

**LA TENEUR EN EAU DU SOL DANS DEUX BANANERAIES
(VAR. GROS MICHEL) DE BILALA (CONGO)**

DAGBA Eugène

ORSTOM - B 1286 - Pointe Noire (Congo)

(reçu le 12 Janvier 1993, accepté le 4 Novembre 1993)

Résumé : *La teneur en eau du sol a été déterminée au cours du temps pendant cinq ans dans deux bananeraies paysannes de Bilala (Congo), l'une à ciel ouvert et l'autre en sous-bois, sur sol sablo-argileux. En saison sèche, elle est comprise entre le point de flétrissement permanent et le tiers inférieur de la réserve utile (RU), de juillet à octobre en sous-bois et de juin à novembre à ciel ouvert. En saison humide, elle est à peine supérieure à la limite inférieure de la RFU (= tiers supérieur de la RU), pendant le mois le plus pluvieux à ciel ouvert et pendant 2 à 4 mois en sous bois. Le microclimat de sous-bois limite les besoins hydriques du bananier. Dans les deux milieux écologiques, un apport d'eau supplémentaire par arrosage est nécessaire, au moins en saison sèche.*

Mots-clés additionnels : Nutrition hydrique, bananier, capacité au champ, point de flétrissement permanent, réserve facilement utilisable.

Abréviations : RFU = réserve facilement utilisable
RU = réserve utilisable (ou utile).

THE SOIL MOISTURE IN TWO BANANA (VAR. GROS MICHEL) OF BILALA (CONGO)

2 farms

Abstract : *The soil moisture content was followed for five years in two banana farms at Bilala (Congo), in open and in shade conditions, under forest canopy. During the dry season, it ranges between the permanent wilting point and the lower third of the usable soil water reserve (RU), from July to October under the canopy and from June to November in open conditions. During the rain season, it reaches hardly the lower limit of the RFU (= the upper third of the RU), during the most rainy month in open conditions and during two to four months in the shade. The shade microclimate is better for*

the banana water equilibrium. In the both ecological situations, an additional water supply by watering is necessary, at least during the dry season.

Additional key-words : Water nutrition, banana, field capacity, permanent wilting point, easily usable reserve.

Abbreviations : RFU = easily usable reserve
RU = usable reserve.

INTRODUCTION

La quantité d'eau utilisée par la plante et la quantité de matière produite sont étroitement corrélées. Ainsi dans le cas particulier du niébé, *Vigna unguiculata* L. Walpers, cette relation est linéaire (Dagba, 1974). En effet, les éléments minéraux du sol qui sont appelés à constituer la matière végétale doivent être dissous dans l'eau du sol avant toute absorption par les racines. D'autre part, lorsque l'ETP excède largement la quantité d'eau que la plante peut puiser dans le sol, les stomates se ferment et l'activité photosynthétique s'en trouve réduite. L'eau joue donc un rôle très important dans la productivité de la plante.

Actuellement au Congo, il existe un Projet Mayombe qui a pour but de "réunir les bases scientifiques pour la planification du développement régional intégré du Mayombe congolais". Les villages-centres retenus par ce Projet sont Bilala, Les Saras, Mvouti et Louvoulou. Le Mayombe, dont la production principale est la banane *var. Gros Michel*, est le grenier du Congo. Kouba (1987), à Mvouti, a estimé que les exportations de banane par voie ferrée sont de 406 tonnes en moyenne pendant la saison pluvieuse et de 269 tonnes seulement en saison sèche. Etabli sur plus de mille régimes de bananes, le poids moyen est de 16 kg en saison de pluies. Carrouché (1989), à Bilala, a calculé en saison sèche, sur 475 régimes, un poids moyen de 12,5 kg. Trier et Verdeil (1990), sur 57 régimes récoltés en saison sèche à Les Saras, enregistrent un poids moyen de 8,8 kg. Dans un champ à Bilala, nous avons évalué sur trois années consécutives le poids moyen des régimes récoltés par périodes successives de deux mois; il est plus élevé en saison de pluies qu'en saison sèche et il décroît linéairement au fur et à mesure que le nombre d'années d'exploitation s'élève (Dagba, 1992). Cette différence de productivité entre les deux saisons est imputable, au moins en partie, à l'eau. Aussi envisageons-nous d'étudier la teneur en eau du sol au cours du temps pour savoir à quel moment, elle devient un facteur limitant.

MATERIEL ET METHODES

A Bilala, il existe deux systèmes de culture du bananier, l'un à ciel ouvert et l'autre sous limba (*Terminalia superba*). Les prélèvements de sol ont été effectués de juillet 1987 à juillet 1992 dans deux champs de paysans, l'un à ciel ouvert et l'autre en sous-bois (= sous limba). Ils nous ont permis de déterminer la densité apparente, la porosité, la teneur en eau, la capacité au champ et le point de flétrissement permanent.

Densité apparente et porosité

Avec des cylindres de volumes connus, nous avons prélevé, le 04. 05. 1988, le sol à différentes profondeurs [(0-10) cm, (10-30) cm et (30-50) cm] : 50 cm³ pour la profondeur (0-10) cm avec 5 répétitions et 500 cm³ pour les 2 autres avec 4 répétitions. Les échantillons ont été séchés à l'étuve à 105°C.

Teneur en eau

- Capacité au champ (Hc). Des récipients cylindriques, dont le fond est percé de part en part, sont remplis de terre prélevée à Bilala aux profondeurs (0-10) cm, (10-30) cm et (30-40) cm. Elles sont arrosées doucement jusqu'à écoulement de l'eau par le bas. On laisse l'eau s'égoutter à l'ombre, dans une pièce, pendant 24 heures. Puis on évalue la teneur en eau de chaque échantillon. Cette teneur en eau représente sa capacité au champ. Celle de la profondeur (0-30) cm est obtenue à partir des données des profondeurs (0-10) cm et (10-30) cm. Il y a 6 répétitions.
- Point de flétrissement permanent (Hf). Des pots dont le fond est perforé sont remplis de terre prélevée à Bilala à la profondeur (0-30) cm. On y plante des rejets de bananier qui sont arrosés tous les jours à la capacité au champ. Lorsque la plante arrive au stade de la cinquième feuille étalée, on suspend tout arrosage et on entoure de plastique le pot de façon à éviter toute perte d'eau par évaporation. Dès que la plante manifeste les premiers signes de fanaison, elle est placée, la nuit, en présence d'air saturé d'humidité jusqu'au moment où les feuilles ne peuvent plus retrouver leur turgescence. La teneur en eau du sol est alors évaluée. Elle correspond au point de flétrissement permanent. Il y a 6 pots par type de sol et 6 prélèvements par pot. le matériel dont nous disposions ne nous a pas permis d'évaluer le pF.

Interprétation

Les logiciels *WORKS* et *SuperANOVA* ont été utilisés.

ANNEXE

Dans les problèmes de teneur en eau, un certain nombre de notions et de formules interviennent souvent que nous voudrions ici rappeler brièvement :

D_a = densité apparente (g/cm^3) du sol séché

Porosité (%) = $\frac{(D_r - D_a)}{D_r}$ où D_r = densité réelle du sol = 2,5

H_p = humidité pondérale = teneur en eau en pourcent de matière sèche

H_v = humidité volumique = masse d'eau contenue dans 100 cm^3 de sol.

$H_v = D_a \cdot H_p$ (g ou cm^3 pour 100 cm^3)

h (mm) = $H_v \cdot \frac{\Delta Z}{0,1} = D_a \cdot H_p \cdot \frac{\Delta Z}{0,1}$

où H_p = est exprimée en (g pour 100g)

h = hauteur de la lame d'eau équivalente pour une profondeur donnée.

ΔZ = profondeur étudiée (cm)

$q = \frac{100p}{(100-p)}$, relation entre les teneurs en eau

en % de matière sèche et de matière fraîche, où :

q = teneur en eau en pourcent de matière sèche

p = teneur en eau en pourcent de matière fraîche.

En effet si e = masse d'eau contenue dans l'échantillon et m = masse de matière sèche de l'échantillon, on a :

$$p = \frac{100 e}{(m+e)} \text{ soit } \frac{1}{p} = \frac{m}{100e} + \frac{1}{100} = \frac{1}{q} + \frac{1}{100}$$

$$\text{soit } \frac{1}{q} = \frac{1}{p} - \frac{1}{100} = \frac{(100-p)}{100p}$$

$$\text{d'où } q = \frac{100p}{(100-p)}$$

TRE (%) = $100 \text{ TE}/\text{TE max}$ (Louguet & Laffray, 1988)

où

TRE = Teneur relative en eau

TE = Teneur en eau (en % de matière sèche)

TE max = Teneur en eau maximale.

- la réserve utile ou utilisable (RU) :

$$RU(\%) = Hc - Hf$$

$$RU \text{ (mm)} = \sum_0^Z 0,1 \cdot Da \cdot (Hc - Hf) \cdot \Delta Z \text{ (Brochet \& Gerbier, 1975). avec } \Delta Z \text{ exprimée en cm.}$$

- la réserve facilement utilisable (RFU) : réserve permettant un débit maximum des racines, une évapotranspiration sans restriction jusqu'à concurrence de l'ETP. L'irrigation a pour but de maintenir l'eau du sol entre Hc et la limite inférieure de la RFU. Chez le bananier, $RFU = \frac{RU}{3}$ (Ministère, 1991).

- La réserve de survie (Rs) : $Rs = RU - RFU$. Comme $RFU = \frac{RU}{3}$ chez le bananier, Rs correspond alors au $\frac{2}{3}$ inférieurs de la RU.

- la réserve disponible (Hd) : réserve du sol à un moment donné. Quand $Hd > Rs$, nous sommes entre Hc et la limite inférieure de la RFU et la plante a une production optimale: Dès que $Hd < Rs$, la circulation d'eau vers la plante est freinée et la productivité réduite en fonction du rapport $\frac{Hd}{Rs}$.

RESULTATS

I. Caractéristiques du sol

Le champ à ciel ouvert (Tabl.I) est plus argileux (18,14 % contre 13,33 %) et moins sableux (24,63 % contre 36,95 %). Le champ en sous-bois (Tabl.II) est plus poreux (36 % contre 28 %) et plus léger (1,60g contre 1,79g/cm³), surtout à la profondeur (0-30) cm où se situent les racines du bananier; cela permet une meilleure répartition de l'eau et une meilleure circulation de l'oxygène de l'air, deux éléments importants dans l'absorption des éléments minéraux par les racines.

Tableau I: Caractéristiques des sols étudiés (profondeur = 0-30 cm)

Echantillon	GRANULOMETRIE					pH		CARBONE				ELEMENTS MINERAUX					
	Argiles (%)	Limos (%)		Sables (%)		Eau	KCl	C _t (%)	M.O. (%)	N _t (‰)	P _t (‰)	C.E. (me./100)	C _{s++} (me./100)	M _{s++} (me./100)	K _{s+} (me./100)	N _{s+} (me./100)	
		fin	grossier	fin	grossier												
Ciel ouvert	18,14	12,67	7,55	32,15	24,63	6,58	5,72	0,48	0,83	0,555	0,21	9,8	5,97	2,35	1,44	0,39	
sous-bois	13,33	5,27	9,13	33,09	36,95	6,7	5,96	0,64	1,1	0,743	0,24	7,2	4,72	0,59	1,58	traces	

M.O. = matière organique
C.E. = capacité d'échange

C_t = carbone total
N_t = azote total

P_t = phosphore total

Tableau II : Densité apparente, porosité et humidité du sol (prélèvement du 04.05, 1988) (moyenne ± intervalle de confiance au niveau 5 %)

Champ	Profondeur (cm)	Da (g/cm ³)	Hp(g/100g)	Hv (g/100cm ³)	Porosité (%)	h (mm)
1	(0 - 10)	1,51 ± 0,22	19,5 ± 4,4	28,8 ± 2,8	39,6	28,8
	(10 - 30)	1,79 ± 0,11	17,4 ± 2,2	31,1 ± 3,6	28,4	62,1
	(30 - 50)	1,73 ± 0,07	19,4 ± 3,1	33,7 ± 4,7	30,8	67,3
2	(0 - 10)	1,43 ± 0,11	20,9 ± 1,4	29,7 ± 1,5	42,8	29,7
	(10 - 30)	1,60 ± 0,12	17,5 ± 1,6	27,9 ± 4,1	36	55,9
	(30 - 50)	1,77 ± 0,12	16,5 ± 1,1	29,1 ± 0,5	29,2	58,1

Da = densité apparente du sol

h = lame d'eau

Hp = humidité pondérale (en % ou en g/100g secs)

1 = champ à ciel ouvert

Hv = humidité volumique (g/100 cm³ de sol)

2 = champ en sous-bois

II. Capacité au champ et point de flétrissement permanent (Tabl. III et IV)

Comme l'indique le tableau III, la capacité au champ, pour la profondeur (0-30) cm, est de $33,82 \pm 3,13$ et de $31,78 \pm 4,39$ (%) de matière sèche) respectivement à ciel ouvert et en sous-bois. Le point de flétrissement permanent est de $8,50 \pm 0,38$ (%) et de $7,07 \pm 0,54$ (%) respectivement à ciel ouvert et en sous-bois. Il s'ensuit (Tabl. IV) une limite inférieure de la RFU de 25,4 % à ciel ouvert et de 23,5% en sous-bois. La limite inférieure correspondant aux 2/3 RU est de 16,9 % à ciel ouvert et de 15,3 % en sous-bois.

Teneur en eau du sol dans deux bananeraies congolais

Tableau III: Capacité au champ (Hc) et point de flétrissement permanent (Hf) (en % de matière sèche) (moyenne \pm intervalle de confiance au niveau 5 %)

Profondeur Champ	Hc				Hf	Ru=Hc-Hf
	(0 - 10) cm	(10 - 30) cm	(30 - 40) cm	(0 - 30) cm	(0 - 30) cm	(0 - 30) cm
1	41,37 \pm 3,83	27,99 \pm 3,10	27,62 \pm 3,17	33,82 \pm 3,13	8,50 \pm 0,38	25,32
2	41,65 \pm 5,53	24,71 \pm 3,78	23,39 \pm 3,53	31,78 \pm 4,39	7,07 \pm 0,54	24,71

1 = champ à ciel ouvert 2 = champ en sous-bois

Tableau IV : Eléments de comparaison de la teneur en eau relatifs à la profondeur (0-30 cm)

Eléments Champ	TE (%)				TRE (%)			
	Hc	RFU	2/3 RU	Hf	Hc	RFU	2/3 RU	Hf
1	33,8	25,4	16,9	8,5	100,0	75,0	50,1	25,1
2	31,8	23,5	15,3	7,1	100,0	74,1	48,1	22,3

TE = Teneur en eau (% de matière sèche)

TRE = Teneur relative en eau (%)

RU = Réserve utilisable

RFU = Réserve facilement utilisable

2 = champ en sous-bois

Hc = Capacité au champ

Hf = Point de flétrissement permanent

1 = champ à ciel ouvert

III. Teneur par champ et par année

1. Etude par champ et par année

Sur les Figures 1 à 5, nous avons tracé les courbes de teneurs en eau (TE et TRE) à différentes profondeurs pour chaque année et pour chaque champ et les avons comparées à la limite inférieure de la RFU et des 2/3 RU puis au Hf. Nous y avons ajouté la courbe ombrothermique correspondante pour situer les saisons. Il y a souvent un décalage d'un mois environ entre une pluie abondante ou une sécheresse sévère et la teneur en eau du sol qui en découle.

La courbe de teneur en eau (TE) est le reflet de la pluviométrie. Pour chaque profondeur, elle peut être assimilée à une courbe en cloche avec un maximum en saison humide et un minimum en saison sèche, lorsque la courbe des précipitations a un seul maximum (Fig. 1a, c, e); lorsque cette dernière est caractérisée par 2 maximums, celle de la teneur en eau (TE) présente aussi 2 maximums (Fig. 2a, c, e). Le profil hydrique montre un gradient d'humidité qui s'inverse d'une saison à la suivante; ainsi, à la profondeur (0-10) cm correspond l'humidité la plus forte en saison humide et la plus faible en saison sèche. Ainsi le stress hydrique est plus sévère en mauvaise saison pour les racines supérieures que pour les racines inférieures.

En saison sèche, les teneurs en eau des différentes profondeurs sont peu différentes les unes des autres et sont juste supérieures à Hf; celles des profondeurs (0 - 10) cm et (0 - 30) cm sont alors souvent inférieures à celles des profondeurs (10 - 30) cm et (30-40) cm. Les valeurs extrêmes les plus faibles obtenues, pour la profondeur (0-30) cm sont : 4,9 % en sous bois et 8,2 % à ciel ouvert. Les teneurs en eau sont inférieures à la limite inférieure des 2/3 RU de juin à novembre à ciel ouvert et de juillet à octobre en sous-bois. C'est, pour la plante, une période de survie ou tout au plus de la plus faible productivité. Cela est conforme au fait qu'en climat chaud et humide, les besoins en eau du bananier sont couverts avec 125 à 150 mm par mois (Ministère , 1991), seuil jamais atteint ici en raison sèche par la pluviométrie (graphiques des fig. 1 à 6).

En saison humide, la teneur en eau de la profondeur (0-30) cm est à peine supérieure à la limite inférieure de la RFU = (1/3 RU) pendant le mois le plus pluvieux à ciel ouvert et pendant 2 à 4 mois pluvieux en sous-bois. Sur la moyenne des 5 années (Fig. 6a, c, e), on retrouve à peu près les mêmes résultats. Il y a donc une meilleure nutrition hydrique en sous-bois qu'à ciel ouvert. Pour les deux milieux, un apport d'eau s'avère nécessaire, au moins en saison sèche. "Des essais d'irrigation, même dans des climats réputés humides comme la basse Côte d'Ivoire, ont donné d'excellents résultats ... (Ochs, 1968)" (Boyer, 1982).

En saison sèche, la TRE, à l'instar de la TE, se situe entre le Hf et la limite inférieure des 2/3 RU, avec un profil hydrique analogue. L'inversion de ce gradient d'humidité, observé en novembre sur la TE, a lieu plus tard, en janvier en général, sur la TRE. Souvent même en sous-bois, cette inversion n'existe pas. Le TE reflète plus les changements de saison que la TRE. Mais la TRE permet une comparaison plus facile du Hf, de la RFU ou des 2/3 RU à la Hc (Tabl. IV). Par exemple, le Hf représente 25,1 % ou 23,3 % de la Hc et, par suite, la RU, 74,9 % ou 77,7 % de la Hc, respectivement à ciel ouvert ou en sous bois.

Figure 1: Teneur en eau (TE) et teneur relative en eau (TRE) du sol campagne 1987-88

Profondeurs :

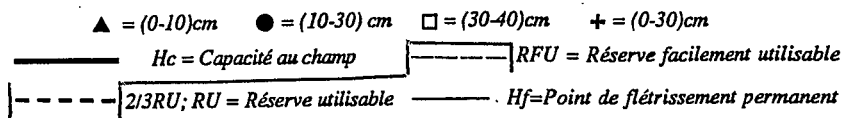


fig. 1a: TE à ciel ouvert

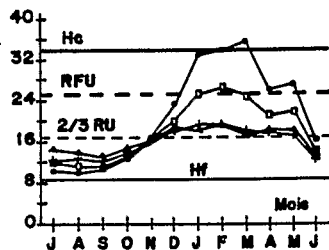


fig. 1b = TRE à ciel ouvert

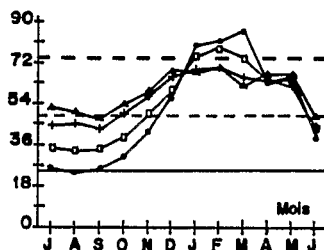


fig. 1c = TE en sous-bois

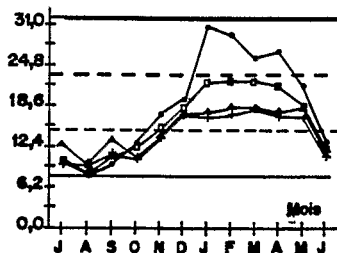


fig. 1d = TRE en sous-bois

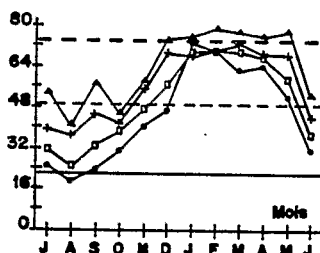


fig. 1e : courbe ombro-thermique

o = p = Pluviométrie (mm)

Δ = T = température moyenne (°C) et 1/10

H °C

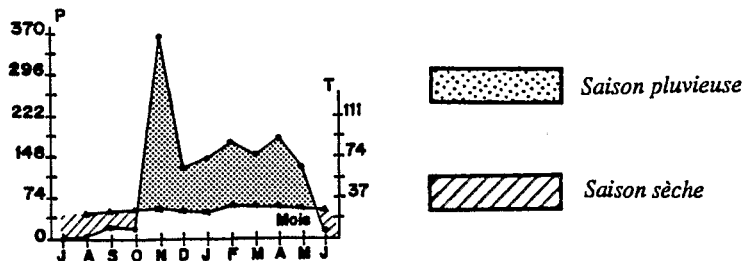


Figure 2: Teneur en eau (TE) et teneur relative en eau (TRE) du sol campagne 1988-89

Profondeurs :

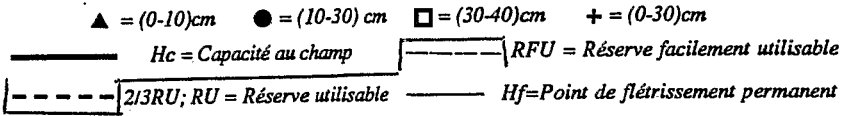


fig. 2a: TE à ciel ouvert

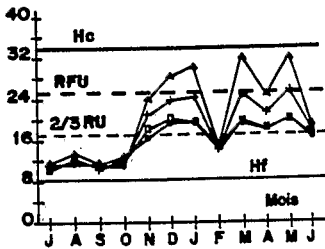


fig. 2b = TRE à ciel ouvert

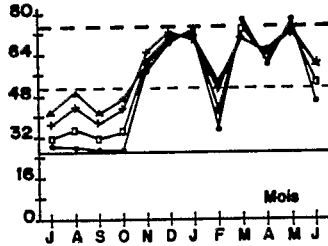


fig. 2c = TE en sous-bois

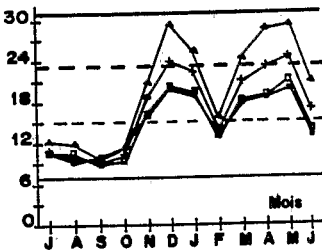


fig. 2d = TRE en sous-bois

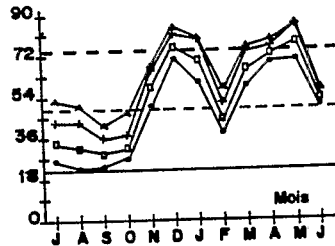
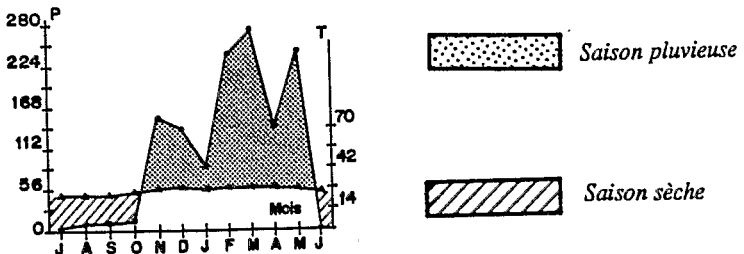


fig. 2e : courbe ombro-thermique

o = p = Pluviométrie (mm) Δ = T = température moyenne (°C) et 1/10 H°C



Teneur en eau du sol dans deux bananeraies congolais

Figure 3: Teneur en eau (TE) et teneur relative en eau (TRE) du sol campagne 1989-90

Profondeurs :

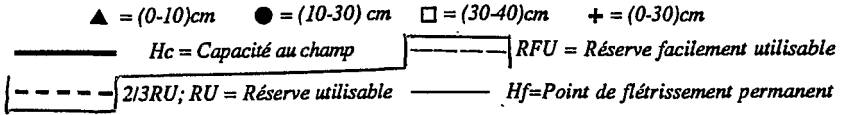


fig. 3a: TE à ciel ouvert

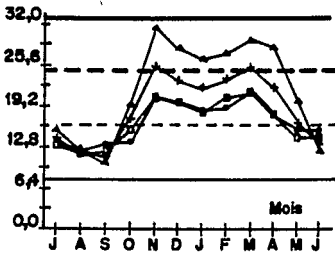


fig.3b = TRE à ciel ouvert

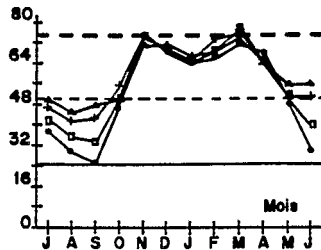


fig.3c = TE en sous-bois

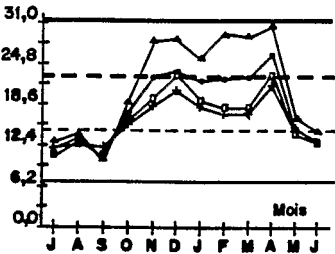


fig.3d = TRE en sous-bois

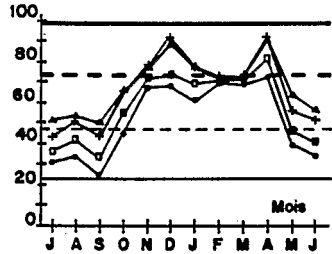


fig.3e : courbe ombro-thermique

o = p = Pluviométrie (mm) Δ = T = température moyenne (°C) et 1/10

H°C

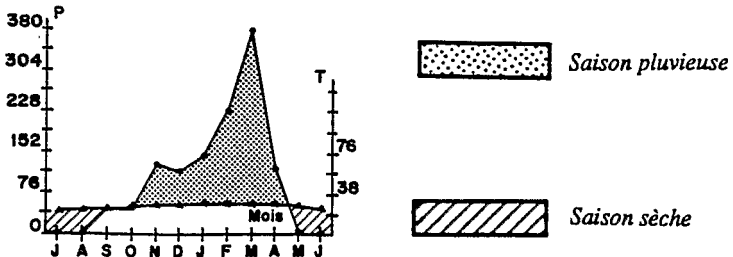


Figure 4: Teneur en eau (TE) et teneur relative en eau (TRE) du sol campagne 1990-91

Profondeurs :

▲ = (0-10)cm ● = (10-30) cm □ = (30-40)cm + = (0-30)cm

— Hc = Capacité au champ — RFU = Réserve facilement utilisable
 - - - 2/3RU; RU = Réserve utilisable — Hf = Point de flétrissement permanent

fig.4a: TE à ciel ouvert

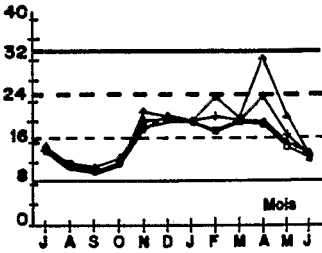


fig.4b = TRE à ciel ouvert

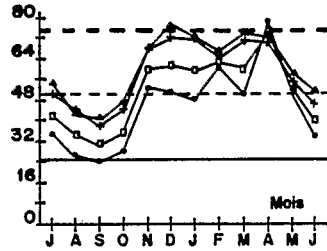


fig.4c = TE en sous-bois

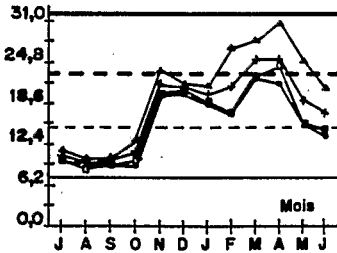


fig.4d = TRE en sous-bois

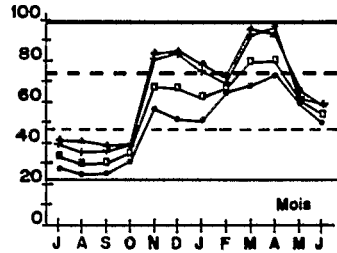


fig.4e : courbe ombro-thermique

o = p = Pluviométrie (mm)

Δ = T = température moyenne (7h et 1/10)

H °C

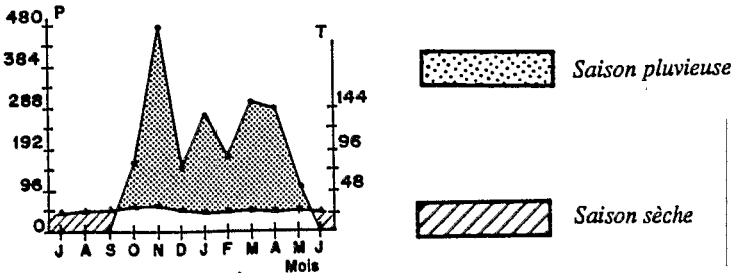


Figure 5: Teneur en eau (TE) et teneur relative en eau (TRE) du sol campagne 1991-92

Profondeurs :

▲ = (0-10)cm ● = (10-30) cm □ = (30-40)cm + = (0-30)cm

Hc = Capacité au champ

RFU = Réserve facilement utilisable

2/3RU; RU = Réserve utilisable

Hf = Point de flétrissement permanent

fig. 5a: TE à ciel ouvert

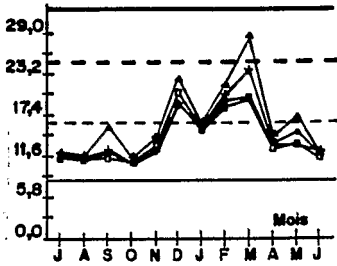


fig. 5b = TRE à ciel ouvert

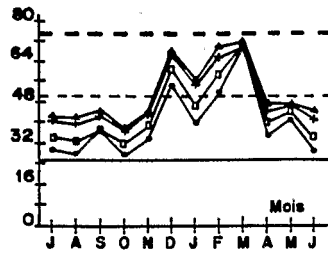


fig. 5c = TE en sous-bois

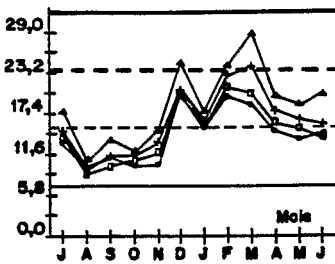


fig. 5d = TRE en sous-bois

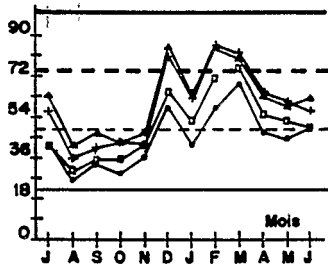


fig. 5e : courbe ombro-thermique

o = p = Pluviométrie (mm)

Δ = T = température moyenne (°C) et 1/10

H °C

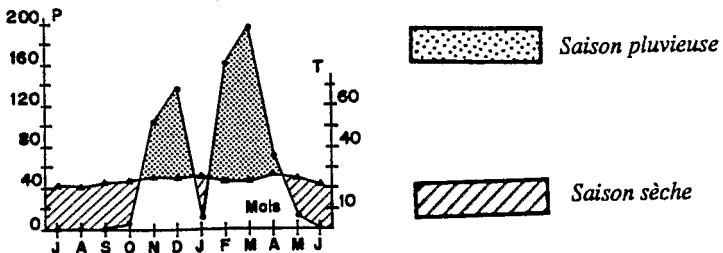


Figure 6: Teneur en eau (TE) et teneur relative en eau (TRE) du sol moyennes des années 1987 à 1992

Profondeurs :

▲ = (0-10)cm ● = (10-30) cm □ = (30-40)cm + = (40-50)cm

Hc = Capacité au champ
 RFU = Réserve facilement utilisable
 2/3RU; RU = Réserve utilisable
 Hf = Point de flétrissement permanent

fig. 6a: TE à ciel ouvert

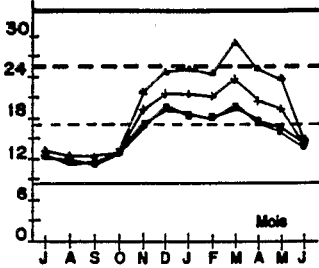


fig. 6b = TRE à ciel ouvert

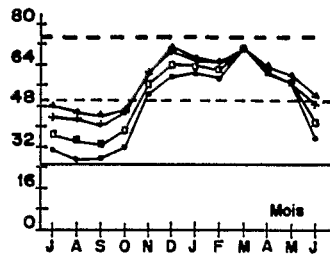


fig. 6c = TE en sous-bois

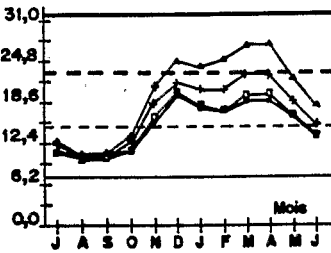


fig. 6d = TRE en sous-bois

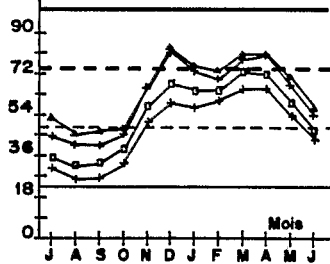
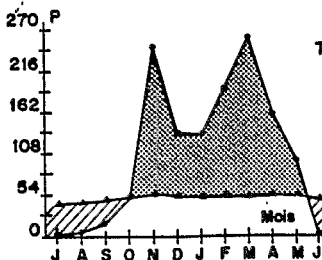


fig. 6e : courbe ombro-thermique

o = p = Pluviométrie (mm)

Δ = T = température moyenne (°C et 1/10)

14°C



Saison pluvieuse

Saison sèche

Fig. 7 : Moyennes mensuelles générales (toutes profondeurs confondues) des teneurs en eau (TE) et teneurs relatives en eau (TRE) du sol entre 1987 et 1992

fig. 7a : Teneurs moyennes en Eau des deux types de sols

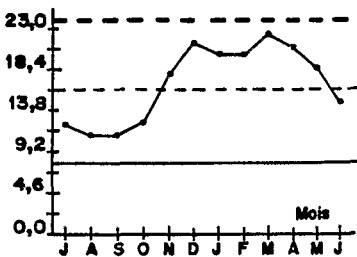
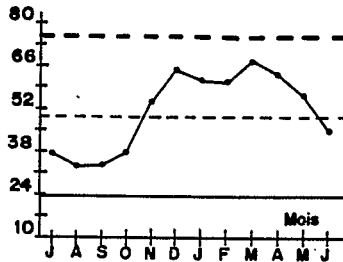
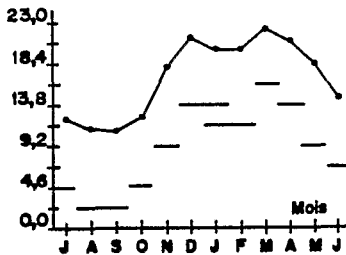


Fig 7b: Moyenne des teneurs relatives en Eau des deux types de sols



Même représentation pour Hc, RFU, 2/3 RU et Hf que dans les graphiques a à d Fig. 1 à 6. Ici, ces valeurs ont été calculées à partir des Hc et Hf moyens des deux champs.

fig 7c : Test PLSD de Fischer (sur la TE moyenne générale mensuelle).



Les traits horizontaux de même ordonnée indiquent que les mois correspondants ne sont pas significativement différents entre eux; les traits d'ordonnées différentes, que les mois correspondants sont significativement différents entre eux. Lorsque deux traits d'ordonnées voisines ont un segment d'abscisse commun, la partie commune n'est pas significative. Il n'y a pas de relation entre l'ordonnée des traits et la TE du mois correspondant.

2. Etude statistique (cf. Fig. 7)

Il n'y a pas de différence significative entre les deux champs : $F = 2,064$ avec $p = 0,1515$ ($p =$ probabilité). Cela est sans doute dû au fait que nous ne sommes pas arrivés à dissocier les deux sources de variation que sont la nature pédologique du sol et le microclimat (ciel ouvert, sous-bois). La différence de l'ordre de 1,6 % aussi bien entre les deux Hc qu'entre les deux Hf relève certainement de la différence de nature pédologique des deux sols. D'autre part, la meilleure nutrition hydrique observée en sous-bois est, en grande partie, certainement liée au microclimat.

Il existe par contre une différence significative entre les années ($F = 12,788^{**}$ avec $p = 0,0001$), entre les profondeurs ($F = 46,933^{**}$ avec $p = 0,0001$) ou entre les mois ($F = 91,129^{**}$ avec $p = 0,0001$). La différence entre les moyennes a été étudiée avec le test PLSD de Fisher. L'année 1991-92 présente la teneur en eau la plus faible (15,2 %) et est significativement différente des autres années. Les années 1987-88 (16,6 %), 1988-89 (16,8 %) et 1990-91 (16,8 %) ne sont pas significativement différentes entre elles mais sont significativement différentes des années 1991-92 et 1989-90. L'année 1989-90 présente la teneur en eau (18,1 %) la plus élevée et est significativement différente des autres années.

Les profondeurs (10-30) cm (15,2 %) et (30-40) cm (15,5 %) ne sont pas significativement différentes entre elles mais sont significativement différentes des deux autres. Les profondeurs (0-30) cm (17,0 %) et (0-10) cm (19,2 %) sont significativement différentes entre elles et différentes des deux autres.

La différence de teneur en eau entre les mois fait l'objet de la Fig. 7c

Pour les deux champs et les quatre profondeurs confondus, une courbe de teneur en eau moyenne au cours du temps a été tracée (Fig. 7a, b). En saison sèche, la teneur en eau du sol est comprise entre Hf et la limite inférieure des 2/3 RU ; en saison pluvieuse, elle est inférieure à la limite inférieure de la RFU. Cela donne une idée synthétique de l'évolution au cours du temps de la teneur en eau du sol à Bilala.

DISCUSSION

Caractérisation de l'état hydrique du sol. La teneur en eau en pourcent de matière fraîche est encore appelée (Lemaire *et al.*, 1989) humidité rapportée à la matière humide (Hmh). Ce mode d'expression se réfère à l'état du matériel tel qu'il se présente lors du prélèvement. La teneur en eau en pourcent de matière sèche, encore appelée (Brochet et Gerbier, 1975) humidité pondérale (Hp) ou (Lemaire *et al.*, 1989) humidité rapportée à la

matière sèche (Hms), est plus précise du fait que, Hms et Hmh ayant toutes deux le même numérateur, Hms a un dénominateur plus petit que Hmh. Hms est habituellement le seul utilisé, et par suite, sous le nom (Louguet & Laffray, 1988) de teneur en eau (TE). La teneur relative en eau (TRE) exprime la TE en % de la TE maximale. L'humidité volumique, indiquant le volume d'eau mis à la disposition des racines, est très utilisée dans les résultats de suivi de culture. La hauteur de la lame d'eau, exprimée en millimètres à l'instar de la pluviométrie, intervient couramment dans l'évaluation des besoins en eau d'irrigation. Ainsi, le mode d'expression des résultats dépend le plus souvent des besoins de l'utilisateur.

Aire des racines. Au départ, nous avons choisi les profondeurs de prélèvement : (0-10) cm, (10-30) cm et (30-50) cm de façon à avoir un intervalle constant de 20 cm. Mais à 50 cm, nous sommes tombés sur un socle dur, très caillouteux et nous avons dû nous contenter des profondeurs (0-10) cm, (10-30) cm et (30-40) cm. Les sols ferrallitiques - celui du Mayombe en est un - présentent bien souvent à faible profondeur (entre 0 et 70 cm) un horizon compact qui peut être un obstacle pour la pénétration des racines (Chauvel & Fauck, 1969). Dans le Mayombe, l'organisation racinaire est très superficielle (Moulomba, 1989) et "la microfaune tellurique est localisée dans les horizons superficiels, en gros dans les 30 premiers cm" (Reversat, 1992). D'où le choix de la profondeur (0-30) cm pour la détermination de la capacité au champ et du point de flétrissement permanent.

Comparaison des TE calculées et mesurées à (0-30) cm. La teneur en eau de la profondeur (0-30) cm a été calculée. Elle peut être légèrement différente de sa valeur mesurée. Les teneurs en eau mesurées aux 3 profondeurs (0-10) cm, (10-30) cm ou (30-40) cm sont inférieures à la limite inférieure des 2/3 RU pendant la saison sèche. Il s'ensuit que la teneur en eau mesurée correspondant à la profondeur (0-30) cm doit, elle aussi, en saison sèche, être inférieure à cette limite, entraînant ainsi à cette profondeur un déficit hydrique sévère. En saison pluvieuse, elle sera toujours inférieure à celle correspondant à la profondeur (0-10) cm. La question de l'égalité des valeurs calculées et mesurées se pose lorsque la limite inférieure de la RFU se situe entre la teneur en eau de la profondeur (0-10) cm et celle calculée de la profondeur (0-30) cm, par exemple à ciel ouvert de 1988 à 1992. Mais à ce moment, le déficit en eau, s'il en existe, est moins préjudiciable à la plante qu'en saison sèche. Un essai de contrôle en saison pluvieuse a été réalisé. Le but était de comparer, pour la profondeur (0-30) cm la teneur en eau calculée (c_1) à partir des échantillons des profondeurs (0-10) et (10-30) cm et la teneur en eau (c_2) du mélange des restes des couches des profondeurs (0-10) et (10-30) cm après prélèvement des échantillons qui ont servi au calcul de c_1 . A ciel ouvert et pour (0-10), (10-30) cm, c_1 et c_2 , les teneurs en eau respectives sont : 31,4 %, 20,8 %, 24,8 % et 24,2 %; en sous-bois les teneurs en eau correspondantes sont : 25,2 %, 17,5 %, 20,9 % et 20,5 %.

L'écart assez faible entre c_1 et c_2 permet de considérer c_1 comme représentative de la teneur en eau de la profondeur (0-30) cm.

Puisqu'il existe un gradient d'humidité en fonction de la profondeur de prélèvement du sol, la teneur en eau de la profondeur (0-30) cm correspond à l'humidité de la couche de sol où se développent les racines situées à mi-chemin entre 0 et 30 cm de profondeur. Par contre les teneurs en eau des profondeurs (0-10) cm et (10-30) cm indiquent l'humidité des couches de sol correspondant à l'aire d'extension des racines supérieures et inférieures; elles représentent donc les valeurs extrêmes des teneurs en eau mises à la disposition des racines et donnent ainsi des indications sur les besoins en eau des racines supérieures et inférieures.

Doorenbos & Pruitt (1981) estiment que le degré de tarissement de l'eau du sol, exprimé en force de succion, est de 0,3 à 1,5 atm. pour l'obtention d'un rendement maximum chez le bananier. On peut en déduire que la capacité au champ est de 0,3 atm. et la limite inférieure de la RFU de 1,5 atm. Comme nous n'avons pas pu évaluer le pF de nos prélèvements de sol, nos résultats ne peuvent être exprimés en atmosphère et, de ce fait ne peuvent être comparés aux normes proposées par ces auteurs. Robinson & Alberts (1986) rapportent que Schmueli (1953) note l'apparition de symptômes de déficit hydrique chez le bananier lorsque la réserve disponible descend au-dessous de 66 % de la capacité au champ ("when available moisture dropped below 66 % of field capacity"). En saison sèche, la TRE est comprise (Fig. 1 à 6b, d) entre 22 % (= Hf) et 50 % (= 2/3 RU) de la Hc. Il y a alors déficit hydrique comme nous l'avons déjà indiqué (Dagba, 1992). En saison pluvieuse, le plancher de la RFU correspondant à 75 % de la Hc est atteint pendant un à quatre mois suivant le microclimat considéré. Nos résultats, notamment en saison sèche, sont donc conformes aux observations de Schmueil. La RFU représente, selon Brochet & Gerbier (1975), 50 à 60 % de la RU et selon Poulain, 1/3 à 2/3 de la RU. Le memento de l'Agronome (Ministère, 1991) indique que, pour le bananier, $RFU = RU/3$. L'accord existant entre ces deux derniers auteurs, nous concluons que chez le bananier, $RFU = RU/3$

La TRE de chaque profondeur a été calculée à partir de la Hc propre à cette profondeur (tabl. III) tandis que la gamme -étalon (Hf, RFU, 2/3 RU) n'a pu être établie (tabl. IV) que pour la profondeur (0-30) cm. Cela explique que la TE évaluée à (0-10) cm, profondeur dont la Hc = 41,4 % à ciel ouvert, puisse frôler ou dépasser (fig. 1 par exemple) la Hc étalon = 33,8 % établie pour (0-30) sans pour autant que la TRE correspondante frôle ou dépasse 100 % ($a/41,4 < a/33,8$). Il conviendra donc de déterminer par la suite le Hf relatif à chaque profondeur de façon à disposer d'une gamme-étalon pour chaque profondeur.

CONCLUSION

La teneur en eau du sol aux profondeurs (0-10) cm, (10,30) cm, (30-40) cm et (0-30) cm a été évaluée mensuellement pendant cinq ans à Bilala (Congo) dans deux bananeraies de paysans, l'une à ciel ouvert, l'autre en sous bois (sous limba). La capacité au champ (Hc) et le point de flétrissement permanent (Hf) ont été déterminés pour la profondeur (0-30) cm. Ils sont, exprimés en pourcent de matière sèche, respectivement de $33,82 \pm 3,13$ % et $8,50 \pm 0,38$ % à ciel ouvert, de $31,78 \pm 4,39$ % et $7,07 \pm 0,54$ % en sous bois. Chez le bananier la RFU représente le tiers de la RU. Les limites de la RFU et des 2/3 RU sont ainsi de 25,4 % et 16,9 % à ciel ouvert, de 23,5 % et 15,3 % en sous-bois. A ciel ouvert, le Hf et les seuils inférieurs des 2/3 RU et de la RFU représentent respectivement 25,1 % 50,1 % et 75 % de la Hc. En sous-bois, ils représentent respectivement 22,3 %, 48,1 % et 74,1 % de la Hc. En saison sèche, les teneurs en eau des différentes profondeurs sont comprises entre le point de flétrissement permanent et la limite inférieure des 2/3 RU, avec une durée plus longue à ciel ouvert (de juin à novembre) qu'en sous bois (de juillet à octobre). C'est, pour le bananier, une période de survie ou tout au plus, d'une très faible productivité. En saison pluvieuse, les teneurs en eau des profondeurs (10-30) cm et (30-40) cm sont comprises entre les limites inférieures de la RFU et des 2/3 RU; celle de la profondeur (0-30) cm frôle ou dépasse légèrement la limite de la RFU pendant le mois le plus pluvieux à ciel ouvert et pendant 2 à 4 mois en sous-bois; tandis que celle de la profondeur (0-10) cm est souvent au-dessus de la limite inférieure de la RFU. En saison de pluies donc les racines supérieures situées à la profondeur (0-10) cm - sont bien alimentées en eau, les racines médianes - situées aux environs (15-20) cm de la surface du sol ont juste l'eau nécessaire pendant un mois, à ciel ouvert, et pendant deux à quatre mois, en sous-bois, tandis que les racines inférieures situées à la profondeur de (25-30) cm souffrent en permanence d'un déficit hydrique.

Le milieu sous-bois est plus favorable à la nutrition hydrique du bananier que le milieu ciel ouvert. Pour une meilleure production, une irrigation s'avère nécessaire, au moins pendant la saison sèche.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur G. Ciornei, responsable du laboratoire commun d'analyses de centre ORSTOM de Pointe-Noire, pour les résultats d'analyses granulométriques et chimiques du sol.

BIBLIOGRAPHIE

- BOYER J., 1982 - *Les sols ferrallitiques. Tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols*. Initiations-Documents techniques n° 52. Edition ORSTOM. Paris. 384 p.
- BROCHET P., GERBIER N., 1975 - "L'évapotranspiration". Monographie n° 65 de la Météorologie Nationale. Imprimerie de la Météorologie Nationale. 78190 Trappes, 95p.
- CARROUCHE P., 1989. "La culture du bananier "Gros Michel" dans le Mayombe congolais". Mémoire de fin d'études à l'Institut Supérieur Technique d'OutreMer du Havre. Stage effectué au Centre ORSTOM de Pointe Noire, du 15/6/89 au 25/10/89. Rapport multigr. 62p + 22 p (d'annexe).
- CHAUVEL A., FAUCK R., 1969 - Sur la mise en évidence et la caractérisation d'un horizon B dit de comportement dans les sols de Casamance. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 269, 2080-2083.
- DAGBA E., 1974 - "Contribution à l'étude de l'influence du milieu sur la croissance et le développement de quelques cultivars de niébé, *Vigna unguiculata (L.) Walp*" Thèse 3 cycle, Sci, Univ. Clermont-Ferrand, 2 vol., (128 + 72) p.
- DAGBA E., 1992 - L'influence de quelques facteurs sur le rendement du bananier à Bilala (Congo). *Rev. Rés. Amélior Prod. Agr. Milieu Aride*, 4 : 55-71.
- DOORENBOS J., PRUITT W. D., 1981 - "Les besoins en eau des cultures". *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 24* : 198p.
- KOUBA B., 1987 - "Les problèmes de commercialisation de la banane douce dans le Mayombe". Mémoire de fin d'études de l'I.D.R. Brazzaville. 252 p.
- LEMAIRE F., DARTIGUES A., RIVIERE L.N., CHARPENTIER S., 1989 - "Cultures en pots et conteneurs". Ed. INRA, Paris 184p.
- LOUGUET P., LAFFRAY D., 1988 - Techniques d'études de l'état hydrique des plantes. *Bull. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 1, 7-34.
- MINISTERE FRANCAIS DE LA COOPERATION, 1991 - Bananier. In Memento de l'agronome. Collection "Techniques rurales en Afrique", Paris, p. 804-812.

Teneur en eau du sol dans deux bananeraies congolais

- MOULOMBAUD G.R. G., 1989 - "Etude des conditions d'application des méthodes de culture intensive à la banane douce (Gros Michel) dans le Mayombe". *Mémoire de fin d'étude d'IDR, Brazzaville*. 64p.
- OCHS R., 1963 - Recherches de pédologie et de physiologie pour l'étude du problème de l'eau dans la culture du palmier à huile. *Oléagineux*, **18**, 4 : 231-238.
- OCHS R., 1968 - L'aménagement des sols et des eaux pour la culture du palmier à huile. *Colloque d'Abidjan*, **11** : 41-49.
- OCHS R., 1968 - Principaux problèmes de la nutrition du palmier à huile. *Colloque d'Abidjan*, **11** : 420-436.
- POULAIN D. - "Les bilans hydriques." Polycopé de l'E. N. S. A. de Rennes. 24 p.
- REVERSAT G., 1992 - La résistance des nématodes phytoparasites du sol à la dessiccation. *ORSTOM Congo Actualités*, **5** : 9-11.
- ROBINSON J.C., ALBERTS A. J., 1986 - Growth and yield responses of banana (cultivar "Williams") to drip irrigation under drought and normal rainfall conditions in the subtropics. *Scientia Horticulturae*, **30** : 187-202.
- SCHMUELI E. 1953 - Irrigation studies in the Jordan Valley. 1. Physiological activity of the banana in relation to soil moisture. *Bull Res. Counc. Israël*, **3** : 228-247.
- TRIER R., VERDEIL D., 1990 - "Cartographie des bananeraies de Les Saras (Mayombe congolais)". Rapport multigr. de stage juil-août 1990, ENSA/ORSTOM, 44p.

Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride, 1993, 5, 191-211.

**LA TENEUR EN EAU DU SOL DANS DEUX BANANERAIES
(VAR. GROS MICHEL) DE BILALA (CONGO)**

DAGBA Eugène

ORSTOM - B.P. 1286 - Pointe-Noire (Congo)

29 AVRIL 1994

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 39.448. ex 1

Cote : B