



En fonction des paramètres pédoclimatiques et physiologiques, il nous paraît intéressant de rediscuter les besoins en eau d'une culture de canne à sucre en analysant son comportement. Dans ce but, l'utilisation d'une méthode de mesure aérienne de l'évaporation-transpiration du couvert permet de suivre les interactions du système constitué par le sol, la plante et l'atmosphère et de caractériser ainsi des situations typiques de consommation en eau selon ces trois éléments. En effet, l'application d'une telle méthode conduit à des calculs selon un pas de temps proche de l'heure, permettant la mise en évidence de la régulation hydrique (par les stomates) de la plante en fonction de l'eau disponible dans le sol (importance du développement du système racinaire) et de la demande climatique.

La première partie de ce travail porte sur la présentation de la méthode de mesure de l'évapotranspiration réelle utilisée. Il s'agit de la méthode du rapport de Bowen dont la validité et les erreurs liées aux mesures sont discutées.

La seconde partie porte sur la présentation des résultats de mesures à différentes époques de différents stades de développement du couvert, aboutissant à la proposition

d'un modèle de consommation en eau de la canne à sucre irriguée, extrapolable à toute la zone soudano-sahélienne.

#### **PRINCIPE DE LA METHODE**

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

$$b = \frac{H}{\lambda \cdot ETR} = \frac{-\rho C_p K_H dT/dz}{-(\rho \lambda \epsilon / P) K_E de/dz} = \gamma \cdot \frac{dT}{de} \quad (2)$$

si l'on admet l'hypothèse de similarité des coefficients d'échange ( $K_H = K_E$ ), l'expression se simplifie et  $dT$  et  $de$  correspondent aux 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 ( $0,67 \text{ mb} \cdot \text{C}^{-1}$ ).

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

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

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

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) et Brakke *et al.*, (1978) ont montré, expérimentalement, qu'en condition de stabilité, le coefficient  $K_H$  est supérieur à  $K_E$ .

Ainsi, Verma *et al.* (1978) proposent l'introduction de l'équation de correction suivante:

$$K_H = K_E \left( 1 + \beta \frac{dT}{de} \right)$$

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 EXPERIMENTALES*

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 du Burkina Faso (10° N 4° O). Le site de mesure retenu est une parcelle de 25 ha située à l'intérieur d'une surface irriguée totale de 1 200 ha,

- saison humide, chaude (mai-juin)

$T_{max} = 34^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{min} = 24^{\circ}\text{C}$ ;  $T_r = 21^{\circ}\text{C}$

**Tableau 1. Disposition des capteurs au-dessus de la surface végétale**

CAPTEURS	N I V E A U X*			
	1	2	3	4 + 20 cm
Bilanmètre Rn				X
Pyranomètre Rg				X
Température de l'air	X	X	X	X
Température point rosée		X	X	X
Vitesse du vent		X	X	X
Hauteur canne <sup>+</sup>				
0,9 m	1,0 m	1,5 m	2,2 m	3,2 m
2,0 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<sup>+</sup>

### *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 plus intégrateur crée une erreur de température de l'ordre de 0,1°C; pour la tension de vapeur d'eau de l'air la précision est de 10 Pa pour une température du point de rosée de 10°C et 20 Pa à 30°C.

L'énergie accumulée par le couvert végétal sous forme de chaleur et de photosynthate, qui représentent quelques pourcents du rayonnement net, a été négligée.

Les erreurs relatives sur les estimations du flux de chaleur latente ( $\lambda$ .ETR) ont été calculées

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  $\lambda$ .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 température sont faibles, du fait de l'erreur de précision du système d'enregistrement, ceci est particulièrement remarqué au lever et au coucher du soleil ainsi que lors de certains passages nuageux importants (cumulo-nimbus) mais sans conséquences sur la valeur de ETR, le rayonnement net étant faible ( $< 160 \text{ W.m}^{-2}$ ). Avec l'accroissement de la tension de vapeur d'eau de l'air (mars à mai), l'erreur dans l'estimation de  $\lambda$ .ETR augmente, phénomène déjà observé précédemment (Monteny, 1983 b).

*B. Comparaison des flux de chaleur latente calculés selon les niveaux par la méthode de rapport de Bowen*

## ***RESULTATS ET DISCUSSION***

L'évapotranspiration d'une culture de canne à sucre résulte du transfert de l'eau du sol, absorbée au niveau racinaire, déplacée sous forme liquide jusqu'aux feuilles puis évaporée et diffusée au travers des stomates.

Le flux se produit en réponse à une demande climatique qui s'exprime sous forme d'énergie disponible au niveau de la feuille. Selon les coefficients d'échange au voisinage de la feuille et selon son état hydrique, celle-ci utilisera l'énergie pour évapotranspirer l'eau ( $\lambda \cdot ETR$ ) ou s'échauffera et provoquera un flux de chaleur sensible ( $H$ ). De façon globale pour le couvert, le suivi des différents termes du bilan d'énergie (apports radiatifs et advectionnels et pertes sous

- d'autre part, l'effet d'un bilan radiatif très négatif durant la période nocturne entraîne le refroidissement du système avec une diminution de la température du sol qui passe de 26-27°C à 17-18°C durant la saison froide et sèche. Le seuil de sécheresse physiologique pour la canne est de l'ordre de 10-13°C (Fauconnier et Bassereau, 1970). Ainsi, l'effet de l'apport d'énergie advective au système est contrebalancé par le rôle des basses températures du sol qui freinent l'absorption de l'eau par le système racinaire. Le rapport  $\lambda \cdot \text{ETR}/R_n$  correspond à 0,78;

- le retour à des conditions plus favorables (réduction du pouvoir évaporant de l'air et augmentation de la température du sol) accroît l'activité physiologique du couvert, le rapport s'élève progressivement (0,89).

L'évapotranspiration dépendant autant du régime évaporant d'une surface que de l'importance



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 vue 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<sub>o</sub>) et permettant le calcul de l'évapotranspiration potentielle climatique:

$$ET_p = C \left( \frac{P}{p' + \gamma} \right) (Rn - G) \quad (9)$$

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).

La figure 3 représente l'évolution horaire du coefficient "C" au cours de journées caractérisées par un développement du couvert, un climat ou une température du sol différents:

- la comparaison des journées 07.01, couverture totale, et 28.01, couverture 1/4, ainsi que le 17.01, couverture 2/3 - 3/4, met en évidence l'effet du développement foliaire, seule facteur divergent, sur le coefficient "C",
- en ce qui concerne les journées du 11.12 et 07.01, la comparaison rend compte de la réduction de l'alimentation hydrique du système liée à l'effet dépressif de la température du sol,
- pour les journées avec ou sans harmattan (11.12 et 06.05), seule la demande évaporative du climat diffère, provoquant une augmentation du coefficient "C".

Ces résultats confirment les données obtenues sur d'autres cultures en régions tempérées. En effet, Katerji et Perrier (1983) citent des valeurs du coefficient "C" passant de 0,94 à 1,47 selon les stades phénologiques d'une culture de blé et les conditions climatiques du moment.

Toutefois, la comparaison d'autres valeurs du coefficient cultural, obtenues dans d'autres régions sur culture de canne, doit être faite avec précaution. En effet, certains facteurs (harmattan, température du sol, 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 coefficient a pu être établie (Tableau 3).

**Tableau 3. Valeurs moyennes du coefficient culturel retenues en fonction de la période de la coupe**

	Couverture totale toute l'année	Canne coupée en novembre	Canne coupée en mars
JANVIER	1,1	0,4	1,1
FEVRIER	1,1	0,8	1,1
MARS	1,15	1,0	-
AVRIL	1,2	1,2	0,4
MAI	1,25	1,25	0,8
JUIN	1,1	1,1	1,1
JUILLET	1,1	1,1	1,1
AOUT	1,1	1,1	1,1
SEPTEMBRE	1,1	1,1	1,1
OCTOBRE	1,2	1,2	1,2
NOVEMBRE	1,4	-	1,4
DECEMBRE	1,2	0,3	1,2

Les valeurs du coefficient reflètent la réponse de la culture aux facteurs du milieu. Malgré le caractère d'aridité, ces coefficients sont inférieurs à ceux trouvés dans la littérature (Katerji et Perrier, 1983).

En appliquant ces coefficients cultureux "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):

$$R_g = \left(0,56 \frac{n}{N} + 0,13\right) R_{g_0} \quad (\text{de novembre à mars})$$

et

$$R_g = \left(0,48 \frac{n}{N} + 0,20\right) R_{g_0} \quad (\text{d'avril à octobre}) \quad (10)$$

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 ( $250 \text{ nm} < R_n < 100 \text{ 000 nm}$ ) et qui correspond à:

$$Rn = 0,74 Rg - 34$$

$$r^2 = 0,98$$

$$nb = 67$$

(11)

Ainsi, la formulation générale intégrant les équations (9,10 et 11) 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:

$$ETRMC = C \left( \frac{p'}{p' + \gamma} \right) 0,74 \left( a \frac{n}{N} + b \right) \frac{Rg_0}{244}$$

$$mm.j^{-1}$$

(12)

avec:

$n$  = durée d'insolation

$N$  = durée astronomique du jour

$Rg_0$  = rayonnement solaire global mesure au sommet de l'atmosphère ( $J.cm^{-2}.j^{-1}$ )

En recalculant l'évapotranspiration maximale (ETRM<sub>c</sub>) à partir de l'équation (12) et en comparant avec les valeurs journalières d'ETRM<sub>m</sub> correspondantes, nous obtenons une corrélation très satisfaisante:

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

$$r^2 = 0,89$$

$$nb = 32$$

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 l'activité physiologique des plantes, d'estimer les besoins en eau maximaux 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" et utilisant les coefficients sud africains (Ka) 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.

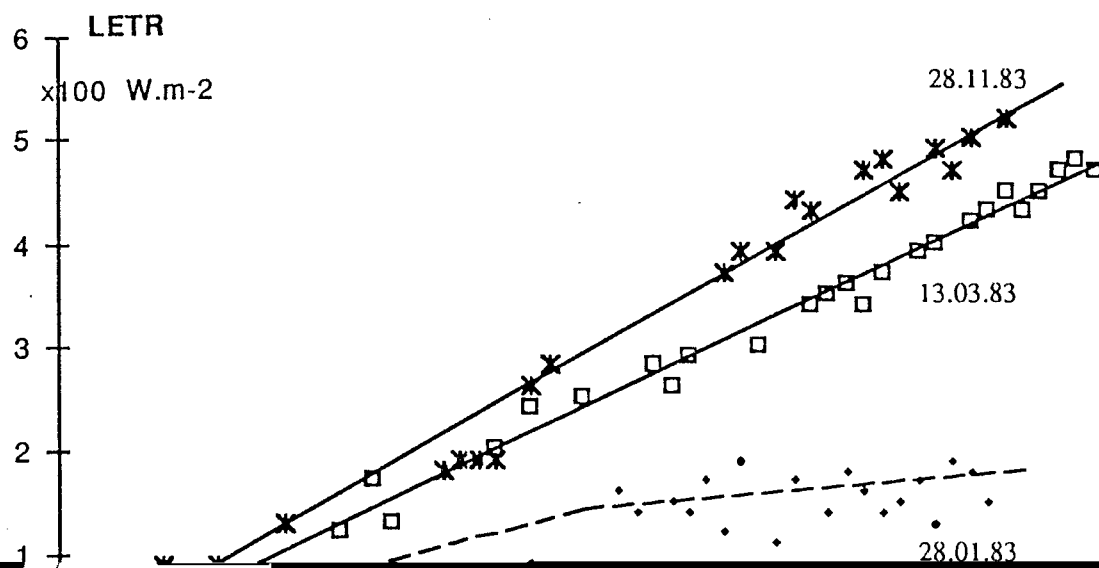
Tableau 4. Comparaison des valeurs de K mesurées Km et celles appliquées Ka si le bac "classe A" est utilisé

Mois	Canne coupée en novembre		Canne coupée en mars	
	Km	Ka	Km	Ka
JANVIER	0,20	0,3	0,5	1,0
FEVRIER	0,35	0,6	-	-
MARS	0,44	0,8	remplissage du profil	remplissage du profil
AVRIL	0,65	1,0	0,20	0,3
MAI	0,85	1,0	0,55	0,6
JUIN	0,90	1,0	0,90	0,8
JUILLET	1,05	1,0	1,05	1,0
AOUT	1,15	1,0	1,15	1,0
SEPTEMBRE	1,10	1,0	1,10	1,0
OCTOBRE	-	-	1,05	1,0
NOVEMBRE	remplissage du profil	remplissage du profil	0,9	1,0
DECEMBRE	0,15	0,3	0,6	1,0
mm/an	1096	1530	1365	1650

Les différences de 30 à 35% dans les apports d'eau nécessaires s'expliquent aisément. Le

qui intègre les caractéristiques de la canne à sucre et l'effet de certains facteurs climatiques sur l'activité physiologique de la plante.

Figure 2. Relation entre l'évapotranspiration réelle de la culture de canne à sucre et le rayonnement net en fonction du développement foliaire



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blad, B.L. et 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.
- Brakke, T.W., Verma, S.B. and Rosenberg, N.J. (1978). Local and regional components of sensible heat advection. *J. Appl. Meteor.* 17: 995-963.
- 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. *Proc. 10th Congress of the ISSCT-Hawaii*: 637-645.
- Charoy, I., Forest, F., Legouinil, J.C. et Basserat, D. (1978). Besoins en eau de la canne à sucre. *Aeron*

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

Perrier, A., Katerji, N., Gosse, G. et Itier, B. (1980). Etude *in situ* de l'évapotranspiration réelle d'une culture de blé. *Annales Météorol.* 21: 295-311.

Priestley, C.M. and Taylor, R.J. (1972). On the assessment 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.D. and Blad, B.D. (1979). Turbulent exchange coefficients for sensible heat and



du coefficient C, déterminées pour les différentes saisons d'une région en relation avec la phénologie du couvert végétal, sont fournies. Les travaux réalisés sur le périmètre de la SOSUKO à Banfora ont confirmé ces résultats.

BALDY: Quelle est la relation entre l'utilisation des mesures effectuées sur les cannes et l'emploi des bacs classe A utilisés par la Sosuko et l'irrigation optimale de la canne à Banfora. Que pensez-vous du problème

R 02 + 92  
← CEDID -

**INFLUENCE DU CLIMAT SUR LA PRODUCTION  
DES CULTURES TROPICALES**

***INFLUENCE OF THE CLIMATE  
ON THE PRODUCTION OF  
TROPICAL CROPS***

**Compte rendu du séminaire régional organisé par  
la Fondation Internationale pour la Science (IFS)  
et le Centre Technique de Coopération  
Agricole et Rurale (CTA)**

**Ouagadougou, Burkina Faso  
23-28 septembre 1991**

