
Soumis le : 02 Mai 2011

Forme révisée acceptée le : 18 Novembre 2011

Email de l'auteur correspondant :

theldjaoui@yahoo.fr

Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa)

BOUTELDJAOUI Fatah ^a, BESSENASSE Mohamed ^b, GUENDOOUZ Abdelhamid ^b

^aUniversité de Djelfa; Département d'Agropastoralisme, Cité Ain Chih, Bp 3117 (17000), Algérie.

^bUniversité Saâd Dahlab de Blida/Département des Sciences de l'eau et de l'environnement

Résumé

La gestion durable des ressources en eau nécessite une bonne maîtrise des termes du bilan hydrologique. L'évapotranspiration, facteur important de perte en eau de ce bilan, a été estimée sur la région de Djelfa située dans les hauts plateaux, par un ensemble de méthodes physiques sur une série des données climatiques (température, l'humidité relative, la précipitation, la durée insolation, la vitesse du vent et l'évaporation Pichet) recueillies au niveau de la station météorologique (ONM) de Djelfa, (1984-2006).

Les résultats montrent, qu'à l'échelle mensuelle, les valeurs de l'ÉvapoTranspiration Potentielle (ETP) obtenues par le modèle de Penman-Monteith, s'approchent des valeurs de l'ETP de Piche. Cependant, durant la saison sèche, cette méthode de calcul sous-estime considérablement l'évapotranspiration potentielle.

Par ailleurs, l'application des différentes approches pour l'estimation de l'ETP annuelle, met en évidence que la méthode de Blaney-Criddle, conduit à une meilleure estimation de cette composante climatique. Néanmoins, cette formule de calcul sous-estime l'ETP durant la période 1996-2001, avec un écart important pouvant atteindre 33.6 %.

Mots clés: Ressources en eau, Changement climatique, Bilan hydrologique, Evapotranspiration, Zone semi-aride, Djelfa.

Abstract

A sustainable water resource management requires the control of the component of hydrological balance. The evapotranspiration is the main factor of water loss in the area of Djelfa, with a semi arid climate. Several physical and empirical methods (Thornthwaite, Blaney-Griddle, Turc, Bouchet and the Penman-Monteith-FAO method) using climatic and meteorological data are now available to estimate potential evapotranspiration.

Climatic data available in the meteorological station of the Djelfa area covers the period 1984/1985 to 2005/2006. They include temperature, relative humidity, wind speed values and sunshine. Reference evapotranspiration has been calculated by all the models above. Resultants from using the over reference evapotranspiration calculation methods were compared to those from Piche evapotranspiration.

Keywords : Water resources, Climatic changes, Water budget, Evapotranspiration, semi-arid area, Djelfa

1. Introduction

L'évapotranspiration, composante essentielle du bilan hydrologique, permet de comprendre les mécanismes régissant les relations eaux de surface /eaux souterraines [8]. D'autre part, l'étude de ce paramètre présente un grand intérêt pour l'évaluation des besoins en eau d'irrigation et celle de la fluctuation des niveaux piézométriques des nappes phréatiques, suite à des changements climatiques [3]

Cependant, l'important développement socio-économique que connaît la région de Djelfa, sa réputation

agropastorale et son investissement dans des projets agricoles (cultures maraîchères, arbres fruitiers) se trouvent entravés par l'insuffisance des ressources hydriques. [6]

Ce déficit hydrique nécessite, par ailleurs, une gestion rationnelle, qui nécessite l'établissement d'un bilan hydrologique défini par :

$$P=Q+ETP+\Delta R$$

où P : représente les précipitations en mm,

Q : le débit de lame d'eau écoulée,

ETP : l'évapotranspiration en mm

ΔR : la variation de la réserve en eau en mm. [8]

La composante ETP est souvent déduite par soustraction à partir de l'équation de bilan ou estimée

expérimentalement à partir de l'évaporation bac, lysimètre et piche, ou calculée empiriquement, notamment par les formules empiriques (Penman-Monteith (1998), Thornthwaite (1944), Turc (1962), Bouchet (1963) [8,4]. Cependant, l'acquisition des données climatiques sur une longue période n'est pas toujours aisée.

L'objectif de ce travail est de calculer l'évapotranspiration potentielle (mensuelle et annuelle), en se basant sur les séries des données hydroclimatiques, enregistrées au niveau de la station météorologique de Djelfa, de 1984 à 2006 [7], avec une analyse comparative et statistique des résultats des différents modèles par rapport à l'ETP (Piche), qui permettra de choisir la

méthode de calcul appropriée au contexte climatique de la zone d'étude.

2. Situation géographique

La zone retenue, d'une superficie d'environ 32280,41 km², fait partie des hauts plateaux centre. Elle est située entre 33° et 35 ° de latitude Nord et 2° et 5° de longitude Est. Elle est caractérisée par une altitude variant de 150 m à 1613 m [7], et se trouve limitée au Nord par les wilayas de Médéa et Tissemsilt, à l'Est par Biskra et Msila, à l'ouest par Laghouat et Tiaret et au sud par El oued de Ghardaïa (Fig.1).

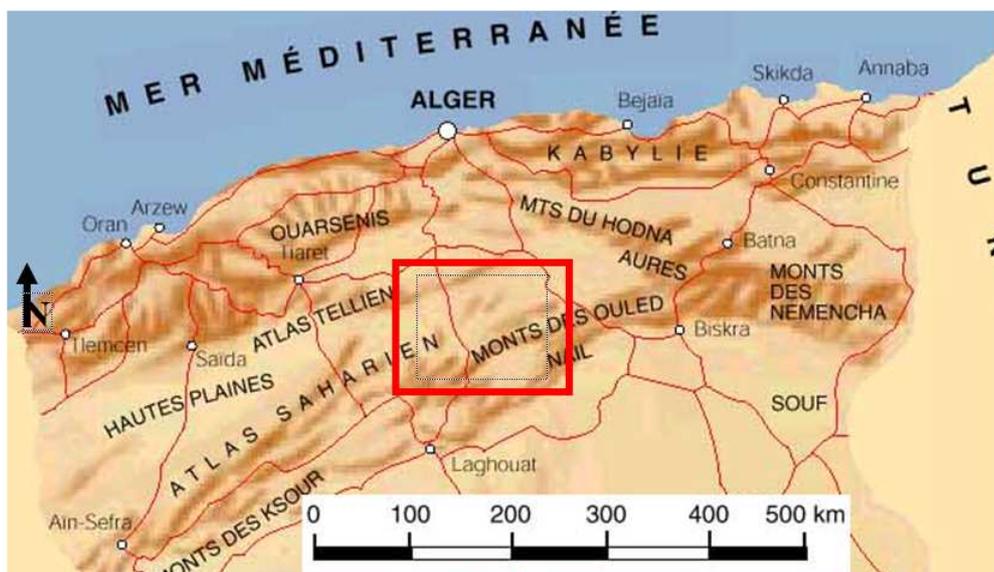


Fig.1. Carte de situation de la zone d'étude

3. Contexte climatique

La région de Djelfa est caractérisée par un climat sec et semi aride avec l'existence de deux saisons, l'une sèche et chaude l'autre pluvieuse et froide, la pluviométrie est faible et irrégulière (< 350 mm/an) [7]. Les températures moyennes mensuelles sur la période 1984-2006 sont comprises entre 4.60 °C et 26.56 °C (Fig.2a) et l'humidité relative moyenne mensuelle durant la même période est comprise entre 36.78 % et 75.65 %.

Le régime des vents est caractérisé par une variation saisonnière des directions dominantes avec des vents pluvieux du Nord-Ouest et des vents secs et chauds

soufflant du sud et ramenant des pluies orageuses et plus fréquentes pendant le mois de juillet.

Les fortes valeurs d'insolation sont observées pendant la saison sèche avec un maximum de (321.70 heures) au mois de juillet, tandis que durant la saison pluvieuse, l'insolation atteint un minimum de 168.87 heures en décembre (Fig.2c) .

L'évaporation dépend essentiellement de la température, mais aussi du vent et de l'humidité atmosphériques par des relations plus complexes. [8]. Les variations de l'évaporation piche sont assez marquées, avec deux minimums durant la période hivernale, des valeurs moyennes mensuelles interannuelles comprises entre (45.70 mm) observée au mois de janvier et (49.30 mm) au mois de décembre (Fig.2d).

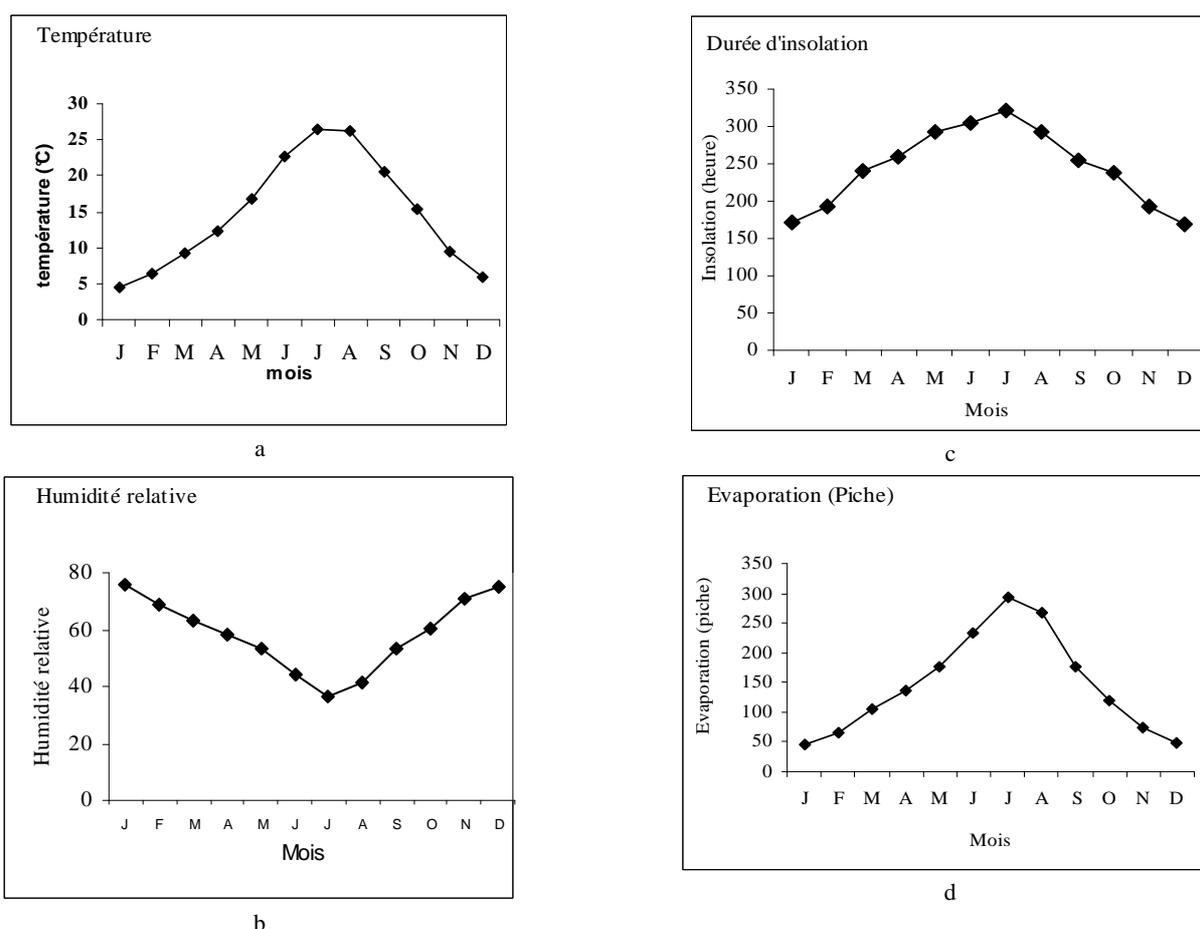


Figure 2 : Evolution des variables climatiques durant la période (1984-2006)

3.1. Collecte des données

La station météorologique de Djelfa se trouve à une latitude Nord de 34° 41' et une longitude Ouest de 4° 14' et une altitude de 1180.50 m. Les données qui y sont recueillies couvrent les années hydrologiques 1984/1985 à 2005/2006.[7]. L'analyse statistique des paramètres hydroclimatiques (moyenne, écart type et coefficient de variation) est reportée dans le Tableau 1.

3.2. Diagramme pluviothermique

Parmi les paramètres permettant de caractériser le climat de la zone et d'évaluer son degré d'aridité, l'indice de Martone (I), qui utilise les hauteurs annuelles des précipitations exprimées en mm, et les températures moyennes annuelles en ° C.

$$I = p / (T + 10) \text{ avec : } I < 10 \text{ étage aride}$$

$$10 < I < 20 \text{ semi-aride}$$

$$I > 20 \text{ étage humide [6]}$$

Dans notre cas $I = 12.93$, ce qui permet de classer la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride. Le diagramme de Gaussen et Bagnouls (Fig3) montre que la zone d'étude est caractérisée par une période humide de 7 mois (de Janvier à Mai) et d' Octobre à Septembre).

4. Formules utilisées pour le calcul de l'ETP :

Depuis 1950, plusieurs formules ont été développées pour estimer l'évapotranspiration: Thornthwaite (1944), Turc (1962), Blannay-Cridde (1950) et Penman-Monteith-FAO (1998).

L'utilisation de ces modèles nécessite la connaissance de certaines données climatiques telles que, les températures maximales et minimales de l'air, les humidités relatives maximale et minimale, la radiation solaire globale et la vitesse du vent. [3]

4.1. Méthode de Thornthwaite (1944) :

La formule de Thornthwaite est utilisée lorsqu'on ne dispose que de la température comme seule donnée climatique. Elle exprime l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule suivante : [1]

t: Température moyenne de l'air sous abri pour la période considérée;

I : indice thermique annuel, est la somme de douze indices mensuels;

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a \cdot f(\varphi)$$

$f(\varphi)$: Terme correctif fonction de la durée théorique de l'insolation, la latitude et du mois.

a : Fonction complexe de l'indice I.

4.2. Formule de Turc (1962) [2]

Cette méthode fait intervenir la température moyenne mensuelle, la radiation globale du mois considéré et l'insolation relative. Dans ce cas, l'ETP est exprimée en mm/mois selon les formules suivantes :

Si Hr > 50 %, on a :

$$ETP = 0.40 \cdot \frac{T}{T+15} \cdot (I_g + 50)$$

Si Hr < 50 %, on a :

$$ETP = 0.40 \cdot \frac{T}{T+15} \cdot (I_g + 50) \cdot \left(1 + \frac{50 - Hr}{70} \right)$$

$$I_g = I_{g_A} \left(0.18 + 0.62 \cdot \frac{h}{H} \right) \text{ (cal/cm}^2\text{/jour)}$$

4.3. Formule de Blaney-Criddle (1950) :

Cette méthode de Blaney –Criddle fait intervenir la température moyenne mensuelle et le pourcentage d'éclairement du mois considéré. L'ETP exprimée en mm/mois est la suivante:

$$ETP = K \cdot P (0.46 T + 8.13) \quad [4]$$

T: Température moyenne mensuelle en °C

P: Pourcentage d'éclairement mensuel, fonction de la latitude de la zone d'étude ;

K : Coefficient fonction de la culture et de la zone climatique.

4.4. Formule de Penman-Monteith-FAO (1998) [5]

$$ET = \frac{0.408 \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{t + 273} \cdot u_2 \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 u_2)}$$

R_n : Radiation nette ($MJm^{-2}j^{-1}$) ;

G : Flux de chaleur du sol ($MJm^{-2}j^{-1}$) ;

T : Température moyenne journalière (°C) ;

e_a : Pression saturante de vapeur d'eau (KPa) ;

e_d : Pression actuelle de vapeur d'eau (KPa) ;

Δ : pente de la courbe de la pression de vapeur

γ : Constante psychométrique (KPa^0C^{-1})

4.5. BOUCHET (R.J.). (1963) [2]

Cette formule permet d'évaluer l'évapotranspiration à partir d'une mesure de l'évaporation (évaporomètre Piche), pour la période considérée (jour, décade, mois) :

$$ETP = \alpha \cdot \lambda(\theta) \cdot Ep$$

α = 0.37

λ : Coefficient fonction de la température θ

θ : Température moyenne entre la température de l'air et la température du point de rosée θ_r (°C)

Ep : Evaporation piche (mm/(jour,décade,mois))

5. Résultats et discussions

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP, à l'échelle mensuelle ont été comparés à l'ETP (Piche), en se basant sur les valeurs de l'écart relatif « ER ». Ainsi, des corrélations linéaires ont été établies entre les résultats des différents modèles par rapport à l'ETP (Piche).

Il est à noter que l'écart relatif est défini par :

$$ER = \frac{(ETP(Piche) - ETP_i)}{ETP(Piche)} * 100 \text{ (\%)} \quad [6]$$

ETP_i : ETP calculée par les méthodes de Thornthwaite, Turc, Blaney-Criddle et Penman-Monteith.

Plus les valeurs de « ER » sont faibles, plus la méthode d'estimation de l'ETP donne une estimation satisfaisante de cette composante.

5.1. Comparaison des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration (échelle annuelle)

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP durant la période (1984-2006) sont récapitulés dans le Tableau 2. L'analyse comparative des valeurs de l'ETP permet de mettre en évidence :

L'ETP calculée par la méthode de Blaney-Criddle conduit à une bonne estimation de cette composante climatique, avec un écart variant de 0.2 à 33.66 %. Il est à signaler que la période 1996-2001 présente un écart important, compris entre 20.2 et 33.6 % (Tableau 3).

D'autre part, la méthode de Thornthwaite sous estime considérablement l'ETP tout au long de la période d'étude, avec un écart qui varie de 36.9 à 62.9 % (Tableau 3). Ceci s'explique par le fait que l'équation fait intervenir

uniquement la température, sans tenir compte des autres facteurs importants à savoir : la durée et l'intensité réelle de l'insolation et le vent.

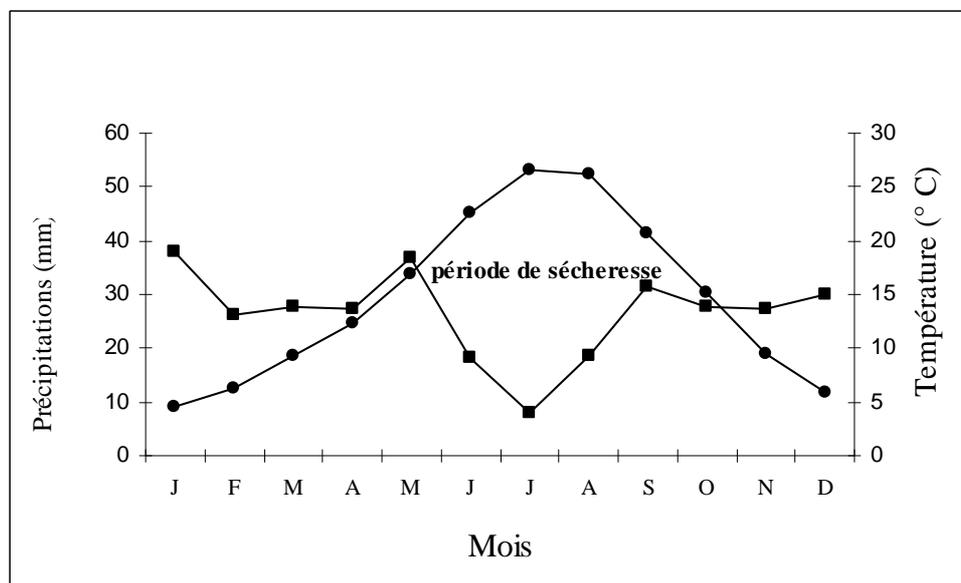


Figure 3 : Diagramme pluviothermique de Gausсен et Bagnouls sur la période (1984-2006)

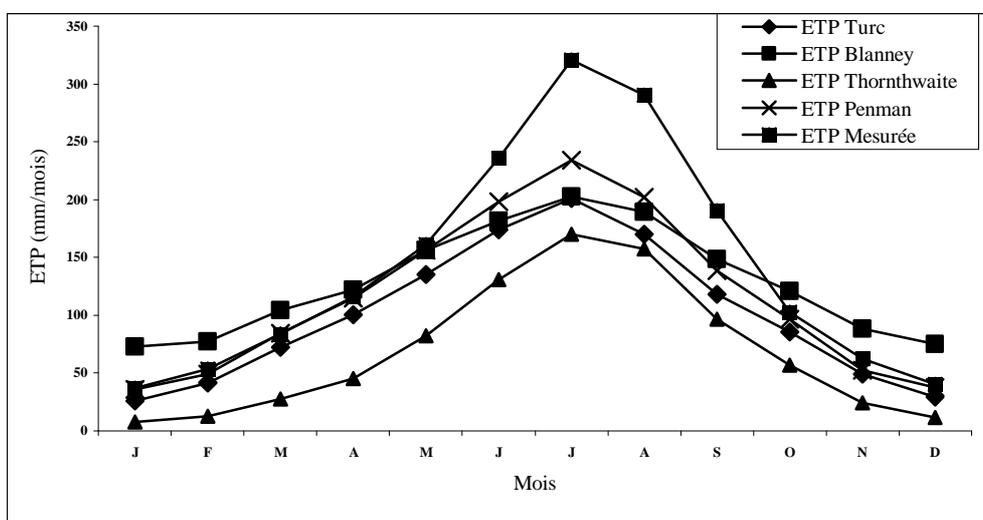


Figure 4 : Valeurs mensuelles de l'ETP estimées par les différentes formules de l'ETP (Période (1984-2006)).

Il est à noter que durant la période d'étude les valeurs de l'ETP (Penman) sont comprises entre les valeurs de l'ETP (Turc) et celles estimées par la méthode de Piche .

5.2. Comparaison des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration

Les résultats obtenus, par l'application des différentes formules d'estimation de l'ETP mensuelle moyenne sont illustrés par la figure 4.

Il en ressort que les valeurs de l'évapotranspiration potentielle sont comprises entre 7.99 mm/mois (Thornthwaite) et 320.90 mm/mois (Piche).

Par ailleurs, les valeurs de l'ETP obtenues par la formule de Penman-Monteith s'approchent de celles l'ETP (Piche), avec un écart variant de 0.57 à 30.46 %. Signalons que durant la saison sèche l'écart est important (15.93 à 30.46 %) (Tableau 4). D'autre part, les valeurs de l'ETP (Thornthwaite) sont nettement inférieures à celles de l'ETP (Piche) (Tableau 4), ce qui permet de constater

que la formule de Thornthwaite sous estime l'ETP, avec un écart pouvant atteindre un maximum d'environ (78.25%).

5.3. Corrélation entre l'ETP (mesurée) et estimée

A partir des relations entre l'ETP (Piche) et celle estimée à partir des différentes formules, il apparaît une bonne corrélation entre celle ci et celle obtenue par

l'application des différents modèles de calcul (coefficient de corrélation > 0.9). Figure 5.

Il est à noter que la meilleure corrélation est obtenu entre l'ETP (Piche) et (Thornthwaite), avec un coefficient de corrélation ($R^2=0.9908$).

Tableau.5 Corrélation entre l'ETP mesurée et celle de différentes formules

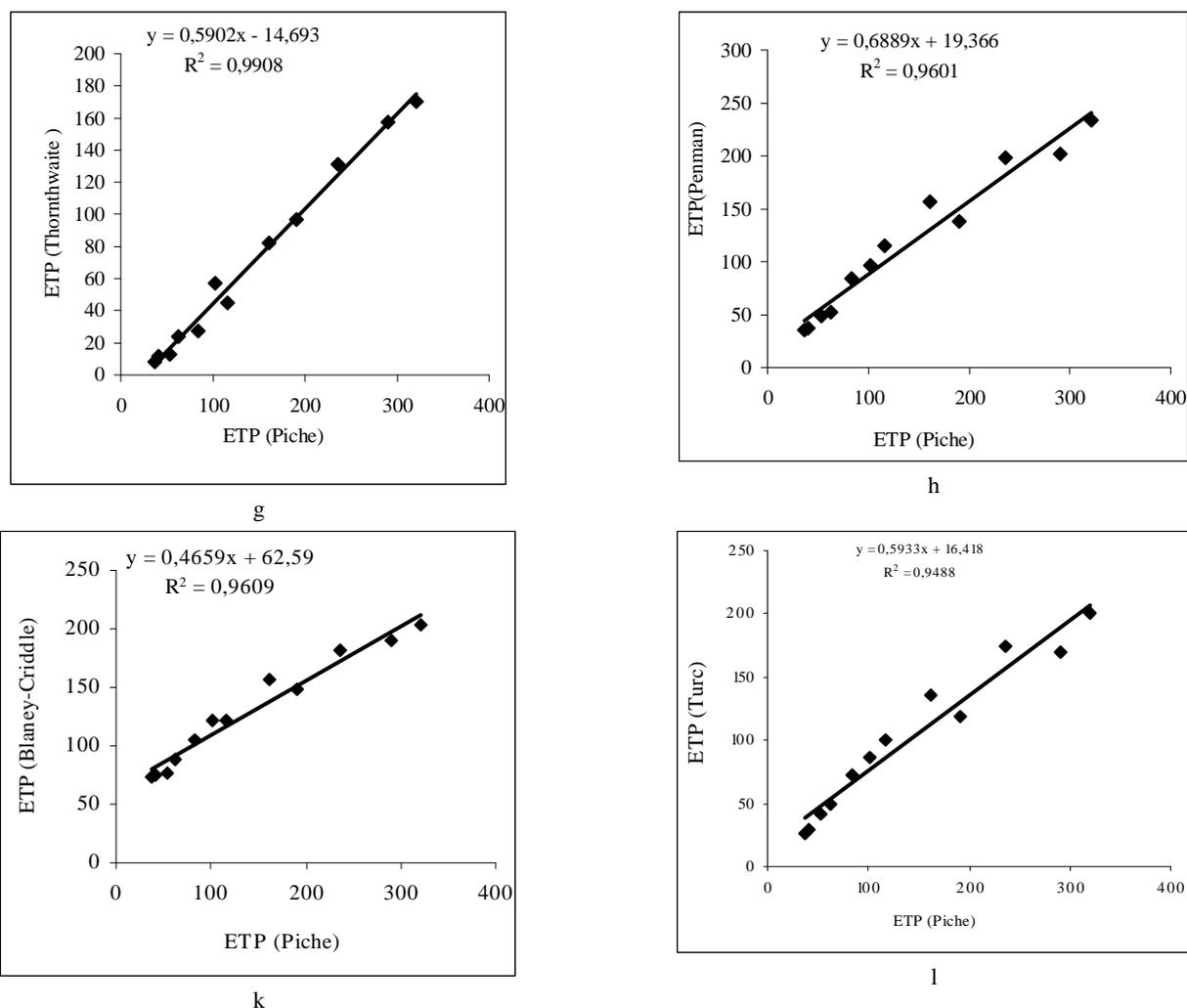


Figure 5 : Courbes des corrélations des résultats obtenus par différentes méthodes par rapport à Piche.

Figure g : corrélation entre ETP(Thornthwaite) et ETP (Piche) ; Figure h : corrélation entre ETP (Penman) et ETP (Piche); Figure k : corrélation entre ETP (Blaney-criddle) et ETP (Piche); Figure l: corrélation entre ETP(Turc) et ETP (Piche).

Tableau 1: Paramètres statistiques des données climatiques mensuelles

Variables climatiques	Max	Min	Etendue	Moyen	Ecart-type	Coefficient variation
Précipitations	38.12	8.06	30.07	26.47	8.29	0.31
Températures	26.56	4.60	21.96	14.66	7.91	0.54
Humidité relative	75.65	36.78	38.87	58.43	13.06	0.22
Évaporation Piche	291.97	45.70	246.26	145.03	84.81	0.58
Vitesse du vent	4.79	3.37	1.43	4.01	0.45	0.11
Durée d'insolation	321.70	168.87	152.83	244.32	53.00	0.22

Tableau 2 : Valeurs annuelles de l'évapotranspiration calculées par les différentes formules(1984-2006)

Années	Turc	Blaney -criddle	Thornth- waite	Penman- Monteith	Piche
1984	1141.16	1502.65	792.69	1384	1599.12
1985	1150.91	1536.88	826.23	1435	1494.47
1986	1106.04	1476.1	774.67	1359	1506.30
1987	1142.13	1559.8	847.4	1393	1685.82
1988	1111.03	1535.66	822.48	1305	1510.25
1989	1175.16	1551.92	824.49	1389	1446.31
1990	1176.39	1541.04	830.58	1279	1579.91
1991	1157.7	1482.27	785.29	1261	1321.42
1992	1118.47	1465.77	760.3	1207	1291.54
1993	1114.02	1524.73	828.25	1304	1405.96
1994	1279.11	1487.88	778.26	1253	1442.96
1995	1279.08	1540.33	824.26	1388	1502.14
1996	1130.19	1468.72	757.88	1359	1839.43
1997	1205.43	1522.37	812.01	1452	2008.42
1998	1263.22	1523.39	829.14	1477	2177.13
1999	1289.48	1557.95	871.3	1535	2346.30
2000	1332.15	1534.3	829.68	1485	2231.65
2001	1331.21	1576.84	874.36	1655	2146.58
2002	1205.75	1538.65	821.82	1484	1472.67
2003	1214.71	1549.62	854.26	1423	1546.82
2004	1163.75	1519.17	810.36	1273.18	1285.18
2005	1266.58	1551.86	890.18	1501.36	1541.21
2006	1262.97	1883.26	903.30	1555.27	1576.74

Tableau 3. Ecart relatif des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparées à celle de ETP(Piche) (Échelle annuelle)

Années	TURC	Blaney- criddle	Thornth- waite	Penman - Monteith	Années
1984	28.6	6.0	50.4	13.5	1984
1985	23.0	-2.8	44.7	4.0	1985
1986	26.6	2.0	48.6	9.8	1986
1987	32.3	7.5	49.7	17.4	1987
1988	26.4	-1.7	45.5	13.6	1988
1989	18.7	-7.3	43.0	4.0	1989
1990	25.5	2.5	47.4	19.0	1990
1991	12.4	-12.2	40.6	4.6	1991
1992	13.4	-13.5	41.1	6.5	1992
1993	20.8	-8.4	41.1	7.3	1993
1994	11.4	-3.1	46.1	13.2	1994
1995	14.8	-2.5	45.1	7.6	1995
1996	38.6	20.2	58.8	26.1	1996
1997	40.0	24.2	59.6	27.7	1997
1998	42.0	30.0	61.9	32.2	1998
1999	45.0	33.6	62.9	34.6	1999
2000	40.3	31.2	62.8	33.5	2000
2001	38.0	26.5	59.3	22.9	2001
2002	18.1	-4.5	44.2	-0.8	2002
2003	21.5	-0.2	44.8	8.0	2003
2004	9.4	-18.2	36.9	0.9	2004
2005	17.8	-0.7	42.2	2.6	2005
2006	19.9	-19.4	42.7	1.4	2006

Tableau 4. Ecart relatif des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparées à celle de Piche

Mois	ETP Turc	ETP Blanney	ETP Thornthwaite	ETP Penman-Monteith
Janvier	29.35	-98.96	78.25	2.70
Fevrier	22.76	-43.85	76.03	8.59
Mars	13.78	-24.54	67.21	-0.57
Avril	13.35	-5.25	61.10	0.94
Mai	16.18	3.22	48.89	3.08
Juin	26.36	22.93	44.49	15.93
Juillet	37.42	36.80	46.93	27.07
Aout	41.44	34.70	45.75	30.46
Septembre	37.84	21.96	49.23	27.34
Octobre	16.33	-18.11	44.45	5.67
Novembre	21.41	-42.12	61.23	15.95
Décembre	27.94	-85.12	71.82	7.44

Tableau.5 Corrélation entre l'ETP mesurée et de différentes formules

Relation	Equation	R ²
ETP (Thornthwaite) – ETP (Piche)	ETP(Th) = 0.5902 ETP (Piche) – 14.693	0.9908
ETP (Penman) –ETP (Piche)	ETP(Pen) =0.6889 ETP (Piche)+19.366	0.9601
ETP (Blaney-Criddle) –ETP (Piche)	ETP(B-C) =0.4659 ETP(Piche) +62.59	0.9609
ETP (Turc) –ETP (Piche)	ETP(Tu) = 0.5933 ETP(Piche)+16.418	0.9488

6. Conclusion

Cette étude a permis l'estimation de l'évapotranspiration par les méthodes de Thornthwaite, Turc, Blaney Griddle, Piche (méthodes empiriques) et Penman-Monteith (méthode du bilan d'énergie); en se basant sur les variables climatiques (température, humidité relative, vitesse du vent, durée d'insolation), enregistrées au niveau de la station météorologique de Djelfa durant la période 1984-2006.

L'analyse comparative des résultats obtenus par l'application des différents modèles a permis de mettre en évidence :

A l'échelle annuelle, la formule de Blaney-Criddle conduit à une estimation satisfaisante de la composante climatique ; tandis que la méthode de thornthwaite sous estime considérablement l'ETP, pouvant atteindre (62.9 %).

Par ailleurs, à l'échelle mensuelle, l'estimation de l'ETP par la méthode de Penman-Monteith Conduit à une meilleure approximation de cette composante, avec un écart variant de 0.57 à 30.46 %. D'autre part, les valeurs de l'ETP (thornthwaite) sont nettement inférieures aux valeurs de l'ETP (piche) avec un écart important pouvant atteindre un maximum de 78.25 %.

Références

- [1] AGOUSSINE. M , SAIDI. M, IGMOLAN. B. 2004. Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est Marocain). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Science de la Terre, N°26: 81-92.
- [2] BOUCHET R.J. 1963 - Evapotranspiration réelle, &apotranspiration potentielle et production agricole.AM. Agro., 1963, 5, p. 743-824.
- [3] HAMADI. H, CHIRAZ. M. 2003. Calcul des besoins en eau des principales cultures exploitées au nord de la Tunisie : estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques (cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte). Revue sécheresse Volume 14, N° 4 : 257-265.
- [4] IGBADUN.H. 2006. Performance of Two Temperature-Based Reference Evapotranspiration Models in the Mkoji Sub-Catchment in Tanzania" Agricultural Engineering International: the CIGR E journal. N° 8: 1-19.
- [5] NGAUM. F.D 2002. Contrainte climatiques des nappes d'eaux souterraines en zone Soudano-séhélienne : cas de la nappe phréatique du bassin de la Nema dans la région du sine au centre – Ouest du Sénégal. AJST. Vol 3. N°1: 44-50.
- [6] SAIDATI .B. 2006. Evapotranspiration de référence dans la région de Tafilalet et au Sud-Est du Maroc. AJEAM –RAGEE N° 11: 1-16.
- [7] TELIBI. A. 2004. Contribution à l'étude de l'évapotranspiration et des besoins en eaux en zone semi arides (cas de la région de Djelfa). Mémoire Ingéniorat. Centre Universitaire (Djelfa), 120 p.
- [8] XU.C-Y. 2005. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany Hydrological Processes N°19 : 3717–3734.