

Bilans d'énergie et évapotranspirations : les bases pour comprendre

Introduction : le bilan d'énergie et les échanges végétation – atmosphère

Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

Applications et déterminisme de la température de surface

Les évapotranspirations : définitions et expressions

Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

Réaliser un bilan énergétique consiste à faire la somme des flux responsables du gain ou de la perte d'énergie d'une surface :

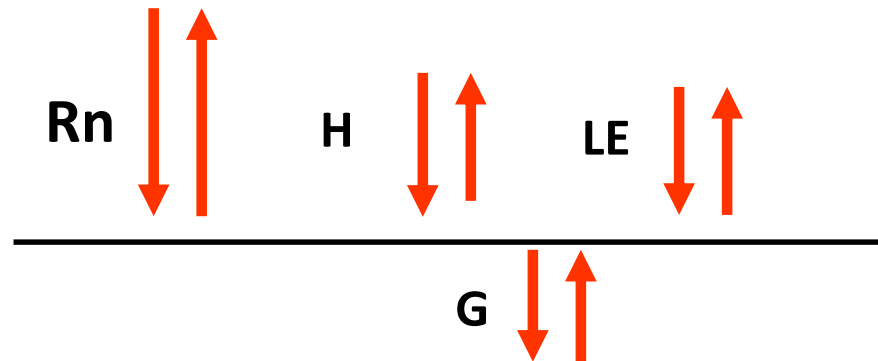
$$R_n + G + H + LE = 0$$

- Flux radiatifs (R_n)
- Flux convectifs (H , LE)
- Flux conductifs (G)

- La somme n'est pas toujours nulle

$$\Sigma F_e - \Sigma F_s = \Delta S_t$$

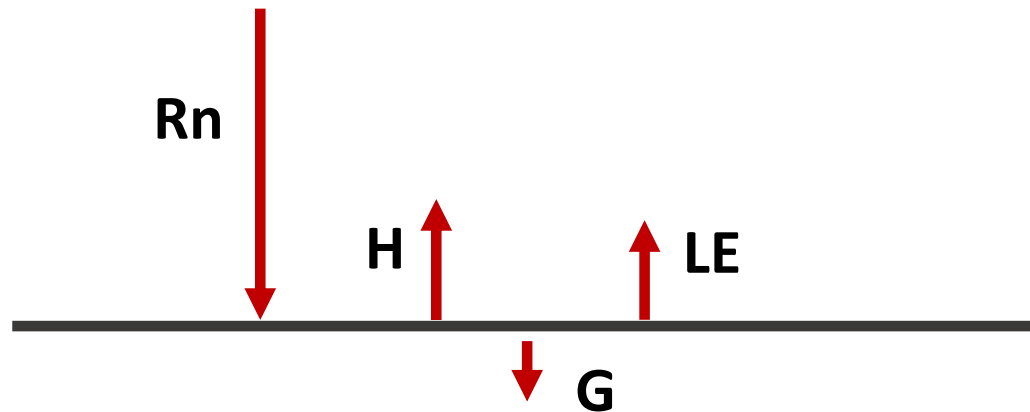
- d'autres flux existent mais peuvent être négligés



Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

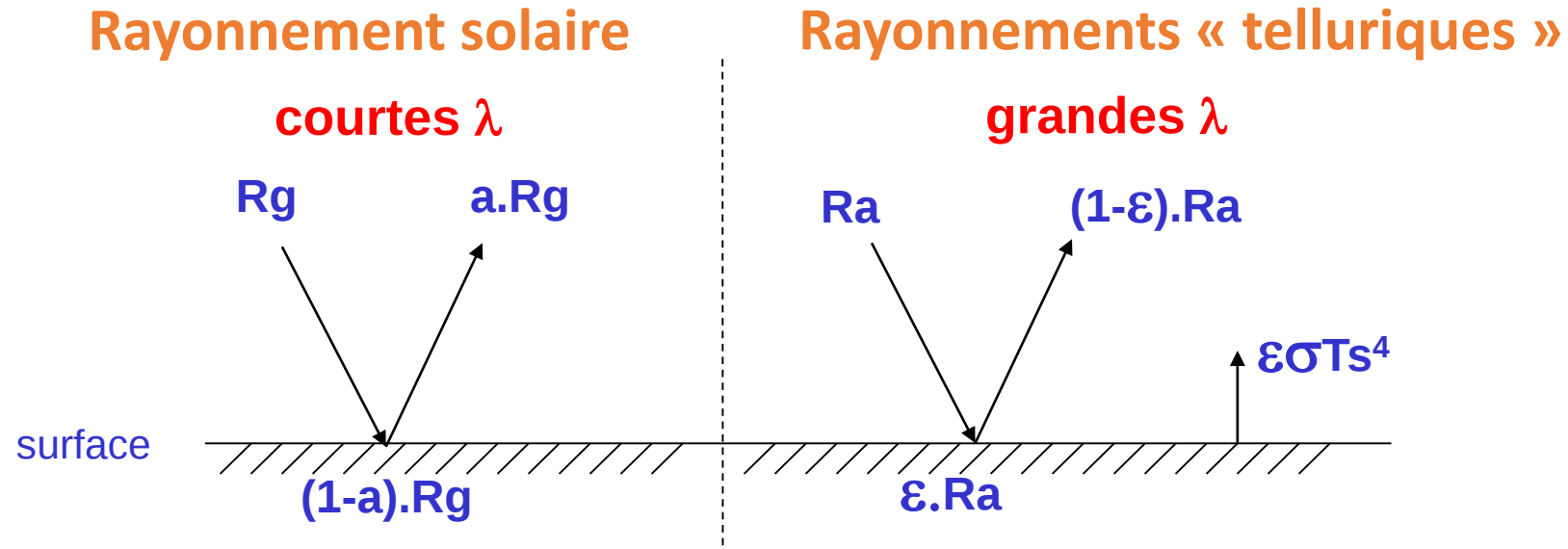
De jour, quand la végétation est active et bien pourvue en eau :

$$R_n = H + LE + G$$



Les flux s'expriment en W.m^{-2}
($\text{J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

Le terme radiatif : R_n



Rayonnement net :

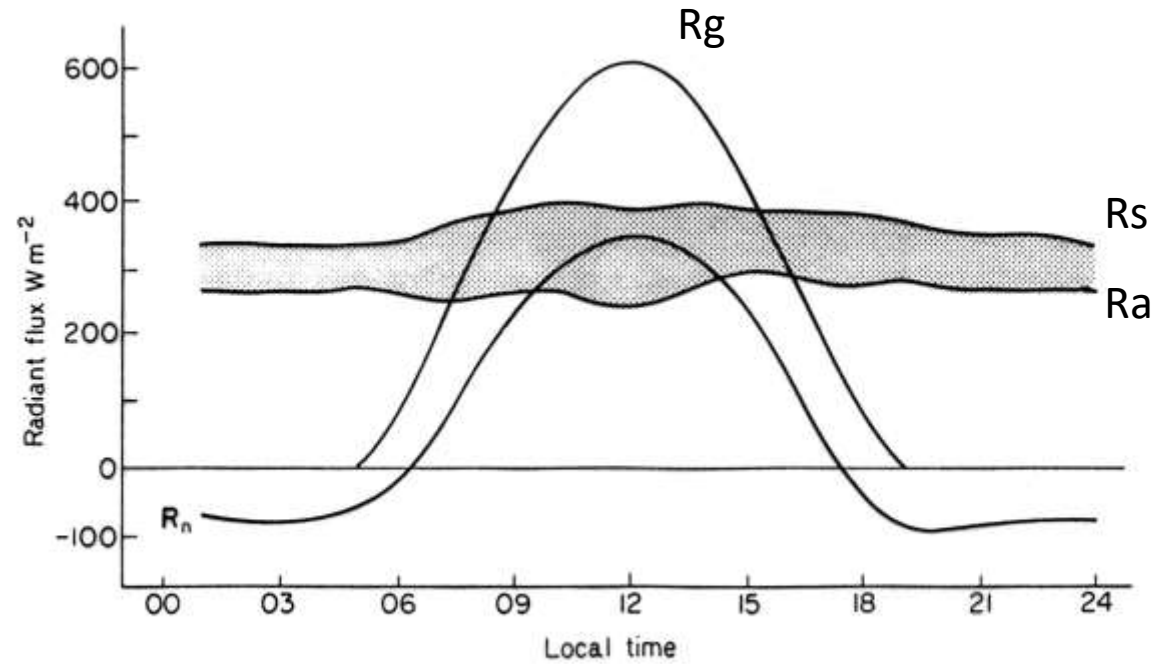
$$R_n = (1-a).R_g + \epsilon (R_a - \sigma T_s^4)$$

ϵ : émissivité du sol (proche de 1)

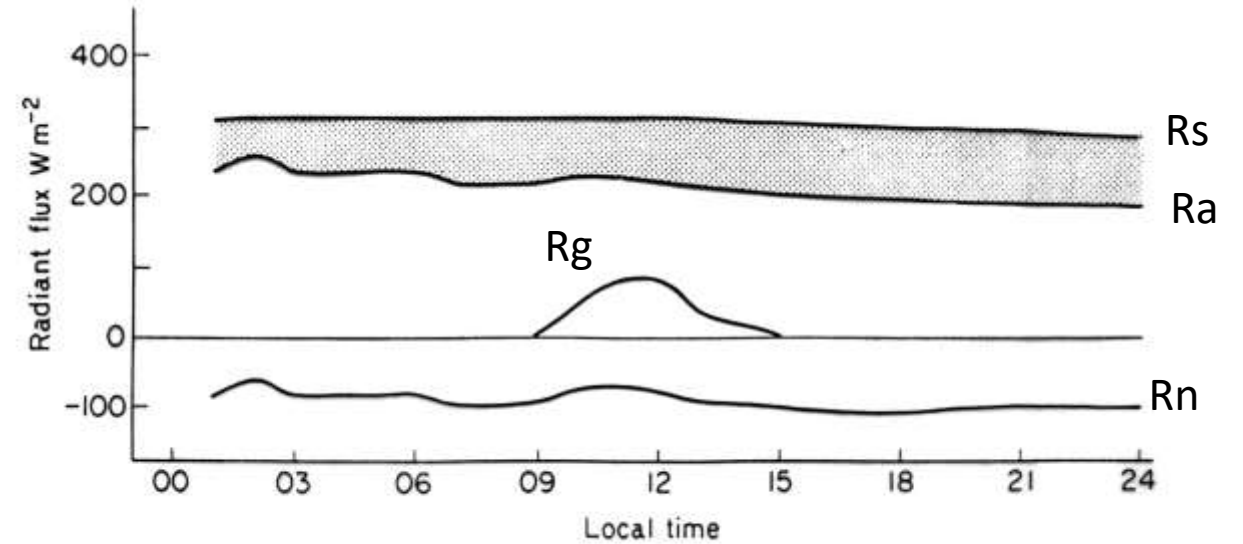
Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

Le terme radiatif : R_n

Mesures du rayonnement net et de ses composantes à Bergen, Norvège



13 avril 1968

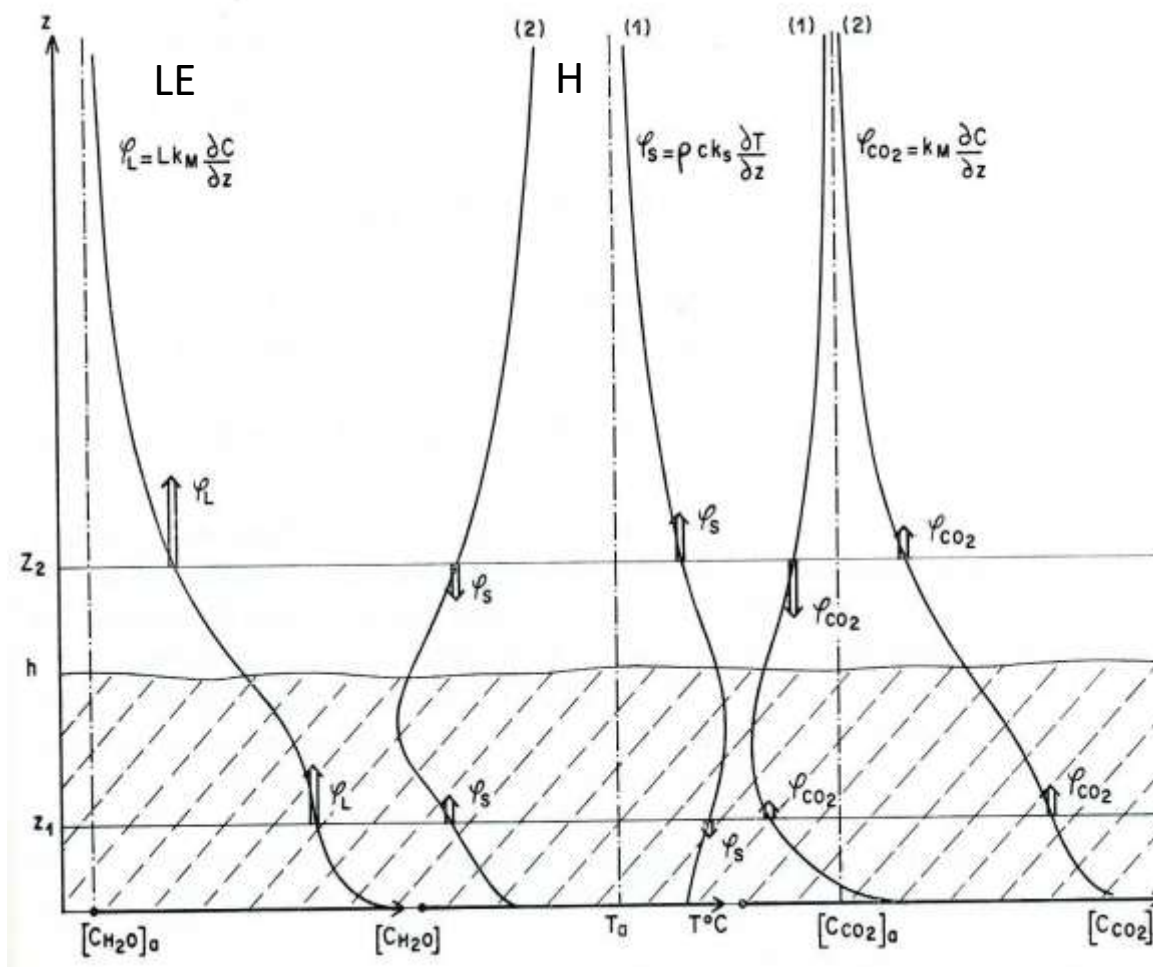


11 janvier 1968

(Monteith & Unsworth, 1990)

Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

Les termes convectifs : H et LE



Le terme 'convection' recouvre en fait des phénomènes de **diffusion** (liée à un gradient de concentration) et de **transport** par un fluide en mouvement (l'air qui s'écoule au-dessus du couvert).

Profils de température, concentrations en CO2 et vapeur d'eau au-dessus d'un couvert végétal de hauteur h (Hallaire et al., 1970).

Les termes convectifs : H et LE

Expressions de H et L E

$$H = - \rho C_p D \frac{\partial T}{\partial z}$$

$$L E = - L D \frac{\partial \rho_w}{\partial z}$$

H: flux de chaleur sensible en W m⁻²

ρ : masse volumique de l'air (1,16 kg m⁻³ à 20 °C)

C_p : capacité calorifique à pression constante (1005 J kg⁻¹ K⁻¹ à 1 atm)

L: chaleur latente de vaporisation de l'eau (2,5 MJ kg⁻¹ à 0°C)

ρ_w : concentration en vapeur d'eau dans l'air (kg eau m⁻³ air)

D: coefficient de diffusion (m² s⁻¹)

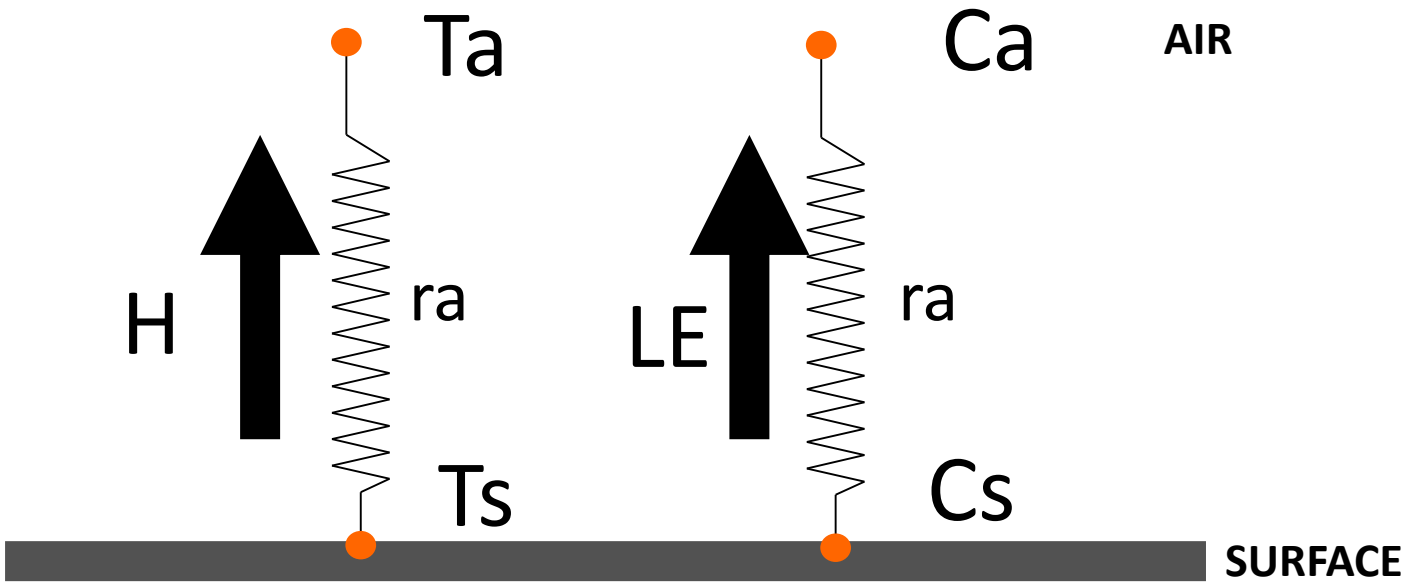
E : flux d'évaporation de l'eau (kg eau m⁻² s⁻¹)

Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

Les termes convectifs : H et LE

Expression de H et L E

Relation flux-gradient (hypothèse d'un flux constant dans la couche limite) :



The diagram illustrates the flux-gradient relationship for convective heat and latent heat fluxes. It shows two scenarios side-by-side, both involving a horizontal grey bar representing the 'SURFACE' at the bottom. Two orange dots mark the surface temperature T_s and the surface concentration C_s . Above the surface, a vertical zigzag line represents the boundary layer, with a length labeled r_a . At the top of this layer, another orange dot marks the air temperature T_a and the air concentration C_a , with the word 'AIR' to the right. In the left scenario, a large black arrow labeled H points upwards from the surface, representing the convective heat flux. In the right scenario, a large black arrow labeled LE points upwards from the surface, representing the latent heat flux. Below each diagram is its corresponding equation:

$$H = \frac{\rho C_p (T_a - T_s)}{r_a}$$
$$LE = \frac{L (C_a - C_s)}{r_a}$$

Les termes du bilan d'énergie : bilan radiatif, flux de chaleur et évapotranspiration

Expression du flux de chaleur latente :

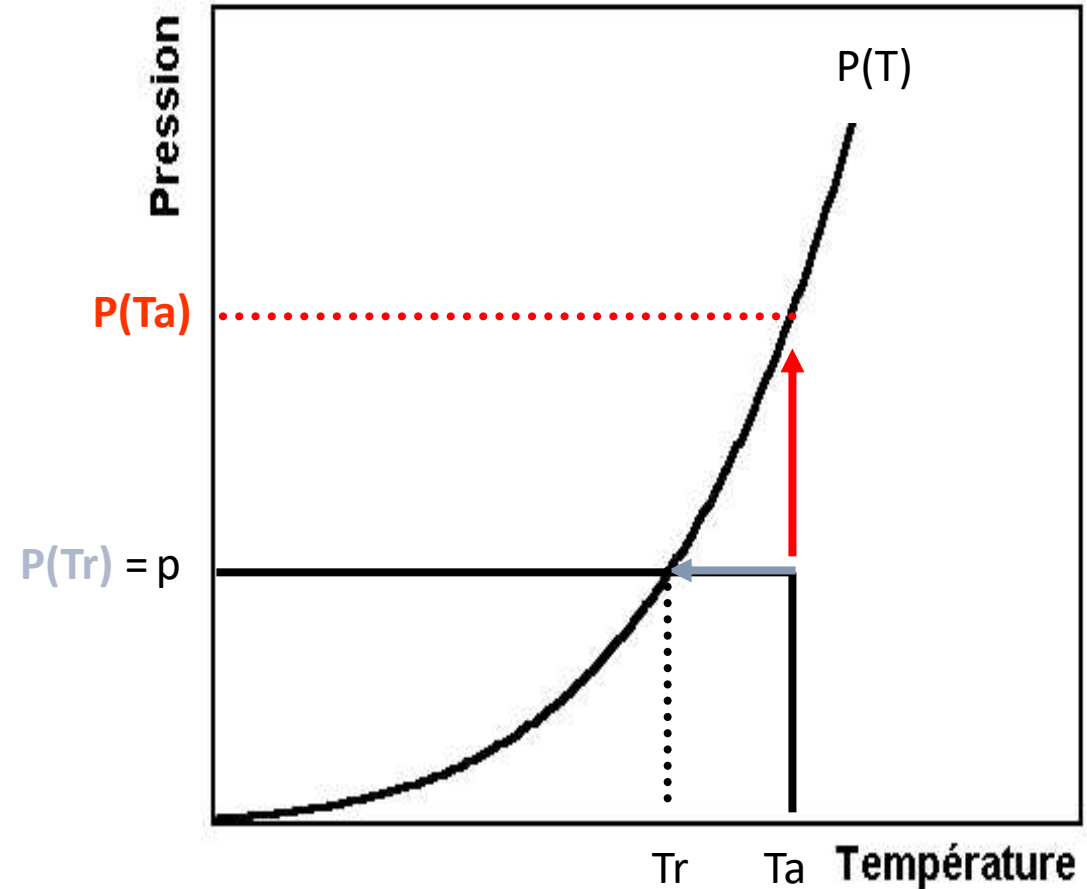
$$LE = \frac{L (Ca - Cs)}{ra}$$

$$Hr = \frac{P(T_r)}{P(T_a)}$$

$$Da = P(T_a) - P(T_r)$$

$$Ca = \frac{M}{RT} P(T_r)$$

$$LE = \frac{L M}{RT} \frac{[P(T_a) - P(T_r)]}{ra}$$



Le flux de chaleur dans le sol (G)

$$G = \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)_0$$

Terme souvent faible par rapport aux autres à l'échelle du cycle quotidien. Important pour l'analyse des phénomènes nocturnes

G représente 5 à 10% du rayonnement net sous couvert, et 10 à 40% en sol nu.