

Exercice n° HG 0401 - Corrigé

Calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0 à la station ANETZ de Pully (VD, Suisse)

Données de l'exercice :

L'exercice porte sur les données météorologiques (valeurs moyennes) mesurées à la station ANETZ de Pully pour l'année 1999. Les données météorologiques de l'exercice sont regroupées dans le fichier « HG0401_enonce.xls ». Le corrigé de l'exercice est aussi disponible en document Excel « HG0401_corrige.xls ».

Question 1. Estimation de ET_0 en utilisant la formule de Turc

☉ Méthode à appliquer : formule de Turc.

De nombreux auteurs proposent des méthodes simples d'estimation de l' ET_0 basées sur des formulations statistiques-empiriques. La formule de Turc (1961) appartient à cette catégorie de modèle et s'applique dans les régions tempérées. Suivant la valeur de l'humidité relative H_r , elle s'écrit dans son expression décadaire :

Si $H_r > 50\%$:

$$ET_0 = 0.13 \cdot (R_G + 50) \cdot \frac{t}{t+15} \quad (1)$$

Si $H_r \leq 50\%$:

$$ET_0 = 0.13 \cdot (R_G + 50) \cdot \frac{t}{t+15} \cdot \left(1 + \frac{50 - H_r}{70}\right) \quad (2)$$

ET_0 : Evapotranspiration de référence
[mm]

t : Température [°C]

R_G : Rayonnement global
[cal/cm²/jour]

Dans le cas où le rayonnement global R_G (i.e. solaire incident donc tout ce qui arrive au sol) est exprimé en W/m², les relations ci-dessus s'expriment en multipliant la valeur de R_G par 2.065.

Cette formulation est très simple d'emploi mais ne permet pas de prendre en compte les effets du vent. De plus, elle n'est pas applicable à des échelles de temps réduites (pas de temps horaire ou journalier) qui sont justement celle qui intéresse l'ingénieur lors de projets d'irrigation.

☉ Démarche et résultats.

L'évapotranspiration de référence ET_0 est obtenue en appliquant l'équation (1) ou (2) de la formule de Turc suivant la valeur de l'humidité relative. On obtient ainsi une valeur annuelle :

$$ET_0 = 707.7 \text{ mm}$$

Question 2. Estimation de ET_0 en utilisant la formule de Penman-Monteith

⊙ Méthode à appliquer : formule de Penman-Monteith.

Penman (1948) fut le premier à proposer un modèle combinant la théorie aérodynamique et les bilans d'énergie pour le calcul de l'évapotranspiration. Ces types de modèles, dit combinés, ont une signification physique bien définie puisqu'ils prennent en compte à la fois les propriétés de la canopée et les conditions météorologiques. La formule de Penman-Monteith (1981) dérive de l'équation de Penman originale et forme l'approche la plus complète du processus d'évapotranspiration puisqu'il a l'avantage d'inclure la physiologie de la plante par l'intermédiaire de la résistance de surface.

La forme générale de l'équation de Penman-Monteith pour l'estimation de l'évapotranspiration de référence ET_0 est :

$$ET_0 = \frac{R_n \cdot \Delta + \frac{\rho \cdot c_p \cdot \delta e}{r_a}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right]} \quad (3)$$

ET_0 : évapotranspiration de référence calculée par la formule de Penman-Monteith, en [mm/s],
 R_n : rayonnement net, en [W/m²],
 Δ : pente de la courbe de pression de vapeur à la température moyenne de l'air, en [kPa/°C],
 ρ : masse volumique de l'air, en [kg/m³],
 c_p : capacité thermique de l'air humide, en [J/kg/°C],
 δe : différence entre la pression de vapeur saturante e_s [kPa] et la pression de vapeur effective dans l'air e_a [kPa]
 r_a : résistance aérodynamique, en [s/m],
 λ : chaleur latente de vaporisation de l'eau, en [J/kg],
 γ : constante psychrométrique, en [kPa/°C].

Pour l'exécution pratique des calculs, certaines des variables climatiques définies ci-dessus sont considérées comme constantes et certaines sont à calculer sur la base des données météorologiques disponibles (en règle générale : la température, la vitesse du vent, la pression, le rayonnement global, l'humidité et l'albédo). Les valeurs des différentes constantes météorologiques citées ci-dessus peuvent être consultées dans des tables [<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>].

Le succès de cette méthode dépendra de la précision obtenue pour l'estimation du terme exprimant la résistance de la canopée (ou résistance de surface, r_s).

Rappel sur les variables climatiques :

$R_n = R_g \cdot (1 - \alpha) \quad (4)$	R_n : rayonnement net, en [W/m ²] R_g : rayonnement global, en [W/m ²] α : albedo, adimensionnel
$\delta e = e_s - e_a \quad (5)$	δe : différence de pression..., en [kPa] e_s : pression de vapeur saturante, en [kPa] e_a : pression de vapeur actuelle de l'air, en [kPa]
$e_s = 0,611 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot t}{237,3 + t}\right) \quad (6)$	e_s : pression de vapeur saturante, en [kPa] t : température de l'air, en [°C]
$e_a = e_s \cdot \frac{H_r}{100} \quad (7)$	e_a : pression de vapeur actuelle de l'air, en [kPa] e_s : pression de vapeur saturante, en [kPa] H_r : humidité relative de l'air, en [%]
$r_a = \frac{1}{\kappa^2 \cdot u} \cdot \left[\ln\left(\frac{z - d_0}{z_0}\right) \right]^2 \quad (8)$	r_a : résistance aérodynamique, en [s/m] κ : constante de von Karmann, valant 0.41 (adimensionnelle) u : vitesse du vent, en [m/s] z : hauteur de l'anémomètre (= h + 2, avec h la hauteur de la végétation), en [m] d_0 : translation... (= 3/4h), en [m] z_0 : hauteur de frottement (= h/10), en [m]

⊙ Démarche et résultats.

Étape 1. Estimations des variables climatiques considérées comme constantes et des caractéristiques du couvert végétal d'après l'énoncé et/ou les tables (exprimée de manière à obtenir une évapotranspiration en [mm/s] selon l'équation (3)) :

- Le sol est recouvert d'herbe,
- La hauteur d'herbe h est de 0.12 mètres,
- La résistance de surface r_s est de 70 s/m,
- L'albédo α est de 0.23,
- La densité de l'air à pression constante ρ est environ égale à 1,246 kg/m³.
- La densité de l'eau est égale 1000 kg/m³
- La capacité thermique de l'air humide C_p est environ égale à 1013 J/kg/°C.
- La chaleur latente de vaporisation de l'eau λ est environ égale à 2,45 10⁶ J/kg.
- La constante psychrométrique est de $\gamma=0,0652$ kPa/°C.

Étape 2. Calcul des différentes variables climatiques sur la base des données météorologiques disponibles (équations (4) à (8)).

Étape 3. Calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0 d'après l'équation (3). Dans cette équation, la division par la densité de l'eau (= 1000 kg/m³) est implicite ; ceci afin d'obtenir un taux d'évaporation en [mm/s].

décade	R_n [W/m ²]	e_s [Pa]	Δ [Pa/°C]	e_a [Pa]	δe [Pa]	r_a [s/m]	ET_0 [mm/s]	ET_0 [mm/décade]	
1	10	27.25	935.09	64.74	697.63	237.46	87.1	1.17E-05	10.1
2	10	33.54	772.39	54.69	574.50	197.89	83.4	1.13E-05	9.8
3	11	42.58	692.40	49.66	530.18	162.22	75.1	1.13E-05	10.7
4	10	48.03	666.85	48.04	486.95	179.90	71.8	1.26E-05	10.9
5	10	52.66	613.63	44.63	468.90	144.72	66.6	1.17E-05	10.1
6	8	54.41	833.20	58.48	651.32	181.88	88.5	1.35E-05	9.3
...

