

ETREF UN LOGICIEL QUI CALCULE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE

Carmen Maftai, Cristina Gherghina, Sunai Gelmambet, Constantin Buta
 Université « Ovidius » Constanta, cmaftai@univ-ovidius.ro

Mot clef: logiciel, évapotranspiration, environnement

Abstract: This paper presents a program for calculating reference evapotranspiration. The application presented here is written in Java, a high-level object-oriented programming language, developed by JavaSoft. The graphical interface is suggestive and easy to use. Due to this friendly interface, the program let's the user navigate real easily through the commands sets and get the results he/she needs. The ERTEF application allows the user to execute quickly and efficiently three complex algorithms over a large data set, having the results calculated in a short period of time and registered in Excel file in a specified location

1. Introduction

L'évapotranspiration est un variable clef du cycle hydrologique. De sa variabilité dépend les processus de ruissellement et infiltration. De plus, l'évapotranspiration est un élément indispensable à une gestion adéquate de l'eau sur un bassin versant. La variation de l'évapotranspiration peut, d'une manière significative influencer le climat, en variant les flux à la frontière sol-plant-atmosphère. Par exemple, l'évaporation peut être limitée par la quantité d'eau contenue par le sol, c'est-à-dire son humidité. En tenant compte de l'importance de ce variable dans les calculs de bilan d'eau, cet article propose un logiciel qui calcule l'évapotranspiration de référence par différentes models mathématiques, en fonction de types de données que l'utilisateur peut avoir à sa disposition. Le logiciel est réalisé dans le langage Java. Avant de présenté le logiciel proprement dite, il faut présenté quelques informations sur la notion de l'évapotranspiration de référence et les modèles mathématiques utilisé pour son évaluation.

2. Présentation de l'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau liquide se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration [Morell M., 99]. On peut distinguer trois notions dans l'évapotranspiration :

- l'évapotranspiration de référence (ET) ou évapotranspiration potentielle, est défini comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme, couvrant totalement le terrain, en pleine période de croissance, recouvrant complètement le sol et abondamment pourvue en eau
- L'évapotranspiration maximale (ETM) d'une culture donnée est définie à différents stades de développement végétatif, lorsque l'eau est en quantité suffisante et que les conditions agronomiques sont optimales (sol fertile, bon état sanitaire, ...).
- L'évapotranspiration réelle (ETR) est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire réel.

Les modèles utilisées pour déterminer les évapotranspirations peuvent être groupées dans les catégories suivantes [Singh V.P. et al., 97] : modèles empiriques, modèles basées sur le

bilan d'eau, méthodes basées sur le bilan d'énergie, méthodes basées sur le transfert de masse, méthodes mixtes, méthodes directes. Pour cette application nous avons choisi deux modèles empiriques et un modèle mixte.

Les méthodes empiriques sont l'expression du résultat d'un traitement statistique des observations disponibles concernant certains éléments physiques ou atmosphériques facilement mesurables [Musy A. et al., 92]. L'agronome américain Thornthwaite proposa en 1931 une expression de l'évapotranspiration ne tenant compte que de la température mensuelle [Lambert R., 98] [Drobot R. et al., 99].

$$ET = 1,6 \cdot \left(\frac{10}{I}\right)^a \cdot t^a \cdot f \quad (1)$$

où : ET : évapotranspiration mensuelle (cm), t : température moyenne mensuelle (°C) a : coefficient fonction de I, f : facteur fonction de la durée réelle du mois et de l'éclairement, I : indice thermique annuel défini comme la somme des indices thermiques mensuels i,

$$I = \sum_{jan}^{dec} i, \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (2)$$

$$a = (0,0675 \cdot I^3 - 7,71 \cdot I^2 + 1792 \cdot I + 49239) \cdot 10^{-5} \quad (3)$$

$$f = N \cdot \rho \quad (4)$$

N : durée astronomique du jour pendant le mois considéré (heure/jour), ρ : paramètre dépendant du nombre de jours par mois

La formule de Turc marque un net progrès en faisant intervenir deux nouvelles variables : la radiation solaire et l'humidité relative. Sous sa forme simplifiée, elle s'écrit pour le calcul mensuel (Eq. 5) et pour le calcul décadaire (Eq 6) comme suit [Musy A. et al., 92] :

$$ET = 0,4 \cdot (R_s + 50) \cdot \frac{t}{t + 15} \quad (5)$$

$$ET = 0,13 \cdot (R_s + 50) \cdot \frac{t}{t + 15} \quad (6)$$

où R_s : radiation solaire globale ou radiation d'onde courte mensuelle ou décadaire ($\text{calcm}^{-2} \text{ j}$),

$$R_s = R_a \cdot \left(a + b \cdot \frac{n}{N}\right) \quad (7)$$

t : température moyenne de la période considérée, R_a : rayonnement extra-terrestre ($\text{calcm}^{-2} \text{ j}$), N : durée astronomique possible d'insolation (heure/mois ou décade), n : durée d'insolation effective (heure/mois ou décade), a, b : coefficients fonction de la zone considérée (tableau 1)

tableau 1

Type climat	a	b
Climat aride	0,25	0,45
Climat tropical	0,29	0,42
Climat tempéré	0,18	0,55÷0,62

Lorsque l'humidité relative de l'air, Hr, est inférieure à 50%, on multiplie la valeur de l'ET par le facteur : $\left(1 + \frac{50 - Hr}{70}\right)$

Sont beaucoup des cas quand les station météorologique ne fourni pas le rayonnement extra-terrestre (R_a). Dans ces cas nous pouvons calculer ce paramètre en utilisant l'équation suivante :

$$R_a = \frac{24}{\pi} \cdot G_{so} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)] \quad (8)$$

où: R_a : rayonnement extra-terrestre ($\text{MJm}^{-2}\text{zi}^{-1}$) $1 \text{ MJm}^{-2}\text{zi}^{-1} = 23.9 \text{ cal/cm}^2 / \text{j}$; G_{so} : constante solaire $0,0820 \text{ (MJm}^{-2}\text{mn}^{-1})$; d_r : distance envers entre la surface terrestre et le Soleil (m); ω_s : angle de l'incidence (radian); ϕ : latitude (radian); δ : déclinaison solaire (radian); J : nombre de jour julien;

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J\right) \quad (9)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad (10)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)] \quad (11)$$

$$\phi(\text{rad}) = \phi(\text{lat}) \cdot \frac{\pi}{180} \quad (12)$$

La méthode de Thornthwaite est mieux adaptée aux zones tempérées humides ; en climat tempéré sec elle a tendance à sous-estimer les valeurs d'évapotranspiration. Par contre la formule de Turc est applicable dans la plupart des zones climatiques. Elle a une précision de 10% dans la zone sèche et elle surestime la valeur d'évapotranspiration de plus de 20% en zone humide. Les deux méthodes ne tiennent pas compte de l'effet du vent [Musy A. et al, 92].

Les méthodes mixtes (la méthode Penman et ses variantes) sont une combinaison des équations du transfert de masse et du bilan d'énergie.

Le Comité d'Irrigation de l'A.S.C.E (American Society of Civil Engineers) a proposé une étude détaillée pour évaluer les performances de différentes procédures de calcul de l'évapotranspiration. Cette étude utilise 20 méthodes d'estimation de l'évapotranspiration pour diverses conditions climatiques. L'étude montre des performances très variables et ses conclusions peuvent être résumées comme suit :

- Les méthodes empiriques ont besoin d'un calage rigoureux pour les conditions locales et démontrent des limites globales de validité ;
- Les méthodes du bilan d'énergie montrent de bons résultats en climat humide, mais dans les zones sèches, elles ont tendance à surestimer la valeur de l'évapotranspiration ;
- La méthode du Penman demande un calibrage local de la fonction de vent pour avoir des résultats satisfaisants.
- La méthode Penman-Monteith est la mieux adaptée tant pour les climats humides que pour les climats tempérés.

En analysant les résultats de l'A.S.C.E et d'autres études européennes, la F.A.O. recommande la méthode de Penman-Monteith comme méthode standard d'évaluation de l'évapotranspiration [Allen R. et al, 98]. L'équation Penman-Monteith recommandée par la F.A.O. s'écrit :

$$ET = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{t + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (13)$$

où ET : évapotranspiration (mm/j) ; R_n : radiation nette ($\text{MJm}^{-2}\text{j}^{-1}$) ; G : flux de chaleur du sol ($\text{MJm}^{-2}\text{j}^{-1}$) ; t : température moyenne journalière ($^{\circ}\text{C}$) ; e_s : pression saturante de vapeur d'eau (kPa) ; e_a : pression actuelle de vapeur d'eau (kPa) ; Δ : pente de la courbe de la pression de vapeur ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$) ; γ : constante psychométrique ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)

$$R_n = \sigma \cdot T_{\text{med}}^4 \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{\text{so}}} - 0,35 \right) \quad (14)$$

où R_n : radiation nette ($\text{MJm}^{-2}\text{j}^{-1}$) ; σ : constante du Boltzman égale à $4.903 \cdot 10^{-9} \text{ (MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ zi}^{-1})$; e_a : pression actuelle de vapeur d'eau (kPa) ; T : température moyenne journalière ($^{\circ}\text{K}$) ; R_s : radiation solaire globale ou radiation d'onde courte ($\text{MJm}^{-2}\text{j}^{-1}$) ; R_{so} : radiation solaire globale ou radiation d'onde courte pour un ciel nuageux ($\text{MJm}^{-2}\text{j}^{-1}$) ; z : l'altitude du lieu (m)

$$R_{\text{so}} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot R_a \quad (15)$$

Ce modèle permette de calculer l'évapotranspiration à des pas de temps plus fins (journalière même horaire, en fonction du degré de calcul que nous avons à faire).

3. Présentation de logiciel ETREF

Le logiciel présenté dans cet article est réalisé en Java, un langage développé par la compagnie JavaSoft (Sun Microsystems) qui présente quelques avantages :

- est un langage orienté objet. Le langage procédural est complètement éliminé ;
- est un langage indépendant ; la même application peut être exécutée, sans aucune modification, sous différents systèmes (Windows, Unix or Macintosh). Cette particularité est un gage de portabilité.
- simplicité ; au point de vue du langage, il intègre tout ce que l'on sait faire de mieux en matière de langage de programmation, tout en évacuant les erreurs faites sur les langages dont il est issu ;
- robustesse, car il offre, comme nous l'avons dit, tous les mécanismes nécessaires à un langage orienté objets, tout en étant débarrassé de mécanismes souvent sources d'erreurs ;
- sécurité ; il est plus sûr langage de programmation disponible dans ce moment, car il possède des mécanismes strictes de sécurité : la vérification dynamique du code, des règles strictes pour l'exécution des programmes.

L'application ETREF est une implémentation Java de trois modèles qui calculent l'évapotranspiration déjà présentées : Thornthwaite, Turc et Penman-Monteith.

L'interface graphique est suggestive et facile à utiliser, les menus étant donnés en roumaine. Cette interface permet à l'utilisateur de naviguer facilement parmi les sets de commandes et de choisir la commande correspondante.

L'application offre support pour :

- La gestion des données d'entrée correspondantes aux trois modèles présentes. Les données peuvent être sous format texte ou Excel. Les deux formats sont présentés à l'utilisateur soit dans la documentation afférente soit dans le menu « Aide ». Nous précisons que sont implémentés tous les cas de gestion de données, en fonction du format dans lequel elles sont fournies par les stations météorologiques ou dans lequel l'utilisateur les a (valeurs journalières, mensuelles ou décadales - voir fig. 1).
- Le saisir les données ;

- La vérification de l'intégrité de données et l'affichage des messages correspondants quand sont détectés des erreurs ;
- Le calcul de la radiation extra-terrestre (Ra) –pour le modèle Turc (fig. 2 à gauche) ;
- Choisi le type de climat pour lequel on exécute le logiciel (fig. 2 à droite) ;
- Le calcul de l'évapotranspiration décadaire ou mensuelle ;
- La sauvegarde de sorties sous un format Excel, dans une location choisit par l'utilisateur. Nous avons choisi ce format car il offre des grandes possibilités en ce qui concerne le travail avec les valeurs numérique et la réalisation de graphiques ;
- L'information d'utilisateur, par une documentation solide, en ce qui concerne les options de l'application ;

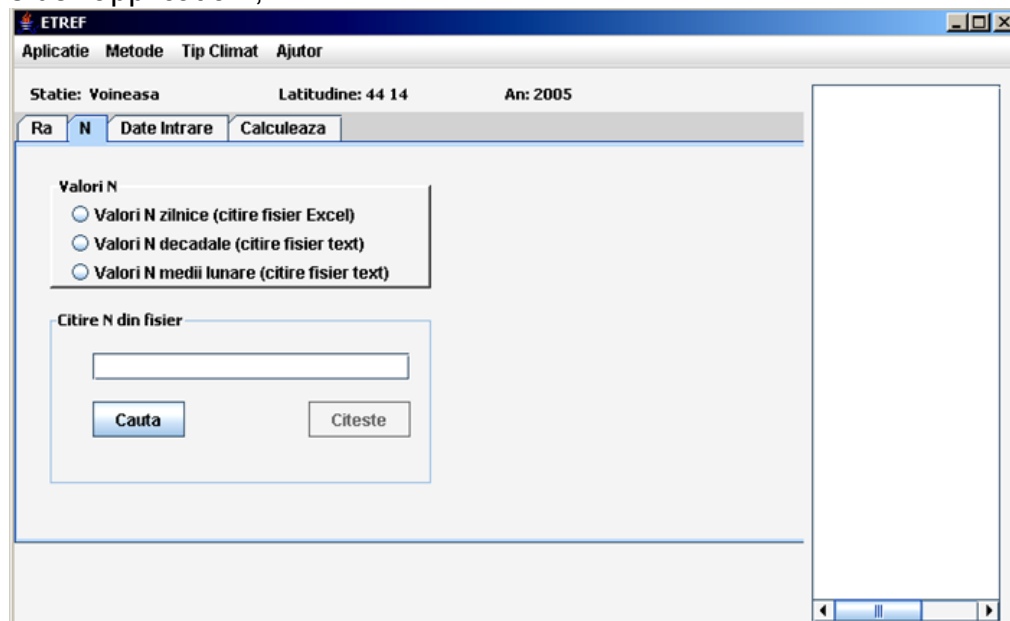


Fig. 1. Menu gestion de données

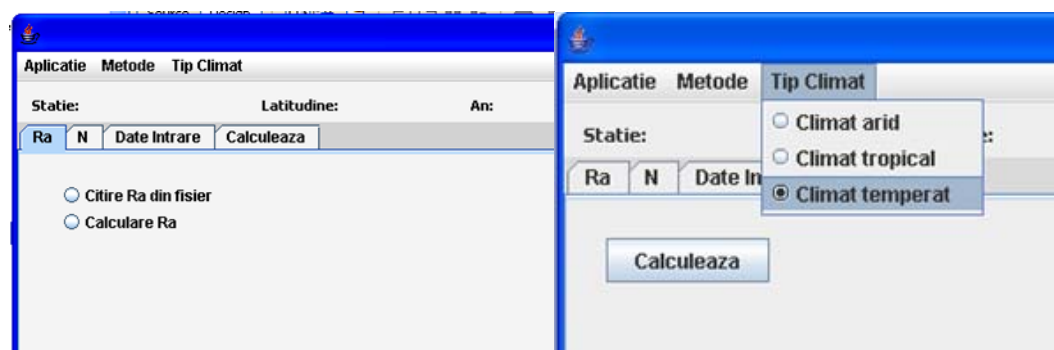


Fig. 2 Le calcul de Ra (à gauche) et le type de climat (à droite)

Installation et l'exécution de ce logiciel se fait simplement par double click sur l'archive ETREF.jar. Parmi les fonctions classiques du langage Java, l'application fait appel à la bibliothèque « jxl.jar » qui contient les fonctions nécessaires aux opérations avec les fichiers en format Excel. Pour cette raison, dans le processus d'installation, on fait automatiquement une copie de cette archive dans le répertoire « jre/lib/ext » dans l'ordinateur de l'utilisateur.

L'organigramme du flux de l'exécution de cette application quand l'utilisateur demande le calcul de l'évapotranspiration par le modèle Turc est présenté dans la fig. 3. Les données d'entrée sont : la radiation solaire globale décadaire (fourni par un fichier «*.txt »), durée astronomique possible d'insolation, N (fichier de données journalière dans un format Excel), la température est la durée d'insolation effective, n sont fournis par la station météo Voinesti en valeurs journalières. Le calcul se fait pour un climat tempéré.

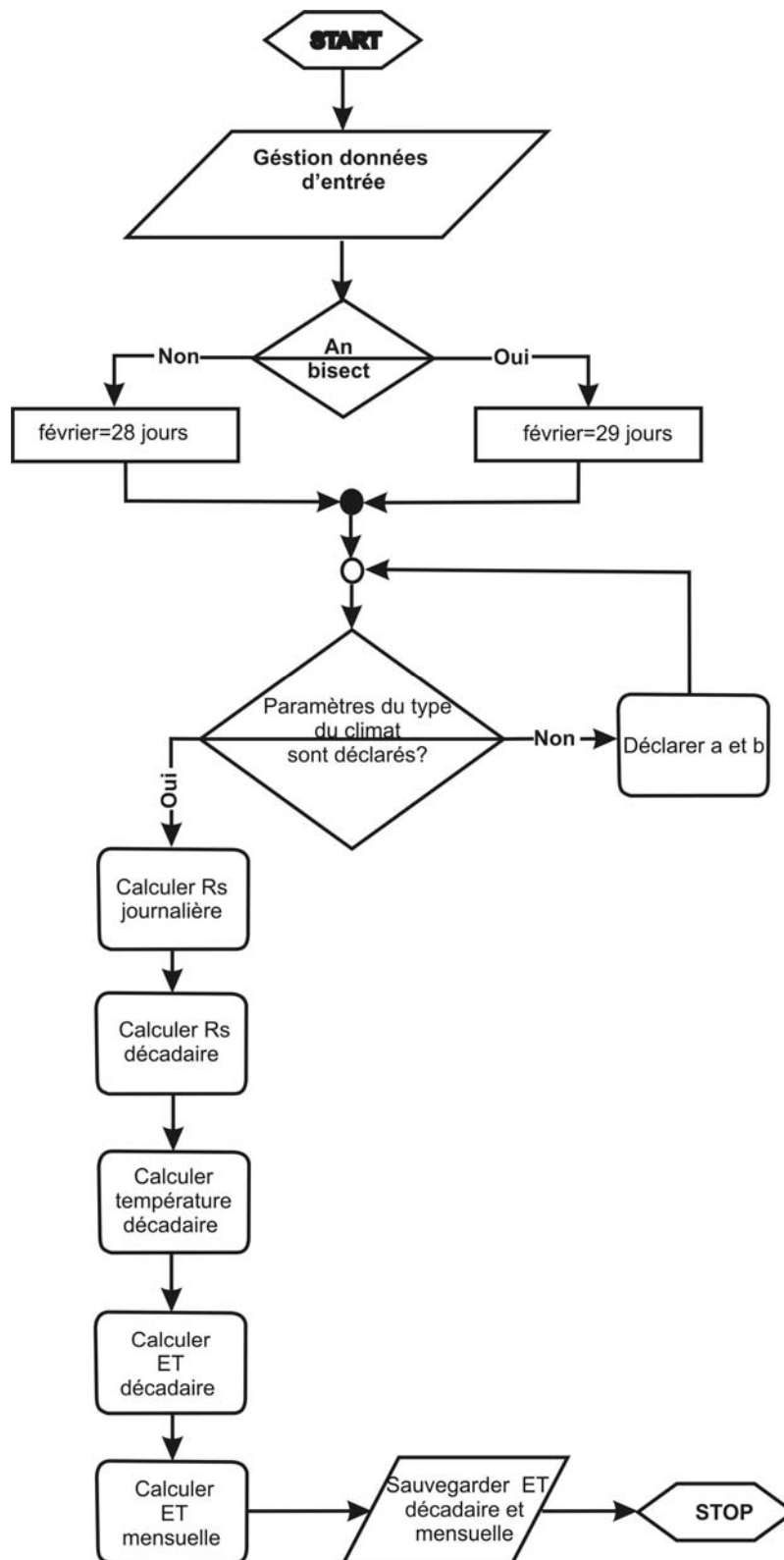


Fig. 3. L'organigramme du logiciel pour le modèle Turc

4. Conclusion

L'application ETREF fait partie d'un projet plus grand de l'équipe de recherche, qui veut intégrer aussi dans ce logiciel une partie de calcul statistique et une partie de calcul de bilan d'eau nécessaire dans la gestion de l'eau en irrigation. Pour le moment l'application ETREF offre aux utilisateurs un outil de calcul rapide et efficace de l'évapotranspiration par trois modèles. Un avantage de ce logiciel est la grande base de données avec laquelle il peut travailler et la rapidité de la réponse. Un autre avantage est la manière de la gestion de données entrée/sortie soit sur fichier texte soit en fichier Excel, ce qui permet leur utilisation dans autres applications.

Bibliographie

- [1] Allen R. et al, *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* - FAO Irrigation and drainage paper 56 FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998
- [2] Drobot R. Serban P, *Aplicatii de hidrologie si gospodaria apelor*, Ed. *H*G*A, Bucuresti 1999
- [3] Morell M., Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base, Ed. *H*G*A, Bucuresti 1999
- [4] Musy A., Laglaine V., *Hydrologie générale*, Ed. Press Universitaire du EPFL Lausanne, Suisse 1992
- [5] Lambert R., Géographie du cycle de l'eau Ed. Press Universitaire du Mirail 1998
- [6] B. Eckel - *Thinking in Java, 3rd Edition*, Prentice Hall, 2002
- [7] E. Petac, T. Udrescu *Fundamente Java*, Ed. MatrixRom, 2004
- [8] Singh V.P., Xu C.Y., Evaluation generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation, *Hydrologica Process*, vol.11, pp. 311-323, 1997