

BILAN RADIATIF ET ÉCHANGES ÉNERGÉTIQUES DES CULTURES

MONTENY, B.; ZELLER, B.; YAO, N.; GOUÉ, B.

Bioclimatologie - Agronomie

Les études des échanges radiatifs et énergétiques se produisant entre un couvert végétal homogène de grande superficie et la masse atmosphérique à son contact répondent à deux préoccupations :

- sur le plan agronomique, la nécessité de comprendre les interactions sol-plante-atmosphère et leur évolution en fonction des phases phénologiques de la culture ;
- sur le plan climatique, l'estimation de l'impact des modifications physiologiques des couverts végétaux sur certains paramètres climatiques tels que les concentrations en vapeur d'eau et en gaz carbonique.

Les valeurs des différents termes d'échange du bilan d'énergie, si elles donnent une évaluation de la répartition de l'énergie rayonnante absorbée, elles nous renseignent aussi sur le comportement physiologique moyen de la culture à tout instant de la journée et ceci pour les différentes phases de la croissance et de leur état biologique (effet de l'âge du feuillage ; impact du stress hydrique sur la défoliation...).

Ainsi, la détermination des échanges de vapeur d'eau et de gaz carbonique de la culture fournit, non seulement un ordre de grandeur de la consommation en eau (ETR) et de l'assimilation photosynthétique du CO₂ (matière organique) du couvert végétal, mais permet également de mieux comprendre les mécanismes qui régissent l'activité biologique du système végétal pour en caractériser les efficacités énergétiques et hydriques (YAO, 1983).

L'intérêt d'une telle analyse réside dans une meilleure interprétation de la consommation en eau et de la production de matière organique durant son cycle végétatif en liaison étroite avec les conditions pédo-climatiques régionales.

BILAN RADIATIF OU QUANTITE D'ENERGIE ABSORBEE

Le bilan radiatif ou rayonnement net R_n correspond à la fraction de l'énergie rayonnante de courtes ($R_g - R_r$) et de grandes longueurs d'ondes ($R_a - R_t$) absorbée par le système végétal et le sol. Ce bilan dépend de l'énergie globale incidente R_g et des caractéristiques de la surface réceptrice (R_r et R_t) selon l'équation

$$R_n = R_g - R_r + R_a - R_t$$

L'analyse de la variabilité de l'intensité du rayonnement solaire global R_g , principale source d'énergie, a montré l'importance, sur son atténuation, des effets des aérosols marins et

continentaux présents dans la masse atmosphérique. (MONTENY *et al.*, 1978 a + b ; MONTENY *et al.*, 1979 ; KALMS *et al.*, 1979). Ils entraînent donc une réduction de l'intensité du rayonnement solaire direct, mais avec un effet de compensation partielle au niveau du rayonnement diffus qui augmente. Il en est de même pour la fraction du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) qui représente globalement 52-55 % du rayonnement solaire global en basse Côte d'Ivoire.

Cette fraction PAR est relativement élevée du fait de l'importance de la quantité de vapeur d'eau atmosphérique qui absorbe une partie de l'énergie du proche infra-rouge du rayonnement solaire. Cette énergie PAR intervient dans la réaction de photosynthèse au niveau du système foliaire de la culture pour fixer le gaz carbonique et produire ainsi de la matière organique (MONTENY *et al.*, 1983 ; MONTENY *et al.*, 1984).

Quant à la fraction d'énergie réfléchi R_r par les cultures de faible hauteur, mais couvrant totalement le sol, elle varie dans ces régions de 18 à 23 % de R_g . Cette quantité est perdue par le système végétal. La figure 1 a représente l'évolution horaire des rayonnements global, net et réfléchi au niveau d'une culture de manioc.

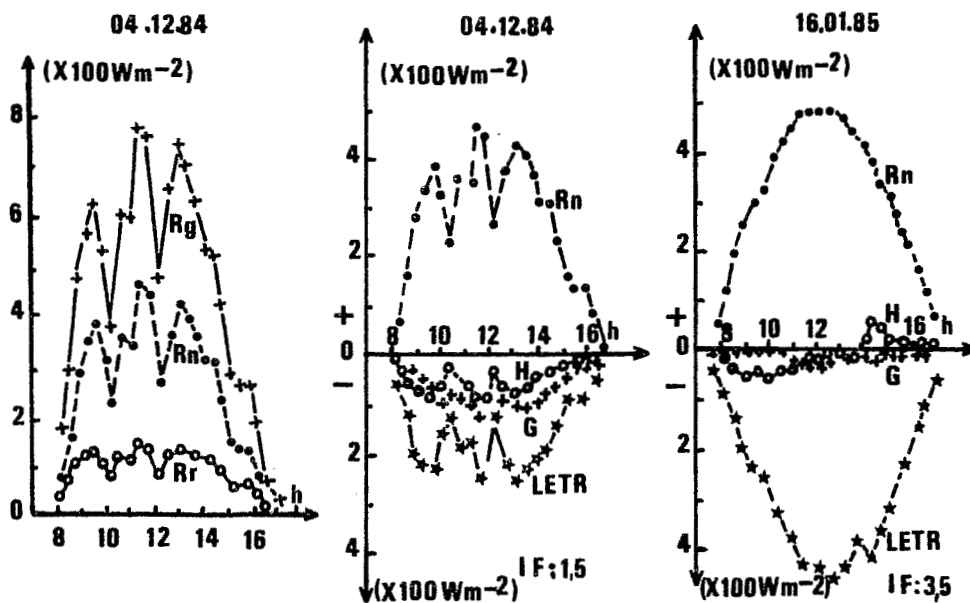


Fig. 1 (a) : Evolution journalière des rayonnements global, R_g , net R_n et réfléchi R_r au-dessus d'une culture de manioc.

(b) : Evolution journalière des termes du bilan d'énergie :
LETR flux de chaleur latente ou évapotranspiration réelle ;

Met G flux de chaleur sensible dans l'air et dans le sol.

pour 2 stades du recouvrement foliaire du sol 1.5 et 3.5

La connaissance du rayonnement net est primordiale pour toute analyse du comportement d'une culture. Toutefois, les mesures de ce paramètre climatique ne sont pas effectuées en continu au niveau du réseau d'observation climatique. C'est pourquoi une corrélation a été recherchée entre les valeurs de R_n et celles de R_g données plus simples à mesurer. Elle présente un caractère linéaire du type suivant (MONTENY *et al.*, 1981) :

| | | | | |
|---------------------------|---------------|----------------|-------|------------------|
| <i>Hevea brasiliensis</i> | - Dabou | : Rn = 0,72 Rg | - 4 | Wm ⁻² |
| <i>Panicum maximum</i> | - Adiopodoumé | : Rn = 0,71 Rg | - 22 | Wm ⁻² |
| Riz pluvial | - Bouaké | : Rn = 0,71 Rg | - 5,2 | Wm ⁻² |
| <i>Saccharum off.</i> | - Banfora | : Rn = 0,74 Rg | - 34 | Wm ⁻² |
| <i>Manihot esculenta</i> | - Adiopodoumé | : Rn = 0,68 Rg | - 12 | Wm ⁻² |

Remarquons les faibles variations de la pente de ces relations quelle que soit la culture : c'est en partie dû aux faibles différences entre les quantités d'énergie réfléchie par les surfaces végétales.

A ce type d'équation peuvent être incorporées les valeurs de la durée d'insolation (n), compte tenu de la relation statistique existant avec le rayonnement global de la forme :

$$R_g = (a (n/N) + b) R_g''$$

avec N : durée astronomique du jour

R_g'' : énergie solaire au sommet de l'atmosphère.

BILAN D'ENERGIE OU DETERMINATION DE LA CONSOMMATION EN EAU ET DE LA PRODUCTION DE MATIERE ORGANIQUE

La mesure des divers paramètres microclimatiques au-dessus de la culture a permis la détermination des différents termes du bilan d'énergie dont l'équation correspond à : $R_n = \text{LETR} + H + G + P$.

Ainsi, l'évaluation des échanges de chaleur latente (LETR), de chaleur sensible dans l'atmosphère (H) et dans le sol (G), et l'assimilation du CO₂ (P) a nécessité une mise au point méthodologique (bilan d'énergie couplé au rapport de Bowen) pour s'adapter aux conditions climatiques tropicales. La figure 1b représente l'évolution journalière de ces termes au-dessus d'une culture de manioc en début de croissance (IF : 1,5) et au stade d'un bon développement foliaire (IF : 3,5).

En bonnes conditions d'alimentation hydrique, l'évapotranspiration est limitée par la surface foliaire développée qui capte l'énergie solaire. En effet, en début de végétation, la culture est peu couvrante et une fraction relativement importante de l'énergie solaire atteint le sol induisant des transferts de chaleur sensible H dans l'atmosphère et G dans le sol, phénomène que l'on n'observe pas en pleine phase de végétation du fait du recouvrement total du sol par la culture. Dans ce dernier cas, l'évapotranspiration représente 75 à 85 % de R_n.

Non seulement la surface foliaire développée peut être facteur limitant des échanges de vapeur d'eau et de gaz carbonique mais également la disponibilité de l'eau dans le sol. Les résultats obtenus sur la canne à sucre et le manioc sont démonstratifs (fig. 2) : les cultures manifestent un déséquilibre lié à l'épuisement du stock hydrique du sol au niveau de l'enracinement maximum ce qui se traduit par une réduction de ces pertes en eau. (voir HAINNAUX *et al.* : Irrigation et évolution des sols sous cultures de canne à sucre).

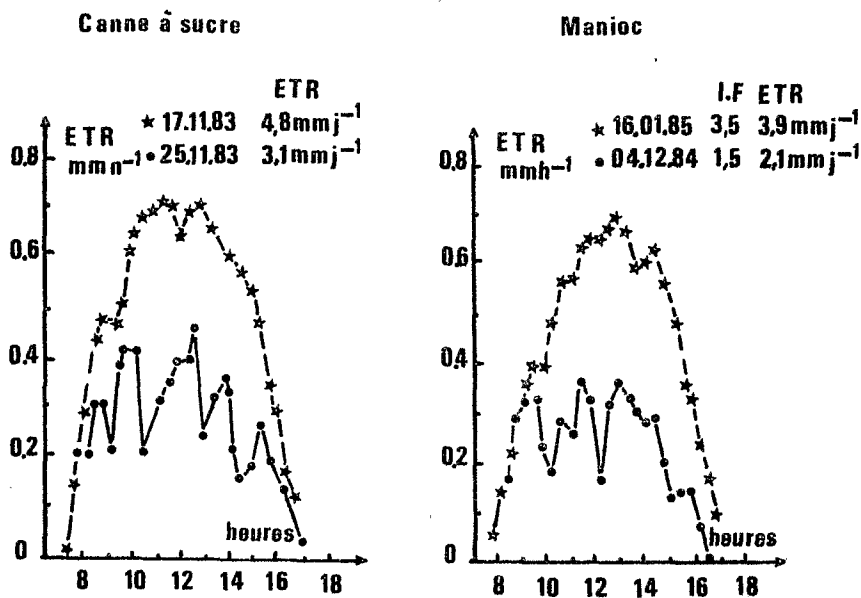


Fig. 2 : Evolution horaire de l'évapotranspiration réelle (ETR) de 2 cultures :

- Canne à sucre bien développée, irriguée (17.11) et durant une période de stress hydrique (25.11) ;
- Manioc, peu (4.12) et bien développée (16.01) en bonnes conditions d'alimentation en eau.

L'intégration de ces valeurs horaires sur la période diurne fournit la consommation en eau journalière (ETR), un des termes du bilan hydrique (MONTENY *et al.*, 1984 a, b). Ainsi, la figure 2 présente l'évolution de l'évapotranspiration horaire dans le cas de 2 cultures : la canne à sucre bien irriguée ou lorsque le stock hydrique du sol est relativement épuisé ; le manioc en phase de croissance où le développement foliaire est le facteur déterminant des déperditions d'eau par la culture.

Ces types de mesures permettent le couplage entre les facteurs physiques et biologiques intervenant dans les processus d'échange de vapeur d'eau et de gaz carbonique.

ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

L'étude des relations eau-lumière-production de matière organique est très importante pour le déterminisme des potentialités agricoles régionales. C'est pourquoi, une formule d'estimation de l'évapotranspiration (ETR) des cultures a été établie sur la base du premier terme de la formule de PENMAN. Elle tient compte de la fraction d'énergie absorbée, de la disponibilité en eau dans le sol et du degré du développement foliaire de la culture. Elle correspond à (MONTENY *et al.*, 1981 ; LHOMME *et al.*, 1982 a).

$$ETR = C \left(\frac{P'}{P' + \gamma} \right) R_n \quad \text{avec} \quad R_n = a R_g \pm b$$

L'évolution du rapport ETR culture / $(P'/P' + \gamma)R_n$ c'est à dire du coefficient cultural "C" a été précisée pour les différents couverts végétaux analysés en fonction de la succession des phases phénologiques et des conditions pédo-climatiques rencontrées. En reprenant le cas des cultures discutées précédemment, la figure 3 montre l'évolution horaire de ce coefficient "C" qui est relativement constant au cours de la journée.

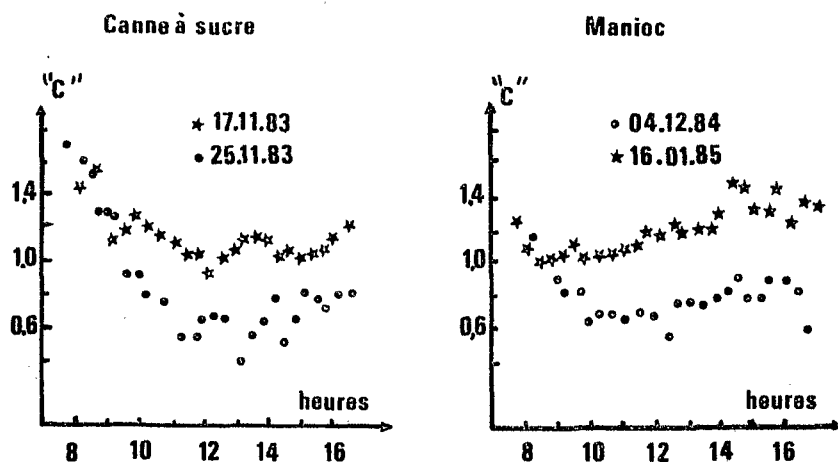


Fig. 3 : Evolution horaire du coefficient "C" pour les journées considérées sur les 2 cultures.

Le tableau I présente la fourchette des valeurs de "C" selon les différents cas retenus.

Tableau I : Coefficients culturaux C obtenus en fonction du développement de la culture et des conditions pédo-climatiques.

| | feuillage | sans stress hydrique | avec stress hydrique |
|------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Hevea brasiliensis</i> | jeune (1-2 mois) | 0,9 à 1,2 | 0,7 à 0,9 |
| | âgée (9-10 mois) | 0,6 à 0,8 | 0,4 à 0,6 |
| <i>Saccharum officinarum</i> | non couvrant | 0,3 à 0,8 | --- |
| | couvrant | 1,1 à 1,4 | 0,5 à 0,7 |
| <i>Manihot esculenta</i> | non couvrant | 0,7 à 1,1 | --- |
| | couvrant | 0,1 à 1,25 | 0,8 à 1,1 |

La simulation du comportement moyen du système cultural devient ainsi possible au cours du temps connaissant l'évolution des conditions pédo-climatiques. Elle doit conduire à maximaliser la probabilité de réussite d'un bon rendement en se basant principalement sur les paramètres climatiques tels que l'énergie solaire et la pluie, les caractéristiques du sol et l'évolution biologique du système végétal (ZELLER 1983 ; LHOMME *et al.*, 1982 b ; voir : ZELLER *et al.* : Modélisation du bilan hydrique à l'échelle de la parcelle).

L'évapotranspiration est également un terme important du bilan hydrique du sol et à ce titre, il est utile de comparer les résultats obtenus selon la méthode employée pour réaliser son bilan. Les méthodes les plus usitées dans l'analyse des variations du stock hydrique du sol fournissent des données à l'échelle de la semaine ou de la décade. Elles sont ensuite ajustées à une valeur moyenne journalière. Ces méthodes permettent également de déterminer

l'importance de l'exploration du sol par le système racinaire et de quantifier les potentialités dans l'alimentation en eau de la culture. (voir GOUE *et al.* : Bilan hydrique sous manioc ; voir IRIS *et al.* : Modalité de l'infiltration de l'eau dans un sol structuré).

S'il est intéressant de connaître correctement les consommations en eau des cultures et de pouvoir formuler leur besoin hydrique selon les conditions pédo-climatiques et biologiques, il est également indispensable de déterminer l'impact des modifications physiologiques des couverts végétaux sur les caractéristiques physiques du climat JAFFRE *et al.*, 1983.

En effet, la région forestière de basse Côte d'Ivoire se modifie sous l'action anthropique. La forêt participe activement au recyclage de l'eau des pluies tout au long de l'année MONTENY *et al.*, 1984 c ; MONTENY, 1985. Son remplacement, sans contrôle des superficies, par des cultures annuelles (5 à 6 mois de végétation) et des jachères ou des défriches, entraîne une réduction du pouvoir évapotranspirant de la surface. Cet affaiblissement du transfert de vapeur d'eau du sol à l'atmosphère a un corollaire : l'accroissement du transfert de chaleur calorifique à la masse atmosphérique comme observé sur la culture de manioc peu développée. La conséquence de cette augmentation de la température de l'air est une diminution des possibilités de condensation pour la formation nuageuse susceptible de donner les pluies. Ainsi, il est à prévoir une réduction de la pluviométrie dans les régions situées plus au nord de la zone forestière, compte tenu du déplacement de la Zone de Convergence Intertropicale en Afrique de l'Ouest.

CONCLUSION

L'analyse du bilan radiatif et énergétique d'une culture permet de comprendre son comportement au cours des différents stades de croissance en relation avec les paramètres pédo-climatiques. Ainsi, les effets de l'épuisement des réserves hydriques du sol sur les échanges avec l'atmosphère ont pu être observés, tout comme l'effet limitant du développement des surfaces foliaires.

Une expression a pu être formulée pour déterminer la consommation en eau des cultures, compte tenu de certains facteurs comme la quantité d'énergie globale absorbée par la surface et l'état physiologique des plantes. Cette expression a permis de préciser les besoins en eau des cultures, comme pour la canne à sucre en vue de son irrigation et le manioc pour déterminer les conditions d'un maintien d'une activité physiologique performante en relation avec les paramètres climatiques. Elle contribue ainsi à une approche correcte de la consommation en eau de la culture, conduisant à une meilleure gestion de l'élément "eau".

BIBLIOGRAPHIE

- JAFFRE, T., de NAMUR, Ch., FRITSCH, E., MONTENY, B.A., BARBIER, J.M., OMONT, C., -1983-. Contribution à l'étude de l'influence de la déforestation en zone équatoriale sur l'évolution de la concentration en gaz carbonique de l'atmosphère.
Projet inter-équipes PIREN/ORSTOM - Rapport final.
- KALMS, J.M., MONTENY, B.A. & HUMBERT, J., -1979-. Climat radiatif en région Centre de Côte d'Ivoire.
Ann. Serv. Météor. ASECNA 1 : 26-29.
- LHOMME, J.P., MONTENY, B.A., -1982 a -. Une formule pratique d'estimation de l'évapotranspiration potentielle.
Arch. Meteor. und Biokl. (série B), 30 : 253-260.
- LHOMME, J.P., MONTENY, B.A., -1982 b -. Une méthode d'analyse agroclimatique pour le calage des cycles culturaux en zone intertropicale.
Agron. Trop., 36 : 334-338.
- MONTENY, B.A. et GOSSE, G. -1978 a -. Atténuation du rayonnement solaire direct visible en milieu équatorial.
Agric. Meteor. 19 : 121-136.
- MONTENY, B.A. et GOSSE, G. -1978 b -. Fluctuations du rayonnement photosynthétiquement actif en région tropicale humide.
Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. (B) 25 : 371-382.
- MONTENY, B.A., DJOULET, B. & LHOMME, J.P., -1979-. L'énergie solaire, paramètre important du climat et sa mesure.
Ann. Serv. Météor. ASECNA 1 : 21-25.
- MONTENY, B.A., HUMBERT, J., LHOMME, J.P. & KALMS, J.M., -1981-. Le rayonnement net et l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en Côte d'Ivoire.
Agric. Météor. 23 : 45-59.
- MONTENY, B.A., BARBIER, J.M., OMONT, C., -1983-. Mesure des flux de CO² au niveau d'un couvert d'*Hevea brasiliensis* (31 pp.).
Colloque de l'Action Incitative M.R.I.-P.I.R.E.N. sur le cycle du carbone - C.N.R.S. MEUDON (France) mars 1983.
- MONTENY, B.A., ZELLER, B. et HAINNAUX, G. -1984 a -. Estimations des besoins en eau de la canne à sucre en région soudano-sahélienne pour la conduite de l'irrigation.
Publication présentée au Colloque "Les besoins en eau des cultures" organisé par la C.I.I.D. à l'UNESCO, Paris (10 au 14 septembre 1984).

- MONTENY, B.A., ZELLER, B., HAINNAUX, G. et SAUNIER, P., -1984 b -.
Evaluation précise de la consommation en eau des cultures
(ex : canne à sucre) dans les études de résistance à la sé-
cheresse.
Communication et poster présentés au Colloque "Résistance à
la sécheresse en milieu intertropical" organisé par le GERDAT
à Dakar - Sénégal (24 au 28 septembre 1984).
- MONTENY, B.A., BARBIER, J.M. et BERNOS, C.M., -1984 c -. Determina-
tion of the energy exchanges of a forest type culture : Rubber
(*Hevea brasiliensis*).
Proceeding of the International Symposium of Forest Environ-
ment Measurement. Oak Ridge - USA (sous press).
- MONTENY, B.A., -1985-. Apport de la bioclimatologie à l'interpré-
tation des interactions végétation - atmosphère et leurs im-
pacts sur les caractéristiques climatiques.
Agric. Meteorol. (sous press).
- ZELLER, B., -1983-. Essai de modélisation du bilan hydrique d'une
parcelle de blé d'Hiver en fonction des données météorologi-
ques locales, des caractéristiques du couvert végétal et du
sol.
Mémoire de D.A.A. Météorologie Nationale I.N.A. Paris - Grignon
60 pp.
- YAO N'GUETTIA, R., -1983-. Vegetative and reproductive growth of
selected tall and semiwarf oat (*Avena sativa*) cultivars under
two row spacings. 173 pp.
Thesis in Agronomy. Penninsylvania State University.