

MODELISATION DU MOUVEMENT DU TRITIUM
DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE-ATMOSPHERE

BELOT Y., GUENOT J., CAPUT C. et F. BOURDEAU *

Commissariat à l'Energie Atomique, Institut de Protection et
Sureté Nucléaire B.P. n°6, 92260 Fontenay-aux-Roses (France)

* Electricité de France, Direction de l'Equipement, Département
SEI, 3 rue de Messine, 75384 Paris Cedex 08 (France)

INTRODUCTION

Le transfert du tritium aux végétaux est généralement estimé en utilisant des modèles très simples qui reposent sur l'hypothèse d'un équilibre stationnaire entre la plante, le sol et l'atmosphère. Ces modèles ne peuvent être utilisés dans le cas d'une exposition unique, ou d'expositions intermittentes très espacées dans le temps, où l'équilibre stationnaire est loin d'être atteint. Dans un tel cas, l'évolution dans le temps de la concentration du tritium dans le sol et les plantes, ne peut être estimée qu'au moyen d'un modèle dynamique, décrivant le mouvement du tritium dans le système sol-plante-atmosphère.

DESCRIPTION DU SYSTEME

La figure 1 donne une représentation idéalisée du transfert du tritium entre le sol, la plante et l'atmosphère. L'eau tritiée apportée au système arrive par voie atmosphérique dans le cas de rejets gazeux ou par la voie du sol en cas d'irrigation avec de l'eau contaminée. On remarquera que le système est traversé par un flux d'eau ascendant qui correspond au flux de transpiration et qui est contrôlé par l'ouverture des orifices stomatiques à la surface des feuilles. Par ailleurs la surface du sol, aussi bien que la surface des feuilles, constituent des surfaces d'échange entre l'eau du sol ou des feuilles d'une part, et l'eau atmosphérique d'autre part. Le compartiment 1 contient l'eau du sol accessible aux racines ; le compartiment 2 contient l'eau circulante des racines et des tiges ; le compartiment 3 l'eau des feuilles ; le compartiment 5 est réservé à la matière organique totale de la plante et son contenu s'exprime en eau de combustion de la matière organique.

EQUATIONS DU MODELE

Pour modéliser les échanges d'eau tritiée entre l'atmosphère et le sol, nous avons découpé le profil du sol en n couches élémentaires d'épaisseur identique h (m) de contenu en eau identique m (kg m^{-2}). On suppose en première approximation que l'eau perdue par évapo-transpiration est réapprovisionnée par les précipitations et que le contenu en eau du sol reste sensiblement constant dans le temps et dans l'espace et est égal à la capacité au champs (field capacity). Les échanges entre les couches du sol, et les échanges à l'interface sol-atmosphère, se traduisent par un premier système de n équation différentielle linéaires :

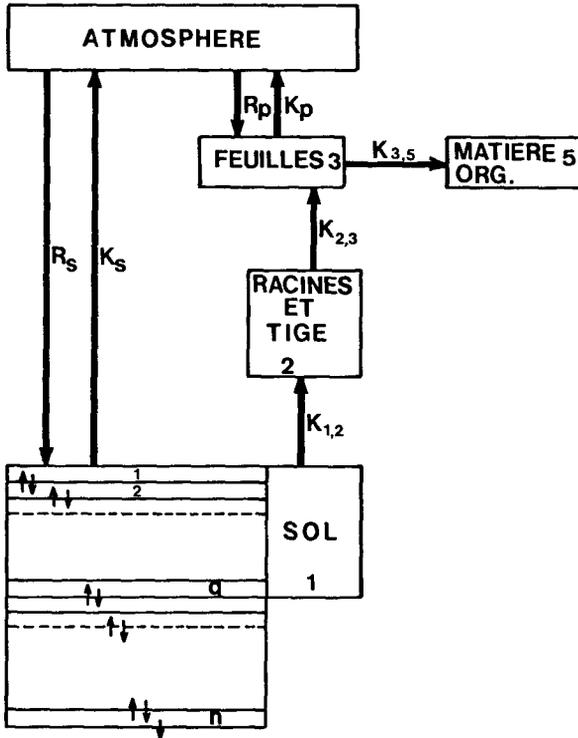


Fig 1 : Représentation schématique du système sol-plante atmosphère

$$\frac{dA_1}{dt} = R_s C_v - (K_s + K_d) A_1 + K_u A_2$$

$$\frac{dA_p}{dt} = K_d A_{p-1} - (K_u + K_d) A_p + K_u A_{p+1} \quad (1)$$

$$\frac{dA_n}{dt} = K_d A_{n-1} - (K_u + K_d) A_n$$

où $A_1, \dots, A_p, \dots, A_n$ (pCi m^{-2}) sont les activités surfaciques des couches de sol précédemment définies, $C_v(t)$ (pCi kg^{-1}) est la fonction d'entrée du système représentant l'activité massique du tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique ; R_s ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) est le flux d'eau tritiée qui entre dans le système au niveau de l'interface sol-atmosphère ; K_s (s^{-1}) est la fraction du tritium de la couche superficielle du sol qui retourne à l'atmosphère par unité de temps. A l'intérieur du sol, les couches successives sont connectées entre elles par les coefficients de transfert K_u (s^{-1}) pour les transferts ascendants, et K_d (s^{-1}) pour les transferts descendants.

Les équations correspondant aux transferts dans la plante se traduisent par le deuxième système d'équations :

$$\frac{dN_2}{dt} = K_{1,2} \sum_1^q A_p - K_{2,3} N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = R_p C_v + K_{2,3} N_2 - K_p N_3 \quad (2)$$

$$\frac{dN_5}{dt} = K_{3,5} N_3$$

où N_2 , N_3 et N_5 sont les quantités de tritium dans les compartiments 2, 3 et 5, exprimées par unité de surface de sol (pCi m^{-2}), sans préjuger de la répartition spatiale réelle à l'intérieur de chaque compartiment. R_p ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) est le flux d'eau tritiée à l'interface feuilles-atmosphère. K_1 (s^{-1}) est la fraction du tritium aqueux de l'eau des feuilles qui^Pretourne à l'atmosphère par unité de temps. Les coefficients $K_{i,j}$ représentent la fraction de la radioactivité du compartiment i transférée au compartiment j par unité de temps.

La résolution des systèmes (1) et (2) permet d'obtenir les activités surfaciques N_i , connaissant les conditions à l'origine, la fonction d'entrée $C_v(t)$ et les coefficients de transfert exprimés en fonction des paramètres caractéristiques du sol et des végétaux. Les concentrations moyennes du tritium C_i dans l'eau des divers compartiments sont ensuite obtenues par les relations $C_i = N_i/M_i$ où M_i est la masse surfacique de l'eau dans chaque compartiment.

EXPRESSION DES COEFFICIENTS DE TRANSFERT

Les flux de tritium dans le végétal, et au niveau des interfaces peuvent être exprimés en fonction des coefficients de transfert introduits dans les équations (1) et (2). Ces mêmes flux peuvent être aussi exprimés en fonction de paramètres caractéristiques du sol et des végétaux. En identifiant les deux expressions différentes de chacun des flux, on obtient les formules du tableau I.

Tableau 1 : Coefficients de transfert des équations (1) et (2) en fonction des paramètres caractéristiques du sol et des végétaux.

| Sol | Végétaux |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $R_s = \rho_a v + 0.2 \rho_w w$ | $R_p = \rho_a G$ |
| $K_s = \rho_x v / \rho_w \theta h$ | $K_p = \rho_x G / M_3$ |
| $K_u = D / \theta h^2$ | $K_{1,2} = (\rho_x - \rho_a) G / M_1$ |
| $K_d = D / \theta h^2 + w / \theta h$ | $K_{2,3} = (\rho_x - \rho_a) G / M_2$ |
| | $K_{3,5} = 0.2 P / M_3$ |

Dans le tableau précédent les paramètres caractéristiques du sol et des végétaux sont : le coefficient de diffusion du tritium dans le sol ($D \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) ; la conductance du couvert végétal ($G \text{ m s}^{-1}$) ; l'épaisseur d'une couche élémentaire de sol ($h \text{ m}$) ; le contenu en eau de chacun des compartiments ($M_i \text{ kg m}^{-2}$) ; l'activité photosynthétique du couvert ($P \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ; la vitesse d'échange à l'interface sol-atmosphère ($v \text{ m s}^{-1}$) ; la vitesse d'infiltration de l'eau de pluie ($w \text{ m s}^{-1}$) ; la concentration de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ($\rho_a \text{ kg m}^{-3}$) ; sa concentration dans une atmosphère saturée à la même température ($\rho_v \text{ kg m}^{-3}$) ; la masse volumique de l'eau liquide ($\rho_w \text{ kg m}^{-3}$) et l'humidité volumétrique du sol ($\theta \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). On suppose en première approximation que la masse d'eau des végétaux et la conductance du couvert augmentent linéairement avec le temps. Les premiers calculs ont été effectués pour les valeurs des paramètres données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Valeurs standards des paramètres caractéristiques du sol et des végétaux.

| Symbole | Valeur | Unité |
|----------|--------------------------|---|
| D | 3×10^{-10} | $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ |
| G | 2×10^{-2} (1) | m s^{-1} |
| M_1 | 90 (2) | kg m^{-2} |
| M_2 | 1 (2) | kg m^{-2} |
| M_3 | 5 (2) | kg m^{-2} |
| P | $4,3 \times 10^{-7}$ (3) | $\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| v | 1×10^{-2} | m s^{-1} |
| w | $2,5 \times 10^{-7}$ (4) | m s^{-1} |
| ρ_a | $0,9 \times 10^{-2}$ | kg m^{-3} |
| ρ_v | $1,3 \times 10^{-2}$ | kg m^{-3} |
| ρ_w | 1×10^3 | kg m^{-3} |
| θ | 0,3 | $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ |

(1) valeur nocturne : 2×10^{-3} ; (2) valeur atteinte après 60 jours de croissance ; (3) valeur nocturne : 0 ; (4) en période de pluie.

L'épaisseur h de chacune des couches élémentaires du sol, et le pas de temps Δt du calcul, ne peuvent pas être choisis arbitrairement. Pour que le calcul numérique soit stable nous avons pris $h = 10^{-3} \text{ m}$ et $\Delta t = 0,1 \text{ h}$.