
Détermination de l'expression optimale de l'évapotranspiration potentielle "ETP", pour la région limitrophe du barrage Béni Haroun (Est Algérien)

Lynda CHEBBAH & Abdesselam KABOUR

Département génie civil et hydraulique, Centre Universitaire de Mila. BP 26 Mila - 43000, Algérie.

Laboratory of Modeling and Socio-Economic Analysis in Water Science – MASESE Lab.

*Corresponding Author: chebyn@yahoo.fr

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received:

July 08, 2022

Accepted after corrections:

June 10, 2023

Keywords:

Potential evapotranspiration, Beni Haroun, evaporation tank, validation, empirical formulas

Evapotranspiration (ET) is a complex process composed of physical evaporation and physiological evaporation (transpiration), it is estimated through empirical formulations more or less complex that require the knowledge of a number of local climatic parameters, such as temperature, precipitation, insolation and evaporation, but it remains to be seen if the model used is adapted to the local climatic specificities?

The present work mainly consists of evaluating potential evapotranspiration (ETP) using the empirical formulae of Penman-FAO, Thornthwaite, Turc, ANRH (National Water Resources Agency), and Blaney-Criddle, on a monthly inter annual scale with deduction of annual values. They are then compared and correlated with the ETP calculated from the evaporation values of the class A evaporation tank, located at the Béni Haroun dam climate station (eastern Algeria), for the 1998-2015 series. The comparison showed that the results of the Blaney-Criddle formula at annual scale are the closest to those of the ETP of the class A evaporation tank, with a coefficient of determination $R^2 = 0.988$ and $ER = 0.45\%$, and also the Blaney-Criddle formula for monthly ETP ($R^2 = 0.988$ and ER between 3% and -47%)

R E S U M E

L'évapotranspiration (ET) est un processus complexe composé d'une évaporation physique et d'une évaporation physiologique (transpiration), elle est estimée par le biais de formulations empiriques plus ou moins complexes qui nécessitent la connaissance d'un certain nombre de paramètres climatiques locaux, tels que la température, la précipitation, l'insolation et l'évaporation, mais reste à savoir si le modèle utilisé est adapté aux spécificités climatiques locales ?

Le présent travail consiste principalement à évaluer l'évapotranspiration potentielle (ETP) par les formules empiriques de Penman-FAO, Thornthwaite, Turc, ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), et Blaney-Criddle, à l'échelle mensuelle interannuelle avec déduction des valeurs annuelles. Elles sont ensuite comparées et corrélées à l'ETP calculer à partir des valeurs de l'évaporation du Bac d'évaporation classe A, située au niveau de la station climatique du barrage de Béni Haroun (Est Algérie), pour la série 1998-2015. La comparaison a permis de conclure que les résultats de la formule de Blaney-Criddle à l'échelle annuelle, sont les plus proches de celles de l'ETP du Bac d'évaporation classe A, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0.988$ et $ER = 0.45\%$, et aussi celle de Blaney-Criddle pour l'ETP mensuelle ($R^2 = 0.988$ et ER entre 3% et -47%).

Mots clés : Evapotranspiration potentielle, Beni Haroun, bac d'évaporation, validation, formules empiriques.

1. Introduction

Les besoins en eau des cultures et les conditions climatologiques locales sont intimement liées. Les données des évapotranspirations, et les températures enregistrées au cours du cycle journalier, mensuel et annuel ont un impact direct sur le développement rationnel des cultures autrement dit sur le rendement agricole, l'élément essentiel est l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Riquier, 1963 ; Paré, 2006 ; Tetbirt et Chemani, 2017). Ce paramètre exprime directement et quantitativement le stress hydrique subit par la plante. L'analyse de l'ETP permet de l'estimer et de remédier à ces différentes carences hydriques (Dubost, 1992). L'évapotranspiration est définie comme étant la réponse de la végétation aux conditions climatiques naturelles en relation avec les propriétés physiologiques de la plante et ses ressources en eau. En pratique, la détermination de l'évapotranspiration avec une précision suffisante est un problème commun à ceux qui, à titres divers (agronomes, hydrologues, météorologistes), s'occupent des problèmes de gestion des ressources en eau, des liaisons entre consommation en eau et production végétale (Bouchet et Robelin, 1969). Il existe, tous de même, les méthodes du bilan hydrique et quelques techniques pratiques courantes, tel que : les bacs à évaporation (FAO, 1978).

Jusqu'à ce jour de nombreuses formules ont été proposées, la plupart d'entre elles sont empiriques et résultent simplement de l'ajustement statistique d'un assez grand nombre de données expérimentales, en fonction d'un ou plusieurs facteurs climatiques simples. Les différentes formules les plus usitées font apparaître de grandes

divergences dans les résultats (Damagnez et al., 1963). Pour trouver la formule (ETP) adaptée à leur région, certains auteurs ont comparés les valeurs de l'évapotranspiration estimées d'un certain nombre de formules avec celles fournies par la méthode choisie comme référence (Bouteldjaoui et al., 2011 ; Ndiaye et al., 2017 ; Belkhir, 2021). Rares sont les études qui comparent les résultats obtenus par les formules empiriques avec celles qui utilisent les valeurs calculées à partir des bacs d'évaporation situées dans la même station où sont enregistrées les paramètres climatiques utilisées dans les formules empiriques, ainsi que les coordonnées géographiques de cette station. Certaines de ces formules utilisent la situation géographique pour déterminer des paramètres thermiques plus détaillés (rayon d'ensoleillement, angle d'incidence, etc.) (Jensen et al, 1990 ; Riou, 1975).

L'objectif de ce travail est de calculer les valeurs de l'évapotranspiration 'ETP', à la station du barrage de Béni Haroun, pour la série de 1998 à 2015, à l'aide de quelques formules empiriques et les comparées avec celle calculées à l'aide du bac d'évaporation, à l'échelle mensuelle et annuelle. Ensuite ces valeurs sont comparées moyennant des graphes de variations et de corrélations, cette approche a permis de trouver la valeur la plus proche de l'évaporation mesurée, et ainsi déterminer la formule la plus adéquat pour estimer l'ETP dans la région limitrophe du barrage de Béni Haroun.

2. Matériel et méthode

2.1. Présentation du site d'étude

La station climatique du barrage de Béni-Haroun est située géographiquement dans la wilaya de Mila, dans le Nord-Est de l'Algérie (Figure 1), à une quarantaine de km de la mer méditerranéenne. Cette station est gérée par l'ANBT (Agence Nationale des Barrage et Transfert) de Mila, elle s'inscrit entre les coordonnées géographiques suivantes : longitude ($6^{\circ}6'19.17''$), latitude ($36^{\circ}33'26.01''$) et à une altitude de 310 m, (ANBT, 2002). Pour les calculs de l'ETP on a utilisé les données suivantes : la température, la vitesse du vent, l'évaporation, et les précipitations pour la série 1998 – 2015.



Figure 1. Situation géographique de la station climatique de Béni Haroun (Chebbah et Kabour, 2018).

2.2. Aperçu climatique sur le site d'étude

Les données climatiques de la station de Béni-Haroun recueillies au près de l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT) totalisent 17 années (1998-2015) (Figure 2 et 3). Les précipitations moyennes mensuelles interannuelles présentent une valeur maximale de 107 mm au mois de décembre et 1,75 mm est une valeur minimale au mois de juillet. Les mesures de la température moyenne mensuelle interannuelle montrent un maximum de 26,56 °C au mois de juillet, et un minimum de 7,68 °C au mois de janvier.

Le diagramme ombrothermique de [Gausson et Bagnouls \(1953\)](#) (Figure 4) : est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec $P = 2T$. La courbe des précipitations passe soit au-dessous (période sèche) ou au-dessus de celle des températures (période humide). La période située entre les abscisses des points d'intersection des deux courbes indique la durée de la saison correspondante, son intensité et traduite par la surface du graphe comprise entre les deux courbes, pendant cette période ([Bouteldjaoui et al., 2011](#) ; [Chebbah and Kabour, 2011](#) ; [Belkhiri, 2021](#)). Pour la station de Béni-Haroun (1998-2015) (Figure 4), la période sèche s'étale du mois de mai au mois d'octobre et la période humide s'étale le reste de l'année, c.à.d. d'octobre à mai.

Les précipitations annuelles atteignent une valeur maximale égale à 924,6 mm aux années 2004/2005, et la précipitation la plus faible est enregistrée durant les années 2000/2001 avec une valeur minimale égale à 317,64 mm (Figure 2). Les températures moyennes annuelles atteignent une valeur maximale égale à 17,91 mm aux années 2003/2004, et la précipitation la plus faible est enregistrée durant les années 2007/2008 avec une valeur minimale égale à 14,99 mm (Figure 3).

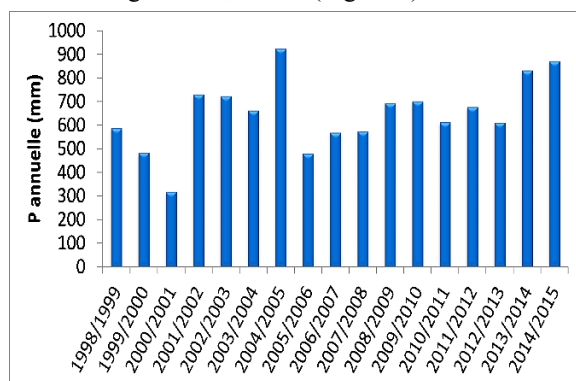


Figure 2. Graphe de la précipitation annuelle

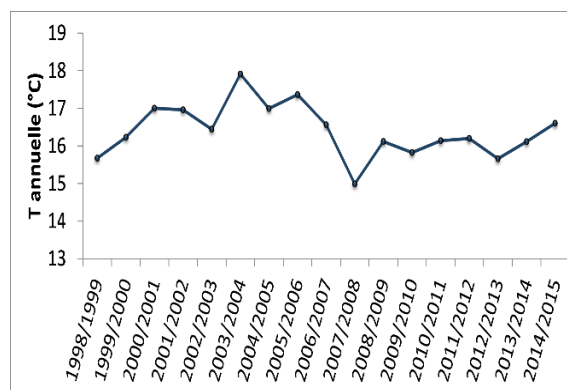


Figure 3. Graphe des températures moyennes annuelles de la station climatique de Béni Haroun, série 1998-2015

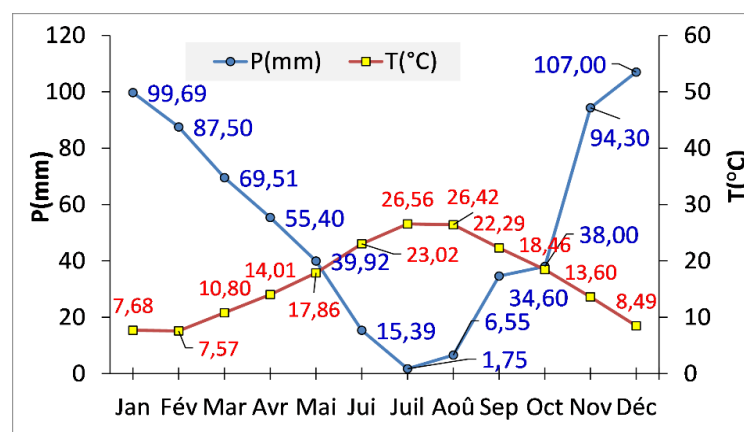


Figure 4. Diagramme pluviométrique de Bagnouls - Gausson de la station climatique de Béni Haroun, série 1998-2015.

La région de Béni-Haroun est caractérisée par une vitesse moyenne mensuelle interannuelle du vent de 5,06 m/s. Le taux d'évaporation le plus élevé, pour les valeurs moyennes mensuelles interannuelles est enregistré en juillet avec 334,77 mm, et diminue avec 38,81 mm au mois de Décembre. L'humidité relative moyenne mensuelle interannuelle durant cette période est de l'ordre de 45,77% ([Chebbah et Kabour, 2018](#)).

2.3. Modèles utilisés

Il y a plusieurs formules établies par les chercheurs pour le calcul de l'ETP à partir des paramètres climatiques : température, humidité relative, insolation, et la vitesse du vent...etc. Dans ce travail, on a présenté et utilisé les formules de Turc, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman modifiée par F.A.O, et la formule de l'ANRH.

2.3.1. Formule de TURC (1960)

Turc propose deux formules, l'une pour $H_r < 50\%$ et l'autre pour $H_r > 50\%$. Nous avons calculé l'ETP, selon la valeur de H_r , par l'une des formules suivantes (Lecarpentier, 1975 ; Bouteldjaoui et al., 2011; Belkhiri, 2021).

$$ETP = 0,40(Ig + 50) \frac{t}{t+15} \quad \text{Où } H_r > 50\%$$

$$ETP = 0,40(Ig + 50) \frac{t}{t+15} \times \left(1 + \frac{50-H_r}{70}\right) \quad \text{Où } H_r < 50\%$$

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle mensuelle (mm)

Ig : Radiation solaire globale du mois considéré en calorie/cm²/jour

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C)

Au cas où Ig n'est pas mesurée, nous procédons à son calcul en utilisant la formule suivante :

$$Ig = Iga \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

Où :

$$Iga = 1035 - 9,076 \times Lat + (7,050 \times Lat + 49,90) \times \cos(29,92 \times i - 182,5)$$

$$H = 362,7 + 0,2101 \times Lat + (4,085 Lat - 80,99) \times \cos(30,01 \times i - 188,9)$$

Avec :

H : La durée d'insolation (heure/mois).

i : Numéro du mois (4 pour Avril et 10 pour Octobre par exemple).

Lat : Latitude du point considéré en degrés et minutes.

Iga: La radiation maximale théorique donnée par des tables exprimées en cal/cm²/jour, dépendant de latitude du lieu

2.3.2. Formule de Thornthwaite (1944)

Cette formule est basée sur de nombreuses expériences effectuées sur des cases lysimétriques, elle ne fait intervenir que la température et elle est donnée par la relation suivante (Lecarpentier, 1975 ; Boudjerada, 2015; Benmansour et Korichi, 2013; Paré, 2006, Réminéras, 1986) :

$$ETP = 16(10^{\frac{t}{i}})^a$$

Avec :

$$i : \text{Indice thermique annuel } (i = \sum_{i=1}^{i=12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514})$$

$$a : \text{Varie en fonction de l'indice thermique } \left(a = \frac{1,6}{100} i + 0,5\right)$$

2.3.3. Formule de Blaney-Criddle

C'est l'une des plus anciennes formules, car en 1950, Harry Blaney pensait que l'ETP dépendait de deux facteurs essentiels : la force évaporante F et l'humidité relative de l'air ou le déficit de saturation. A ce moment-là, les auteurs ont envisagé une régression linéaire entre l'ETP et la température. Par la suite, ils ont remarqué que l'ETP ne dépendait pas seulement du potentiel énergétique F, basé sur les paramètres climatiques (principalement la température), dépensé pour actionner le déficit de saturation, mais aussi de la structure de la surface qui libère les molécules d'eau (l'espèce végétale). Cette approche a permis d'introduire un facteur de correction appelé K, qui dépend directement du type de la plante (Blaney et Criddle, 1950; Lecarpentier, 1975; Boudjerada, 2015; Benmansour et Korichi, 2013; Paré, 2006; Bouteldjaoui et al., 2011). La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante :

$$ETP = aF + b$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle de culture (mm).

P : Durée d'éclairement en %

t : Température moyenne mensuelle (°C).

F: Force évaporante.

a et b : Coefficients de correction (s'obtient par des tables).

H : Durée astronomique du jour (heures) (s'obtient par des tables).

h: Durée moyenne d'insolation (heures).

V: Vitesse moyenne de vent (m/s).

Hr: Humidité relative (%)

Pour le calcul de l'ETP culture, nous avons adopté les valeurs des coefficients proposés par Doorenbos et Pruitt (1963) pour des cultures en plein champ, qui ont les valeurs suivantes :

Saison humide : $K_c = 0,70$; Saison sèche : $K_c = 1,10$; Car la détermination des valeurs de K_c exige un grand nombre de mesures expérimentales sur terrain.

2.3.4. Formule de Penman-FAO

Cette formule, mise au point par le physicien anglais Penman, est basée sur le bilan d'énergie, son intérêt réside dans l'explication physique du phénomène de l'évapotranspiration. Elle donne de bonnes estimations de l'ETP, pour les différents climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important de paramètres climatiques. L'équation simplifiée du bilan d'énergie, appliquée à une surface évaporante, dont les caractéristiques sont déterminées, et bien alimentée en eau, s'écrit de la manière suivante (Ladlani, 2007 ; Boudjerada, 2015 ; Paré, 2006 ; Riou, 1975 ; Bouteldjaoui et al., 2011).

$$ETP = \left[\frac{I_{ga}}{59} (1 - a) \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0,56 - 0,08\sqrt{e}) \left(0,10 + 0,90 \frac{h}{H} \right) \right] \frac{\Delta/\gamma}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} + \frac{0,26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e)(1 + 0,54 u)$$

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

I_{ga} : La radiation maximale théorique donnée par des tables exprimée en $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{jour}$, Dépendant de latitude du lieu.

H : Durée astronomique du jour (heures) à partir des abaques.

h: Durée moyenne d'insolation (heures).

u: Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s).

E : Tension maximale de la vapeur d'eau dans l'air (millibars).

T : Température moyenne mensuelle ($^{\circ}\text{K}$).

e : Tension moyenne estimée à partir de l'humidité relative Hr (%), et de la température moyenne mensuelle t en ($^{\circ}\text{C}$) par la relation suivante : $e = 0,061 Hr 10^{\left(7,5 \frac{t}{238+t}\right)}$

C'est l'évaporation qui se produirait si la température de surface était égale à la température de l'air. Le calcul de l'ETP par la formule de Penman-FAO exige l'estimation préalable du rayonnement net et du pouvoir évaporant de l'air, ainsi que celle des coefficients Δ et γ .

Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante pour la température de l'air T. Δ : en millibar/ $^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta = \frac{6,149}{T} \exp\left(19,511 \frac{t}{T}\right) \left(\frac{6463}{T} - 3,927\right)$$

$$E = 6,107 \times 10^{\left(7,5 \frac{t}{238+t}\right)}$$

Avec :

γ : Constante psychrométrique, en millibar / $^{\circ}\text{C}$; $\gamma = 0,6605 - 0,826 \times 10^{-4} \times Z$

Z : Altitude de lieu (m).

La formule de Penman modifiée par la FAO qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante :

$$ETP = \left[\frac{I_{ga}}{59} (1 - a) \left(0,25 + 0,45 \frac{h}{H} \right) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0,56 - 0,08\sqrt{e}) \left(0,10 + 0,90 \frac{h}{H} \right) \right] \times$$

$$\frac{\Delta}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} + \frac{0,26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e)(1 + 0,864 u)$$

Dans cette formule, on y retrouve les mêmes variables de la formule de Penman, seuls quelques paramètres changent, tel que :

(1 + 0,864 u) au lieu de (1 + 0,54 u) et $(0,25 + 0,45 \frac{h}{H})$ au lieu de $(0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$

Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur :

$$\Delta = \frac{4099ea}{(T-237,2)^2} = \frac{2504 \exp(17,27T)}{(T+237,3)^2}$$

Avec T la température de l'air (°C) et en (kPa) : tension de vapeur saturante à la température T(°C).

2.3.5. Formule d'ANRH

Il arrive souvent que les données climatiques ne soient pas disponibles, et pour permettre le calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle, on peut utiliser la formule de l'ANRH, qui permet d'évaluer à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante, à une position géographique quelconque. Elle est développée en 2002 sous la direction du Professeur J.P. Laborde, la formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante (ANRH, 2002 ; Ladlani, 2007; Boudjerada, 2015):

$$ETP_{ANRH} = K_r \times K_m (H - 187) (0,032 T + 0,077)$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/mois).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

K_m : Coefficient mensuel dont ses valeurs sont données dans le tableau 2.

K_r : Coefficient régional K_r=1,25.

H : Durée théorique mensuelle d'insolation (heures/mois) et elle est exprimée en fonction de l'ordonnée Lambert (Y) selon la formule suivante : H_i = a_i Y + b_i ; Avec : Y : l'ordonnée Lambert de la zone (Km) ; a_i et b_i sont des coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH (Tab. 1).

Tableau 1. Coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH (ANRH, 2002 ; Boudjerada, 2015)

Mois	1	2	3	4	5	6
ai	-0,0218	-0,0110	-0,0012	0,0098	0,0201	0,0248
bi	315	307	371	389	429	429
Km	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1,00
Mois	7	8	9	10	11	12
ai	0,0230	0,0144	0,0031	-0,0081	-0,0185	-0,0246
bi	436	414	370	351	311	308
Km	0,97	0,97	0,98	0,90	0,90	0,86

2.3.6. Estimation de l'évapotranspiration potentielle à partir des valeurs mesurées de l'évaporation par bac d'évaporation classe A

La mesure de l'évaporation potentielle s'effectue en divisant la mesure directe lue sur le bac de l'évaporation (E bac) (Figure 5) par un coefficient local dépendant des différents facteurs du climat et du bac. Le coefficient K est fonction du bac, l'humidité relative, et d'autres paramètres fonction du lieu, elle est estimée par l'équation suivante (Benmansour et Korichi, 2013) :

$$ETP_{bac} = \frac{E_{bac}}{K_{bac}}$$

ETP bac : évapotranspiration potentiel calculée en fonction du bac (mm) ;

K bac le coefficient du bac. (Bac = 0,78) ;

E bac la mesure d'évaporation dans le bac (en mm).

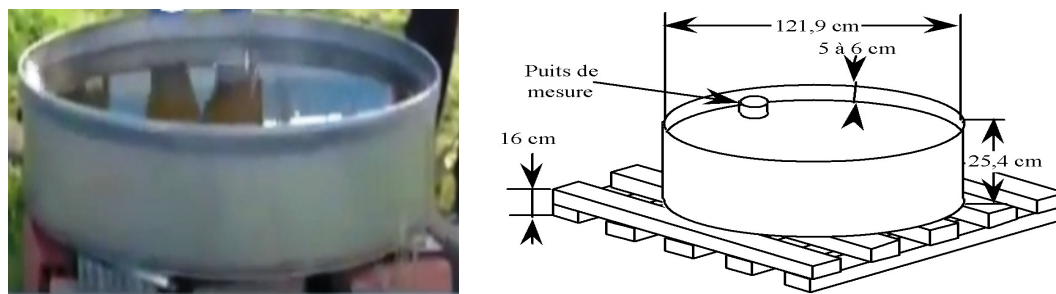


Figure 5. Bac d'évaporation classe A (Station de Beni -Haroun)

3. Résultats et Discussion

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP employées dans ce travail, à savoir : Turc, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Penman-FAO, ANRH et celle basée sur l'évaporation du Bac d'évaporation classe A de la station de Beni Haroun pour la série 1998-2015, à l'échelle mensuelle et annuelle sont récapitulés dans le tableau 2 et représentées graphiquement sur les figures 6 et 7, ce qui a permis de mettre en évidence plusieurs remarques :

- Sur la figure 6, tous les graphes des formules appliquées présentent la même allure, avec des valeurs allant de 15,82 mm au mois de janvier (Thornthwaite) à 381,85 mm pour le mois de juillet (Blaney-Criddle).
- Les mois les plus chauds de l'année, à savoir, mai, juin, juillet, août, septembre, présentent les valeurs de l'ETP le plus hautes, pour toutes les formules, sur une fourchette de 150 mm à 380 mm.
- Les mois les plus froids sont : octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars et avril, présentent des ETPs relativement faibles, et qui varient entre 15 mm et 150 mm.
- La formule de Thornthwaite donne les valeurs les plus faibles de l'ETP, en comparaison avec les autres formules, et qui varient entre 15,82 mm et 136,5 mm.
- La courbe représentative du modèle de Blaney-Criddle est la plus proche de celle de la courbe de l'ETP du bac d'évaporation, en allure et en valeur. Les autres modèles présentent des divergences très nettes, notamment pour les mois de mai, juin, juillet, août et septembre.
- A l'échelle interannuelle (Tab. 2), les valeurs de l'ETP varient de 786,38 mm pour Thornthwaite à 1776,09 mm pour Blaney-Criddle, ce qui est proche de la valeur (1784,09 mm) du bac d'évaporation (référence).

Tableau 2. Comparaison des valeurs de l'ETP mensuelle interannuelle à la station de Béni -Haroun (1998-2015)

ETP mois	ETP (Penman- FAO) (mm)	ETP (Thornthwaite) (mm)	ETP Turc (mm)	ETP (ANRH) (mm)	ETP (Blaney- Criddle) (mm)	ETP Bac (mm)
Jan	34,02	15,82	34,82	33,82	42,02	40,73
Fev	45,1	15,43	45,25	28,14	50,26	52,77
Mar	103,9	28,6	72,48	78,35	77,94	83,63
Avr	117,3	44,94	102,79	115	94,65	109,49
Mai	179	68,52	177,34	150,1	146,13	171,79
Jui	273,7	106,5	222,03	186	301,84	267,54
Juil	307,3	136,5	245,33	210,7	381,85	334,77
Aou	260,5	135,3	206,29	189,2	346,95	315,59
Sep	188,4	100,7	149,47	129,8	150,81	189,74
Oct	99,36	72,56	81,52	88,05	79,82	117,95
Nov	45,63	42,68	54,50	49,15	60,42	61,28
Dec	26,5	18,83	34,77	31,96	43,40	38,81

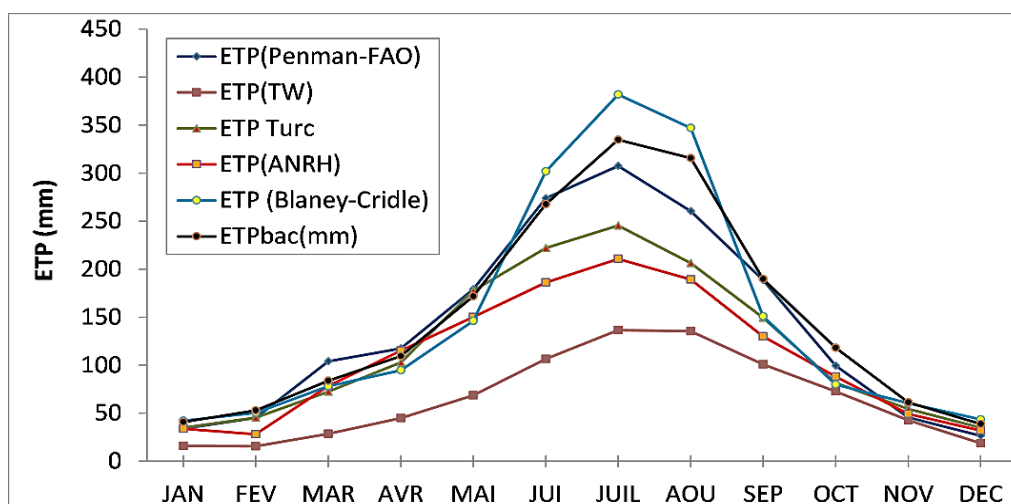


Figure 6. Graphe de l'ETP mensuelle interannuelle des différentes méthodes, Station de Béni Haroun (1998-2015)

3.1. Comparaison et Corrélation entre l'ETP estimée par les formules et celle déduite du bac d'évaporation

A partir des corrélations entre l'ETP du Bac d'évaporation classe A et celle estimée à partir des différentes formules, à l'échelle mensuelle (Figure 7), il apparaît une bonne corrélation avec des coefficients de détermination $R^2 > 0,9$. Il est à noter que la meilleure corrélation est obtenue entre l'ETP du bac et ETP Blaney-Cridle, avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,988$ (Tab. 3 et Fig. 7).

Les résultats obtenus par l'application des différentes approches d'estimation de l'ETP, à l'échelle mensuelle ont été comparés à l'ETP du Bac d'évaporation classe A, en se basant sur les valeurs de l'écart relatif « ER » défini comme suit :

$$ER = \frac{(ETP(bac) - ETP_i)}{ETP(bac)} * 100(\%)$$

ETPi : ETP calculée par les méthodes de Thornthwaite, Turc, Blaney-Cridle, Penman-FAO et ANRH. Plus les valeurs de « ER » sont faibles, plus la méthode de calcul de l'ETP donne une estimation satisfaisante (Bouteldjaoui et al., 2011). Sur le tableau 4, représentant l'écart relatif (ER) des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparée à celle du bac d'évaporation, à l'échelle mensuelle, permet de constater que :

- Le modèle de Thornthwaite présente les valeurs les plus fortes, indiquant un grand écart entre elles et celles du bac (ER entre -43% et -242 %).
- Le modèle de Penman-FAO présente des valeurs de ER relativement faibles par rapport aux autres, au nombre de 4/12, les plus faibles sont celles du mois de juillet (2,25 %) et septembre (-0,70 %).
- Le modèle de l'ANRH montre seulement deux valeurs de ER faibles, celles de mars (6,74 %) et avril (4,79 %).
- Le modèle de Blaney-Cridle estime l'ETP avec un écart relatif ER relativement faible, ou cinq valeurs sur 12 sont plus faibles que les autres, au mois de janvier (ER = 3,07 %), février (ER = - 4,99 %), août (ER = 9,04 %), novembre (ER = -1,42 %), décembre (ER = 10,58 %), et celles restantes ne sont pas très loin des valeurs des autres modèles (plus faibles).
- Le modèle de Turc, offre des valeurs partiellement faibles de ER, mais la plus faible est celle du mois de mai avec un ER = 3,13 %.
- A l'échelle annuelle (Tab. 3), la valeur de l'écart relatif ER à l'ETP du bac la plus faible est celle du modèle de Blaney-Cridle, avec 0,45 %.

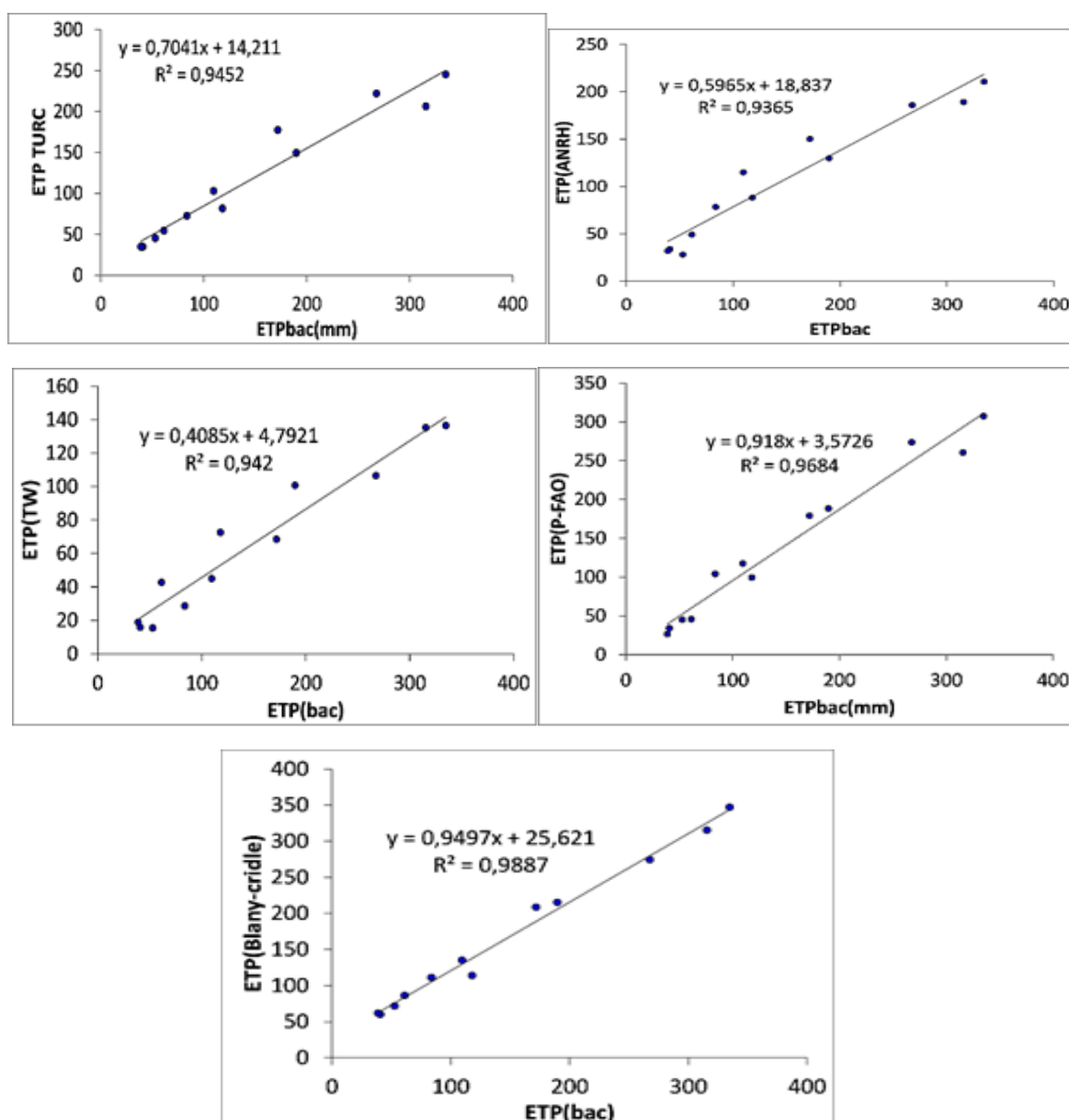


Figure 7. Courbes des corrélations des résultats obtenus par différentes méthodes par rapport au Bac d'évaporation classe A, station de Béni Haroun (1998-2015).

Tableau 3. Coefficient de corrélation (R^2) et écart relatif (ER) des différentes méthodes par rapport à celle de l'ETP Bac d'évaporation classe A (Échelle interannuelle), station de Béni Haroun (1998-2015).

Formules	ETP moy. interannuelle (mm)	ER(%) formules / bac	R^2 formules / Bac d'évaporation
Thornthwaite	786,28	55,93	0,942
ANRH	1290,2	27,68	0,936
Turc	1426,63	20,04	0,945
Penman-FAO	1680,72	5,79	0,968
Blany-Cridle	1776,09	0,45	0,988
Bac d'évaporation	1784,09	0	1,00

Tableau 4. Ecart relatif « ER » des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparées à celle de Bac d'évaporation classe A, valeurs moyennes mensuelles interannuelles

ETP mois	<i>bac/ETP</i> (Penman-FAO) (%)	<i>bac/ETP</i> (TW) (%)	<i>bac/ETP</i> Turc (%)	<i>bac/ETP</i> (ANRH) (%)	<i>bac/ETP</i> (Blaney-Cridle) (%)
JAN	-19,72	-157,46	-16,96	-20,43	3,07
FEV	-17,01	-242	-16,6	-87,53	-4,99
MAR	19,52	-192,41	-15,38	-6,74	-7,3
AVR	6,67	-143,64	-6,52	4,79	-15,68
MAI	4	-150,72	3,13	-14,42	-17,56
JUI	2,25	-151,28	-20,5	-43,87	11,36
JUIL	-8,93	-145,25	-36,45	-58,91	12,33
AOU	-21,16	-133,34	-52,98	-66,84	9,04
SEP	-0,7	-88,46	-26,94	-46,2	-25,81
OCT	-18,71	-62,56	-44,68	-33,96	-47,77
NOV	-34,3	-43,58	-12,43	-24,68	-1,42
DEC	-46,45	-106,11	-11,61	-21,43	10,58

4. Conclusion

Ce travail consiste à appliquer et à comparer cinq formules d'estimation d'ETP avec le modèle de référence (option expérimentale), qui consiste à utiliser les valeurs de l'évaporation du bac classe A, pour l'estimation de l'ETP, à l'échelle mensuelle et annuelle, pour la station de Beni Haroun et pour la série 1998-2015. L'objectif est de déduire la formule cohérente aux caractéristiques climatiques de la région d'étude, cette manipulation a permis de noter quelques observations, telles que :

- L'application des six formules montre que les valeurs de l'ETP varient avec la température saisonnière, augmentant pendant les mois les plus chauds (381,25 mm de Blaney-Criddle), et diminuant pendant la saison d'hiver (15,82 mm de Thornthwaite).
- L'évapotranspiration potentielle des formules de Turc, Blaney-Criddle et ANRH conduit à la même gamme de valeurs (de 28,14 mm à 381,25 mm) que celles obtenues à partir du Bac d'évaporation classe A (de 38,81 mm à 334,77 mm), alors que la formule de Thornthwaite donne les valeurs les plus faibles (de 15,82 mm à 136,50 mm).

En comparant les résultats ETP des formules empiriques avec les mesures du Bac d'évaporation classe A, on admet que la formule appropriée est celle de Blaney-Criddle pour l'ETP mensuelle ($R^2 = 0,988$ et ER entre 3% et -47%), et aussi Blaney-Criddle pour l'ETP annuelle (ER = 0,45%).

Références Bibliographiques

1. Riquier J., 1963. Formules D'évapotranspiration, En annexes tables utilisables à Madagascar (10° à 25° de latitude Sud), I.R.S.M. Tananarive, *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol*, N° 4 : 33-50.
2. Paré S., 2006. Contribution à la détermination d'un terme du bilan hydrologique dans la région d'Errachidia-Tafilale : Évaluation de l'évapotranspiration de référence et de l'évaporation à travers la zone non saturée de la Plaine de Tafilalet. Thèse doctorat. Université Mohammed V – AGDAL, Maroc, 109p.
3. Tetbirt Z., Chemani A., 2017. Les méthodes de l'estimation de l'évapotranspiration dans la région du Haut et Moyen Chelif. Mém. Master, Université Khemis Miliana, 81p.
4. Dubost, D., 1992. Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes. *Sécheresse*, 3(2): 85-96.
5. Bouchet R.J., Robelin M., 1969. Météorologie et agronomie bulletin Technique d'information, 238 p.
6. FAO. (Food and Agriculture Organization), 1978. Rapport sur le projet relatif aux zones agro-écologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde, 48/1-2-3-4. FAO, Rome.
7. Damagnez J., Riou Ch., DE Villele O. and EL Ammami S., 1963. Problèmes d'évapotranspiration potentielle en Tunisie. L'eau et la production végétale, INRA, Paris.
8. Bouteldjaoui F., Bessenasse M., and Guendouz A., 2012. Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa), *Nature & Technologie*, 7 : 109 – 116.

9. Ndiaye P. M., Bodian A., Diop L. and Djaman K., 2017. Évaluation de vingt méthodes d'estimation de l'évapotranspiration journalière de référence au Burkina Faso, *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 11 : 129-146.
10. Belkhiri F.E., 2021. Evaluation de la performance de dix-huit modèles d'estimation de l'évapotranspiration de référence dans les conditions subhumides de la Mitidja. *Recherche Agronomique*, 19 (1) : 5-32.
11. Jensen M.E., Burman R.D. and Allen R.G., 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements (No. 70), American Society of Civil Engineers, New York : 360 p.
12. Riou C., 1975. La détermination pratique de l'évaporation - Application à l'Afrique Centrale. Mémoire RSTOM No 80, ORSTOM, Paris, 234p.
13. ANBT (Agence Nationale des barrages et transferts, Mila), 2002. Barrage de Béni Haroun sur l'Oued Kébir, Monographie. Tractebel Engineering, Division Hydraulique volume1, 363p.
14. Chebbah L., and Kabour A., 2018. Impact de la retenue d'un barrage sur le régime climatique local : cas de Béni Haroun (Est algérien). *Geo-Eco-Trop*, 42(1): 173-186.
15. Lecarpentier C., 1975. L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. *Annales de Géographie*, 84, (464) : 385-414.
16. Benmansour S., and Korichi R., 2013. Etude de l'évapotranspiration réelle liée à l'évapotranspiration potentielle et à la production agricole phoenicicole à l'échelle de l'écosystème de l'ITAS. Mise au point d'un modèle basé sur la consommation de l'eau et la production agricole. Mémoire Master, Université Ouargla, 97p.
17. Réminéras G., 1986. l'hydrologie de l'ingénieur ; 2^{ème} éditions EYROLLES ; 456p
18. Blaney H.F., and Criddle W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA-SCE, TP-96.
19. Doorenbos J., and Pruitt, W.O., 1977. Crop Water Requirement: Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 144p.
20. Boudjerada I., 2015. Estimation et cartographie de l'évapotranspiration potentielle. Mémoire de Master, (ENSH) Ecole Nationale Supérieure d'hydraulique, 79 p.
21. Ladlani I., 2007. Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée «choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba». Mémoire magister, Université de Batna2, 175p.
22. ANRH, 2002. Notice explicative de la carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie. Edit : Agence nationale des ressources hydriques, Alger, 42 p.

Please cite this Article as:

CHEBBAH L. & KABOUR A., 2023. Détermination de l'expression optimale de l'évapotranspiration potentielle "ETP", pour la région limitrophe du barrage Béni Haroun (Est Algérien). *Agriculture and Forestry Journal*, 7(1) : 16-26.
<https://doi.org/10.46325/afj.v7i1.121>