

5

# CONSOMMATION EN EAU D'UNE CULTURE DE MANIOC (*Manihot esculenta* Crantz) A L'ECHELLE DE LA PARCELLE

**B. GOUE\* N.R. YAO\*\* J.L. JANEAU\*\*\***

- \* Laboratoire d'Agronomie
- \*\* Laboratoire de Bioclimatologie
- \*\*\* Laboratoire de Pédologie  
ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé  
B.P. V-51 ABIDJAN, Côte d'Ivoire

**Mots clés :**

manioc, sonde à neutrons, bilan hydrique, bilan d'énergie, évapotranspiration réelle.

**Keywords :**

cassava, neutron probe, water balance, energy balance, actual evapotranspiration

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 27.392.041

Cote : B VIII 78

16 JANV 1990

M

## RESUME

Sur une parcelle expérimentale de manioc, variété CB (Congo Brazzaville), plantée sur sables tertiaires en Basse Côte d'Ivoire, des mesures neutroniques d'humidité sont effectuées hebdomadairement en vue d'établir le bilan hydrique de la culture. On a pu estimer ainsi, sur une période de 12 mois (d'octobre à octobre), la consommation en eau (ETR) de la plante par la méthode de la "variation des stocks hydriques du sol" (ou méthode du "bilan global"). Les valeurs moyennes de l'ETR varient de 4,0 mm/jour en début de cycle (6 semaines après plantation) à 3,0 mm/jour en milieu de cycle (20ième à 26ième semaine) et 2,5 mm/jour en fin de cycle (46ième semaine). Simultanément, l'évapotranspiration est déterminée par une méthode de mesure au-dessus du couvert végétal, la méthode du rapport de Bowen couplée au bilan d'énergie. Sauf en début de cycle, on obtient des valeurs de l'ETR reliées linéairement aux précédentes.

## ABSTRACT :

WATER CONSUMPTION OF CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) PLANT GROWN IN THE FIELD

Soil water content was weekly measured in cassava experimental field with a CB (Congo Brazzaville) variety grown on tertiary sandy soils in lower Côte d'Ivoire, to determine the water balance of the crop. We were able to estimate on a twelve-month period (October to October) the water consumption (ETR) of the plant by the method of "soil water content variations" or the method of "global balance".

The mean values of actual evapotranspiration (ETR) varied between 4.0 mm/day early in the plant development (six weeks after planting) to 3.0 mm/day in the middle of the plant growth period (20th to 26th week) and 2.5 mm/day at the end of the growth period (46th week).

Plant actual evapotranspiration was also determined by microclimatic measurements above the canopy, using the Bowen ratio coupled with the energy balance. This latter ETR was lineary related to the former except early in the plant development.

## I. INTRODUCTION

En suivant, sur une parcelle, l'évolution des réserves en eau des sols sous une culture de manioc, il a été possible d'estimer la consommation de la plante, les variations de stocks d'eau du sol étant le fait de l'évapotranspiration à la surface, de la transpiration du couvert végétal et des flux en profondeur. Des nombreuses méthodes d'évaluation du bilan hydrique des cultures, celle retenue se base sur l'établissement du bilan hydrique du sol (bilan hydrique de la zone racinaire) à partir de la relation :

$$P + I \pm \Delta S - ETR - D + R_c \pm R = 0 \quad (1) \quad (\text{KATERJI et al., 1984}) :$$

$\Delta S$  : variation du stock d'eau du sol pour un intervalle de temps donné et une tranche de sol ( $\Delta y$ ) entre la surface (o) et une profondeur (Y),  
P, I ; pluies et irrigations pour le même intervalle de temps,  
D, R<sub>c</sub> ; flux profonds, drainage (D) et remontée capillaire (R<sub>c</sub>),  
R : apports ou pertes, latéralement par ruissellement superficiel,  
ETR : évapotranspiration réelle.

Dans cette relation on néglige la part d'eau conservée par le végétal (à peine 1 % de ce qui y transite).

Les valeurs de consommation ainsi calculées sont comparées à celles obtenues simultanément par une méthode de mesure au-dessus du couvert végétal (la méthode du rapport de Bowen couplée au bilan d'énergie).

II. SITE EXPERIMENTAL, MATERIEL VEGETAL ET METHODOLOGIE  
EXPERIMENTAL SITE, PLANT MATERIAL AND METHODOLOGY

La parcelle, d'une superficie de 4 ha est située au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (Basse Côte d'Ivoire) sur des sables tertiaires. Les boutures de manioc, variété CB (Congo Brazzaville) de 25 à 30 cm de long prélevées sur des plants non virosés ont été plantées manuellement sur un labour de 15 cm de profondeur. La densité de plantation est de 10.000 plants/ha (1m x 1m).

## A. Analyse de laboratoire

Les échantillons de sol prélevés à la tarière sur 100 cm profondeur ont été soumis à une analyse granulométrique et à des mesures d'humidités caractéristiques (aux pF 4,2 et pF 2,5).

## B. Expérimentation "in situ "

Dix tubes d'accès pour sonde à neutrons sont répartis sur l'ensemble de la parcelle expérimentale (200 m de côté) divisée en 4 blocs d'un hectare chacun : 1 tube au centre de chaque bloc et les 6 autres au hasard sur le reste du site ; chaque point de mesure se situe entre 4 plants. L'étalonnage de la sonde est fait "in situ " en comparant les mesures gravimétriques aux mesures neutroniques et en mesurant les densités apparentes sèches à l'aide d'un gammadensimètre (type DR 18). Le suivi est effectué hebdomadairement à l'aide d'une sonde à neutrons (type Solo 20) de 10 mCi entre les cotes -15 cm et -135 cm.

En surface, l'humidité est mesurée par gravimétrie entre 0 et -35 cm (MARCESSE, 1969). Les paramètres hydriques de la parcelle (réserve utile, capacité de rétention) ont été mesurés à la suite d'un essai d'infiltration-ressuyage à l'aide d'un dispositif Müntz (ZANTE, 1984 ; VACHAUD et al., 1978) comprenant :

- un tube d'accès pour sonde à neutrons de 150 cm de longueur utile,
- un anneau central de 1 m<sup>2</sup>,
- un anneau de garde de 5 m<sup>2</sup>.

L'apport d'eau à charge constante (H = 150 mm) est assuré par une citerne de 1,8 m<sup>3</sup> et une moto-pompe de 120 l/mn ; en phase de ressuyage, les phénomènes d'évaporation sont limités par une couverture plastique.

## C. Calcul de l'ETR

### 1. Méthode de la variation des stocks d'eau du sol

A partir de l'équation (1), les simplifications suivantes sont introduites, suite aux conditions expérimentales :

- I = 0 ; la parcelle n'est pas irriguée, les seuls apports sont dus à la pluie P (tableau 1),
- R = 0 ; le terme R est généralement considéré comme nul en sols cultivés ; d'autre part sur les sols filtrants d'Adiopodoumé, on montre (DAUDET et LESPINAT, 1968) que les phénomènes de ruissellement n'apparaissent que dans le cas de pluies abondantes et d'intensité In supérieure à 30 mm/h (tableau 1), compte tenu de la faible pente du terrain (1 à 2 %) le ruissellement consécutif à une pluie supérieure à 30 mm/h n'atteint pas 3 % de celle-ci, il est donc négligé par rapport à ΔS,
- D, Rc = 0 ; les flux verticaux profonds sont une donnée mal maîtrisée.

La nappe étant profonde on peut considérer négligeable les remontées capillaires.

Finalement, les calculs sont faits à partir de l'équation (2) :

$$ETR = P + (S1 - S2) \gamma_f \quad (2)$$

### 2. Choix de [ΔS]γ<sub>f</sub> (fig. 1)

La profondeur γ<sub>f</sub> à laquelle sont calculés les stocks hydriques a été choisie égale à 100 cm après observation de profils culturaux et hydriques à plusieurs stades du cycle cultural : l'enracinement utile à l'alimentation hydrique du manioc atteint verticalement un mètre en moyenne (latéralement jusqu'à 2 m) ; d'autre part les profils hydriques sont très stables aux alentours de cette profondeur (KALMS et IMBERNON, 1983), ce qui

peut rendre négligeables les variations de stock à partir de cette cote (fig. 2).

Date	P (mm)	In (mm/h)	Date	P (mm)	In (mm/h)	
1984 -	27/10	1,2	1985 -	01/04	18,5	
	29/10	39,0		03/04	0,5	
	30/10	0,4		08/04	1,5	
		05/11	11,2	17/04	38,5	35
		07/11	3,3	24/04	1,0	
		09/11	1,2	27/04	2,2	
		15/11	9,0	28/04	2,0	
		17/11	4,5	29/04	0,5	
		25/11	13,2	30/04	15,2	22
		05/12	7,0	02/05	4,0	
		07/12	1,5	05/05	34,0	62
		09/12	3,0	07/05	0,5	
		10/12	6,5	19/08	1,5	
	26/12	21,2	20/08	3,0		
	1985 -	10/01	46,0	21/08	0,5	
14/01		12,0	28/08	8,0	32	
25/01		4,5	31/08	1,0		
31/01		6,2	03/09	3,5		
17/02		5,0	04/09	0,5		
18/02		8,0	05/09	1,2		
19/02		10,5	06/09	1,0		
21/02		6,5	08/09	0,5		
24/02		1,0	09/09	0,5		
26/02		50,5	14/09	0,5		
28/02		1,0	15/09	4,5		
10/03		5,0	16/09	0,4		
14/03		57,0	17/09	3,0		
26/03		0,3	20/09	1,0		
27/03		4,3	27/09	8,5		
28/03	1,0	29/09	3,5			
31/03	1,0					

Tableau 1 : Pluviométrie et Intensité des pluies de la période de mesure  
Table 1 : Rainfall and rain intensities during the experimental period.

P : hauteur de pluie journalière en mm  
In : intensité de pluie en mm/h

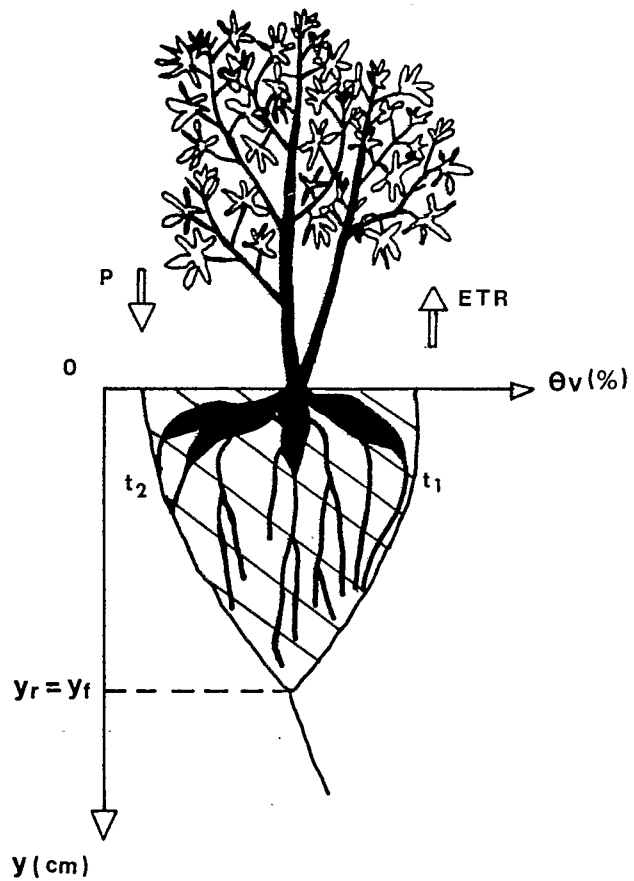


Fig.1 : Estimation de l'ETR par la méthode de la variation des stocks .

$y_f$  = profondeur du front d'humidité  
 $y_r$  = profondeur du front racinaire.

Estimation of the actual evapotranspiration by the soil water balance method

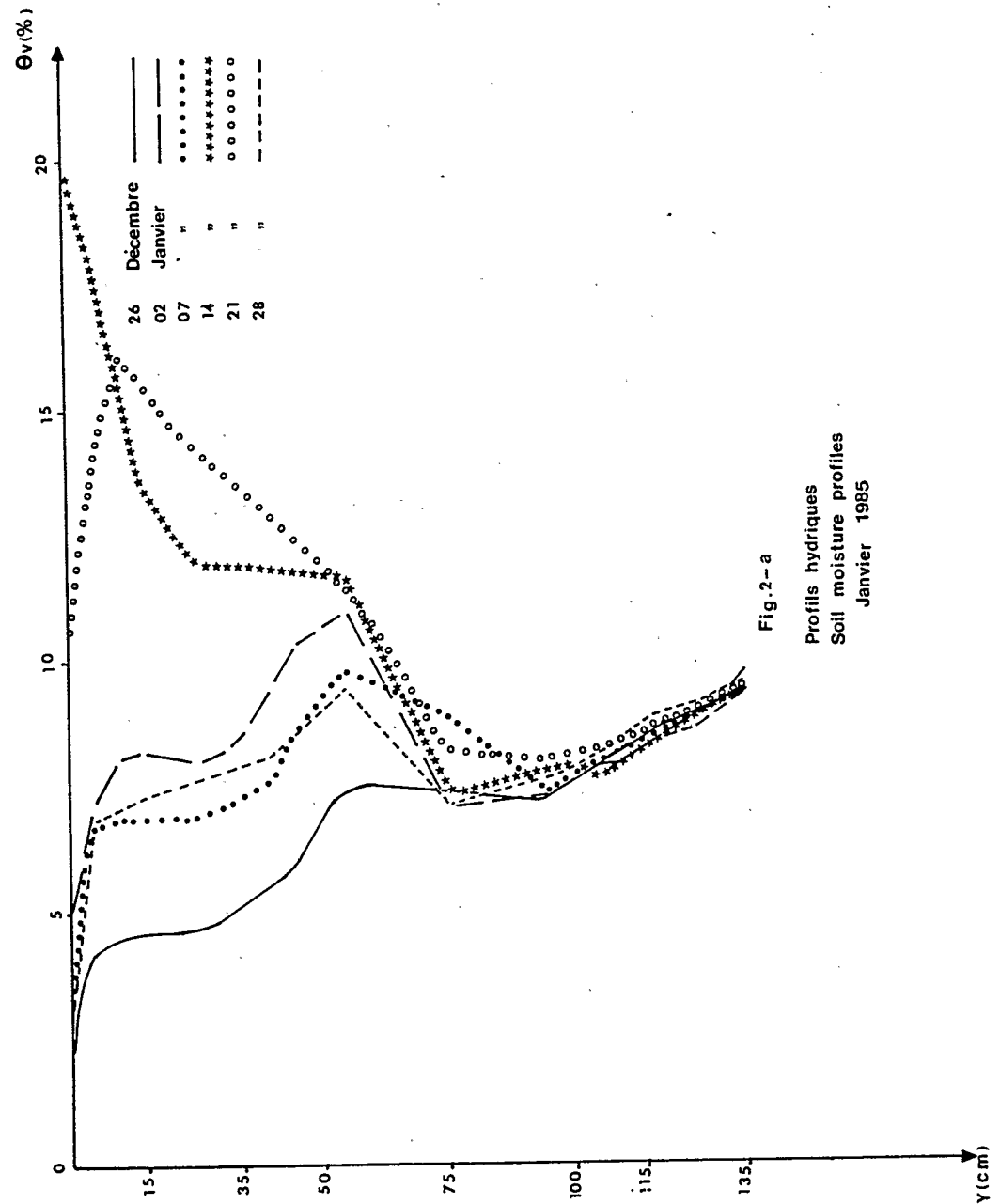
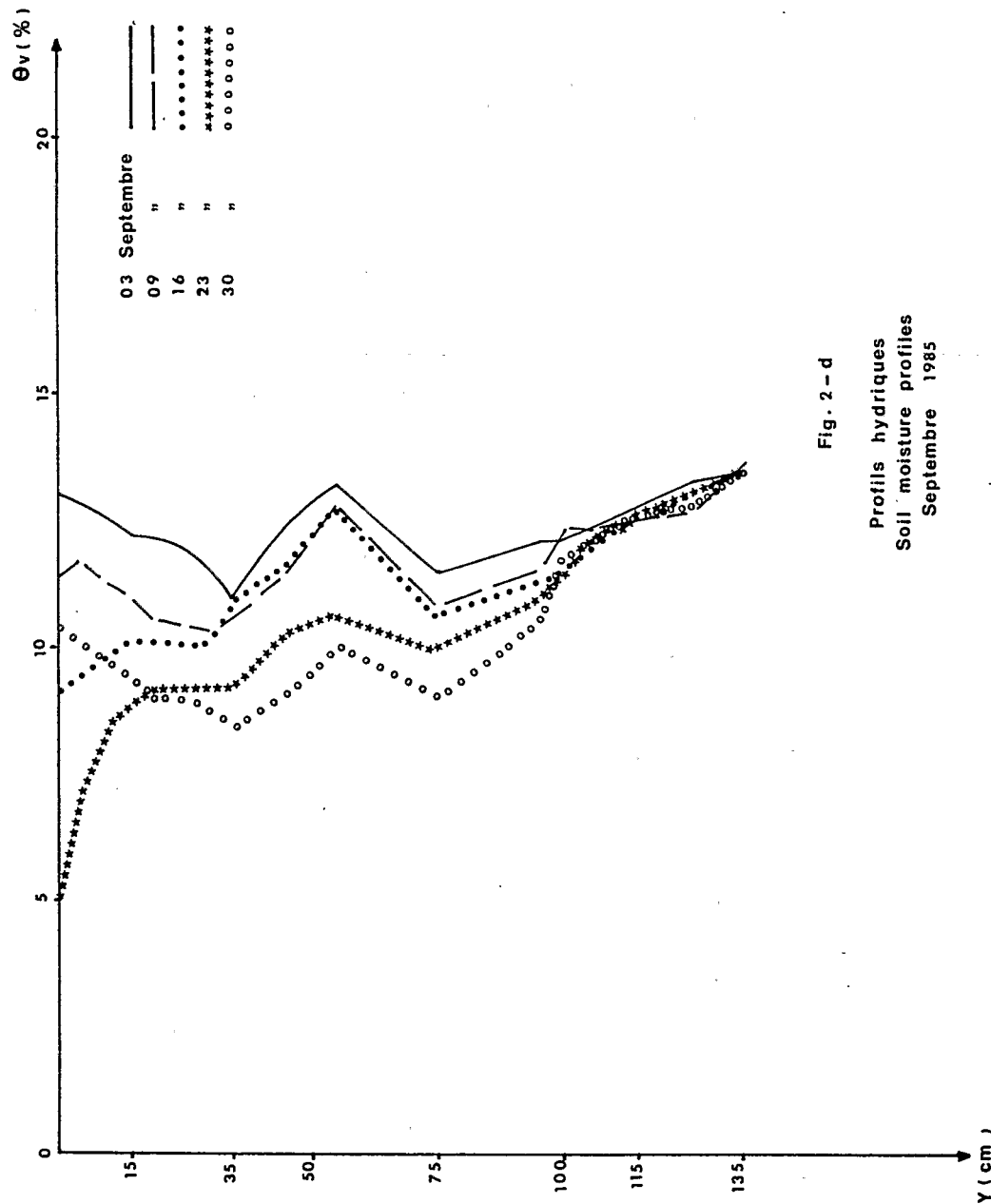


Fig.2.-a

Profils hydriques  
 Soil moisture profiles  
 Janvier 1985





### III. RESULTATS ET DISCUSSION RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Paramètres physiques

Le tableau 2 donne la répartition des fractions granulométriques exprimées en pourcentages pondéraux, les densités apparentes sèches, les valeurs d'humidités caractéristiques et les valeurs des coefficients neutroniques des sols,  $\alpha$  et  $\beta$ .

Echantillons (Y cm)	Granulométrie			Humidité volumique caractéristique		Etalonnage neutronique		
	Argile	Limon	Sable	pF (4,2)	pF (2,5)	$\rho_a$	$\alpha$	$\beta$
0-10	9,7	7,4	80,2	6,9	18,6	1,40	12,66	32
10-20	9,4	6,8	80,8	6,6	19,9	1,40	"	"
20-30	10,4	7,6	80,2	6,2	17,4	1,40	"	91
30-40	12,3	8,2	78,0	6,3	18,4	1,43	"	"
40-50	14,8	7,9	76,5	8,8	18,5	1,49	"	"
50-60	15,7	7,7	74,5	8,0	19,0	1,45	"	"
60-70	17,2	7,4	74,2	8,5	18,7	1,42	"	"
70-80	19,1	7,0	73,2	9,6	22,5	1,50	"	116
80-90	17,9	6,8	73,9	9,5	22,3	1,46	"	"
90-100	22,3	7,4	69,6	11,3	27,8	1,51	"	"

Tableau 2 : Paramètres physiques  
Table 2 : Physical parameters

Granulométrie, en % pondéraux

$\rho_a$  : densité apparente sèche

$\alpha$ ,  $\beta$ , pente et ordonnée à l'origine des droites d'étalonnage neutronique

#### B. Paramètres hydriques des sols

A partir de la courbe de ressuyage au cours du temps (annexe 1) suite à l'infiltration à charge constante, on obtient, pour le profil (0-100 cm) les valeurs suivantes :

- capacité de rétention (CR)	=	185 mm
- réserve utile (RU)	=	103 mm
- pF 4,2 (valeur de laboratoire)	=	82 mm
- Réserve facilement utilisable (RFU)	=	69 mm,

(elle est estimée égale aux 2/3 de la RU (DUTHIL, 1971 ; VILLEMIN, 1981).

### C. Estimation de l'ETR et discussion

Pour chaque point de mesure, on calcule les stocks d'eau et leurs variations correspondantes au cours du temps, selon la relation (2). En annexe 2 sont consignées les valeurs de l'évapotranspiration réelle pour les périodes où cette relation a pu être utilisée.

Il s'agit de valeurs obtenues par la méthode des "variations de stocks" (ou méthode du "bilan global"), c'est-à-dire pour les périodes où les profils hydriques présentent un "front" à partir de Yf.

Pour les autres périodes, la seule analyse des profils hydriques ne suffit pas ; il faut tenir compte en outre des apports par remontées capillaires (Rc) ou des pertes par drainage (D) dont l'importance se détermine à partir des profils tensiométriques de l'eau du sol qui n'ont pas pu être déterminés.

#### 1. Variabilité spatiale de la mesure de l'ETR par la méthode neutronique

On constate, (voir Annexe 2) que les valeurs de l'ETR sont variables d'un point à l'autre de la parcelle ; la moyenne globale est  $3.08 \pm 0.71$  mm/jour et l'intervalle de confiance, à 90 %,  $1.9 \text{ mm/jour} \leq \text{ETR} \leq 4.3 \text{ mm/jour}$ .

Les facteurs responsables de la dispersion spatiale des mesures neutroniques dans un sol donné ont été mis en évidence par CARDON (1972) sur les sols d'Adiopodoumé.

Le volume exploré par la sonde au cours d'une mesure est insuffisant pour être représentatif de l'hétérogénéité de la répartition de l'eau dans le sol. Chacun des dix points de mesure donne un profil particulier dont la variation intègre non seulement les phénomènes d'évapotranspiration mais également d'autres phénomènes (présence d'anciennes racines, de termitières, de galeries...). En ces points, la somme des ETR indique que le comportement global de la parcelle rend bien compte des variations du milieu ; par exemple, entre les 6ième et 16ième semaines cette somme varie de 21.4 à 27.4 mm et entre les 23ième et 31ième semaines de 10.9 à 15.0 mm.

#### 2. Comparaison de la méthode des variations de stocks (ETR1) et d'une méthode de mesure au-dessus du couvert végétal (ETR2)

Simultanément aux mesures neutroniques, la méthode du rapport de Bowen couplée au bilan d'énergie est appliquée à la parcelle, durant les périodes diurnes, en vue de déterminer l'évapotranspiration réelle du couvert. Les mesures ont été effectuées sur des périodes d'intégration de 20 minutes. Cette méthode se résume aux équations suivantes

qui mettent en évidence les termes de mesure nécessaires :

$$\text{LE} = \frac{\text{RN} + \text{G}}{1 + \beta} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\text{H}}{\text{LE}} = \gamma \frac{\Delta \text{T}}{\Delta \text{E}}, \quad (\text{PERRIER, 1976}).$$

avec :

LE : évapotranspiration réelle,  
 RN : rayonnement net, mesuré à l'aide d'un bilanmètre SCHENCK situé à 2 m au-dessus du couvert,  
 H : flux de chaleur sensible,  
 G : flux de conduction dans le sol, déterminé avec un fluxmètre de type SR 19, situé à 1 cm dans le sol,  
 $\Delta \text{T}$  : écart de température entre deux niveaux ; la température T est mesurée grâce à deux montages de thermocouples Cu/CT, constitués de quatre soudures en série, avec un point de référence dans un bain d'eau glacée,  
 $\Delta \text{E}$  : écart de pression de vapeur d'eau entre deux niveaux ; la pression de vapeur d'eau E est mesurée par des analyses successives d'air aspiré à deux niveaux à l'aide d'une pompe aspirante-foulante (débit : 240 l/h), d'un hygromètre à point de rosée, à raison de deux mesures par niveau et par intervalle d'intégration.

Les niveaux correspondant à la mesure des écarts ( $\Delta \text{T}$  et  $\Delta \text{E}$ ) sont 0,39 m et 1,52 m au-dessus du couvert.

$\gamma$  : constante psychrométrique,

$\beta$  : rapport de Bowen.

Pour obtenir un "fetch" assez important permettant d'éliminer les phénomènes d'advection, la mesure a été faite en un point situé à 230m de la bordure d'attaque des vents dominants (SW-NE), c'est-à-dire suffisamment éloigné de cette bordure, et à 50 m du bord opposé.

Le tableau 3 donne les valeurs de l'ETR mesurées, simultanément, par les deux méthodes.

Période	ETR1 (mm/jour)	ETR2 (mm/jour)
8ième à 9ième semaine (26/11 - 3/12)	3,6	2,2
11ième à 12ième semaine (17/11 - 26/12)	3,6	1,7
12ième à 14ième semaine (2/1 - 14/1)	2,9	2,2
14ième à 16ième semaine (14/1 - 28/1)	2,5	3,1
16ième à 18ième semaine (28/1 - 12/2)	2,4	3,4
18ième à 20ième semaine (12/1 - 25/2)	2,0	2,6
20ième à 22ième semaine (25/2 - 15/3)	2,4	2,9
22ième à 23ième semaine (11/ - 18/3)	2,3	3,5
23ième à 24ième semaine (18/3 - 25/4)	3,9	4,3
25ième à 26ième semaine (02/ - 09/4)	3,9	5,3
26ième à 27ième semaine (09/ - 15/4)	3,1	4,6
28ième à 29ième semaine (22/ - 29/4)	2,7	3,7
29ième à 31ième semaine (29/4 - 13/5)	3,2	4,7
31ième à 32ième semaine (13/ - 20/5)	2,7	2,9

Tableau 3 : ETR mesurées par la méthode du bilan hydrique du sol (ETR1) et par la méthode du rapport de Bowen couplée au bilan d'énergie (ETR2).

Table 3 : Actual evapotranspiration measured by the soil water balance method (ETR1) and the method of Bowen ratio coupled with the energy balance (ETR2).

Jusqu'à 100 jours après plantation, ETR1 est supérieure à ETR2. Sur tout le reste du cycle ETR1 est inférieure à ETR2 selon une relation linéaire de la forme:  $ETR2 = 1,2 ETR1 + 0,3$  corrélée à 86 % (fig. 3).

Les seuls couples (ETR1, ETR2) où ETR1 est supérieure à ETR2 correspondent à la saison sèche ; pendant cette période le couvert a une taille inférieure à 1,20 m ; un apport d'énergie advective non intégrée dans le rayonnement net expliquerait que ETR2 soit sous-estimée. En effet, pendant cette période les vents dominants sont du Nord-Est (N-E), le point de mesure de ETR2 se trouve alors à 50 m du bord d'attaque et la couche-limite à 50 cm au-dessus du couvert en admettant, comme la plupart des micrométéorologues, que le rapport entre la hauteur de la couche-limite et le "fetch" est de 1/100 (BRADLEY, 1968). Puisque les deux niveaux de mesure (0.39 m et 1.59 m) sont distants de 1.20 m, il est possible que le deuxième niveau soit hors de la couche-limite. Il faut noter que d'autres auteurs proposent des rapports de 1/150 (TAYLOR, 1962) 1/200 (PERRY et JOUBERT, 1963; PANOFKY et TOWENSEND, 1964).

Pour le reste du cycle, le calcul de l'ETR à partir des seules variations de stocks d'eau sous-estiment sans doute l'importance des apports par capillarité ; d'autre part, les coefficients utilisés dans la relation (3),  $\gamma$  et  $\beta$  peuvent avoir été sous-estimés.

Enfin, les écarts observés entre les deux méthodes pourraient s'expliquer aussi par la nature des appareils de mesure utilisés.

## CONCLUSION

La consommation moyenne en eau (ETR) mesurée est de 3.0 mm/jour, l'ETP<sub>Bac</sub> de la station est d'environ 5.0 mm/jour. Les besoins du manioc sont faibles par rapport à ceux d'autres cultures (un couvert de maïs à certains stades de végétation peut consommer jusqu'à 1.2 ETP).

L'erreur sur la valeur absolue, instantanée et ponctuelle, de la mesure du stock d'eau du sol peut être importante ; par contre, les valeurs des variations sont beaucoup plus précises ; la variabilité spatiale reflète l'hétérogénéité du milieu en relation avec les caractéristiques de la sonde à neutrons.

Quand la plante est couvrante et que les mesures sont faites à une distance suffisante du bord d'attaque des vents dominants, c'est-à-dire dans la couche-limite, la relation (ETR1, ETR2) pourrait être linéaire.

Par un choix judicieux de l'emplacement des dispositifs de mesures neutroniques et aériennes, les résultats ponctuels obtenus peuvent être étendus à l'ensemble d'une parcelle.



## BIBLIOGRAPHIE

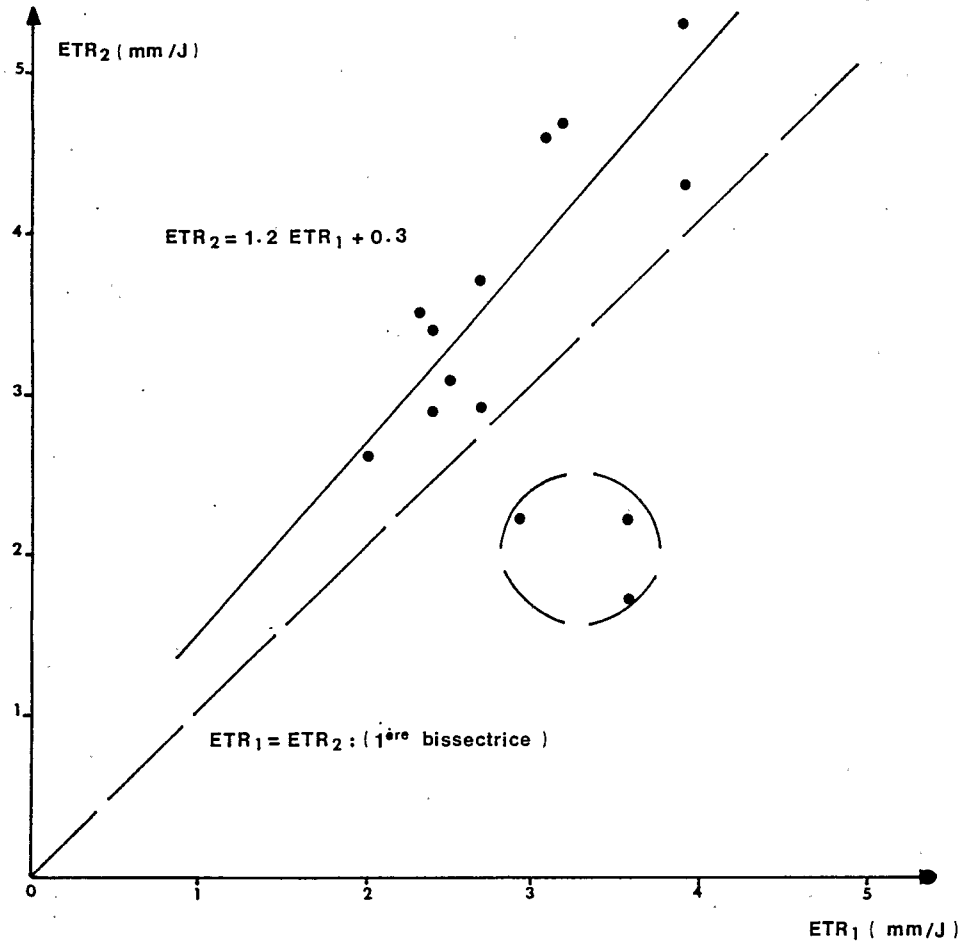
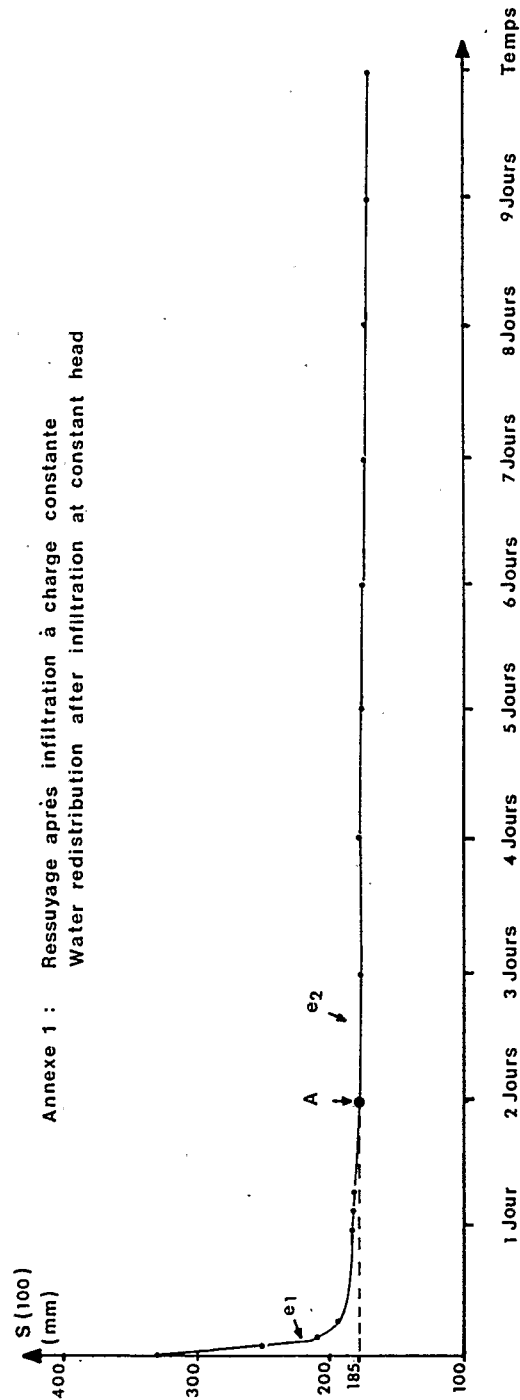


Fig. 3 : Relation  $ETR_1$  (Bilan hydrique du sol) -  $ETR_2$  (Bilan d'énergie)  
Relationship between  $ETR_1$  (soil water balance) and  $ETR_2$  (Energy balance)

- BRADLEY, E.F. (1968) - A micrometeorological study of velocity profiles and surface drag in the region modified by a change in surface roughness. *Quart. J.R. Met. Soc.* 94 : 361 - 379  
*Quart. J.R. Met. Soc.* 94 : 361
- CARDON, D. (1972) - Analyse des facteurs responsables de la dispersion des mesures neutroniques dans un sol donné et application à la mesure de la variation du stock d'eau du sol. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol. n°4.*
- DAUDET, F.A., LESPINAT, P.A. (1968) - Etude des éléments du bilan hydrique naturel d'une culture et leurs interactions. *ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, Laboratoire de Bioclimatologie et des Radioisotopes.*
- DUTHIL, J. (1971) - Eléments d'Ecologie et d'Agronomie. *Tome I : connaissance du milieu. Editions J.B. BAILLIERES et FILS, PARIS*
- KALMS, J.M., IMBERNON, J. (1983) - Modalités d'alimentation en eau du riz pluvial : bilan des recherches méthodologiques effectuées à Bouaké en Côte d'Ivoire. *L'Agronomie Tropicale. Vol. 38, N° 3 : 198 - 205*
- KATERJI, N., DAUDET, D., VALANCOGNE, C. (1984) - Contribution des réserves profondes du sol au bilan hydrique des cultures. Détermination et importance. *Agronomie, 4 (8) : 779 - 787*
- MARCESSE, J. (1969) - Bilan français de cinq années de mise au point de la méthode neutronique de mesure de l'humidité et de son application aux problèmes d'alimentation en eau du sol et des plantes. *Compte-rendu de la réunion de Cadarache : "Etude des mouvements de l'eau dans les sols non saturés" S.P.E.P.E./B.E.P.*
- PANOFKY, H.A. and TOWNSEND, A.A. (1964) - Change of terrain roughness and the wind profile. *Quart. J.R. Met. Soc.* 90, p.147.
- PERRIER, A. (1976) - Etude et essai de modélisation des échanges de masse et d'énergie au niveau des couverts végétaux : profils microclimatiques, évapotranspiration et photosynthèse nette. *Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Physiques - INRA - PARIS.*
- PERRY, A.E. and JOUBERT, P.N. (1963) - Rough-wall boundary in adverse pressure gradients. *J. Fluid Mech.* 17, p. 147.
- TAYLOR, R.J. (1962) - Small-scale advection and the neutral wind profile. *J. Fluid Mech.* 13, p. 529.
- VACHAUD, G., DANCETTE, C., SONKO, S., THONY, J.L. (1978) - Méthode de caractérisation hydrodynamique *in situ* d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. *Annales Agronomiques, 29 (1) : 1-36.*
- VILLEMEN, P. (1981) - Utilisation des méthodes de mesure neutronique et tensiométrique pour la conduite de l'irrigation au goutte à goutte. *Thèse de Docteur-Ingénieur. Institut National Polytechnique de Toulouse, N° d'ordre 163. 85 pages.*
- ZANTE, P. (1984) - Caractérisation et évolution des propriétés hydriques des sols alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal. Périmètre irrigué de TILÉNE (région du fleuve). *ORSTOM, Centre de Dakar-Hann. 33 pages.*



Evolution des stocks d'eau en fonction du temps (  $y = 100 \text{ cm}$  )  
e1 : exponentielle de la cinétique rapide  
e2 : exponentielle de la cinétique lente

Annexe 2 : ETR (mm/jour) calculée par la méthode de la variation des stocks d'eau du sol  
Date de plantation : 05.10.1984 Date de récolte : 04.01.1985  
Actual evapotranspiration calculated by the global balance method

Points de mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ETR±	ETR
Période (après plantation)												
3ième à 4ième semaine	3,9	4,1	4,4	4,2	4,4	3,5	3,7	3,6	3,9	-	4,0 ± 0,3	
4ième à 6ième semaine	-	4	4,3	4,7	4	4,3	4,7	4,3	4,3	-	4,3 ± 0,3	
6ième à 7ième semaine	2,8	4	3,1	4,3	3,9	2,4	3,4	3,3	2,9	3,6	3,4 ± 0,6	
7ième à 8ième semaine	3,5	4,6	4,9	5,3	4,5	4,7	5,3	3,8	4,1	3,5	4,4 ± 0,6	
8ième à 9ième semaine	2,9	3,1	5,2	3,9	3,4	3,5	3,8	2,9	3,6	3,2	3,6 ± 0,7	
9ième à 10ième semaine	2,9	3,7	3	3,9	4,5	3,3	3,6	3,3	4	3,5	3,6 ± 0,5	
11ième à 12ième semaine	3,9	4	4,1	4,2	3,2	4,4	3	3,2	3,2	3,3	3,6 ± 0,5	
12ième à 14ième semaine	2,8	2,8	3,3	2,6	3	3,5	2,6	2,5	3,4	2,5	2,9 ± 0,4	
14ième à 16ième semaine	2,6	2,6	3,1	3,2	2,6	1,8	1,6	2,6	2,2	2,4	2,5 ± 0,5	
16ième à 18ième semaine	2,6	2,2	2,3	1,7	2,6	1,9	-	3,4	2,4	2,6	2,4 ± 0,5	
18ième à 20ième semaine	2,3	1,6	1,9	1,8	2	1,7	-	2	2,7	2,3	2,0 ± 0,3	
20ième à 22ième semaine	2	2,4	2,3	2,6	2	2,9	-	3,3	1,8	2,2	2,4 ± 0,5	
22ième à 23ième semaine	3,2	2,9	1,9	2,8	2,2	2,8	-	1,7	1,6	1,6	2,3 ± 0,6	
23ième à 24ième semaine	3,4	3,4	4,8	3,3	3,7	2,9	-	4,8	3,7	4,9	3,9 ± 0,7	
25ième à 26ième semaine	3,9	4,4	3,9	3,9	4,8	4,4	3,1	3,6	5	2,2	3,9 ± 0,8	
26ième à 27ième semaine	3,1	3,3	3,2	2,3	3,7	2,8	1,5	4,1	1,5	5,5	3,1 ± 1,1	
28ième à 29ième semaine	2,3	2,4	1	2,7	3,3	2,1	4,4	2,1	3,6	2,6	2,7 + 0,9	
29ième à 31ième semaine	2,6	4,2	2,8	3,4	3,2	4	3,5	2,4	3,9	2,2	3,2 ± 0,7	
31ième à 32ième semaine	3	1,9	4,2	3,3	1,9	1,6	1,9	2,6	-	3,6	2,7 + 0,9	
46ième à 49ième semaine	2,2	2,5	2	1,6	2,3	2,1	1,6	1,5	2,3	1,7	2,0 ± 0,3	
49ième à 50ième semaine	2	-	2	-	-	-	-	-	2	3,6	2,4 ± 0,7	
50ième à 51ième semaine	2,2	4	3,4	2,6	2,8		2,5	2	2,3	3,5	2,8 ± 0,6	
51ième à 52ième semaine	2,2	2,4	2	2,5	3,9	3,9	2,7	2,5	3,2	-	2,8 ± 0,7	