



**HAL**  
open science

**Etude comparative des méthodes d'évaluation du taux  
d'évaporation à partir d'une surface d'eau libre.  
Application aux régions arides et semi arides en Algérie**

N. Belarbi, M. Saighi

► **To cite this version:**

N. Belarbi, M. Saighi. Etude comparative des méthodes d'évaluation du taux d'évaporation à partir d'une surface d'eau libre. Application aux régions arides et semi arides en Algérie. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00157582

**HAL Id: hal-00157582**

**<https://hal.science/hal-00157582>**

Submitted on 29 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ETUDE COMPARATIVE DES METHODES D'EVALUATION DU TAUX D'EVAPORATION A PARTIR D'UNE SURFACE D'EAU LIBRE. APPLICATION AUX REGIONS ARIDES ET SEMI ARIDES EN ALGERIE.

N. BELARBI, M. SAÏGHI

Laboratoire de Thermodynamique et des Systèmes Energétiques. Faculté de physique,  
U.S.T.H.B., B.P.32 El Alia, Bab Ezzouar 16111, Alger, Algérie  
*noubelarbi@yahoo.fr*

**Résumé :** Cette étude consiste à comparer des méthodes de calcul du taux d'évaporation à partir d'une surface d'eau libre; pour trois régions de l'Algérie : région humide, région semi aride et région aride pour l'année 2003. Les méthodes utilisées sont : La formule de Penman, la loi classique de Stefan, la méthode du bilan énergétique direct, et la théorie de similitude de Monin- Obukhov. Nous avons combiné, ensuite, les trois approches citées ci-dessus avec la théorie de Monin Obukhov. Nous pensons que ces combinaisons donne des résultats plus réalistes à cause du couplage entre l'effet radiatif et l'effet de la stabilité de l'air à la surface.

**Mots clef:** évaporation, transfert thermique, bilan énergétique, théorie de similitude de Monin- Obukhov, barrage.

## 1. INTRODUCTION

Un grand nombre d'articles a été consacré à l'étude de l'évaporation. En raison de l'inexistence d'un consensus sur la formule la plus adéquate pour calculer l'évaporation ([1], [2]), nous avons mené ce travail qui présente une étude comparative des différentes méthodes du calcul du taux d'évaporation à partir d'une surface d'eau libre. Nous verrons ensuite son application dans les régions arides et semi arides de l'Algérie.

## 2. METHODES DE CALCULS

Nous avons utilisé les formules bien connues du bilan énergétique local, la formule de Penman, la loi classique de Stefan et la théorie de Similitude de Monin Obukhov. Ces formulations ont été comparées entre elles. Cependant ces calculs exigent la connaissance de données climatiques comprenant : le taux d'humidité, la vitesse du vent et la température de l'air. Elles nous ont été gracieusement données par l'Office Nationale de Météorologie (ONM). Pour les caractéristiques spécifiques des barrages nous tenons à remercier l'Agence Nationale des Barrages et Transfert pour leur aide.

### 2.1. La méthode du bilan énergétique

La méthode du bilan énergétique est reconnue comme la méthode la plus simple pour déterminer l'évaporation à partir d'une surface d'eau. L'équation du bilan s'écrit alors :

$$R_n = L_v E + H + G$$

Où :  $R_n$  est le rayonnement net qui correspond à la somme des flux solaires de courtes et grandes longueurs d'ondes reçus et émis à la surface.

Une partie de  $R_n$  sert à vaporiser l'eau disponible à la surface du sol et donne naissance à un flux de chaleur latente  $L_v E$ , où  $E$  est l'évaporation à la surface et  $L_v$  la chaleur latente de vaporisation de l'eau ( $\cong 2,4 \cdot 10^6 \text{ J.Kg}^{-1}$ ). Le reste est dissipé en flux de chaleur sensible  $H$  qui

sert à chauffer l'air et en flux de chaleur G emmagasiné dans l'eau. En moyenne, sur une journée, nous pouvons négliger le terme d'emmagasinement devant les autres termes, nous pouvons donc admettre que  $G \cong 0$  ([3], [4]). Alors le taux d'évaporation s'écrit :

$$E = \frac{Rn - H}{L_v} \quad (1)$$

Avec:  $H = h_c(T_s - T_a)$  et  $Rn = (1 - \alpha)Rg + \varepsilon\sigma(T_a - 6)^4 - \varepsilon\sigma T_s^4$

Où Le coefficient de transfert de chaleur  $h_c$  est calculé à partir de la théorie de couche limite turbulente sur plaque plane ( $h_c = 5,907 V^{0.8} L_c^{-0.2}$ ),  $T_s$  : est calculée à partir d'un bilan énergétique à la surface [2] et  $Rg$  est le rayonnement global qui correspond à la somme des rayonnements solaire directe et diffus de courtes longueur d'onde. Il est calculé à partir de relations connues dans la littérature.

## 2.2. La formule de Penman

La formule de Penman est sans doute la formule la plus utilisée dans la littérature pour des surfaces d'eau libres (ou sol nu saturé)

$$L_v E = \frac{(Rn - G)\Delta + (\rho c_p \Delta P_{va} / R_a)}{\Delta + \gamma}$$

Avec :  $\Delta P_{va} = [P_{vs}(T_a) - P_v(T_a)]$  et  $\Delta = \frac{P_{vs}(T_h) - P_{vs}(T_a)}{T_h - T_a} = \left[ \frac{\Delta P_{vs}}{\Delta T} \right]_{T=T_a}$

$R_a$  : est la résistance aérodynamique au transfert de chaleur et de masse ( $R_a = \frac{\rho c_p}{h_c}$ )

Puisque le terme de conduction G est négligeable, alors, l'équation de Penman devient :

$$L_v E = \frac{Rn\Delta + (\rho c_p \Delta P_{va} / R_a)}{\Delta + \gamma} \quad (2)$$

## 2.3. La loi de Stefan

La quantité d'eau évaporée est donnée par :  $L_v E = \frac{L_v k_E M_w}{RT_a} (P_{vs}(T_s) - P_v(T_a))$  (3)

Où :  $P_{vs}$  est donnée par la relation de Clausius -Clapeyron,  $P_v$  est donnée par :  $P_v(T_a) = h_r P_{vs}(T_a)$  et le coefficient de transfert de masse  $K_E$  est calculé à partir de la relation de Lewis ( $K_E = \frac{h_c}{\rho c_p}$ ).

## 2.4. Théorie de similitude de Monin- Obukhov (ou Monin – Obukhov Similarity : MOS)

La théorie de similitude de Monin - Obukhov permet d'estimer les profils verticaux de la vitesse du vent, de la quantité de mouvement, de la chaleur et du flux de vapeur d'eau en utilisant seulement quelques paramètres. Pour cela, Monin et Obukhov (1954) ont introduit une longueur caractéristique L décrivant l'état de l'atmosphère :

$$L = - \frac{\rho c_p T_s u_*^3}{KgH}$$

Toutefois, la méthode de Monin Obukhov nécessite une itération de la longueur caractéristique L. Il s'agit alors de calculer :

$$u_* = \frac{K\bar{u}(z)}{(\text{Log}(z/z_0) - \psi_M(\xi))} \text{ et } H = \frac{\rho C_p k(T_s - T(z))u_*}{\log(\frac{z}{z_0}) - \psi_H(z/L)} \text{ pour avoir :}$$

$$L_v E = \frac{k \rho L_v u_* (q_s - q(z))}{\log\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_E(z/L)} \quad (4)$$

$\psi_M$ ,  $\psi_H$  et  $\psi_E$  sont les fonctions de similitude de Monin Obukhov respectivement pour la vitesse, la température et l'humidité spécifique normalisées calculées d'après les relations de Businger [5]- Dyer [6] et en utilisant les intégrales de Paulson [7].

La vitesse moyenne du vent  $\bar{u}(z)$  est calculée à une altitude de  $z = 2m$  d'altitude (l'altitude la plus connue d'après la littérature) et  $q_s$  et  $q(z)$  sont l'humidité spécifique à la surface de l'eau et celle à une altitude  $z = 2m$  respectivement. De même que  $T(z) = T_a$ .

Pour combiner la méthode de Monin Obukhov avec les autres formules nous avons injecté la vitesse de frottement dans l'expression du taux évaporé à l'aide de la relation suivante :

$$Ra = \frac{\bar{u}}{u_*^2}$$

Par contre, pour le bilan énergétique nous avons utilisé le flux de chaleur sensible calculé à partir de la dernière itération de la méthode de Monin Obukhov. Pour cela, nous avons fait les combinaisons suivantes :

- La méthode de Monin Obukhov combinée avec la méthode du Bilan énergétique
- La méthode de Monin Obukhov combinée avec la méthode de Stefan
- La méthode de Monin Obukhov combinée avec la méthode de Penman

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

Par les méthodes de calcul citées précédemment, nous avons analysé le taux d'évaporation à partir de trois barrages appartenant à des régions de l'Algérie de climats différents :

- Barrage de Kaddara (zone humide)
- Barrage de Foug elgheiss (zone semi aride)
- Barrage de Djorf Ettorba (zone aride)

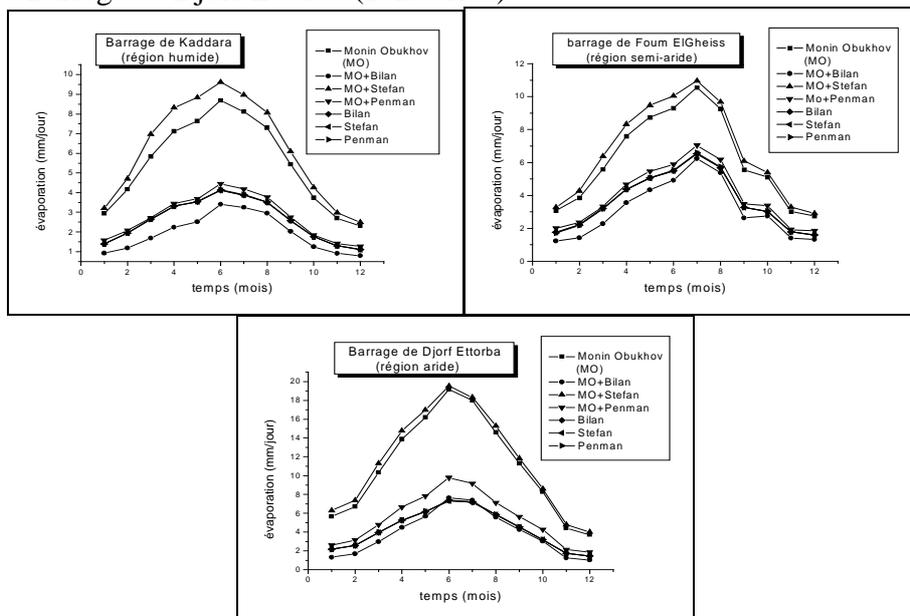


Figure 1. Comparaison de l'évaporation mensuelle pour trois zones en Algérie durant l'année 2003, en utilisant sept méthodes de calcul.

On remarque que les courbes sont identiques pour le bilan énergétique, la loi de Stefan et la formule de Penman, et cela pour les trois barrages cités auparavant. En ce qui concerne les combinaisons de la méthode de Monin Obukhov avec les formules classiques citées dans cette étude, on remarque que l'évaporation calculée à partir de la combinaison MO- Penman (Fig.1) se rapproche des trois méthodes classiques avec une différence notable enregistrée pour la région aride. Ceci est vérifié dans la littérature [8]. La courbe de la combinaison MO- Bilan énergétique montre aussi un tel comportement mais dans le sens où les valeurs de l'évaporation, calculées par la combinaison MO- Bilan, sont moins élevées comparé à celles obtenues avec les trois méthodes classiques (contrairement à la combinaison MO- Penman qui donne des valeurs plus élevées). Cependant, On remarque un grand écart entre, d'une part les courbes obtenues par la méthode de Monin Obukhov et la combinaison MO- Stefan, et d'autre part les autres méthodes utilisées dans ce travail. Cette différence est remarquable pour les taux moyens de l'évaporation, calculées par ces deux dernières méthodes.

\*L'introduction de la stabilité atmosphérique dans le terme aérodynamique (par l'intermédiaire de la vitesse de frottement  $u_*$ ), n'affecte pas le terme lié au rayonnement net  $R_n$  qui reste le même dans l'équation de Penman ou dans la combinaison MO- Penman. Ceci rend la formulation de Penman un outil puissant pour calculer l'évaporation.

\*Pour l'équation du bilan énergétique, l'instabilité affecte seulement le terme de la chaleur sensible et n'a aucun effet sur le rayonnement net  $R_n$  dans la combinaison MO- Bilan.

\*Par contre, dans la méthode de Stefan, qui est une méthode de transfert de masse, l'introduction de la vitesse de frottement  $u_*$  influence directement l'évaporation calculée par cette méthode puisqu'elle est composée que du terme aérodynamique. Pour cette raison, une grande différence est remarquée entre la courbe liée à la loi de Stefan et celle liée à la combinaison MO- Stefan.

\* On pourrait faire la même remarque concernant la formulation de Monin Obukhov, qui est analogue à une méthode de transfert de masse, puisqu'elle est composée d'un seul terme où la vitesse de frottement joue un rôle prépondérant.

## CONCLUSION:

L'évaporation est calculée à partir des quatre méthodes utilisées habituellement dans la littérature et trois méthodes combinant de façon cohérente les formules classiques calculant le taux d'évaporation. Ces différentes méthodes ont permis d'évaluer l'évaporation dans trois régions de l'Algérie : humide, semi aride et aride. Les courbes montrent que les formules de Penman, de Stefan, et du bilan énergétique donnent des résultats très proches pour l'évaporation mensuelle. La vitesse du vent et l'instabilité thermique de l'atmosphère s'avèrent des facteurs très significatifs pour l'évaporation mensuelle calculée à partir de la méthode de Monin Obukhov. La MOS est relativement plus complexe pour estimer le taux d'évaporation. Toutefois, c'est la seule formule qui met en évidence l'effet des caractéristiques de la surface sur les flux calculés. Ces effets liés à la surface humide ne sont pas pris en considération dans les formules de Penman, de Stefan et du bilan énergétique bien que le rôle de la turbulence soit inclus systématiquement dans ces équations, puisque les coefficients de transfert de chaleur et de masse résultent de l'application de la théorie de la couche limite turbulente sur des surfaces planes. Par ailleurs, le principe puissant de la MOS, a l'inconvénient de ne pas prendre explicitement l'effet du rayonnement solaire.

Donc, la combinaison de la théorie de Monin Obukhov avec les formules classiques citées précédemment, nous donne une nouvelle approche qui prend en considération :

- L'effet du rayonnement solaire et donc la nature de la surface (surface du sol, surface d'eau, albédo, émissivité etc.)
- L'effet de la stratification thermique de l'atmosphère sur les écoulements turbulents.

Enfin, nous comptons exploiter ces différentes combinaisons, dans le cas de données moyennées sur plusieurs années.

### Nomenclature

$c_p$	chaleur massique de l'air, $J.Kg^{-1}.K^{-1}$
$g$	accélération de la pesanteur, $m.s^{-2}$
$K$	constante de Von Karman $\cong 0.4$
$k_E$	coefficient de transfert de masse convectif, $m.s^{-1}$
$L$	longueur de Monin Obukhov, en m
$M_w$	masse molaire de la vapeur d'eau, $Kg.mole^{-1}$
$P_v$	pression de vapeur, $Pa$
$P_{vs}$	pression de vapeur saturante, $Pa$
$R_a$	résistance aérodynamique, $s.m^{-1}$
$T_a$	température de l'air ambiant, $K^\circ$
$T_s$	température de la surface, $K^\circ$
$u_*$	vitesse de frottement, $m.s^{-1}$

$z_0$	longueur de rugosité, $m$
$h_r$	humidité relative, %
$L_c$	longueur caractéristique de la plaque, $m$ .
$R$	constante des gaz parfaits, $J.mole^{-1}.K^{-1}$

### Symboles grecs

$\alpha$	albédo de la surface de l'eau
$\gamma$	constante psychrométrique, $Pa.K^{-1}$ .
$\Delta$	penne de la courbe de pression de vapeur saturante à la température de l'air, $Pa.K^{-1}$
$\varepsilon$	émissivité de la surface de l'eau
$\rho$	masse volumique de l'air, $Kg.m^{-3}$
$\sigma$	constante de Stefan- Boltzmann $W.m^{-2}.K^{-1}$

### References:

- [1]-M.B. Parlange, W.E. Eichinger, J.D. Albertson, Regional Scale Evaporation and the Atmospheric Boundary Layer, *Reviews of Geophysics*, Volume 33, pp99-124, 1995.
- [2]-E. Sartori, A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from free water surfaces, *Int. J. of Solar Energy*, Volume 68, No. 1, pp77-89, 2000.
- [3]-M. Saïghi, Nouveau modèle de transfert hydrique dans le système sol- plante- atmosphère, Thèse de Doctorat Es- Sciences, USTHB, 2002.
- [4]- W.E. Eichinger, J. Nichols, J.H. Prueger, L.E. Hipps, C.M.U. Neale, D.I. Cooper, and A. S. Bawazir, Lake evaporation estimation in arid environments, Final Report, IIHR - Hydroscience & Engineering, IIHR Report No. 430, University of Iowa, 2003.
- [5]- Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley, Flux profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci*, Volume 28, pp181-189, 1971.
- [6]- A. J.Dyer and B. B. Hicks, Flux- gradient relationships in the constant flux layer, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc*, Volume 96, pp715-721, 1970.
- [7]- C. A.Paulson, The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer, *J. Appl. Meteor*, Volume 9, pp857-861, 1970.
- [8]- G. Papaioannou et C. Jacovides, Atmospheric Stability Effects on Eddy Transfer Coefficients and on Penman's Evaporation Estimates, *Water Resources Management*, Volume3, pp 315-322, 1989.