

DAKAR 24 - 28 Septembre 1984

ACCURATE EVALUATION OF CROP WATER CONSUMPTION  
FOR DROUGHT RESISTANCE STUDIES.

MONTENY<sup>x</sup>, B.A., ZELLER<sup>x</sup>, B., HAINNAUX<sup>x</sup>, G. and SAUNIER<sup>\*</sup>, P.

<sup>x</sup> ORSTOM - B.P. V51 - ABIDJAN, R.C.I.

\* SOSUHV - BANFORA, Burkina Faso

SUMMARY

The analysis of the magnitude of the crop evapotranspiration rate in a region permits to evaluate how it can resist to drought resulting from regional macroclimatic conditions.

Evapotranspiration measurements by a micrometeorological method were undertaken on an irrigated sugar cane crop located at Banfora (Burkina Faso). This method permits to follow the instantaneous evapotranspiration rate (ETR) during the day and the crop reaction either to soil water depletion or to some pedoclimatic factors which influence the water transfer in the soil plant system.

The ETR varies from 6 to 4 mm a day. The decrease of soil temperature from 24 to 18°C reduces the sugar cane water consumption in spite of the increase of the air water vapour pressure deficit from 25 mb to 45 mb. With the soil water depletion, 7-8 days after irrigation, the general trend is a rapid decrease of the ETR rates. More than 85 % of the root system is located in the top 40 cm soil layer due to a mineral inhibition of root growth under this level.

The sugar cane maximum evapotranspiration rate for this region can be deduced with good accuracy from the available energy at the earth's surface by the following equation :

$$\text{ETRM} = C \times 0,56 \text{ Rg. (mm/day)}$$

= 0,56 Rg : available diurnal solar energy for the water vapour exchange

= "C" : crop coefficient integrating all the factors which influence the stomatal resistance.

This crop coefficient has been determined experimentally for different phenological crop stages at different seasons (table III).

DAKAR 24-28 Septembre 1984

ÉVALUATION PRÉCISE DE LA CONSOMMATION EN EAU DES CULTURES  
DANS LES ÉTUDES DE RÉSISTANCE À LA SÉCHERESSE

MONTENVY\*, B.A., ZELLER\*, B., HAINNAUX\*, G. et SAUNIER†, P.

\*ORSTOM - BP. V-51 ABIDJAN (R.C.I.)

†SO.SU.HV. - BANFORA (B.F.)

RÉSUMÉ

Durant 2 années consécutives, un programme de mesures micrométéorologiques a été réalisé sur une culture de canne à sucre dans un périmètre situé au sud de la Haute-Volta. L'objectif est de déterminer l'importance de l'évapotranspiration réelle pour une culture en bonnes conditions d'alimentation hydrique selon les conditions pédoclimatiques et végétales. Elle a permis de déboucher sur une expression générale satisfaisante permettant d'estimer les besoins en eau de la culture basée sur la quantité d'énergie reçue au sol et sur un coefficient cultural intégrant les interactions sol - plantes - climat. D'autre part, les mesures ont mis en évidence l'effet limitant de la température du sol sur les déperditions d'eau de la culture située en condition de sécheresse extrême.

INTRODUCTION

Diverses méthodes d'évaluation ont été utilisées pour calculer la consommation en eau de la culture de canne à sucre : THOMSON *et al.* (1967) ; CAMPBELL *et al.* (1959) ; JONES (1980) ; LANGELIER (1978), CHAROY *et al.* (1978) ; DANCETTE (1979). Presque toutes établissent une corrélation avec les valeurs d'évaporation d'une nappe d'eau libre d'un bac classe "A" comme guide référence pour estimer les besoins en eau de la canne. Cette formulation, à caractère empirique, a permis dans certaines conditions climatiques comme en Afrique du Sud ou à Hawaï, de fournir des données nécessaires à la conduite des irrigations des cultures, mais elle ne peut pas prétendre être universelle.

La méthode micrométéorologique d'évaluation de la consommation réelle en eau des plantes permet de définir, pour des conditions régionales déterminées, les besoins hydriques des cultures. Elle nous a permis de suivre l'évolution de l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture de canne au cours de la journée et ce plusieurs journées consécutives en relation avec les variations des caractéristiques climatiques, édaphiques et phénologiques. L'analyse horaire de la transpiration au cours d'un cycle de dessèchement permet de mettre en évidence l'aptitude de la plante à résister aux conditions de sécheresse. En outre, dans des bonnes conditions d'alimentation hydrique, cette méthode permet de déterminer les facteurs susceptibles de limiter les échanges et donc la production.

Le second objectif recherché est de formuler une expression générale, la plus adéquate, permettant d'estimer l'évapotranspiration maximale de la culture de canne à partir de certains paramètres climatiques relevés au niveau d'un parc météorologique classique.

La première partie porte sur la validité de la méthode du rapport de Bowen pour l'estimation de l'évapotranspiration de la culture et sur l'importance des erreurs faites sur les mesures. De plus, les résultats obtenus par cette méthode sont comparés avec ceux provenant de l'utilisation d'une méthode simplifiée proposée par ITIER (1980-1981).

La seconde partie porte sur la présentation d'un modèle simple pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle maximale de la canne à sucre dans les conditions climatiques d'une région soudano-sahélienne dont la précision est très satisfaisante pour les applications agronomiques.

## PRINCIPE DE LA MÉTHODE

L'énergie utilisée par une surface végétale dans le processus d'évapotranspiration provient pour l'essentiel du rayonnement net et dans certains cas, d'un apport advectif d'énergie sensible. La valeur du rayonnement net ( $R_n$ ) donne la limite supérieure du taux d'échange de vapeur d'eau en région humide. Toutefois, en région plus sèche, l'évapotranspiration ETRM d'une culture bien alimentée en eau est souvent plus élevée que la valeur de  $R_n$  (MONTENY, 1973).

L'équation du bilan d'énergie, au niveau du couvert végétal, peut s'écrire sous sa forme simplifiée :

$$R_n - G = L \cdot ETR + H \quad (1)$$

avec  $R_n$  : rayonnement net du couvert ( $Wm^{-2}$ )

$G$  : flux de chaleur conductif dans le sol ( $Wm^{-2}$ )

- L : chaleur latente de vaporisation de l'eau ( $J.kg^{-1}$ )  
 ETR : évapotranspiration réelle du couvert ( $kg.m^{-2}.s^{-1}$ )  
 H : flux de chaleur convectif à la surface de la végétation ( $Wm^{-2}$ )

Le signe positif est attribué aux flux entrant dans le système.

Le rapport de Bowen correspond au rapport entre le flux de chaleur convectif dans l'air (H) et le flux de chaleur latente (LETR) - c'est-à-dire :

$$\beta = \frac{H}{LETR} = \frac{\rho C_p K_H \frac{dT}{dz}}{(\rho L \epsilon / P) K_E \frac{de}{dz}} = \gamma \cdot \frac{dT}{de} \quad (2)$$

si l'on admet l'hypothèse de similarité des coefficients d'échange :  $K_H = K_E$

avec  $dT$  et  $de$  comme étant les différences de température et de vapeur d'eau mesurées entre deux niveaux identiques dans la couche limite de la surface ;  $\gamma$  est la constante psychrométrique ( $0,67 \text{ mb}.C^{-1}$ )

La combinaison des équations (1) et (2) donne :

$$L \cdot ETR = \frac{(R_n - G)}{(1 + \beta)} \quad (3)$$

$$H = \frac{\beta (R_n - G)}{(1 + \beta)} \quad (4)$$

Toutefois, en condition d'advection, les flux de chaleur latente et de chaleur sensible sont de signes opposés et les coefficients d'échange sont différents. VERMA *et al.* (1978), BRAKKE *et al.* (1978) ont montré expérimentalement, qu'en condition de stabilité, le coefficient  $K_H$  est supérieur à  $K_E$ .

Ainsi, il propose l'introduction de l'équation suivante :

$$\frac{K_H}{K_E} = 2,95 + 3,72 \left( \frac{dT}{de} \right) + 1,72 \left( \frac{dT}{de} \right)^2 \quad (5)$$

pour  $-0,1 < \frac{dT}{de} < -0,8$

dans le rapport de Bowen :

$$\beta = \gamma \left[ 2,95 + 3,72 \left( \frac{dT}{de} \right) + 1,72 \left( \frac{dT}{de} \right)^2 \right] \frac{dT}{de} \quad (6)$$

L'introduction de la valeur de  $\beta$  corrigé dans l'équation (3) permet de calculer le flux de chaleur latente L.ETR du couvert végétal en conditions d'advection.

Cette méthode est basée sur la mesure des gradients verticaux de température et de tension de vapeur d'eau au-dessus de la surface végétale dans la zone des flux conservatifs.

## CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

*Dispositif de mesure*

L'étude a été réalisée en 1983 et 1984 sur un couvert de canne à sucre irrigué dans un périmètre de 3.500 ha dans la région Sud de Haute-Volta (10° N 4° W). Le site de mesure retenu, est une parcelle de 25 ha située à l'intérieur d'une surface irriguée totale de 1.200 ha considérée comme un anneau de garde permettant l'établissement d'une couche limite suffisante et où les caractéristiques de l'atmosphère sont en équilibre avec celle de la végétation. La culture est une repousse de huitième année.

Le dispositif expérimental mis en place pour les mesures micrométéorologiques comprend (MONTENY, 1983 a) :

- un pyranomètre thermoélectrique (Rg) pour la mesure de l'énergie solaire reçue par la culture dans la bande spectrale de 250 à 3.000 nm (type Kipp & Zonen) ;
- un pyradiobilanmètre Schenck pour la mesure de la fraction d'énergie absorbée par la culture (Rn) ( $\lambda$  : 250 à 100.000 nm) ;
- d'un ensemble de thermocouples (Cu-Const.) disposés à différents niveaux (tableau I) au-dessus de la surface végétale. En prenant la glace fondante comme référence, les forces électromotrices sont enregistrées par des intégrateurs Time Electronic ;
- la mesure de la température du point de rosée est réalisée à l'aide d'un hygromètre à effet Peltier, l'air étant aspiré aux différents niveaux par des pompes aspirantes - foulantes à membrane (débit 240 l.h<sup>-1</sup>) ;
- la vitesse horizontale du vent est enregistrée à l'aide d'anémomètres à 3 coupelles Casella étalonnés par comparaison à une référence ;
- la température du sol est mesurée à l'aide de thermomètres ordinaires placés à 25 cm de profondeur.

Tableau I : Disposition des capteurs au-dessus de la surface végétale.

| Capteurs                      | niveaux * |       |       |           |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-----------|
|                               | 1         | 2     | 3     | 4 + 20 cm |
| Bilanmètre Rn                 |           |       |       | X         |
| Pyranomètre Rg                |           |       |       | X         |
| Température de l'air          | X         | X     | X     | X         |
| Température du point de rosée |           | X     | X     | X         |
| Vitesse du vent               |           | X     | X     | X         |
| Hauteur canne                 |           |       |       |           |
| 0,9 m                         | 1,0 m     | 1,5 m | 2,2 m | 3,2 m     |
| 2,2 m                         | 2,2 m     | 3,2 m | 4,2 m | 5,6 m     |
| 4,0 m                         | 4,2 m     | 5,2 m | 6,2 m | 7,5 m     |

\* les niveaux sont variables en fonction de la hauteur de la culture.

L'ensemble du dispositif est alimenté par des batteries de 12 V. Le temps d'intégration est de 20 minutes. Les différentes valeurs des caractéristiques microclimatiques mesurées sont traitées à l'aide d'une calculatrice HP 41 CV qui calcule les différents flux énergétiques se produisant au-dessus de la culture. Le dépouillement immédiat permet de détecter toute anomalie dans le fonctionnement du dispositif et d'y pallier dans les plus brefs délais.

Les données présentées concernent 3 périodes distinctes de l'année:

- saison sèche, froide (déc - janv.) :  $\bar{T}_a = 33^\circ\text{C}$ ;  $\bar{T}_m = 17^\circ\text{C}$ ;  $\bar{T}_r = 5^\circ\text{C}$
- saison sèche, chaude (mars - avril) :  $\bar{T}_a = 37^\circ\text{C}$ ;  $\bar{T}_m = 22^\circ\text{C}$ ;  $\bar{T}_r = 12^\circ\text{C}$
- saison humide, chaude (mai-juin) :  $\bar{T}_a = 34^\circ\text{C}$ ;  $\bar{T}_m = 24^\circ\text{C}$ ;  $\bar{T}_r = 21^\circ\text{C}$

### Analyse de la validité des résultats

#### a) Calcul d'erreur

L'importance des erreurs dans l'estimation des flux provient des erreurs sur les mesures des différents paramètres. L'erreur relative sur les flux est déterminée en utilisant l'erreur maximale de mesure susceptible d'être faite sur chaque mesure. Ainsi, le rayonnement net est mesuré avec une précision de 6 % et le flux conductif G dans le sol à 20 %. L'ensemble thermocouple + intégrateur donnerait une erreur de température de l'ordre de 0,1°C ; quant à la tension de vapeur d'eau de l'air, la précision est de 0,1 mb pour une température du point de rosée de 10°C et 0,2 mb à 30°C.

Les erreurs relatives sur les estimations du flux de chaleur latente L.ETR ont été calculées selon l'équation (FUCHS et al. 1970) :

$$\frac{\sigma \text{ L.ETR}}{\text{L.ETR}} = \frac{\sigma R_n + \sigma G}{|R_n - G|} + \frac{\sigma \beta}{(1 + |\beta|)} \quad (7)$$

c'est-à-dire

$$\frac{\sigma \text{ L.ETR}}{\text{L.ETR}} = \left[ \frac{\sigma R_n + \sigma G}{|R_n - G|} \right] + \left[ \frac{0,67 \frac{2 \sigma T}{dT} + \frac{2 \sigma e}{de}}{(1 + |\beta|)} \right] \quad (8)$$

Les résultats sont présentés dans le tableau II.

Trois périodes distinctes de l'année ont été considérées avec des valeurs élevées et faibles de L.ETR. L'erreur relative sur le flux de chaleur latente L.ETR dépend de la valeur de  $\beta$  et donc de la valeur de la différence de tension de vapeur d'eau entre les niveaux considérés = en janvier et mars du fait de l'importance du déficit de tension de vapeur d'eau de l'air, l'erreur relative sur L.ETR est de 0,20 à 0,30, valeur qui s'accroît quand le gradient de diminue, c'est-à-dire quand la valeur du rayonnement net est faible; ce qui ne porte pas à conséquence sur l'estimation de l'ETR journalière.

D'autre part, la méthode du rapport de Bowen fait défaut quand les gradients de températures sont très faibles, à cause de l'erreur de précision du système d'enregistrement, ceci est particulièrement remarqué au lever et au coucher du

solcil ainsi que lors de certains passages nuageux importants (Cumulonimbus). Avec l'accroissement de la tension de vapeur d'eau de l'air (mars à mai), l'erreur dans l'estimation de L.ETR augmente, phénomène déjà observé précédemment (MONTENY, 1983 b).

Tableau II : Estimation des erreurs relatives sur les différents flux mesurés durant 3 périodes distinctes de l'année.

| Date     | Heure | $R_n - G$<br>$Wm^{-2}$ | $\frac{\sigma R_n + \sigma G}{R_n + G}$ | LE<br>$Wm^{-2}$ | $\frac{\sigma L.ETR}{L.ETR}$ | $\frac{LE}{R_n}$ |
|----------|-------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|
| 10.01.84 | 13.00 | 399                    | 0,065                                   | 317             | 0,28                         | 0,79             |
|          | 16.15 | 140                    | 0,065                                   | 125             | 0,51                         | 0,88             |
| 04.03.84 | 13.10 | 564                    | 0,07                                    | 453             | 0,21                         | 0,80             |
|          | 16.25 | 199                    | 0,07                                    | 143             | 0,19                         | 0,72             |
| 08.05.84 | 13.10 | 557                    | 0,07                                    | 504             | 0,33                         | 0,90             |
|          | 17.05 | 148                    | 0,07                                    | 135             | 0,38                         | 0,91             |

b) Comparaison des flux de chaleur latente calculés selon les niveaux

Les flux de chaleur latente instantanés calculés au cours de la journée avec les données mesurées entre les niveaux 2 et 3 (L.ETR<sub>1</sub>) sont comparés avec ceux obtenus entre les niveaux 2 et 4 (L.ETR<sub>2</sub>) (fig. 1) dont les équations de corrélation sont les suivantes : (L.ETR en  $Wm^{-2}$ )

Janvier : T° rosée : - 3 à 1°C (harmattan)

$$L.ETR_2 = 0,84 (L.ETR_1) + 22 \quad r^2 = 0,96$$

(5,2/7,6 m)                      5,2/6,2 m                      nb = 47

Mars : T° rosée : 8 à 12°C

$$L.ETR_2 = 0,95 (L.ETR_1) + 3,2 \quad r^2 = 0,88$$

(5,2/7,6 m)                      5,2/6,2 m                      nb = 49

Mai : T° rosée : 16 à 20°C

$$L.ETR_2 = 1,04 (L.ETR_1) - 7,7 \quad r^2 = 0,99$$

(3,2/5,7 m)                      (3,2/4,2 m)                      nb = 55

Pour les périodes de mars et mai, il y a peu de différence entre les flux de chaleur latente calculés selon les niveaux. Toutefois, en période d'harmattan (janvier) une certaine divergence se manifeste : l'évapotranspiration



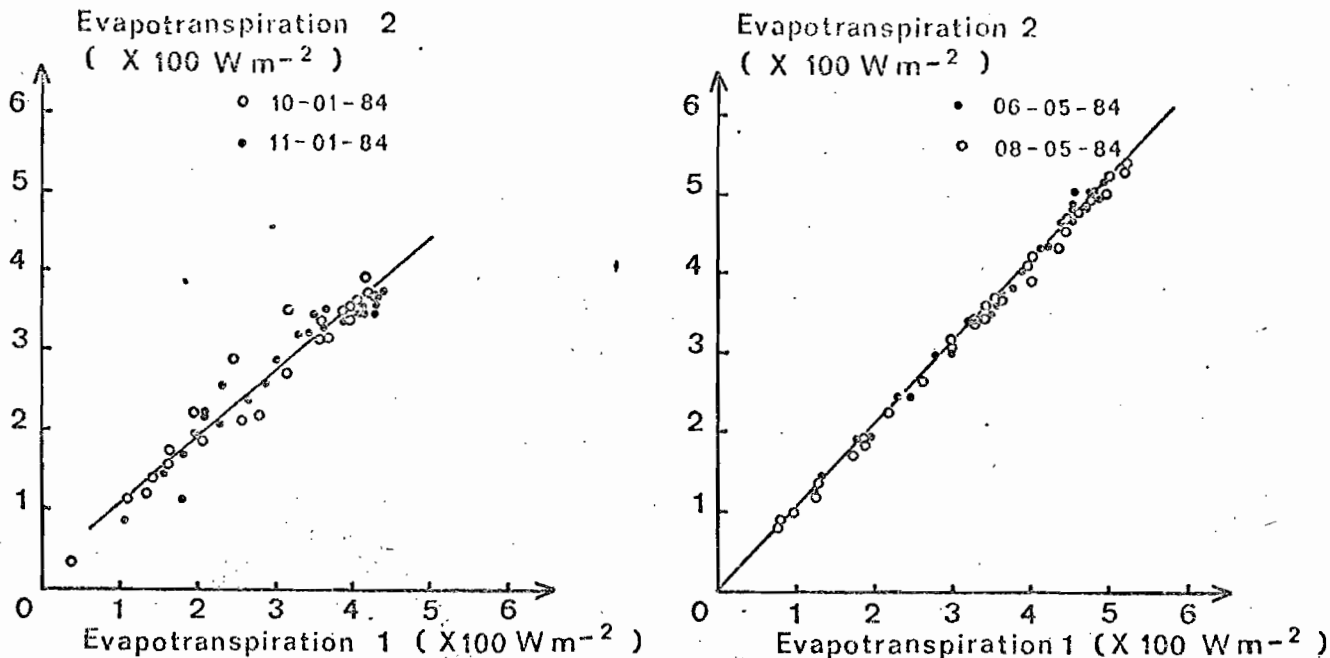


Fig. 1 : Relation entre l'ETR<sub>1</sub> et l'ETR<sub>2</sub> calculées à partir de mesures réalisées à différents niveaux (voir texte).

Relationship between evapotranspiration rates calculated with data obtained from level 2 and 3 (ETR<sub>1</sub>) and level 2 and 4 (ETR<sub>2</sub>).

calculée entre les niveaux 2-3 est plus élevée que les déperditions d'eau mesurées entre les niveaux 2 et 4. Il est possible, vu les conditions climatiques du moment, que le niveau supérieur soit à la limite de la zone de flux conservatif malgré l'importance de l'anneau de garde. C'est pourquoi, toutes les valeurs d'ETRM sont celles obtenues avec les données mesurées entre les niveaux 2-3.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans le système sol-plante-atmosphère, l'eau disponible dans le sol est absorbée par le système racinaire des plantes et est transférée sous forme liquide jusqu'aux feuilles. C'est à ce niveau que se produit le changement de phase (liquide-vapeur) permettant de dégager une certaine quantité d'énergie solaire absorbée par les surfaces foliaires. Ensuite, cette vapeur d'eau est éjectée dans l'atmosphère par les ouvertures stomatiques des feuilles, transfert dont l'importance dépendra des mécanismes de brassage de l'atmosphère autour et au-dessus de la plante. Ainsi, différents paramètres sont susceptibles d'influencer les déperditions de vapeur d'eau.

La figure 2 représente l'évolution horaire des différents termes du bilan d'énergie mesurés durant les 3 périodes distincts de l'année sur une culture de canne bien développée sans limitation en eau. La course du rayonnement net suit le mouvement apparent du soleil avec des valeurs les plus élevées en mars car le soleil est proche de son zénith. Les rapports

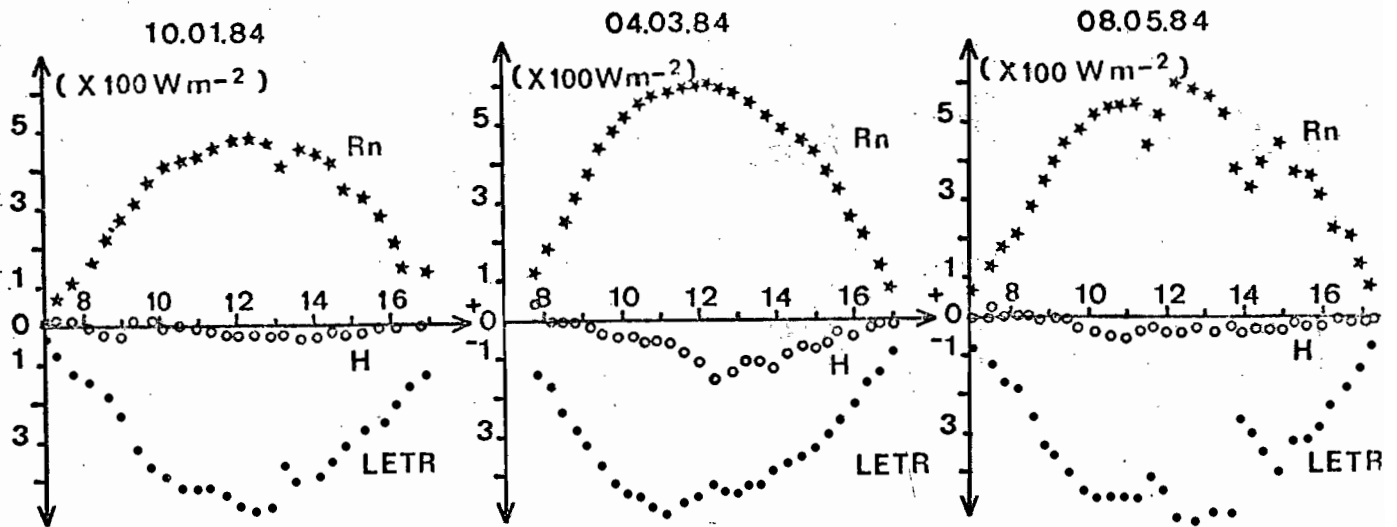


Fig. 2 : Evolution horaire du rayonnement net, du flux de chaleur latente et du flux chaleur sensible dans l'atmosphère pour des journées caractéristiques des 3 périodes distinctes.

Net radiation (Rn), latent heat of evaporation (LETR) and sensible heat flux above a homogeneous canopy of sugar cane for 3 days at different periods of the year.

LE/Rn augmentent quelque peu entre janvier et mai (Tableau II) parallèlement avec l'accroissement de la température du sol.

En tenant compte du développement des surfaces foliaires, les rapports sont très différents (fig. 3) : aux faibles valeurs de l'indice foliaire, les déperditions d'eau

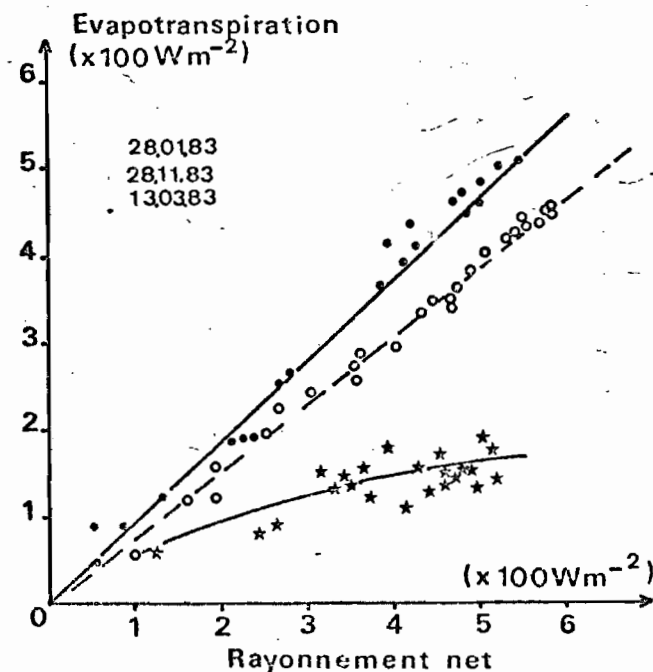


Fig. 3 : Relation entre l'évapotranspiration réelle de la culture de canne à sucre et le rayonnement net en fonction du développement foliaire.

Relationship between net radiation and latent heat of evaporation at different leaf development stages.

sont limitées (28.01.83). Au fur et à mesure de l'accroissement de la surface foliaire, l'évapotranspiration de la culture augmente (13.03 : culture 2/3 à 3/4 couvrante et 28.11 : culture couvrante) jusqu'à atteindre un état d'équilibre où l'évapotranspiration représente 85-90 % du rayonnement net (Rn).

Par ailleurs, pour des cultures de canne bien développées, une relation à caractère linéaire a été obtenue entre la quantité d'énergie absorbée (Rn) et l'évapotranspiration (L.ETR) (fig. 4). Toutefois, les conditions climatiques qui prévalent le 08.01.84 et 06.05.84 sont très différentes : en janvier, le refroidissement nocturne, consécutif à un bilan radiatif journalier négatif, entraîne un abaissement de la température du sol sous végétation qui atteint 17-18°C. Malgré l'importance du déficit de tension de vapeur d'eau de l'air ( $T_r$ : -3 à 1°C) et des vitesses de vent assez élevées au-dessus de la culture, l'évapotranspiration du système végétal n'augmente pas. Il est probable que le pouvoir d'absorption de l'eau par le système racinaire soit fortement réduit par l'effet limitant de la température du sol. Ainsi, paradoxalement, en région sahélienne, la consommation en eau n'augmente pas avec l'accroissement du pouvoir évaporant de l'air, ce qui n'est pas le cas d'une nappe d'eau libre.

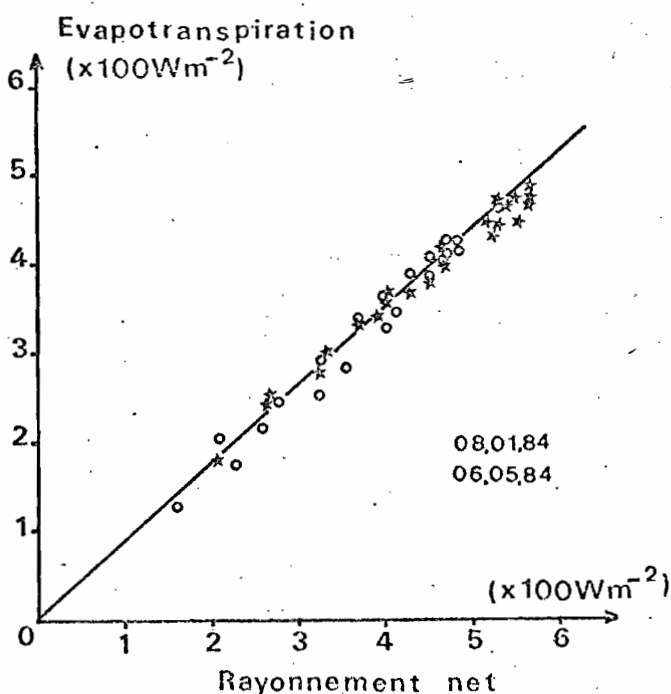


Fig. 4 : Evolution de l'évapotranspiration horaire au cours de la journée selon les saisons de l'année d'une culture de canne à sucre bien développée et sans restriction d'eau.

Relationship between net radiation and latent heat of evaporation of a full sugar cane canopy for different seasons.

## MODÉLISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE MAXIMALE DE LA CANNE À SUCRE

Pour évaluer l'évapotranspiration réelle maximale (ETRM) de la canne à sucre, il est nécessaire, dans le cadre d'une utilisation pratique, d'avoir un certain nombre d'informations de base tant sur le système végétal que sur les conditions climatiques.

Un modèle micrométéorologique décrivant les échanges de vapeur d'eau (L.ETR) entre le couvert végétal et son environnement a été présenté par PENMAN (1956) :

$$L.ETR = \left( \frac{P}{p'+\gamma} \right) (R_n - G) + \frac{\gamma}{\gamma+p'} 0,26 (1+0,54 V) (E-e_a) \quad (9)$$

Cette formulation, très générale, correspond à la somme de 2 termes, le premier à caractère radiatif, car en relation avec le rayonnement net,  $R_n$ , et le second à caractère convectif du fait de son analogie avec les expressions des flux convectifs faisant appel aux caractéristiques des masses d'air (température, tension de vapeur d'eau et vitesse du vent).

En ne considérant que le premier terme de l'équation(14) comme terme moyen autour duquel évoluerait l'évapotranspiration réelle, l'évapotranspiration standard  $ET_0$  se définit comme suit: LHOMME *et al.* (1982) :

$$ET_0 = \frac{P'}{p'+\gamma} (R_n - G) \quad (10)$$

ce qui réduit l'influence du climat à son terme essentiel, le rayonnement net qui joue un rôle prépondérant dans l'évapotranspiration réelle comme nous l'avons vu précédemment, le coefficient  $P'/P'+\gamma$  oscillant légèrement avec la température de l'air autour d'une valeur moyenne de 0,76 dans nos conditions.

PRIESTLEY et TAYLOR (1972) ont introduit la notion d'un coefficient "C" correspondant au rapport de l'évapotranspiration maximale (ETRM) à l'évapotranspiration standard ( $ET_0$ ) et permettant le calcul de l'évapotranspiration potentielle.

$$ET_p = C \left( \frac{P'}{p'+\gamma} \right) (R_n - G) \quad (11)$$

Ce coefficient "C" dit cultural fait intervenir le pouvoir régulateur du système végétal (PERRIER, 1975 ; PERRIER *et al.* 1980) qui varie en fonction des conditions pédoclimatiques et des paramètres végétatifs (feuilles-racines). Il semblerait (KATERJI *et al.* 1983) que la valeur de ce coefficient "C" serait assez constante quelque soient la culture et les régions du monde considérées.

La figure 5 représente l'évolution horaire du coefficient "C" pour différentes journées selon différentes périodes climatiques :

- = 28.01.83 - le développement des surfaces foliaires est le facteur limitant au niveau des échanges énergétiques ( $c \approx 0,4$ ),
- = 27.11.83 - malgré l'importance de l'anneau de garde, le pouvoir évaporant de l'air est tel qu'il accroît les déperditions d'eau ( $c \approx 1,35$ ),

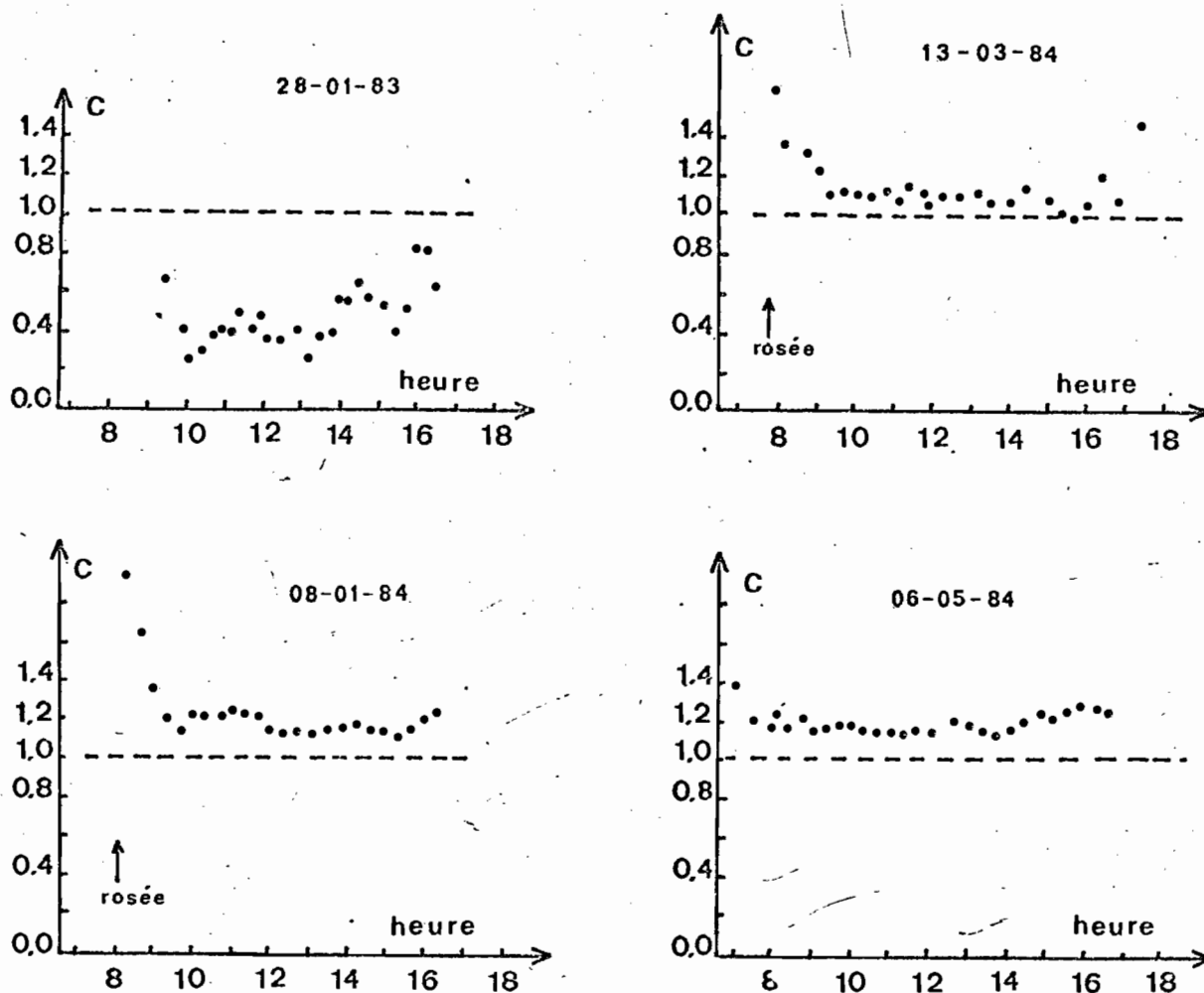


Fig. 5 : Evolution horaire du rapport  $ETRM/ET_0 = C$  au cours de différentes journées en fonction des saisons et du développement foliaire de la culture.

Daily evolution of the  $LETR/ET_0$  ratio ("C") at different leaf areas (28.01.83 and 13.03.84) and during the dry (08.01.84) and humid (06.05.84) seasons.

- = 08.01.83 - même observation que pour le 27.11 mais les échanges hydriques sont freinés par l'abaissement de la température du sol liée à l'importance des déperditions radiatives nocturnes (élongation foliaire : 1-2 cm/j),
- = 06.05.83 - situation normale - toutes les conditions pédoclimatiques et végétatives sont favorables pour des taux de croissance élevés (élongation foliaire : 5 à 7 cm/j).

Les valeurs élevées de C observées le matin proviennent de l'évaporation de la rosée.

La comparaison avec d'autres valeurs du coefficient cultural, obtenues dans d'autres régions sur la même culture de canne, doit être faite avec précaution. En effet, certains facteurs - harmattan, température du sol 17-18°C, développement foliaire, hauteur de la végétation ... - accroissent ou réduisent les déperditions d'eau par le système végétal et sont à considérer puisque ce coefficient les intègre.

Ainsi, à partir de l'ensemble des résultats obtenus au cours des saisons pour différents stades phénologiques de la culture de canne à sucre bien alimentée en eau, une valeur moyenne de ce coefficient a pu être établie (tableau III).

Tableau III : Valeurs moyennes du coefficient cultural retenues en fonction de la période de la coupe.

|                                 | J   | F   | M    | A   | M    | J   | J   | A   | S   | O   | N   | D   |
|---------------------------------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Couverture totale toute l'année | 1.1 | 1.1 | 1.15 | 1.2 | 1.25 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.2 |
| Canne coupée en novembre        | 0.4 | 0.8 | 1.0  | 1.2 | 1.25 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | -   | 0.3 |
| Canne coupée en mars            | 1.1 | 1.1 | -    | 0.4 | 1.1  | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.2 |

Les valeurs du coefficient reflètent la réponse de la culture aux facteurs du milieu. Malgré le caractère d'aridité prononcée dans cette région durant une période de l'année, ces coefficients sont inférieurs à ceux trouvés dans la littérature (KATERJI *et al.* 1983).

En appliquant ces coefficients culturaux "C", il nous est, dès lors, possible d'estimer les besoins en eau de la culture de canne à sucre. Toutefois, les seules données climatiques disponibles permettant d'évaluer la quantité d'énergie reçue au sol sont la durée d'insolation et parfois le rayonnement solaire global. C'est pourquoi, une relation linéaire à caractère empirique a été recherchée entre ces deux mesures pour évaluer le rayonnement solaire (MONTENY 1983 a) :

$$\begin{aligned} \text{et } R_g &= (0,56 \frac{n}{N} + 0,13) R_{go} \text{ (de novembre à mars)} \\ R_g &= (0,48 \frac{n}{N} + 0,20) R_{go} \text{ (d'avril à octobre)} \end{aligned} \quad (12)$$

De même, il a été nécessaire de déterminer la relation existant entre la quantité d'énergie solaire ( $R_g$ ) arrivant au sol et la fraction d'énergie absorbée ( $250 \text{ nm} < R_n < 100.000 \text{ nm}$ ) et qui correspond à :

$$R_n = 0,74 R_g - 34 \quad \begin{aligned} r^2 &= 0,98 \\ n_b &= 67 \end{aligned} \quad (13)$$

Ainsi, la formulation générale intégrant les équations (16, 17 et 18) et pouvant permettre d'évaluer les besoins en eau de la canne à sucre dans des régions où les données climatiques sont limitées, s'écrit :

$$ETRM_C = C \left( \frac{P'}{P+\gamma} \right) 0,74 \left( a \frac{n}{N} + b \right) \frac{R_{g0}}{244} \quad (14)$$

$mmj^{-1}$

avec  $n$  = durée d'insolation

$N$  = durée astronomique du jour

$R_{g0}$  = rayonnement solaire global mesuré au sommet de l'atmosphère.

En recalculant l'évapotranspiration maximale ( $ETRM_C$ ) à partir de l'équation 14 et en comparant avec les valeurs journalières d' $ETRM_m$  correspondante, nous obtenons une corrélation très satisfaisante :

$$ETRM_m = 0,94 ETRM_C + 0,28$$

$mmj^{-1}$

avec  $r^2 = 0,89$   
nb = 32

Cette formulation générale, d'une utilisation aisée, permet, à partir de la connaissance de la quantité d'énergie arrivant au sol et en considérant un coefficient cultural "C" intégrant les effets des conditions pédoclimatiques et les réactions des plantes, d'estimer les besoins en eau maximale de la culture de canne à sucre. Les besoins en eau calculés par cette expression, pour une culture coupée en novembre, s'élèvent à 1.096 mm/an et pour celle coupée en mars à 1.365 mm/an. Comparativement, les estimations des besoins en eau réalisées à partir de l'évaporation d'une nappe d'eau libre d'un bac classe "A" correspondent, pour les conditions climatiques de la région à 1.530 mm/an pour une canne coupée en novembre et 1.650 mm/an pour une canne coupée en mars.

## CONCLUSION

L'analyse de la validité de l'utilisation de la méthode du rapport de Bowen pour déterminer correctement l'évapotranspiration réelle maximale (ETRM) de la culture de canne à sucre a montré la nécessité de mesurer les paramètres microclimatiques entre 1 et 3 m au-dessus de l'interface végétation-atmosphère en raison des conditions climatiques des régions soudano-sahéliennes. D'autre part, l'utilisation de la méthode aérodynamique simplifiée a montré une limite à son emploi du fait de la divergence de certains résultats comparativement à ceux obtenus par la méthode du rapport de Bowen.

De l'ensemble des mesures de l'ETRM de la culture de canne à différents stades phénologiques et pour diverses conditions climatiques, une équation générale a pu être établie. Elle est basée sur le produit de la quantité d'énergie absorbée et d'un coefficient cultural "C" qui intègre les caractéristiques de la canne à sucre et l'effet de certains facteurs climatiques sur l'activité physiologique de la plante.

Tel est le cas de l'effet des basses températures du sol qui limitent l'absorption d'eau par les racines et de ce fait la consommation de la culture malgré l'importance du déficit de tension de vapeur d'eau de l'air (50-55 mb)

L'expression proposée permet de déterminer avec précision les besoins en eau de la culture de la canne à sucre dans la région soudano-sahélienne pour la conduite des irrigations.

#### RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- BLAD, B.L. and ROSENBERG, N.J. 1974.- Lysimetric calibration of the Bowen ratio-Energy balance method for evapotranspiration estimation in the central great plains. J. Appl. Meteor. 13 : 227-236.
- BRASSE, T.W. ; VERMA, S.B. and ROSENBERG, N.J. 1978.- Local and regional components of sensible heat advection. J. Appl. Meteor. 17 : 955-963.
- CAMPBELL, R.B., CHANG, J.M and COX, D.C. 1959.- Evapotranspiration of sugar cane in Hawaii as measured by in field lysimeters in relation to climate 637-645. Proc. 10th Congress of the ISSCT. Hawaii.
- CHAROY, J., FOREST, F., LEGOUPIL, J.C. et BASSEREAU, D. 1978.- Besoins en eau de la canne à sucre. Agron. Tropicale 33 : 344-369.
- DANCETTE, C. 1979 a.- Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau, en zone soudano-sahélienne.. Agron. Tropicale 34 : 331-355.
- DANCETTE, C. and HALL, A.E. 1979 b.- Agroclimatology Applied to water management in the sudanian and sahelian zones of Africa - 98-118. in "Agriculture in Semi-arid Environments" ed. HALL, A.E., CANNELL, G.H., and LAWTON, H.W.



- FUCHS, M. and TANNER, C.B. 1970.- Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. *Agr. Meteor.* 7 : 329-334.
- ITIER, B. 1980.- Une méthode simplifiée pour la mesure du flux de chaleur sensible. *J. Rech. Atmos.* 14 : 17-34.
- ITIER, B. 1981.- Une méthode simple pour la mesure de l'évapotranspiration réelle à l'échelle de la parcelle. *Agron.* 1 : 869-876.
- JONES, L.A. 1980.- A review of evapotranspiration studies in irrigated sugar cane in Hawaii. *Hawaiian Planter's Record* 59 : 195-214.
- KATERJI, N. et PERRIER, A. 1983. Modelisation de l'évapotranspiration réelle ETR d'une parcelle de luzerne : rôle d'un coefficient cultural. *Agron.* 3 : 513-521.
- LANGELLIER, P. 1980.- Détermination du régime hydrique d'une culture de canne à sucre de milieu, en période maturation, dans le nord de la Côte d'Ivoire. *Agron. Tropicale* 35 : 232-239.
- LHOMME, J.P. et MONTENY, B.A. 1982.- Présentation d'une formule d'estimation de l'évaporation potentielle conforme aux nouvelles recommandations internationales. *Arch. Meteor. Geogr. Bioklim. (B)* 30 : 253-260.
- MONTENY, B.A. 1973.- Evapotranspiration de différents couverts végétaux en région méditerranéenne semi-aride. *Agric. Meteor.* 10 : 19-38.
- MONTENY, B.A., HUMBERT, J., LHOMME, J.P. et KALMS, J.M. 1981.- Le rayonnement net et l'estimation de l'évapotranspiration en Côte d'Ivoire. *Agric. Meteor.* 23 : 45-59.
- MONTENY, B.A. 1983 a.- Estimation des besoins en eau d'une culture de canne à sucre durant sa période de croissance. Rapport ORSTOM - 15p.
- MONTENY, B.A. 1983 b.- Détermination of the energy exchanges of a forest type culture - *Hevea brasiliensis*. Forest Environmental Measurements - International Conference OAK RIDGE, Tennessee - USA.
- PENMAN, H.L. 1956.- Evaporation : an introductory survey. *Neth. J. Agric. Sci.* 4 : 9-29.

PERRIER, A. ; KATERJI, N. ; GOSSE, G. et ITIER, B. 1980.-  
Etude "*in situ*" de l'évapotranspiration réelle  
d'une culture de blé.  
Agric. Météor. 21 : 295-311.

PERRIER, A. 1975.- Etude de l'évapotranspiration dans les  
conditions naturelles. III. Evapotranspiration réelle  
et potentielle des couverts végétaux.  
Ann. Agron. 26 : 229-243.

PRIESTLEY, C.M. and TAYLOR, R.J. 1972.- On the assesment  
of surface heat flux and evaporation using large  
scale parameters.  
Month. Weather Rev. 100 : 81-92.

THOMPSON, G.D. and BOYCE, J.P. 1967.- Daily measurements  
of potential evapotranspiration from fully  
canopied sugarcane.  
Agric. Meteor. 4 : 267-279.

VERMA, S.B. ; ROSENBERG, N.J. and BLAD, B.L. 1978.-  
Turbulent Exchange Coefficients for sensible heat  
and water vapor under advective conditions.  
J. Appl. Meteor. 17 : 330-338.