

Physique du Climat

TD N° 2: Bilan d'énergie en surface

I Linéarisation et sensibilité

On rappelle la formulation des flux de chaleur en surface, en fonction des températures de la surface T_s et de l'atmosphère T_a :

$$\begin{aligned} \text{Infra-Rouge} \quad \text{IR} &= \sigma (T_s^4 - \epsilon_a T_a^4) \\ \text{Sensible} \quad \text{SH} &= \rho C_a U C_p (T_s - T_a) \\ \text{Latent} \quad \text{LH} &= \rho C_a U L (r_{\text{sat}}(T_s) - \text{HR} r_{\text{sat}}(T_a)) \end{aligned}$$

En plus du flux solaire absorbé $S(1 - \alpha_s)$. On donne également une forme approchée de la formule de Clausius-Clapeyron :

$$\frac{\partial r_{\text{sat}}}{\partial T} = \frac{L}{R_v T^2} r_{\text{sat}}(T) \quad (1)$$

Avec la chaleur latente de condensation $L = 2260 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (L dépend légèrement de la température) et la constante des gaz pour la vapeur d'eau $R_v = 462 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

1. On note $\text{IR}_0, \text{SH}_0, \text{LH}_0$ les flux échangés quand les températures T_a et T_s sont égales. Donner leurs valeurs (en utilisant T_a comme variable).
2. En linéarisant les expressions des différents flux, on peut les mettre sous la forme :

$$F = F_0 + b(T_s - T_a)$$

Où b est un coefficient de sensibilité des flux aux différences de température. On rappelle qu'au premier ordre pour une fonction $f(T)$,

$$f(T_s) = f(T_a) + (T_s - T_a)f'(T_a)$$

Trouver les expressions de b (en fonction de T_a) pour les flux sensible, latent et radiatif.

3. Donner l'expression de $(T_s - T_a)$ en fonction des flux F_0 , des coefficients b et du flux solaire, en supposant l'équilibre total.

Solution :

$$\begin{aligned}
 \text{IR} &= \sigma T_a^4 (1 - \epsilon_a) & + & 4\sigma T_a^3 (T_s - T_a) \\
 \text{SH} &= 0 & + & \rho C_d U C_p (T_s - T_a) \\
 \text{LH} &= \rho C_d U L (1 - \text{HR}) r_{\text{sat}}(T_a) & + & \rho C_d U \frac{L^2}{R_v T_a^2} r_{\text{sat}}(T_a) (T_s - t_a)
 \end{aligned}$$

II Exemples numériques

Dans les exemples suivants, on suppose T_a connue et on veut calculer la température de surface T_s , puis les valeurs des différents flux. On commencera par chercher T_s dans le cas où seuls les flux radiatifs existent. On prendra par défaut le vent U égal à 5 m s^{-1} , et la masse volumique de l'air $\rho = 1.25 \text{ kg m}^3$.

Océan Tropical Le flux solaire incident net vaut 320 W m^{-2} , et la température T_a 300 K ($r_{\text{sat}}=21 \text{ g/kg}$). Les conditions sont humides, $\text{HR}=0.8$, l'atmosphère est donc très opaque dans l'infrarouge : $\epsilon_a=0.9$. Enfin, $C_d=0.0015$.

Faire le calcul d'abord avec flux radiatifs seuls, puis en ajoutant le flux sensible, et enfin le flux latent.

Océan Arctique Le flux solaire vaut cette fois 100 W m^{-2} , et la température $T_a=265 \text{ K}$ ($r_{\text{sat}}=2.1 \text{ g/kg}$). A cause de la température basse, l'atmosphère est moins opaque : $\epsilon_a=0.6$.

Désert au zénith On a cette fois un ensoleillement extrême avec un flux à midi de 890 W m^{-2} , la température valant $T_a=300 \text{ K}$. L'humidité relative vaut $\text{HR}=0.2$, et $\epsilon_a=0.7$. Sur un continent, $C_d=0.003$. Comparer l'humidité de l'air à celle du cas précédent. Faire d'abord le calcul pour un sol sec (pas d'évaporation), puis pour un sol humide.

Impact d'un nuage On se replace dans le premier cas. Un nuage se forme, qui a un impact radiatif total au sommet de l'atmosphère nul ; la température T_a n'est donc pas modifiée. Que deviennent T_s et les différents flux de surface si l'impact du nuage est une baisse du rayonnement solaire net de 100 ou 200 W m^{-2} ?