Définition des termes du bilan hydrique

La lame d'eau

La hauteur de la lame d'eau doit se situer entre un niveau minimal et un niveau supérieur que l'on désigne par L_{min_i} et L_{s_i} respectivement (figure 1).

Durant les 5 premières semaines qui suivent le repiquage, on considère que :

$$L_{min_i} = 3 \text{ cm et } L_{s_i} = 8 \text{ cm}$$

De la sixième semaine à la fin des irrigations, on suppose que :

$$L_{min_i} = 5 \text{ cm et } L_{s_i} = 15 \text{ cm}$$

Si L_{max_i} est la hauteur maximale de la lame d'eau que la parcelle peut retenir, il y a drainage lorsque $L_i > L_{max_i}$, et la hauteur d'eau évacuée est :

$$Dr_i = L_i - L_{max_i} \quad (2)$$

On considère que L_{max_i} est égale à la hauteur moyenne des diguettes ; le drainage est donc nul tant que L_i ne dépasse pas la crête des diguettes.

Quand $L_{s_i} < L_i < L_{max_i}$, il n'y a ni irrigation ni drainage

$$\text{Quand } L_{min_i} \leq L_i < L_{s_i}, \quad Ir_i = ET_i - Pe_i + Pr_i \quad (3)$$

$$\text{Quand } L_i < L_{min_i}, \quad Ir_i = ET_i - Pe_i + Pr_i - L_{i-1} + L_{min_i} \quad (4)$$

L'évapotranspiration (ET) du riz

L'évapotranspiration du riz peut être calculée à partir de l'évaporation du bac classe A (TOMAR et O'TOOLE, 1980 ; SIDDEEK *et al.*, 1988) :

$$ET_i = k_c' \cdot EV_i \quad (5)$$

avec ET_i : évapotranspiration du riz pendant la période i (mm) ;
 EV_i : évaporation du bac classe A (mm) ;
 k_c' : coefficient cultural.

Les valeurs de k_c' utilisées pour les différentes phases de croissance du riz sont celles établies à Mogtêdo par DEMBÉLÉ (1995) dans une étude pluriannuelle de l'évolution de l'évapotranspiration du riz (figure 2). Ces valeurs sont les suivantes :

- phase végétative : 1,04
- phase reproductive : 1,21
- phase de maturation : 1,15

Les données d'évaporation proviennent du bac A d'une station agrométéorologique située à proximité du périmètre irrigué.

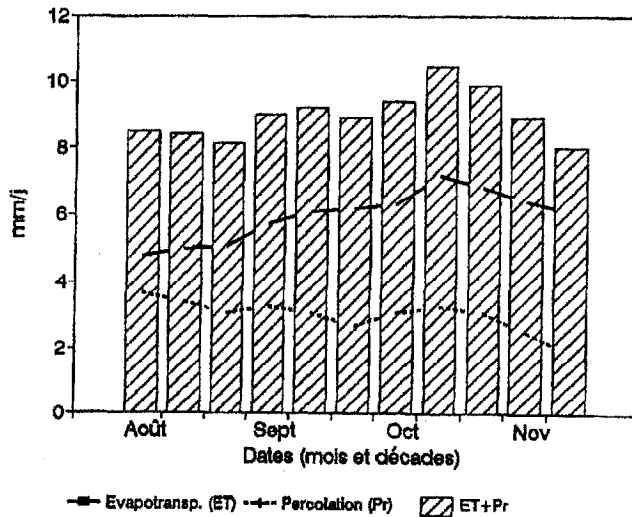


Figure 2. Évolution des besoins en eau du riz irrigué en saison humide à Mogtêdo (synthèse des données obtenues par DEMBÉLÉ, 1995)

La percolation (Pr)

Ce paramètre dépend non seulement des caractéristiques physiques et hydriques du sol, mais également des conditions de préparation des parcelles (TALSMA et VAN der LELIJE, 1976).

Mais bien qu'il soit très variable dans le temps (figure 2) et dans l'espace, on peut en utiliser une valeur moyenne (considérée comme constante) sur l'ensemble de la campagne (SIDDEEK *et al.*, 1988 ; AZHAR *et al.*, 1992). A Mogtêdo, sa valeur moyenne est de 3,1 mm/j (DEMBÉLÉ, 1995).

Les précipitations efficaces (P_e)

Les précipitations efficaces sont déterminées par la capacité de stockage en eau de la rizière qui varie suivant la hauteur des diguettes et les méthodes utilisées pour la gestion de l'eau (KOPEC *et al.*, 1984). Dans cette étude, 90 % des pluies brutes ont été considérées comme pluies efficaces.

Les besoins en eau d'irrigation (I_r)

En injectant l'équation (5) dans (3) et (4) on obtient les expressions (6) et (7), qui permettent de calculer, I_{r_i} , pour une L_{i-1} et une L_{min_i} données :

$$I_{r_i} = (k_c' \cdot EV_i - Pe_i) + Pr_i \quad (6)$$

$$I_{r_i} = (k_c' \cdot EV_i - Pe_i) + Pr_i - L_{i-1} + L_{min_i} \quad (7)$$

En utilisant les lois de distribution de Pe_i et EV_i , variables aléatoires, on peut obtenir, pour différentes valeurs de k_c' correspondant à des phases de croissance du riz, celles de $(k_c' \cdot EV_i - Pe_i)$ pour différents niveaux de probabilité (SIDDEEK *et al.*, 1988 ; AZHAR *et al.*, 1992). Mais la série de données d'évaporation utilisables (10 ans) étant insuffisantes pour une analyse statistique, nous avons utilisé les moyennes de l'évaporation hebdomadaire brute. Finalement, seule la pluviométrie a été considérée comme variable aléatoire. Or, les lois de probabilité s'ajustent mal aux besoins en eau d'irrigation, à cause du grand nombre des valeurs nulles de la pluviométrie (YONTS *et al.*, 1979). Pour contourner cette difficulté, on peut normaliser les données en les transformant, afin d'utiliser les propriétés de la loi Normale.

Ainsi deux méthodes de transformation ont été utilisées : la transformation puissance (BOX et COX, 1964) et la méthode « SMAX » (BETHALMY, 1977). Les données pluviométriques couvrent une période de 29 ans (1965-1993) et proviennent de la station agrométéorologique de Mogtêdo.

Transformation puissance

Les formules utilisées sont :

$$Y = (X^\lambda - 1)/\lambda \quad \text{si } \lambda \neq 0 \quad (8)$$

$$Y = \ln X \quad \text{si } \lambda = 0 \quad (9)$$

avec Y : variable transformée ;
 X : variable brute ;
 λ : constante.

La meilleure valeur de λ est celle qui donne à l'échantillon de données transformées un coefficient d'asymétrie nul et un coefficient d'aplatissement égal à 3. Elle a été déterminée par simple itération comme suggéré par ALDABAGH *et al.* (1982)

Méthode SMEMAX

Cette transformation est une solution trigonométrique dans laquelle on considère que les données correspondant à la plus petite valeur (SMALLEST), à la valeur médiane (MEDIAN) et à la plus grande valeur (MAXIMUM) de l'échantillon d'origine représentent respectivement les 3 sommets d'un triangle rectangle. Les autres données brutes étant réparties sur la base et la hauteur du triangle. La valeur transformée de chaque donnée correspondrait à sa projection sur l'hypoténuse. On aura donc :

$$Y = (X - X_s) / 2 \cos A \quad \text{pour } X < X_m \quad (10)$$

$$Y = [(X_m - X_s) + (X - X_m) \cdot \cot A] / 2 \cos A \quad \text{pour } X > X_m \quad (11)$$

- avec
- Y : variable transformée ;
 - X : variable brute ;
 - X_m : médiane ;
 - X_s : variable ayant la plus petite valeur ;
 - A : $\text{Arctan} [(X_1 - X_m) / (X_m - X_s)]$;
 - X_1 : variable ayant la plus grande valeur.

Description du cadre d'application de la méthode

La méthode est appliquée à la riziculture de saison humide sur le périmètre irrigué de Mogtéo (Centre du Burkina Faso). Le climat de cette région est de type nord-soudanien, où la saison humide, relativement courte, commence progressivement à partir de fin mai et se termine brusquement au début du mois d'octobre (figure 3). L'irrégularité interannuelle de la pluviométrie mensuelle est très grande, surtout pour les mois de transition, c'est-à-dire mai, juin et octobre. Le repiquage du riz a lieu essentiellement en fin juillet/début août. Comme le cycle des variétés de riz cultivées sur le périmètre se situe entre à 120 et 130 jours, une bonne partie de cette campagne se déroulera au-delà de la saison pluvieuse et sous une demande évaporative importante (figure 3).

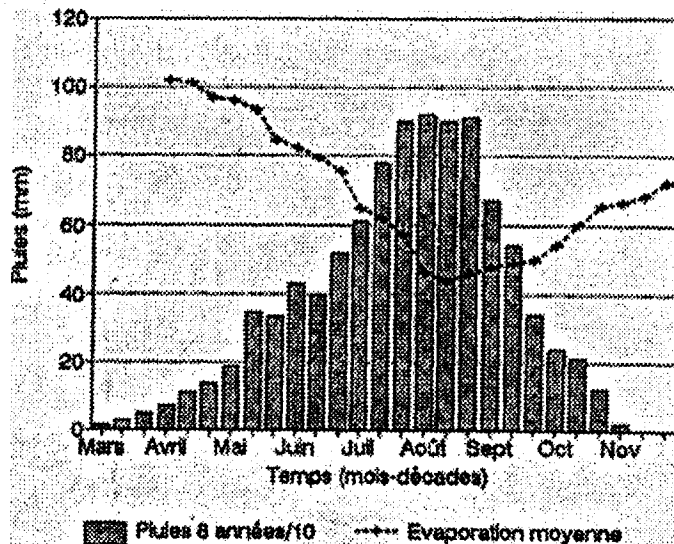


Figure 3. Moyennes décadaires de la pluviométrie (1970-1977 et 1980) à Mogtéo

Résultats et discussions

La lame d'eau et le drainage

Les mesures effectuées sur près de 15 % des parcelles du périmètre montrent que la hauteur moyenne des diguettes est de 20 cm avec un écart-type de 4,6. Or, la lame d'eau n'atteint qu'exceptionnellement cette hauteur ; le terme du drainage superficiel est donc négligeable.

L'analyse des données climatiques

Les pluies

Comme le montre le tableau I, la distribution des données de la pluviométrie hebdomadaire, brutes ou transformées par la méthode SMEMAX, ne répondent pas aux critères de normalité. En effet, si les coefficients d'aplatissement sont plus ou moins proches de 3, les coefficients d'asymétrie restent forts (très différents de zéro). Seule la transformation puissance donne des coefficients assez proches respectivement de 3 et de zéro. C'est donc cette méthode qui a été retenue. La valeur moyenne de la constante λ utilisée dans la transformation est de 0,907 ($\sigma = 0,094$). Les données transformées ont un C_k égal à 2,987 ($\sigma = 1,137$) et un C_s égal à 0,027 ($\sigma = 0,047$). On constate que si le premier paramètre est très proche de 3, le second est légèrement différent de zéro, même s'il l'est moins que pour les autres méthodes. On peut néanmoins le retenir, puisque, selon YEVEJEVICH (1972), un écart de $\pm 0,05$ autour de zéro est acceptable.

Tableau I. Normalisation de la pluviométrie hebdomadaire de Mogtéo (1965 -1993)

	Coefficient d'asymétrie		Coefficient d'aplatissement	
	C_s	σ	C_k	σ
Données brutes	2,087	1,838	2,660	1,755
Transformation puissance	0,027	0,047	2,987	1,137
Transformation SMEMAX	1,261	2,557	3,289	2,642

L'évaporation

Les données du tableau II qui illustrent la faible variabilité interannuelle de l'évaporation (pour un mois donné) justifient l'utilisation des moyennes de ce paramètre. Durant l'hivernage, les fluctuations de l'évaporation sont plus faibles (la variabilité de la pluviométrie est également réduite) au milieu de la saison (août, septembre) qu'au début (juin) ou à la fin de celle-ci (septembre, etc.).

**Tableau II. Moyennes mensuelles (en mm/j) de l'évaporation (bac A)
à Mogtêdo***

	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
1970	7,3	6,2	4,0	5,0	6,8	6,1
1971	7,3	6,4	4,2	5,1	6,4	6,0
1972	6,2	6,3	4,6	5,3	7,0	6,3
1973	6,5	6,0	4,5	5,2	6,7	6,8
1974	-	-	-	-	-	-
1975	7,0	5,8	4,5	5,3	6,0	6,3
1976	6,8	5,6	4,4	5,6	6,5	6,5
1977	7,1	5,7	3,9	5,1	5,7	6,0
1978	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-
1980	6,8	5,9	4,3	5,4	6,0	5,5

(*) Données disponibles au moment de l'étude

Application du modèle

Les besoins en eau d'irrigation (Ir_i) sont calculés à partir de l'équation 7 (cas général) en utilisant les valeurs probables de $(k_c' \cdot EV_i - Pe_i)$, représentant le déficit climatique, obtenues à partir des figures 4, 5, 6. L'estimation des besoins en eau peut se faire à partir de la mi-juin, période de la mise en place intensive des pépinières et du début du repiquage du riz. Les valeurs de $(k_c' \cdot EV_i - Pe_i)$, donc les besoins en eau, sont déterminés par semaines glissantes. Ainsi, les besoins en eau du riz pour les semaines commençant, par exemple, le 1^{er}, le 2, le 3, ... juillet, peuvent être calculés. Dans ce cas, L_{i-1} doit être connue avant chaque irrigation. Ce paramètre peut être mesuré à la parcelle à la fin de chaque période, c'est-à-dire avant l'irrigation suivante. Si cela est impossible, on peut le calculer par l'équation (12) ci-dessous, à partir des résultats du bilan hydrique de la semaine précédente :

$$L_{i-1} = L_{i-2} + Ir_{i-1} - k_c' \cdot EV_{i-1} + Pe_{i-1} - Pr_{i-1} \quad (12)$$

avec

- L_{i-2} : hauteur de la lame d'eau au début de la période précédente (mm) ;
- Ir_{i-1} : irrigation au cours de la période précédente (mm) ;
- Ev_{i-1} : évaporation mesurée au cours de la période précédente (mm) ;
- Pe_{i-1} : pluie enregistrée au cours de la période précédente (mm) ;
- Pr_{i-1} : percolation durant la période précédente (mm).



La valeur de L_{j-1} peut être forte s'il pleut au cours de la période considérée (sa hauteur peut alors dépendre de l'importance de la pluie), et faible dans le cas contraire.

L'analyse des figures 4, 5, et 6 révèle que les besoins en eau d'irrigation décroissent rapidement à partir du 15 juin pour atteindre leur minimum en août, Pr_j étant plus ou moins constante et relativement faible. Ce minimum et sa durée varient suivant le niveau de probabilité choisi pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation. On constate que pour satisfaire les besoins en eau avec une probabilité de 60 % (figure 4), on n'a pas besoin d'irriguer en août, alors que si l'on choisit une irrigation très intensive (probabilité de 90 %), il faut irriguer durant toute la campagne (figure 6).

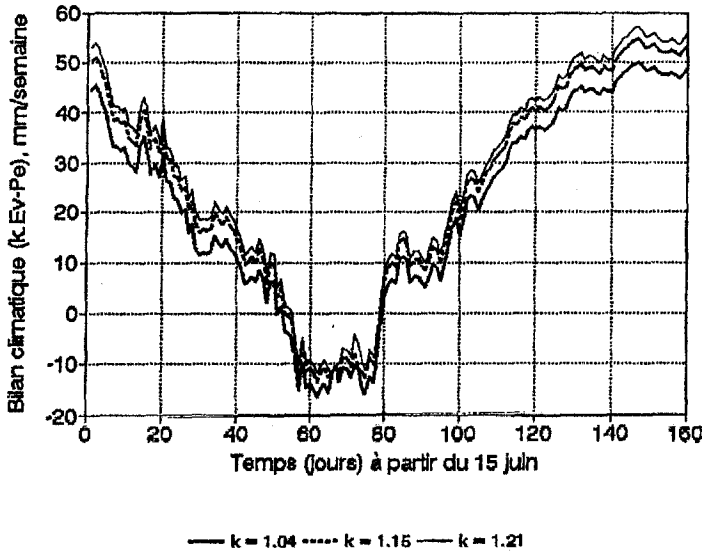


Figure 4. Détermination des besoins en eau du riz irrigué (notamment le déficit climatique) à Mogtédó avec une probabilité au dépassement de 60 %

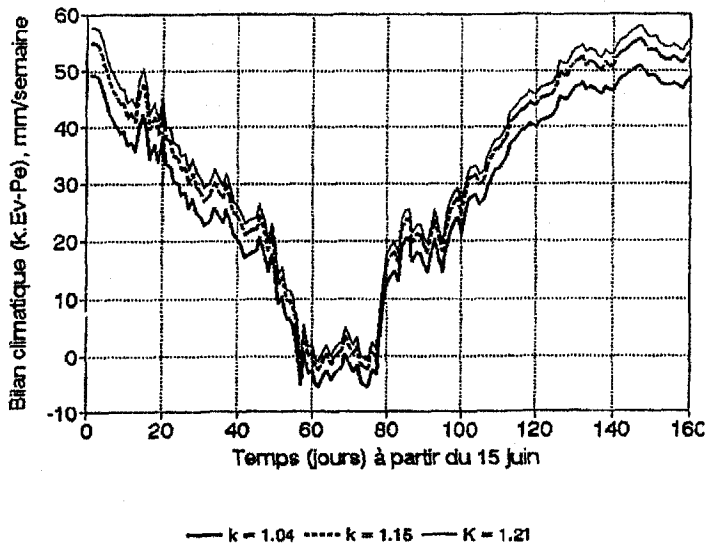


Figure 5. Détermination des besoins en eau du riz irrigué (notamment le déficit climatique) à Mogtédó avec une probabilité au dépassement de 75 %

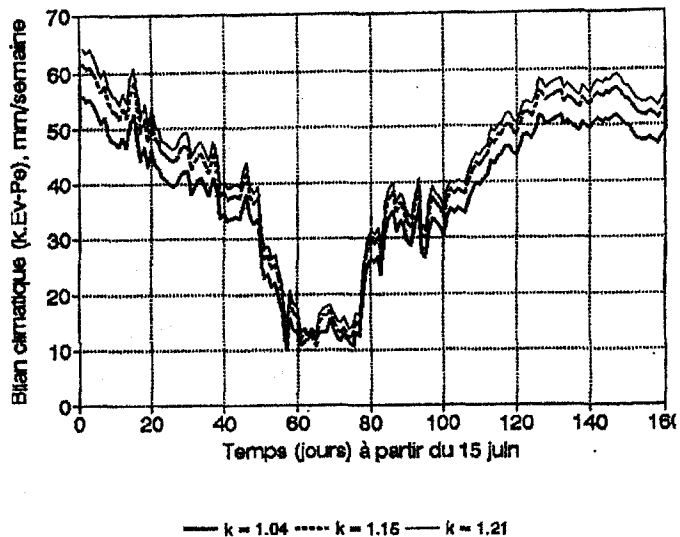


Figure 6. Détermination des besoins en eau du riz irrigué (notamment le déficit climatique) à Mogtêdo avec une probabilité au dépassement de 90 %

Exemple de calcul de Ir_i :

Admettons qu'on veuille irriguer, le 26 septembre, un bloc où le riz se trouve à la phase reproductive et la lame d'eau à une hauteur de 6 cm. Le seuil de probabilité choisi pour satisfaire les besoins en eau étant de 75 %. On aura donc :

- Le 26 septembre = 100 jours après le 15 juin ;
- A phase reproductive : $k_c' = 1,21$;

Avec ces 2 données et la probabilité retenue, on obtient, à partir de la figure 5, la valeur de $(k_c' \cdot EV_i - Pe_i)$ qui est de 30 mm.

- $L_{min_i} = 50$ mm (plus de 5 semaines après le repiquage) ;
- $L_{i-1} = 6$ cm = 60 mm ;
- $Pr_i = 3$ mm/j x 7j = 21 mm .

En reportant ces données dans l'équation (7), on détermine les besoins en eau d'irrigation :

$$Ir_i = 41 \text{ mm, soit } 410 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Conclusion

Le modèle, tel qu'il est proposé, peut être appliqué avec succès et permettre des économies d'eau importantes en saison humide, si les tours d'eau sont respectés et le calendrier cultural bien maîtrisé. Au moment des irrigations, le riz doit être à peu près à la même phase de croissance sur les différentes parcelles, au moins par bloc d'irrigation.

L'encadrement technique et les paysans devraient porter une attention particulière au suivi des variations du niveau d'eau dans les parcelles.

L'adaptabilité du modèle aux situations les plus fréquentes sur les périmètres irrigués de la région (fonctionnement des ouvrages hydrauliques, habitudes relatives à la gestion de l'eau et aux pratiques culturales, conditions pédoclimatiques, etc.) mériteraient d'être étudiée de façon approfondie, afin de rendre cet outil plus pratique.



Références bibliographiques

- ALDABAGH A. S., RASHEED et RAMOORTHY H., 1982.** Dry days analysis for planning upland irrigation schemes., Trans. of ASAE, 1982, 150-159.
- AZHAR A.H., MURTY V.V.N. et PHIEN H.N., 1992.** Modeling irrigation for lowland rice with stochastic rainfall. Journ. of irrig. and drainage engeneering, vol. 118, n°1, 36-55.
- BETHALMY, N., 1977.** Flood analysis by SMEMAX transformation. J. Hydr. Div., ASCE, 103(1), 69-78.
- BOX, G. E. O. et COX, D. R., 1964.** An analysis of transformation. J. Royal Statistical Society, London. England, B26, 211-252.
- DEMBÉLÉ Y., 1991.** Études des besoins en eau du riz irrigué dans différentes conditions pédoclimatiques du Burkina Faso. Actes sémin. intern. sur « l'influence du climat sur la production des cultures tropicales » Ouagadougou (Burkina Faso), 23-28 Sept. 1991, CTA (Pays-Bas), ISESCO (Rabat - Maroc), 118-127.
- DEMBÉLÉ Y., 1995.** Modélisation de la gestion hydraulique d'une retenue d'irrigation. Application au périmètre rizicole de Mogtédó. Thèse Doct., ENSA Rennes (France), 156p.
- HENDRICKX J.M.H., VINK N.H. et FAYINKE J., 1986.** Water requirement for irrigated rice in a semi-arid region in West Africa. Agric. water management, 11, 75-90.
- IRAT, 1969.** Rapport de campagne 1968/1969 de la Station d'Expérimentation Hydroagricole (SEHA) de Mogtédó, CIRAD, Montpellier (France).
- KAMPEN J., 1970.** Water losses and water balance studies in lowland rice irrigation. Ph D Thesis, Cornell univ., New York.
- KOPEC A.R., LANGLEY M.N. et BOS M.G., 1984.** Major variables which influences effective precipitation. ICID Bull, V33, 42, july, 65-70.
- MANDAL B. K. et CHATTERJEE B. N., 1984.** Growth and yield performance of selected rice varieties during cooler months under two water regimes. Indian J. Agron., 29, 94-100.
- RAES D., SYNC B., SERNEELS S. et VAN PASSEL L., 1991.** Analyse du bilan d'eau de deux cuvettes du delta du fleuve Sénégal. Bull. Techn. n° 3 du Projet Gestion de l'Eau. SAED, Saint Louis (Sénégal), 69p.
- SANDHU B.S., KHERA K.L., PRIHAR S. et Singh B., 1980.** Irrigation needs and yield of rice on a sandy Loam soil as affected by continuous and intermittent submergence. Indian J. Agric. Sci., 50(6), 492-496.
- SIDDEEK F.Z., DILLAHA J.A. et LOGANATHAN G.V., 1988.** Water management for lowland rice irrigation. Journ. of Irrig. and Drainage Engineering (ASCE), 114 (3), 407-423.
- TALSMA T. et VAND DER LELIJ A., 1976.** Water balance estimation of evaporation from ponded rice field in semi-aride region., Agric. water management, 1, 89-97.
- TOMAR V.S. et O'TOOLE V.S., 1980.** Water use in lowland rice cultivation in asia. A review of evapotranspiration, Agric. water management, 3, 83-106.
- TSUTSUI H., 1984.** Production agricole et maîtrise des eaux. In : Lutte anti-vectorielle dans les rizières par l'aménagement de l'environnement. Bull. D'irrig. Et de Drainage, n°41, FAO, Rome (Italie), 142-164.
- YEVJEVICH V., 1972.** Probability and statistics, in Hydrology water resources publication. Fort Collins, Colorado, 118-181.
- YONTS C.D., BURMAN R.D. et ANDERSON D.A., 1979.** Climatic probability of irrigation requirements. ASAE paper, n° 79-4039, ASAE, St Joseph Mich.