
MODULE ECOSYSTÈMES CONTINENTAUX
TD 1, ET 2
DOMAINES 1 ET 3

Milieux Physiques – Bioclimatologie

UFR Physique de l'Environnement et Régulation Biologique des Échanges

B. Gabrielle	Benoit.Gabrielle@AgroParisTech.fr
J.-F. Castell	Jean_Francois.Castell@AgroParisTech.fr
E. Personne	Erwan.Personne@AgroParisTech.fr
S. Saint-Jean	Sebastien.Saint-Jean@AgroParisTech.fr
P. Stella	Patrick.Stella@AgroParisTech.fr

Prévoir calculatrice pour les TDs

25 janvier 2021

Rappels

Bilan radiatif et bilan d'énergie

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.

1.1 Rappels

1.1.1 Bilan radiatif

Le bilan radiatif s'exprime comme le bilan des densités de flux énergétiques radiatives [W m^{-2}] 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 :

$$R_n = (1 - a) \cdot R_g + \varepsilon \cdot (R_a - R_t) \quad (1.1)$$

avec

$$\begin{aligned} R_n &= \text{Rayonnement net } [\text{W m}^{-2}] \\ R_g &= \text{Rayonnement solaire global } [\text{W m}^{-2}] \\ a &= \text{Albedo } [\cdot] \\ \varepsilon &= \text{Émissivité } [\cdot] \\ R_a &= \text{Rayonnement atmosphérique } [\text{W m}^{-2}] \\ R_t &= \sigma T_s^4 \text{ Rayonnement surfacique loi de Stefan-Boltzmann } [\text{W m}^{-2}] \\ &\quad \text{avec la constante de Stefan-Boltzmann } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \end{aligned}$$

1.1.2 Équation du bilan d'énergie

$$R_n + H + LE + G = \Delta E \quad (1.2)$$

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). Rn est le bilan radiatif (Équation (1.1)), H le flux de chaleur sensible, LE le flux de chaleur latente, exprimés en $[\text{W m}^{-2}]$, ces termes sont décrits ci-dessous.

Flux de chaleur sensible

$$H = \rho C_p \cdot h(u) \cdot (T_s - T_a) \quad (1.3)$$

avec :

- ρ = $1,2 \text{ kg m}^{-3}$ 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 dépendant de u , la vitesse du vent $[\text{m s}^{-1}]$
- T_s : température de l'air au niveau de la surface $[\text{K}]$
- T_a : température de l'air au niveau de référence $[\text{K}]$

Flux de chaleur latente

$$LE = \frac{L_v M}{RT} \cdot h(u) \cdot (P(Tr_s) - P(Tr_a)) \quad (1.4)$$

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 $[\text{K}]$
- $h(u)$: fonction d'échange croissante dépendant de u , la vitesse du vent $[\text{m s}^{-1}]$
- $P(Tr_s), P(Tr_a)$: pressions partielles de vapeur saturante dans l'air au niveau de la surface et au niveau de référence $[\text{Pa}]$

TD 2

Echanges biosphère-atmosphère :
application au cas de l'azote réactif

Objectifs du TD :

- comprendre les mécanismes d'émissions, de transport atmosphérique et de dépôts d'azote réactif, et leurs régulations physiques et biologiques
- évaluer les échanges via des modèles simples
- appréhender l'effet de pratiques ou d'aménagements sur les flux d'azote et leurs impacts

1. Déterminisme de la température de surface du sol

La température du sol ou des couverts végétaux joue un rôle déterminant sur les échanges de ces compartiments avec l'atmosphère, via des relations physico-chimiques (équilibre acide-base pour la concentration en ammoniac dans la phase gazeuse du sol, par exemple, ou la variation du point de compensation pour la plante). L'objectif de cette première partie est de comprendre comment le bilan d'énergie de la surface détermine cette température, qui résulte d'un équilibre entre les différents termes du bilan.

Des mesures de rayonnement net (R_n), de flux de chaleur sensible (H), de température de l'air (T_a) et d'humidité relative de l'air (HR) ont été réalisées près de Rennes à 2 mètres au-dessus d'un sol nu. Les valeurs moyennes observées sur la journée sont les suivantes:

Rayonnement net R_n : 150 W m^{-2} ; Flux de chaleur sensible $H = 80 \text{ W m}^{-2}$

Température de l'air T_a : 14°C ; Température du sol T_s : 16°C ;

Humidité relative de l'air HR ; 70%.

Données supplémentaires:

Chaleur massique de l'air à pression constante : $C_p = 1005 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$,

densité de l'air $\rho = 1.16 \text{ kg m}^{-3}$; chaleur latente de vaporisation de l'eau :

$L_v = 2.46 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$. Constante des gaz parfaits: $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

Pression de vapeur saturante pour une température de 14°C : $P(T_{rs}) = 1600 \text{ Pa}$; pour une température de 16°C : $P = 1800 \text{ Pa}$ (valeurs déduites de la courbe de rosée).

Questions

1/ Ecrivez l'équation du bilan d'énergie de la surface.

2/ Ecrivez l'expression du flux de chaleur sensible H en fonction du gradient de température entre la surface du sol et le point de mesure (voir rappels au début de l'énoncé des TD).

3/ Déduisez la valeur de la résistance au transfert entre la surface du sol et le niveau de référence (2m). Calculez cette valeur.

4/ Ecrivez l'expression du flux de chaleur latente LE en fonction de la pression de vapeur à 2m et en surface.

5/ Avec une hypothèse que vous proposez, calculez le terme LE en admettant que le sol se comporte comme une surface saturée en eau. Cette valeur vous semble-t-elle plausible? Que pouvez-vous en conclure sur les propriétés de la surface du sol ?

6/ Proposez une autre façon de calculer LE. Vous pourrez approximer le flux G comme 20 % du Rn.

7/ Que deviennent les termes H et LE si le sol est complètement sec (surface imperméable par exemple) ?

8/ Dans les conditions d'un sol complètement sec, calculez la température de surface dans ce cas, en admettant que les termes Rn, Ta et la diffusivité turbulente sont inchangés.

2. Emissions et dépôt sec d'ammoniac

A/ Emissions d'ammoniac:

On va chercher ici à calculer le flux d'ammoniac (NH_3) lors d'un apport de lisier. Lors de cet apport d'azote organique en surface du sol (sous forme de lisier par exemple), on a mesuré la concentration en ammonium (NH_4^+) et le pH de l'apport, et on a mesuré la concentration dans l'air à 2m en ammoniac (valeur : $15 \mu\text{g m}^{-3}$).

On fera l'hypothèse que le lisier se met à la température de la surface de sol (T_s).

La concentration en ammoniac gazeux en mol d' NH_3/l d'air, en équilibre avec la phase liquide (le lisier) en question se calcule avec l'équation suivante :

$$[\text{NH}_3]_g = \frac{161,5 \times 10^3}{T_s} \times \exp\left(\frac{-1 \times 10^4}{T_s}\right) \times \Gamma$$

Avec T_s : température de la surface et dans l'équation, exprimée en degré K, et Γ le potentiel d'émission de la surface, ici égal à 10^7

Pour l'ammoniac, la conversion mol.l^{-1} en kg.m^{-3} d'air se fait à l'aide de la masse molaire de l'ammoniac ($M_{\text{NH}_3} = 17\text{g.mol}^{-1}$)

Questions

1/ calculez la concentration en ammoniac gazeux en surface $[\text{NH}_3]_g$ en $\mu\text{g.m}^{-3}$ lorsque cette surface est à la température précédente de $T_s = 16^\circ\text{C}$ et à la température en situation sèche. Déduisez-en l'effet potentiel de la température de surface.

2/ Faites un schéma simple (« approche résistive ») pour représenter les échanges d'ammoniac entre l'air et la surface. A l'aide de ce schéma, écrivez l'expression du flux d'ammoniac entre la surface et l'atmosphère.

3/ A l'aide des résultats des questions précédentes, calculez ce flux lorsque la température du sol est de 16°C.

4/ Y a-t-il une différence entre un apport sur une surface sèche et la situation précédente ? pourquoi ? Calculez la nouvelle valeur du flux (s'il y a une différence).

5/ Sur une parcelle voisine, le lisier est enfoui après épandage, à une profondeur de 10cm sous la surface du sol. Quelles conséquences attendre par rapport l'émission dans l'air ?.

6/ Entre 10cm et la surface du sol, on peut considérer qu'il existe une résistance du sol équivalente à 300 s/m et on simplifiera le calcul de la température du sol à 10 cm de profondeur en supposant qu'elle est la même qu'à la surface (16°C).

Calculez le nouveau flux d'ammoniac. Votre résultat est-il en accord avec votre conclusion du point 5/ ?

7/ Sous l'hypothèse que la température de surface (16°C) est constante pendant 3 jours, que le vent est inchangé sur cette période et que les pertes en azote par volatilisation, par lessivage, infiltration, et tout autre processus n'entament pas les hypothèses et équations précédemment utilisées, comparez la perte ammoniacale dans l'air par rapport à l'apport de lisier qui est ici de 120 kg d'N par hectare.

Qu'en pensez-vous ? Commentez.

B/ Autres facteurs déterminant les échanges d'ammoniac

Dans le cadre d'une autre expérimentation, sur la parcelle voisine d'un bâtiment d'élevage, la concentration en NH_3 dans l'air a été mesurée à $200\mu\text{g.m}^{-3}$.

Les parcelles avoisinantes ce bâtiment sont entourées de plusieurs types de culture. Une prairie non fertilisée, un petit bois et une culture de blé.

La résistance au transfert entre la surface du couvert et un niveau de référence peut être approximée de la façon suivante :

$$r = \frac{1}{\kappa^2 \cdot u(z)} \cdot \left\{ \ln \left[\frac{z - d}{z_0} \right] \right\}^2$$

K est la constante de Von Karman (=0,4) ; $u(z)$ est la vitesse du vent (en m/s) à la hauteur z et z_0 est la rugosité de la surface et d la hauteur de déplacement du couvert.

Questions

1/ Calculez cette résistance pour les 3 écosystèmes du tableau ci-dessous sachant que le vent à 10m est de 2m/s.

Tableau 1. Paramètres de turbulence au-dessus de 3 écosystèmes.

Ecosystème	Hauteur zmesure (m)	Rugosité z0 (m)	hauteur de déplacement d (m)
Prairie	10	0,2	0,5
Bois	10	1	5
Blé	10	0,05	1

Comparez le potentiel d'échange pour entre le couvert et le niveau 10m où les mesures ont été faites ?

2/ Les écosystèmes (sol + végétation) sont simplifiés au maximum. Il n'est pas considéré d'échange d'N entre le sol et les plantes par voie atmosphérique. La concentration d'N dans la cavité sous-stomatique des 3 écosystèmes est la suivante :

2, 0.1 et 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour respectivement la prairie, le petit bois et la culture de blé. Pouvez-vous apporter des explications simples à ces différences ?

3/ Les valeurs de résistance stomatique à l'échelle du couvert sont respectivement de 80, 100 et 50 s/m pour la prairie, le petit bois et la culture de blé. Calculez le flux entre l'atmosphère et les couverts pour les trois cultures ?

Commentez.

3. Préconisations et conclusions

Discuter de préconisations pour réduire les émissions d'ammoniac (donc diminuer les émissions à la source), ou maximiser la capture d'ammoniac : par rapport aux épandages et en termes d'aménagement/gestion du parcellaire et du paysage.