

Comparaison des méthodes d'estimation de l'évapotranspiration de référence dans la région du Tadla-Maroc

Zeggaf T.A.¹, El Mourid M.¹, Karrou M.¹, Steduto P.²

¹Centre Aridoculture de l'INRA-Settat. B.P 589. Maroc

²IAM-Bari (CIHEAM), Italie

Résumé

L'estimation de l'évapotranspiration est une étape primordiale dans la modélisation de la production végétale et dans la planification de l'irrigation. Dans cette étude, une comparaison entre neuf méthodes d'estimation de l'évapotranspiration de référence a été entreprise à la station de Ouled Gnaou (région semi-aride du Maroc central) en vue de déterminer les plus performantes. La comparaison de la performance de ces dernières a été faite aux pas de temps décadaire et mensuel. A cette fin, des mesures lysimétriques du gazon et des données climatiques d'une série de trois années (1975, 1977 et 1978) ont été collectées auprès de la station expérimentale de Ouled Gnaou. Les méthodes choisies sont: quatre méthodes combinées (Penman originale, Penman FAO modifiée, Penman-Monteith et Penman avec vent diurne), quatre radiatives (Priestley-Taylor avec $\alpha=1$ et $\alpha=1.24$, la radiation FAO et la Rn qui suppose que tout le rayonnement reçu est transformé en chaleur latente), et une méthode de température (Blaney-Criddle modifiée par le Service de Conservation du Sol). L'étude de la performance de chacune des méthodes montre que la méthode Priestley-Taylor ($\alpha=1$) donne les meilleurs résultats d'estimation de l'évapotranspiration de référence suivie de près par la méthode Penman-Monteith. En général, les méthodes combinées simulent assez bien la demande climatique. Cependant la méthode Penman FAO modifiée engendre des surestimations importantes de la demande évaporative du climat. Dans les conditions de Ouled Gnaou, la méthode Blaney-Criddle modifiée par le Service de Conservation du Sol est peu performante à l'échelle décadaire mais donne des résultats moyennement précis à l'échelle mensuelle. Enfin, les écarts de performance entre les différentes méthodes sont moins prononcés à l'échelle mensuelle qu'au pas de temps décadaire.

Mots clés : Evapotranspiration de référence, modèle, gazon, lysimètre, climat

Abstract : Comparison of reference evapotranspiration estimation methods in Tadla region Morocco

Appropriate Evapotranspiration (ET) estimates are needed for crop performances modeling and irrigation scheduling. An accurate ET estimation model is required for agroecological zones of Morocco. In this study, a comparison of nine methods of estimating grass reference evapotranspiration was carried out for Ouled Gnaou (a semi-arid region of central Morocco) experiment station. Three years (1975, 1977 and 1978) of lysimetric and climatic data were gathered for that purpose. This comparison involved: four combined methods (original Penman, FAO modified Penman, Penman-Monteith and Penman with day time wind only), four radiation methods (FAO radiation, Priestley-Taylor with $\alpha=1$ and $\alpha=1.24$ and a radiation method which consider that all radiation intercepted by the cover is converted into latent heat) and a temperature based method (Blaney-Criddle modified by the U.S Soil Conservation Service). The results show that, under the climatic conditions of Ouled Gnaou station, the Priestley-Taylor ($\alpha=1$) method is the best in estimating reference crop evapotranspiration followed by the Penman-Monteith equation. Generally, combined formulas follow closely the evaporative demand except for the FAO modified Penman which results in a large overestimation. The Blaney-Criddle method modified by the Soil Conservation Service performed poorly at decadal basis, but it has performed better on monthly basis. Finally, differences in performance among methods are rather greater at decadal than at monthly bases.

Keys Words : Reference evapotranspiration, model, lysimeter, climate

ملخص : مقارنة بين قوالب معاينة تبخر المياه في منطقة تادلة، المغرب

زكاف ط.أ.1، المرید م.1، قرو م.1 و استديتوب.2

1 المعهد الوطني للبحث الزراعي، ص.ب. 589، سطات، المغرب

2 CIHEAM، إيطاليا

إن معاينة تبخر المياه تكتسي أهمية قصوى فيما يخص قولبة الإنتاج الفلاحي و تدبير مياه السقي. في هذه الدراسة، أجرينا مقارنة بين تسع قوالب لمعاينة تبخر المياه في ضيعة تجارب أولاد أكتاوا. الهدف من هذه المقارنة هو اختيار القالب الأكثر دقة. نذكر أن هذه المقارنة أجريت على فترتين تعادلان عشرة أيام و شهر. في هذا الصدد، استجمعنا عدة معطيات مناخية و مائية لفترة تمتد من 1975 إلى 1978. قراءة حول فعالية كل قالب لمعاينة تبخر المياه تعطينا النتائج التالية :

- 1- طريقة (Penman-Monteith) تعطي نتائج جيدة رغم أنها تحتاج في حساباتها إلى عدة معطيات مناخية.
- 2- طريقة (Priestley-Taylor مع $a=1$) تعطي أحسن النتائج على الإطلاق مع العلم أنها أقل كلفة من ناحية المعطيات المناخية.

- 3- طريقة (Blaney-Griddle) بتعديل من (Soil Conservation Service) تعطي نتائج أقل دقة في فترة عشرة أيام لكنها تحسن نتائجها حين تستعمل على مدة شهر.
- 4- الفوارق بين نتائج كل طرق معاينة تبخر المياه مهمة في فترة عشرة أيام و تتقلص عند استعمالها في فترة شهر.

الكلمات المفتاحية : تبخر الماء، قالب، مناخ

Introduction

Au Maroc, l'eau est non seulement un facteur limitant de la production végétale mais elle est devenue aussi une source limitée. Aussi, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau, l'augmentation et la stabilisation des rendements dans les différentes zones agroécologiques marocaines passent par une gestion rationnelle de cette ressource. Ainsi, la quantification des ressources et des besoins en eau des cultures constitue une étape importante dans la planification et dans le management de l'irrigation. Elle est d'une importance capitale dans le cycle hydrologique d'autant plus qu'elle conditionne le bilan hydrique depuis la chute de pluie sur le sol jusqu'au déversement des résidus dans l'océan.

La quantification de l'évapotranspiration est possible par un grand nombre de méthodes : directement à l'aide d'un évapotranspiromètre, ou indirectement par la méthode du bilan hydrique, les méthodes micrométéorologiques (méthode du rapport de Bowen, la méthode aérodynamique simplifiée, thermométrie de surface...) (McIlroy, 1977) ou bien par le biais de formules empiriques intégrant des paramètres climatiques et des coefficients identifiant les conditions physiques des cultures (Doorenbos and Pruitt, 1975 ; Penman, 1948 ; Priestley-Taylor, 1972 ; Smith et al., 1991).

Plusieurs formules déterminant l'utilisation de l'eau par les cultures à partir des données climatiques ont été développées sur la base de données expérimentales collectées par les chercheurs et les ingénieurs à travers le monde. De ce fait, ces formules ont connu un développement croissant et sont évaluées dans des contextes climatiques assez variés. Les possibilités de leur application dépendent de la disponibilité des données climatiques mesurées dans la région concernée par l'application.

L'objectif principal de cette étude est l'évaluation de la performance des différentes procédures d'estimation de l'évapotranspiration de référence (ET_o) aux échelles de temps décadaire et mensuel au Maroc.

Matériel et méthodes

Le présent travail vise l'évaluation de la performance de différentes méthodes d'estimation de l'ET_o. Pour cela, une comparaison de méthodes climatiques d'estimation de l'ET_o a été menée sur la base de données lysimétriques et climatiques enregistrées sur trois années (1975, 77 et 78) à la Station Expérimentale de l'Hydraulique Agricole (S.E.H.A) de Ouled Gnaou (Maroc

central) relevant de l'actuelle Administration du Génie Rural. Elle est située à 445 m d'altitude avec les coordonnées géographiques suivantes: 32°17' latitude et 6°31' longitude.

Le sol de la station est un calcimagnésique vertique. La station est située dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers frais. La figure 1 (élaborée sur une série de 32 ans, de 1951 à 82) montre l'importante variation interannuelle des précipitations, caractéristique des zones semi-arides où l'aléa climatique est une contrainte majeure à la production végétale.

Neuf méthodes d'estimation de l'évapotranspiration de référence les plus couramment utilisées ont été choisies pour leur comparaison avec les données lysimétriques du gazon, puis pour l'évaluation de leurs performances aux pas de temps décadaire et mensuel (Tableau 1). Celles-ci comprennent des méthodes analytiques ou physiquement basées (méthodes combinées) et des méthodes empiriques se basant essentiellement sur la température ou la radiation solaire. Ces dernières nécessitent une calibration avant leur utilisation dans une région donnée.

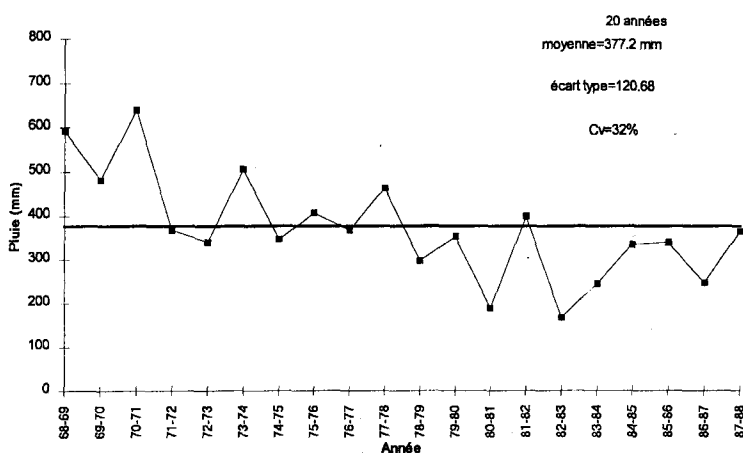


Figure 1. Evolution des précipitations annuelles de 1968 à 1988 à la station de Ouled Gnaou

Tableau 1. Différentes méthodes d'estimation de l'ET_o utilisées.

Méthode	Type	Type d'estimation	symbole
Penman-Monteith	combinée	référence gazon, ET _o	PM
Penman originale	combinée	référence gazon, ET _o	PEN
FAO Penman	combinée	référence gazon, ET _o	FAOP
Penman originale avec vent diurne	combinée	référence gazon, ET _o	PUD
Priestley-Taylor ($\alpha = 1$)	radiation	larges régions pluviales	PT1
Priestley-Taylor ($\alpha = 1.26$)	radiation	larges régions pluviales	PT
FAO radiation	radiation	référence gazon, ET _o	FAOR
Radiation nette	radiation	référence gazon, ET _o	Rn
SCS Blaney-Criddle	température	évaporation à partir d'une culture spécifique	SCSB

Les données engendrées par chaque méthode sont analysées et des paramètres statistiques telle que l'erreur standard d'estimation (SEE) ont été utilisés. Ce paramètre donne un poids absolu égal aux différences entre les valeurs estimées et mesurées et est calculé par la formule suivante :

$$SEE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{i.es})^2}{n-1} \right]^{0,5}$$

Où : Y_i : ET lysimétrique moyenne de la i ème décade.

$Y_{i.es}$: ET estimée correspondante.

n : nombre total d'observations.

L'erreur standard d'estimation est calculée pour toutes les décades de l'année (SEE) et pour les décades à forte demande évaporative (SEEp) correspondantes aux mois de juillet et août.

Enfin, pour évaluer la performance des différentes méthodes d'estimation de l'ET_o, l'indice WSEE, ou erreur standard d'estimation pondérée en mm (Jensen et al., 1990) a été utilisé. C'est sur la base de cet indice que ces modèles ont été classés :

$$WSEE = 0.7*(0.67*SEE + 0.33*ASEE)+0.3*(0.67*SEEp+0.33*ASEEp)$$

Les SEE utilisés sont obtenus en estimant le poids de l'ensemble des valeurs décadaires à 70 %, le poids des valeurs des décades à forte demande évaporative à 30 %. A l'intérieur de chacun de ces groupes, deux tiers du poids sont octroyés aux valeurs non ajustées (SEEp) alors que le tiers restant est placé sur le SEE des estimations de l'ET ajustées (ASEEp).

Résultats et discussion

Evaluation des méthodes d'estimation de l'ET_o sur la base décadaire

Les évolutions des évapotranspirations (ET) à la station de Ouled Gnaou, groupées par type d'estimation (méthodes combinées, radiatives et de température) ainsi que les valeurs lysimétriques mesurées correspondantes sur gazon sont présentées dans la figure 2.

Théoriquement, les méthodes les plus précises doivent donner des estimations (ET) qui sont voisines ou parallèles, le long des décades, aux mesures lysimétriques. Ceci est particulièrement le cas pour les deux méthodes : PM et PT1 qui se distinguent clairement des autres formules surtout pendant les décades à forte demande évaporative. La méthode SCS Blaney-Criddle présente des écarts importants avec les données lysimétriques du gazon. Ces écarts sont maintenus durant les décades à forte demande évaporative. Cette méthode produit une surestimation voisine de celle obtenue à Sidi El Aidi sur cases lysimétriques par Ezzahar (1990) est qui est égale à 42 %. En effet, l'utilisation des équations basées sur l'approche de Blaney-Criddle

n'est plus recommandée (Smith et al., 1991). Néanmoins, son utilisation garde tout son intérêt dans les zones où seules des données de température et de pluie sont disponibles. Le tableau 2 résume en termes quantitatifs, les différences d'estimations entre les méthodes utilisées par rapport aux données lysimétriques.

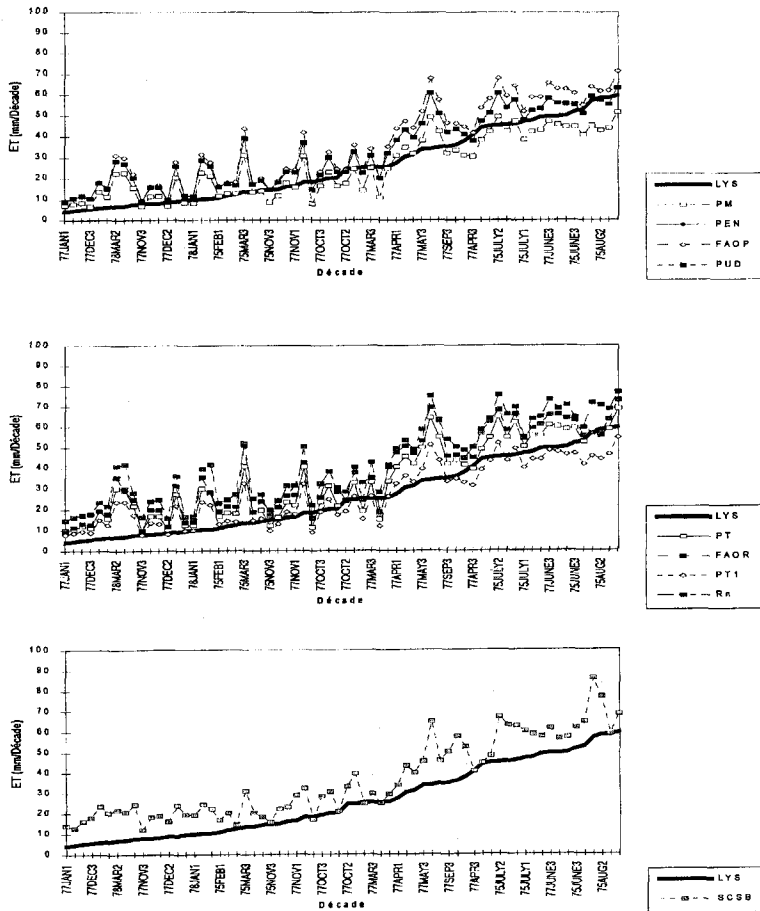


Figure 2. Evapotranspiration mesurée par lysimètre et Estimations décadaires de l'ETO groupées par type de méthodes (combinées, radiatives, température)

Tableau 2. Estimations des ETo moyennes décadaires et pourcentages des mesures lysimétriques correspondantes pour toutes les décades ainsi que pour les décades à forte demande évaporative.

	Combinées					Radiatives			Temp.	Direct
	PM	PEN	FAOP	PUD	PT	FAOR	PT1	Rn	SCSB	LYS
D	25.71	32.95	36.01	32.94	34.21	40.12	27.12	40.36	36.33	26.03
% D	99	126	138	126	131	154	104	155	139	---
PD	43.52	55.67	61.53	55.65	56.88	68.52	45.05	59.70	67.02	52.89
% PD	82	105	116	105	107	129	85	113	127	---

D et PD : ET moyennes décadaires pour toutes les décades de l'année et pour les décades à forte demande évaporative ; % D et % PD : Pourcentage d'estimation par rapport aux mesures lysimétriques correspondantes pour toutes les décades et pour les décades à forte demande évaporative.

Pendant toute l'année, les estimations les plus raisonnables sont réalisées par les deux méthodes : PM et PT1 avec des pourcentages de mesures lysimétriques correspondantes proches de 100 %. Les autres méthodes (PEN, PUD, PT) induisent des surestimations moyennement importantes. Les pourcentages d'estimation les plus élevés sont engendrés par FAOP, SCSB puis par FAOR et Rn.

Durant les décades à forte demande évaporative, la plupart de ces formules surestiment moins la demande évaporative. Certaines méthodes telles que PM et PT1 enregistrent même une sous-estimation de l'ordre de 8 et 5 % respectivement. Dans une moindre mesure, les surestimations des autres méthodes (FAOP, FAOR, Rn et SCSB) sont atténuées. Cependant, elles restent toujours relativement élevées. Nos résultats concernant les surestimations engendrées par la méthode FAOP confirment ceux de Pruitt and Swann (1986) et ceux de Jensen et al. (1990) qui sont parfois de l'ordre de 30 à 35 %.

Pour évaluer la performance des différentes méthodes d'estimation de l'ETo, un certain nombre de paramètres statistiques ont été utilisés (Tableau 3) et visualisés graphiquement (figure 3).

Tableau 3. Paramètres statistiques des ET estimées décadaires pour les deux types de régression.

	Combinées				Radiatives				Temp.
	PM	PEN	FAOP	PUD	PT	FAOR	PT1	Rn	SCSB
r	0.90	0.92	0.91	0.92	0.90	0.92	0.90	0.85	0.94
b	0.74	0.90	1.03	0.90	0.94	1.11	0.75	0.87	1.04
SEE	0.77	0.98	1.28	0.98	1.15	1.65	0.77	1.74	1.23
Ar	0.87	0.87	0.88	0.87	0.85	0.87	0.85	0.65	0.90
Ab	0.91	1.16	1.28	1.16	1.20	1.41	0.95	1.35	1.29
ASEE	0.27	0.49	0.87	0.49	0.64	1.29	0.14	1.09	0.91

Ar : coefficient de corrélation pour la régression à travers l'origine des données lysimétriques sur les données estimées.

Ab : coefficient de régression (pente) pour la régression à travers l'origine des données lysimétriques sur les données estimées.

ASEE : erreur standard d'estimation des ET estimées (mm/jour) préalablement ajustées par la régression à travers l'origine.

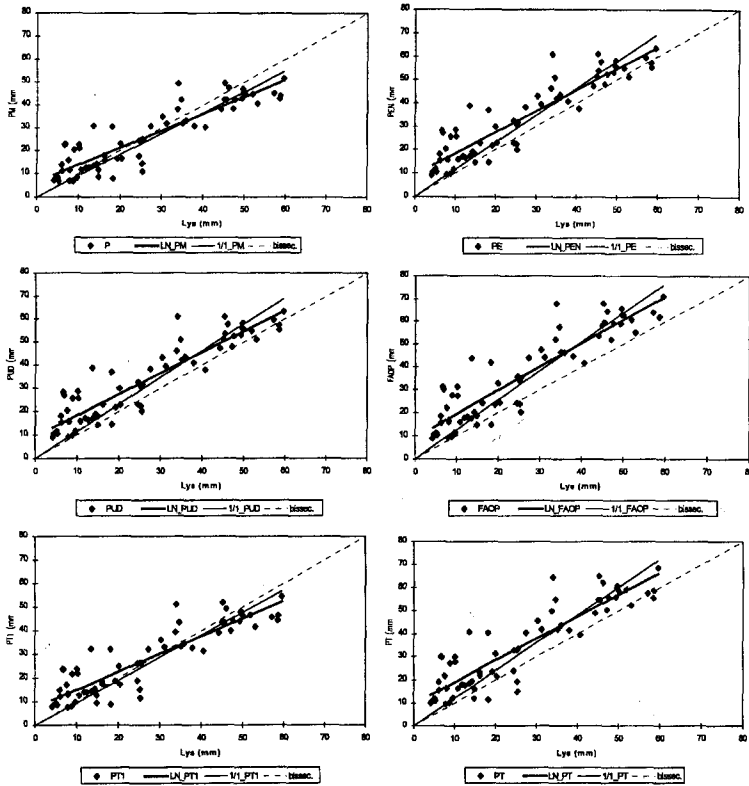


Figure 3. Régressions linéaires entre les données lysimétriques sur gazon et les estimations de l'ET₀ décadaires par les différentes méthodes (PM, PEN, PUD, FAOP, PT1 et PT)

Dans l'ensemble, les méthodes d'estimation de l'ET₀ utilisées dans cette étude présentent des coefficients de corrélation élevés, exception faite de la méthode Rn. La faible corrélation dans le cas de Rn est due au fait que cette méthode suppose que tout le rayonnement net reçu par le couvert végétal est transformé en chaleur latente de vaporisation. Ceci montre que la variabilité de la demande évaporative ne peut être expliquée que par l'intervention d'autres paramètres climatiques ou d'autres mécanismes de régulation. Les SEE les plus élevés sont enregistrés par les méthodes : FAOP, FAOR, PT, Rn et SCSB. Elles engendrent toutes des SEE supérieurs à 1 mm/jour.

Les résultats de classification des différentes méthodes selon le SEE pondéré (WSEE) sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Synthèse des statistiques et le classement des méthodes à l'échelle décadaire selon le SEE pondéré.

Méthode	Toutes les décades		Décades à forte évaporation		WSEE	Rang
	SEE	ASEE	SEEp	ASEEp		
PT1	0.77	0.14	1.01	0.27	0.62	1
PM	0.77	0.27	1.16	0.50	0.71	2
PEN	0.98	0.49	0.53	0.91	0.77	3
PUD	0.98	0.49	0.53	0.91	0.77	3
PT	1.15	0.64	0.69	1.18	0.94	5
FAOP	1.28	0.87	1.06	1.61	1.17	6
SCSB	1.23	0.91	1.84	1.69	1.32	7
Rn	1.74	1.09	1.03	2.02	1.47	8
FAOR	1.65	1.29	1.77	2.39	1.66	9

Ce classement confirme ce qui a été noté précédemment. La formule PT1 (méthode radiative) est la plus performante suivie de près par la PM (méthode combinée). De ce fait, ces méthodes simulent très bien la demande évaporative surtout pendant les décades à demande évaporative moyenne à faible. Cependant, les SEE deviennent plus importants durant les décades à forte demande évaporative, probablement parce que ces deux méthodes sous-estiment les conditions d'advection en été. D'ailleurs, en utilisant la formule de Priestley-Taylor avec $\alpha = 1$, on ne tient plus compte des conditions advectives du milieu environnant.

Evaluation des méthodes d'estimation de l'ETo sur la base mensuelle

La même démarche utilisée auparavant avec les données décadaires est refaite avec les données mensuelles. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5. Synthèse des statistiques et de classement des méthodes à l'échelle mensuelle selon le SEE pondéré.

Méthode	Tous les mois		Mois à forte évaporation		WSEE	Rang
	SEE	ASEE	SEEp	ASEEp		
FAOR	0.55	0.61	0.22	0.23	0.46	1
PUD	0.59	0.64	0.22	0.23	0.49	2
PEN	0.59	0.64	0.23	0.24	0.50	3
FAOP	0.60	0.63	0.24	0.25	0.50	4
SCSB	0.60	0.64	0.21	0.34	0.51	5
PM	0.63	0.69	0.24	0.24	0.53	6
PT	0.66	0.68	0.21	0.32	0.54	7
T1	0.70	0.73	0.22	0.32	0.57	8
Rn	0.78	0.85	0.11	0.36	0.62	9

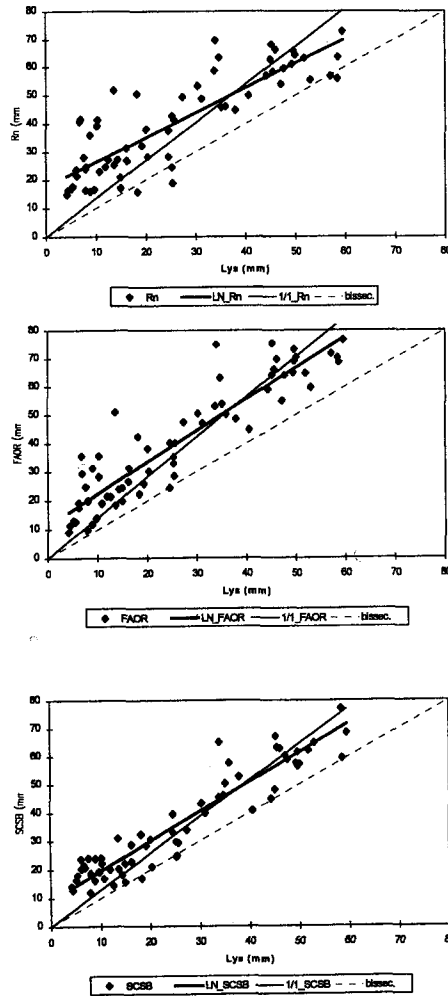


Figure 4. Régressions linéaires entre les données lysimétriques sur gazon et les estimations de l'ET0 décadaires par les différentes méthodes (Rn, FAOR, SCSB) à la station de Ouled Gnaou.

D'après le tableau 5, on note que les SEE baissent. De ce fait, lorsqu'on passe de l'échelle décadaire à l'échelle mensuelle, les erreurs sont réduites. Aussi, on retient que sur la base mensuelle, la FAOR devient la méthode la plus performante. Cependant, les écarts entre la FAOR et les autres méthodes ne sont plus importants. D'ailleurs, la différence du WSEE (critère de classement) entre la méthode FAOR et la Rn (la moins performante) n'est que de 0.16 mm/jour. A l'échelle mensuelle, la méthode SCSB engendre des résultats acceptables comparables à ceux d'autres méthodes nécessitant beaucoup plus de paramètres climatiques.

Conclusion

A l'échelle décadaire, le modèle qui simule le mieux la demande évaporative est PT1. Cette formule climatique se basant sur le rayonnement solaire est moins exigeante en données climatiques que les formules combinées. Néanmoins, ce modèle est suivi de près par la méthode PM. L'utilisation des méthodes PT, FAOP, SCSB, Rn et FAOR à l'échelle décadaire n'est pas recommandée à cause des erreurs d'estimations importantes et qui dépassent en général 1 mm/jour.

A l'échelle mensuelle, les différences de performance entre les modèles utilisés ne sont pas aussi importantes qu'à l'échelle décadaire. Cependant, la méthode FAOR est celle qui performe mieux à ce pas de temps. L'utilisation de la méthode SCSB à l'échelle de temps mensuelle est satisfaisante puisqu'elle donne des résultats aussi précis que ceux des autres méthodes.

Remerciement

Nous remercions le responsable de la Station Expérimentale de Ouled Gnaou (ORMVA Tadla) qui a bien voulu nous fournir les données brutes utilisées dans cette étude.

Références

- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1975. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, FAO, Rome. 179 pp.
- Ezzahar, B. 1990. Répartition de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère à l'échelle de la parcelle dans la plaine de la Chaouia (Maroc occidental). Thèse de Doctorat de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg I.
- Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen (ed). (1990). Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., Am. Soc. Civil Engrs., New York.
- McIlroy I.C. 1977. A systematic review of practical evaporation determination in the field. Conf. Int. sur l'Evapotranspiration, C.I.I.D., Budapest, mai 1977, Abst. p. 21.
- Penman, H.L. 1948. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. London Ser. A. 193 : 120-145.
- Priestley, C.H.B., and R.J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Mon. Weather Rev. 100 : 81-92.
- Pruitt, W.O. and B.D. Swann. 1986. Evapotranspiration studies in N.S.W. : Daily vs. hourly meteorological data. Irrigation'86, Darling Downs Institute of Advanced Education, Toowoomba, Queensland, Australia.
- Smith, M., R. Allen, J. Monteith, A. Perrier, L.S. Pereira, and A. Segeren. 1991. Report of the expert consultation on procedures of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. United Nations-Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, 54 pp.