

## ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION DES COUVERTS VÉGÉTAUX : CAS D'UNE SAVANE ET D'UNE PLANTATION

NIZINSKI J.J., GALAT G. et GALAT-LUONG A.

*Institut de Recherche pour le Développement, I.R.D., UMR 211 « Bioemco – Interactions biologiques dans les sols », Centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 2. georges.nizinski@ird.fr*

**Résumé :** Les modèles climatiques utilisent les données relatives aux études d'évapotranspiration réelle à un niveau local. Les modèles récents d'évapotranspiration d'un couvert dissocient évaporation du sol, transpiration du végétal et interception et simulent l'évolution de la structure du couvert et des résistances stomatiques. L'objectif de ce travail est de présenter l'intérêt de l'utilisation de la formule de Penman-Monteith qui rend bien compte de l'évapotranspiration de couverts végétaux fermés (plantation) et qui peut être adaptée à des couverts non fermés (savane herbacée boisée avec surfaces de sol nu) en traitant séparément transpiration des feuilles et évaporation du sol nu. L'évapotranspiration des savanes herbeuses diffère de celle des plantations parce qu'elle est limitée par une résistance de couche limite qui est du même ordre de grandeur que la résistance du couvert liée aux stomates et à l'indice foliaire, alors que l'évapotranspiration des plantations est limitée seulement par la résistance du couvert.

**Mots-clés :** Modélisation, Equation Penman-Monteith, Evapotranspiration, Résistance du couvert

### **Abstract: Grasslands and plantations evapotranspiration**

Global climate models make use of data relating to studies on actual evapotranspiration at local level. Recent evapotranspiration models dissociate soil evaporation and canopy transpiration and interception. They simulate the evolution of the land cover structure and stomatal resistances. This work aims at showing the importance of the use of the Penman-Monteith formula. This model fits well in the actual evapotranspiration phenomenon of the close covers (plantation) and can be adapted to sparse vegetation (herbaceous savannah with bare soils area) while treating leaf transpiration and bare soils evaporation separately. The herbaceous savannah evapotranspiration differs from that of the plantations because it is limited by a boundary layer resistance whose magnitude is similar to that of surface resistance linked to stomata and leaf area index, whereas the plantations evaporation is only limited by surface resistance.

**Keywords:** Modelling, Penman-Monteith equation, Evapotranspiration, Surface resistance

### **Introduction**

L'échelle choisie, dans cet article, pour l'estimation et la modélisation de l'évapotranspiration est la journée, les conditions sont celles dites du « flux conservatif » pour lesquelles l'absorption est égale à la transpiration, ce qui est rarement le cas dans la réalité pour une échelle de temps inférieure à la journée, au cours de laquelle il y a déshydratation et réhydratation de la plante, mais ce qui est réaliste pour un pas de temps de 24 heures. Historiquement, Penman (1948) puis Monteith (1965) ont posé les bases physiques du calcul de l'évaporation d'une surface mouillée puis de l'évapotranspiration d'un couvert végétal fermé.

### **1. Théorie des mesures de l'évapotranspiration**

L'équation dite de Penman associe la méthode du profil aérodynamique et celle du bilan d'énergie, en supposant de coefficients de transfert turbulent d'énergie et de masse identiques ( $k_H \approx k_E$ ). En associant les deux équations pour éliminer la température de surface, difficile à mesurer, on obtient l'équation de Penman:

$$ETP = ((\Delta R_n / \lambda) + \gamma E_a) / (\Delta + \gamma)$$

Avec: ETP-évapotranspiration potentielle, en mm jour<sup>-1</sup>;  $\Delta$ -dérivée de la fonction reliant la pression de vapeur d'eau saturante de l'air et la température de l'air, en kPa °C<sup>-1</sup>;  $R_n$ -rayonnement net ou effectif, en W m<sup>-2</sup>;  $\lambda$ -chaleur latente de vaporisation, en J kg<sup>-1</sup> (2451,8 J g<sup>-1</sup>);  $\gamma$ -constante psychrométrique, en kPa °C<sup>-1</sup>;  $E_a$ -évaporation d'une surface dont la température serait celle de l'air, mesurée sous abri, en mm jour<sup>-1</sup>;  $E_a = 2,6 (e_{s(t)} - e_{a(t)})(1 + 0,537 u_{2M})$ .

Pour les surfaces horizontales ou présentant une très faible pente, uniformes et suffisamment étendues, les flux de chaleur sensible et de chaleur latente sont considérés comme verticaux et on applique le principe de « similarité » entre les coefficients de transfert de chaleur sensible ( $k_H$ ) et de chaleur latente ( $k_E$ ), ainsi:  $k_H \approx k_E$ . Les relations empiriques entre flux et gradients verticaux des chaleurs sensible et latente peuvent s'écrire:

Equation dite de Penman-Monteith (1965) :

$$ETR = ETP / (1 + (\gamma / \Delta + \gamma)(r_{st} / LAI r_a))$$

Avec : ETR-évapotranspiration réelle, en mm jour<sup>-1</sup>; ETP-évapotranspiration potentielle, en mm jour<sup>-1</sup>;  $r_{st}$ -résistance stomatique d'une feuille, en s cm<sup>-1</sup>; LAI-indice foliaire du couvert, sans unité;  $r_a$ -résistance aérodynamique du couvert, en s cm<sup>-1</sup>.

### 1.1. Résistance de couche limite

Cette équation suppose de quantifier la **résistance aérodynamique** du couvert ( $r_a$ ), la **résistance de surface du couvert** (dite résistance du couvert)( $r_c$ ) et les variables climatiques. La résistance aérodynamique est une grandeur physique qui rend compte de la diffusion de chaleur ou de vapeur d'eau de la surface des feuilles vers l'atmosphère. La résistance du couvert ( $r_c$ ) comporte en plus un terme biologique qui rend compte de la diffusion de la vapeur d'eau issue des feuilles, la résistance stomatique des feuilles à la diffusion de la vapeur d'eau,  $r_{st}$ . On utilise pour des couverts fermés les équations simplifiées suivantes:

$$r_a = (r_b / LAI) + r_{a(1)} \text{ et } r_c = ((r_b + r_{st}) / LAI) + r_{a(1)}$$

Avec:  $r_b$ -résistance de couche limite de la feuille; LAI-indice foliaire;  $r_{a(1)}$ -résistance aérodynamique entre le milieu du couvert et la hauteur de mesure;  $r_{st}$ -résistance stomatique de la feuille à la diffusion de vapeur d'eau.

Ces équations supposent que les résistances des feuilles de l'ensemble du couvert sont identiques à tout instant, or ce n'est pas le cas: du haut vers le bas du couvert il y a augmentation de  $r_b$  due à diminution de la vitesse du vent; il y a augmentation de  $r_{st}$  due à la diminution de l'éclairement; par ailleurs les conditions de croissance des feuilles dépendant de leur position dans l'architecture du couvert, les feuilles de haut et du bas du couvert n'ont pas les mêmes caractéristiques physiologiques (feuilles dites « d'ombre » et « de lumière »).

### 1.2. Résistance aérodynamique

Elle est composée des résistances à la diffusion de la chaleur ou de la vapeur d'eau de la couche limite des feuilles et de la résistance de l'air entre le milieu du couvert (moyenne de la hauteur de ce couvert) et la hauteur au dessus du couvert où techniquement il est possible de mesurer les variables météorologiques. On évalue  $r_a$  ou son inverse  $1/r_a = g_a$ , conductance aérodynamique, en supposant l'égalité entre transport de chaleur ( $k_H$ ) et transport de quantité de mouvement ( $k_V$ ):

$$r_a = (1 / (k^2 u_{2m})) (\ln((z-d)/z_0))^2$$

Avec:  $r_a$ -résistance aérodynamique, en s cm<sup>-1</sup>; k-constante de von Karman (0,39);  $u_{2m}$  -vitesse du vent mesurée à 2 mètres de la surface du sol, en m s<sup>-1</sup>; z-niveau considéré, en m;  $z_0$ -longueur de rugosité, en m; d-hauteur du déplacement, en m.

### 1.3. La résistance du couvert

La résistance du couvert dépend des résistances stomatiques des feuilles de ce couvert et de l'indice foliaire; la transpiration du couvert est la somme des transpirations de l'ensemble des

feuilles, chaque feuille ayant une résistance stomatique donnée instantanée dépendante de ses caractéristiques physiologiques propres et du microclimat auquel elle est soumise. La résistance stomatique: les mouvements stomatiques (dépendant de la turgescence des cellules de garde) sont sous le contrôle du rayonnement incident, de l'état hydrique de l'air, de l'état hydrique du sol et de l'état hydrique des feuilles. Les mécanismes par lesquels les stomates répondent aux trois derniers facteurs sont encore discutés: (a) concernant l'état hydrique de l'atmosphère, il devient de plus en plus discuté que les stomates soient dépendants de l'humidité relative de l'air. Ils seraient dépendants du déficit de saturation de l'air associé au flux d'eau à l'intérieur de la feuille, mais on ignore par quels mécanismes; (b) concernant l'état hydrique du sol, on a longtemps expliqué l'action de ce dernier sur les mouvements stomatiques par son action sur l'état hydrique des feuilles: ainsi une baisse du potentiel hydrique du sol entraînerait une baisse du potentiel hydrique des feuilles qui entraînerait à partir d'un potentiel seuil une fermeture des stomates, mais on sait aujourd'hui qu'une plante bien alimentée en eau mais soumise à des potentiels hydriques du sol élevés (artifice expérimental) fermera ses stomates: les racines, au contact d'un sol desséché, synthétiseraient de l'acide abscissique qui agirait directement sur les stomates, quel que soit l'état hydrique de la plante. Parmi les espèces étudiées, *B. aegyptiaca* pourrait répondre à ce cas de figure: En période de dessèchement du sol, avec des horizons supérieurs du sol n'offrant plus d'eau disponible pour la plante et avec des horizons plus profonds ayant encore de l'eau disponible, *B. aegyptiaca* fermera ses stomates (en fonction des journées, même en fin de nuit – lever du soleil, il peut ne pas y avoir ouverture stomatique); (c) concernant l'état hydrique de la plante, il n'existe pas de relation causale simple entre les mouvements stomatiques et le potentiel hydrique foliaire: ainsi à potentiel hydrique foliaire égal les stomates sont fermés la nuit et ouverts le jour; en fonction de l'espèce, le dessèchement du sol provoque une fermeture stomatique, avec ou non incidence sur le potentiel hydrique foliaire. Les espèces sur lesquelles nous avons travaillé répondent au 1<sup>er</sup> cas de figure à l'exception de *B. aegyptiaca*. Lors d'une période de dessèchement du sol *B. aegyptiaca* a une stratégie de modification de l'indice foliaire (chute des feuilles) associée au maintien d'un potentiel hydrique foliaire élevé pour les feuilles restantes (pendant une période dépendante de la période de sécheresse). Parmi les régulations d'une plante soumise à la sécheresse, il y a celles relatives au flux d'eau dans la plante et celles relatives à la distribution des assimilats, en général une part plus importante du carbone est destinée aux racines et/ou il y a réduction de la croissance foliaire et accélération de la sénescence.

#### 1.4. La résistance du couvert

La résistance stomatique dépend de la **résistance stomatique minimale**, valeur remarquable correspondant à une situation de non contrainte hydrique (sol et plante). La résistance stomatique minimale évolue dans le temps, de l'apparition de la feuille jusqu'à sa mort, elle décroît jusqu'à une valeur minimale pour ensuite réaugmenter (évolution biologique et physiologique de la feuille), ce que nous avons observé sur les espèces que nous avons étudiées. Chez les espèces caducifoliées (chêne, *Acacia*, hévée) toutes les feuilles du couvert évoluant *grosso modo* de façon synchrone, la résistance du couvert est une fonction de la résistance stomatique minimale et de l'indice foliaire. Chez les espèces persistantes (*Eucalyptus*), le degré de dépendance de la résistance du couvert à la résistance stomatique minimale dépendra du taux du renouvellement des feuilles puisque coexistent dans le couvert des feuilles d'âges différents (problématique d'échantillonnage). Relation [résistance stomatique minimale - indice foliaire] chez les espèces caducifoliées: à l'exception d'*Eucalyptus*, les espèces que nous avons étudiées sont caducifoliées, la période sans feuille étant la saison froide en zone tempérée et la saison sèche en zone tropicale nous avons pu ainsi analyser les phénomènes suivants: lors de la mise en place du couvert la résistance

stomatique minimale d'une feuille décroît avec l'augmentation de l'indice foliaire et continue généralement de décroître jusqu'à sa valeur minimale alors que l'indice foliaire est maximal. La période ( $LAI_{max}$  – valeurs minimale de  $r_{st-min}$ : chez *Q. petraea* -  $LAI=100\%$ ;  $r_{st}=3,6\pm 0,9$  s  $cm^{-1}$ ;  $LAI=8\%$ ;  $r_{st}=8,7\pm 3,6$  s  $cm^{-1}$ ) est plus ou moins longue en fonction de l'espèce; par exemple chez le chêne, elle est très courte (deux à trois semaine). Ensuite, la  $r_{st-min}$  réaugmente pendant toute la période du  $LAI_{max}$  (deux mois et demi pour le chêne) pour continuer d'augmenter lors de la sénescence.

Pour estimer la **résistance du couvert**, on a commencé historiquement par supposer que toutes les feuilles étaient semblables (mêmes caractéristiques physiologiques, même microclimat): (a) Katerji et Perrier (1985) ont estimé la variabilité des résistances stomatiques dans l'ensemble du couvert et divisent le couvert en plusieurs strates auxquelles ils appliquent l'équation citée plus haut; (b) Saugier et Katerji (1991) proposent un calcul reposant sur la décroissance exponentielle du rayonnement avec l'indice foliaire cumulé à partir du sommet du couvert et sur l'intégration de la variation de la résistance stomatique avec le rayonnement reçu; (c) D'autres auteurs calculent la résistance du couvert  $r_c$ , à partir de mesures du flux de chaleur latente au dessus du couvert par des méthodes micrométéorologiques en inversant l'équation de Penman-Monteith, le couvert végétal fermé est assimilé à une « grande feuille » dont il faut connaître la résistance aérodynamique:

Nous avons commencé par utiliser le modèle de Jarvis-Stewart puis pour la savane du littoral congolais, l'équation inversée de Penman-Monteith, avec en parallèle des mesures de résistance stomatique et des facteurs du milieu; cette dernière approche permet de faire une analyse déterministe de la résistance du couvert: la mesure de l'indice foliaire s'avère déterminante dans l'estimation de cette résistance.

## 2. Influence de l'indice foliaire du couvert sur l'évapotranspiration réelle

Le rapport Transpiration/Evapotranspiration potentielle augmente avec l'augmentation de l'indice foliaire suivant une fonction  $1-e^{-k LAI}$  où  $k$  représente le coefficient d'extinction de la lumière dans le couvert (Saugier, 1991). En fonction du type de végétation l'écart à cette courbe est plus ou moins grand. L'estimation et la modélisation de l'indice foliaire sont donc essentielles. Nous illustrerons l'influence de l'indice foliaire sur l'évapotranspiration réelle à partir de deux situations: la chênaie tempérée, forêt caduque que nous avons suivie plusieurs années du débourrement jusqu'à la chute des feuilles, et la steppe sahélienne, végétation hétérogène. Dans le cas **des espèces caducifoliées**, il s'agit de modéliser les différents événements phénologiques: le jour de débourrement, la période de croissance foliaire jusqu'à indice foliaire maximal, la phase adulte pendant laquelle l'indice foliaire  $LAI=LAI_{max}$ , le début de la sénescence, de la chute des feuilles jusqu'à moment où l'indice foliaire s'annule. Avec deux variables d'entrée simples, la température moyenne de l'air et la photopériode, nous avons modélisé pour *Q. petraea*, le jour du débourrement, celui de la fin d'accroissement en surface des feuilles, l'évolution de l'indice foliaire. L'évapotranspiration réelle suit les variations de l'indice foliaire dans les forêts caduques; comme il existe un décalage entre le moment où  $LAI=LAI_{max}$  et le moment où  $r_{st-min}$  atteint sa valeur minimale, l'évapotranspiration réelle atteint son maximum (en période de non contrainte hydrique) après  $LAI=LAI_{max}$  au moment où  $r_{st-min}$  est à sa valeur minimale pour le chêne environ un mois après que  $LAI=LAI_{max}$ . *B. aegyptiaca* offre un exemple d'adaptation à la sécheresse et nous allons récapituler ici ensemble de ses caractéristiques qui expliqueraient sa répartition (espèce qui « remonte » le plus au Nord du Sénégal) et l'augmentation actuelle de sa fréquence par rapport aux autres espèces arbustives et arborescentes de la steppe sahélienne: en saison sèche, lorsque la disponibilité en eau devient limitante, on a vu que *B. aegyptiaca* avait une stratégie de maintien d'un potentiel foliaire élevé avec augmentation de la résistance

stomatique et une stratégie de modification de l'indice foliaire (chute des feuilles). Ainsi, en fin de saison sèche alors que *B. aegyptiaca* n'a plus des feuilles, il subsiste dans les horizons profondes (au-delà de 2,0 m de profondeur) une lame d'eau qui était disponible pour *B. aegyptiaca* mais qui n'a pas été utilisé (augmentation de la résistance stomatique, diminution de la transpiration). Ensuite, il y a débourrement et croissance foliaire avant les pluies, pendant la période où l'humidité relative de l'air réaugmente, cette croissance foliaire est possible puisqu'il y a de l'eau disponible en profondeur. Une telle situation nous amène à faire deux suppositions: (1<sup>e</sup>) supposons l'existence d'un « message » chimique lié à la détection de l'augmentation de l'humidité relative de l'air, message participant à l'équilibre chimique de l'induction au débourrement. Cette détection doit être le fait d'un organe aérien qui pourrait être les tiges (épines) photosynthétiques, qui elles, restent en place; (2<sup>e</sup>) supposons que ce message est prioritaire par rapport au « message ABA » issu des racines puisque les feuilles se mettent en place alors que la réserve en eau des horizons supérieurs sont à la réserve au point de flétrissement permanent, dans une « configuration sol » identique à celle de la fin de la saison sèche. On peut se poser la question de l'avantage adaptatif de la mise en place des feuilles avant l'arrivée des pluies.

### 3. L'incidence de la modification des couverts sur l'évapotranspiration : conclusion et perspectives

L'homme a modifié et continue de modifier les couverts végétaux; globalement il y a augmentation des surfaces herbacées et de sol nu au détriment des surfaces peuplées d'arbres et arbustes depuis le néolithique. Les modifications du couvert végétal participent à l'évolution des climats locaux, des climats régionaux et du climat global terrestre. Les modèles climatiques de circulation générale de l'atmosphère nécessitent des modèles d'évapotranspiration réelle rendant compte des échanges végétation – atmosphère les plus réalistes possibles. Notre étude au Sénégal de la steppe à *A. raddiana* et à *B. aegyptiaca* et notre étude au Congo de la savane à *Loudetia arundinacea* et des plantations d'Eucalyptus sur le littoral offrent deux exemples de l'incidence d'une modification du couvert sur l'évapotranspiration réelle: au Sénégal, les bosquets de la steppe (20 % de la surface) peuvent être assimilés à ce qu'était la forêt claire à *A. senegal* du Nord du Sénégal avant que cette forêt ne disparaisse et les 80 % de surface herbacée représente le nouvel écosystème. Au Congo, sur le littoral, il existe des lambeaux de savane pure jouxtant les forêts d'Eucalyptus plantées sur cette savane d'origine. Le remplacement de la forêt par un écosystème herbacé augmente le drainage et diminue l'évapotranspiration réelle sur un cycle complet de végétation (avec des variations saisonnières qui peuvent être marquées puisqu'en saison de déficit hydrique les deux écosystèmes se différencient moins qu'en saison humide où l'évaporation de l'eau interceptée est plus grande pour la forêt à cause de sa forte rugosité). La conductance de surface des deux couverts diffère peu, ce qui diffère, c'est la conductance aérodynamique pour laquelle il existe un facteur 2 entre les deux couverts (de 2,5 cm s<sup>-1</sup> à 5,0 cm s<sup>-1</sup> pour « l'herbacé » et de 5,0 cm s<sup>-1</sup> à 10,0 cm s<sup>-1</sup> pour le « forestier »). Les deux couverts se différencient par leur albédo (supérieure pour l'écosystème herbacé) et leur bilan énergétique (inférieur pour l'écosystème herbacé). L'évapotranspiration réelle d'un écosystème herbacé dépendra surtout du rayonnement net et l'évapotranspiration réelle d'une forêt du déficit de saturation de l'air. Le sol joue un rôle d'importance majeure: l'état de surface du sol va contrôler l'existence (ou l'absence) de ruissellement dû à la présence (ou à l'absence) d'une croûte dans des écosystèmes herbacés à faible recouvrement. Dans la steppe à *A. raddiana*, la 1<sup>e</sup> année, après la mise en défens de la parcelle expérimentale, il y a eu constitution d'une croûte et non renouvellement de la strate herbacée car cette surface n'était plus piétinée par les troupeaux; le 2<sup>e</sup> année un sarclément a remplacé le piétinement animal. La conductivité hydraulique du sol saturé va aussi contrôler l'existence (ou l'absence) d'un

ruissellement; cette variable est dans l'ensemble plus faible dans les écosystèmes herbacés souvent soumis au piétinement animal que dans les forêts. La profondeur du sol exploitée par les racines des arbres est généralement supérieure à celle exploitée par les racines des herbes: il subsiste dans le sol de la steppe à *A. raddiana* une lame d'eau disponible qui pourrait être utilisée si la steppe était boisée. Lean et Rowntree (1997) donnent un exemple de remplacement d'une forêt (forêt amazonienne) par une prairie, exemple pour lequel la diminution de la profondeur du sol exploitée n'affecte que peu le bilan hydrique: dans le cas de la forêt amazonienne, il existe des régions où le sol potentiellement exploitable par les racines est peu profond (existence d'un horizon imperméable aux racines), on se retrouve dans le cas d'une forêt qui ne dispose que d'une faible « réserve utile » comparable à celle de la prairie qui lui succède et dont le sol présente souvent une circulation hydrique souterraine importante. On voit ici l'importance du sol dans un bilan hydrique régional. Dans les modèles climatiques globaux, le fonctionnement de la circulation générale de l'atmosphère est intimement lié à la distribution planétaire des sources et des puits d'énergie; lors des équilibres, le transport s'effectue par l'air atmosphérique et l'eau des océans. L'atmosphère doit ainsi transporter de l'énergie des continents vers les océans pendant l'été et des océans vers les continents pendant l'hiver. L'étude de ces phénomènes sur les continents utilise les données relatives aux études d'évapotranspiration réelle à un niveau local et régional, niveau qui est le notre. Les modèles récents d'évapotranspiration réelle d'un couvert dissocient évaporation du sol, transpiration du végétal et interception, simulent l'évolution de la structure du couvert, des résistances stomatiques, ensembles de facteurs qui contrôlent les résistances aux transferts de vapeur d'eau et qui régissent l'équilibre entre évaporation et transpiration. Aujourd'hui pour les modèles à vocation mécaniste, se pose le problème du choix des paramètres d'entrée les plus significatifs et le problème de leur calage initial dans des conditions environnementales données. Actuellement d'un point de vue méthodologique, pour les espèces arbustives/arborescentes, l'estimation de la transpiration individu par individu (flux de sève) ouvre des perspectives nouvelles.

Nous finirons en disant que parallèlement au travail de modélisation, le travail de terrain est loin d'être achevé: ainsi de la résistance stomatique minimale pour laquelle nous avons montré qu'il existait pour *Q. petraea* un facteur trois entre sa valeur minimale et sa valeur maximale ou encore de la gamme que l'on peut supposer très étendue des caractéristiques d'adaptation à la sécheresse telles que celle décrites pour *B. aegyptiaca*.

## Bibliographie

- Katerji N. et Perrier A., 1985 : Détermination de la résistance globale d'un couvert végétal à la diffusion de la vapeur d'eau et de ses différentes composantes. Approche théorique et vérification expérimentale sur une culture de luzerne. *Agricultural Meteorology*, **34**, 105-120.
- Lean J. et Rowntree P.R., 1997 : Understanding the Sensitivity of a GCM Simulation of Amazonian Deforestation to the Specification of Vegetation and Soil Characteristics. *Journal of Climate*, **10**(6), 1216–1235.
- Monteith J.L., 1965 : Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms. *Symosia of the Soc. Exp. Biol.*, New York, Academic Press, **19**, 205-234.
- Penman H.L., 1948 : Natural evaporation from open water balance bare soil, and grass. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, **193**, 120-145.
- Saugier B., 1996 : Evapotranspiration des prairies et des cultures (The evapotranspiration of grasslands and crops). *Comptes Rendus de l'Académie d'agriculture de France*, **82**(8), 133-153.