

Bilan radiatif et bilan d'énergie

UFR PERBE
UMR AgroParisTech-INRA EcoSys
Benoit.Gabrielle@AgroParistech.fr
Julia.Hebbrecht@inrae.fr
Sebastien.Saint-Jean@AgroParisTech.fr
Patrick.Stella@AgroParisTech.fr

janvier 2021

1 Objectifs

L'objectif de ce TD est d'illustrer les concepts de bilan radiatif et de bilan d'énergie vus en cours et de montrer leur importance dans le déterminisme de l'évapotranspiration.

2 Rappels

2.1 Bilan radiatif

Le bilan radiatif s'exprime comme le bilan des densités de flux énergétiques radiatives gagnées ou perdues par une surface, c'est aussi la puissance par unité de surface, les densités surfacique de flux sont ici exprimées en valeur absolues :

$$R_n = (1 - a) \cdot R_g + \varepsilon \cdot (R_a - R_t) \quad (1)$$

avec

R_n = Rayonnement net [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

R_g = Rayonnement solaire global [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

a = Albedo[.]

ε = Émissivité [.]

R_a = Rayonnement atmosphérique [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

$R_t = \sigma T_s^4$ Rayonnement surfacique loi de Stefan-Boltzmann [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ constante de Stefan-Boltzmann

2.2 Équation du bilan d'énergie

$$R_n + H + LE + G = \Delta E \quad (2)$$

avec :

- ΔE la variation d'énergie stockée dans la couche de surface supposée infiniment fine (ce terme est souvent considéré négligeable lorsque le système est considéré en état stationnaire ou quasi-stationnaire).
- R_n est le bilan radiatif Éq. (1),
- H le flux de chaleur sensible Éq. (3),
- LE le flux de chaleur latente Éq. (4),
- G le flux conductif

exprimés en $[W \cdot m^{-2}]$, ces termes sont décrits ci-dessous.

2.2.1 Flux de chaleur sensible

$$H = \rho C_p \cdot h(u) \cdot (T_s - T_a) \quad (3)$$

avec :

- $\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$ masse volumique de l'air
- $C_p = 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ chaleur spécifique de l'air
- $h(u)$: fonction d'échange croissante de la vitesse du vent u $[m \cdot s^{-1}]$
- T_s : température de l'air au niveau de la surface $[K]$
- T_a : température de l'air au niveau de référence $[K]$

2.2.2 Flux de chaleur latente

$$LE = \frac{L_v M}{RT} \cdot h(u) \cdot (P(Tr_s) - P(Tr_a)) \quad (4)$$

avec :

- $L_v = 2,46 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ chaleur latente de vaporisation de l'eau
- $M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$ masse molaire de l'eau
- $R = 8,32 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ constante des gaz parfaits
- T : température de l'air $[K]$
- $h(u)$: fonction d'échange croissante de la vitesse du vent u $[m \cdot s^{-1}]$
- $P(Tr_s)$: pressions partielles de vapeur saturante au niveau de la surface
- $P(Tr_a)$: et au niveau de référence dans l'air $[Pa]$

3 TD

3.1 Bilan radiatif

Les figures 1 et 2 représentent les valeurs des différents termes du bilan radiatif mesurés au cours de deux journées d'été à Grignon.

3.1.1 Connaissances

1. Donnez une définition simple de chacun des termes présentés sur la figure 1 et précisez pour chacun d'eux si les flux qu'ils représentent sont dits de «grande longueur d'onde» ou de «courte longueur d'onde».
2. Expliquez l'évolution journalière de R_g , R_t et R_a .
3. Pourquoi aR_g et R_t ont ils des valeurs négatives sur ce graphique?

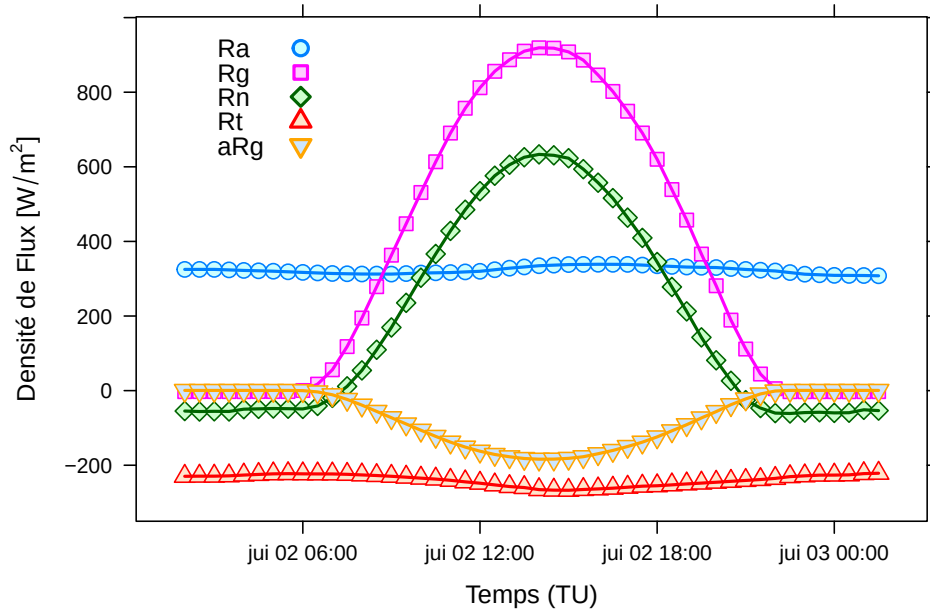


Figure 1: Évolution au cours d'une journée des termes du bilan radiatif mesurés au-dessus d'un couvert de blé (Grignon, ICOS juin 2009)

4. Calculer le rayonnement net au-dessus d'une surface dont l'albedo a vaut 0,2 [...], l'émissivité $\varepsilon = 0,95$ [...], une température 30°C, avec: $R_g = 800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ et $R_a = 350 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
5. Même question, mais de nuit, avec un rayonnement atmosphérique R_a de $350 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ et une température de 15°C.

3.1.2 Analyse et réflexion

6. Le rayonnement net R_n peut-il être négatif ? Quelle(s) conséquence(s) au niveau de la surface de la végétation ?
7. La figure 2 représente les termes du bilan radiatif au cours d'une autre journée d'été. Comparez ce graphique au précédent. Quelles sont les principales différences, et comment les interprétez-vous ?
8. À partir de la loi de Stefan-Boltzmann, calculez le rayonnement surfacique du soleil, sachant que la température du soleil est de 5778K, et l'émissivité vaut 1. Calculer l'intensité du rayonnement solaire extraterrestre noté I_0 appelé aussi constante solaire à partir de D distance terre soleil ($D = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$) et du rayon du soleil ($r_s = 695\,700 \text{ km}$). Calculer l'intensité du rayonnement solaire extraterrestre noté I_0 appelé aussi constante solaire.
9. À partir de la constante extrasolaire I_0 calculez la température d'équilibre de la terre en considérant que l'albédo de la terre a est 0,3, commentez.
10. Donnez l'expression du rayonnement net en fonction de I_0 à la surface de la lune (1) en se situant à son équateur et (2) à une latitude « h ».
11. Donnez l'expression du bilan d'énergie à la surface de la lune.
12. À midi solaire, par beau temps, le rayonnement global (R_g) à Grignon en été est-il égal à la constante solaire I_0 ? Justifiez.

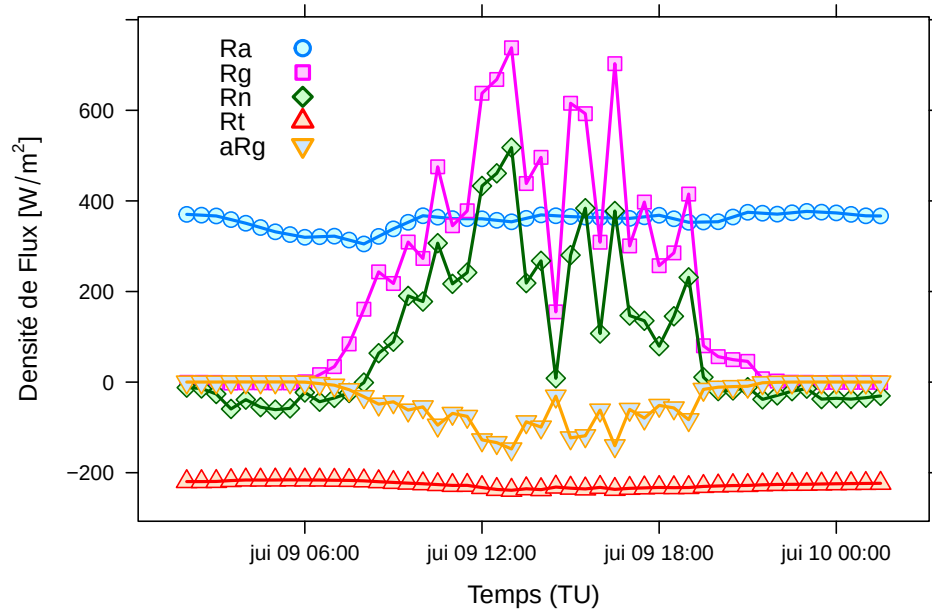


Figure 2: Évolution au cours d'une journée des termes du bilan radiatif mesurés au-dessus d'un couvert de blé (Grignon, ICOS juin 2009)

3.2 Application au bilan d'énergie

Les figures 3, 4 et 5 représentent les termes du bilan d'énergie mesurés au-dessus d'une même parcelle à deux dates données.

3.2.1 Connaissances

1. Quelle différence existe-t-il entre LE qui est le flux de chaleur latente et l'évapotranspiration notée souvent ETR ?

3.2.2 Analyse et réflexion

2. Sur la figure 3, l'intensité maximale du flux LE mesurée à midi est de $380 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. En approximant l'évolution journalière du flux LE , de la figure 3, par une fonction connue (par exemple une branche d'une courbe parabolique ou sinusoïdale, voire un triangle), estimez la quantité d'eau évaporée au cours de la journée ?
3. Analysez les différences entre les figures 3, 4 et 5 et proposez une (plusieurs) explication(s) concernant ces différences observées entre les trois dates.

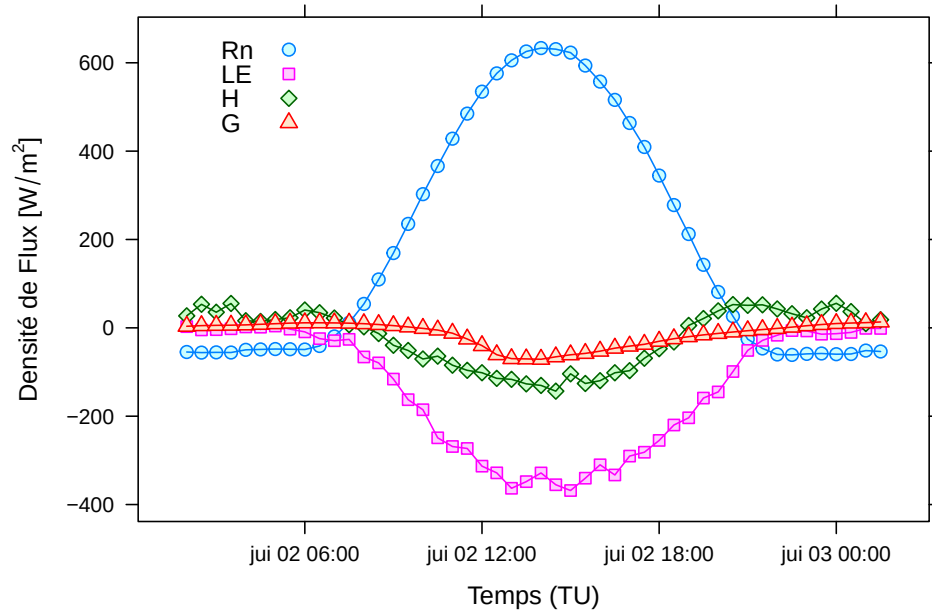


Figure 3: Évolution au cours d'une journée des termes du bilan d'énergie mesurés au-dessus d'un couvert de blé (Grignon, ICOS juin 2009)

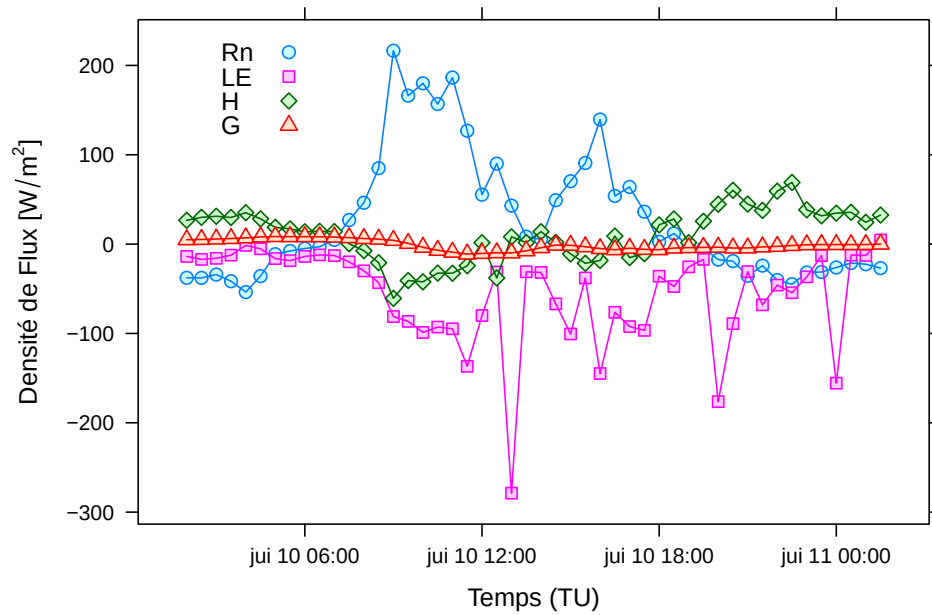


Figure 4: Évolution au cours d'une journée des termes du bilan d'énergie mesurés au-dessus d'un couvert de blé (Grignon, ICOS juin 2009)

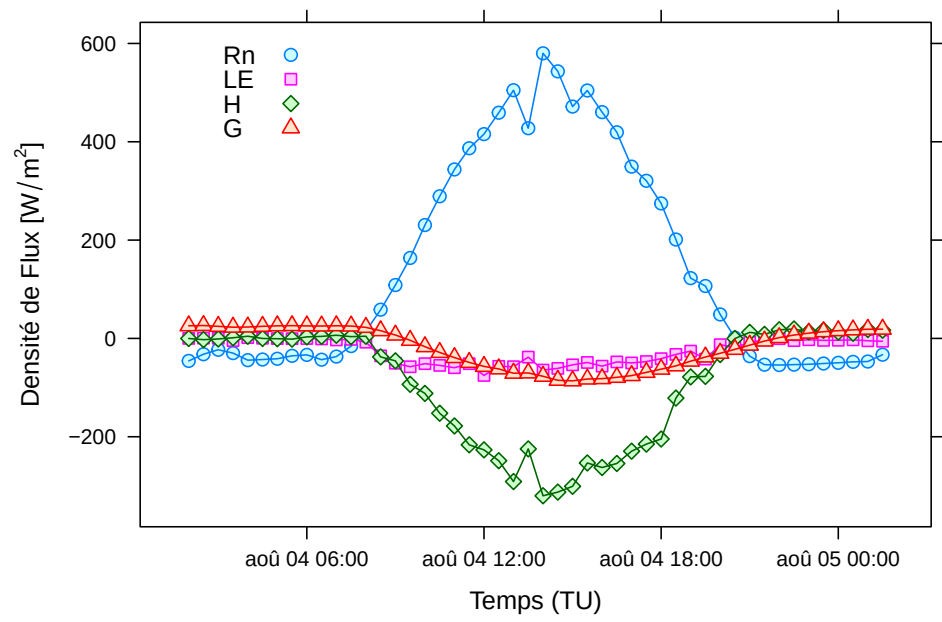


Figure 5: Évolution au cours d'une journée des termes du bilan d'énergie de blé (Grignon, ICOS aout 2009)