Réflexions sur les résultats de mesures systématiques d'humidité à la sonde à neutrons dans un sol ferrallitique de basse Côte d'Ivoire

J. F. BOIS
Agronome de l'ORSTOM
Centre d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire

E. J. ROOSE
Maître de recherches principal ORSTOM en Pédologie

RÉSUMÉ

Des mesures d'humidité ont été effectuées presque chaque semaine pendant deux ans et demi à la sonde à neutrons jusqu'à 6 m dans une forêt dense, et 2 m sous une bananeraie irriguée voisine. Les observations montrent que sous forêt, les variations du stock d'humidité atteignent 120 mm dans le premier mètre et 200 mm sur tout le profil; sous bananeraie, l'activité racinaire est pratiquement limitée aux 30 premiers centimètres. Dans le bilan d'eau sous forêt, l'ETR atteint 79% des pluies par la méthode de la sonde et 72% par la méthode Thorntwaite modifiée et dans les bassins versants. Sont ensuite discutées les difficultés de l'usage des sondes en milieu tropical humide, et l'interprétation des variations d'humidité observées jusqu'à 4 à 6 m de profondeur, sous forêt dense humide.

ABSTRACT

Every week, during two years and a half, the soil moisture was measured by means of neutron probe till 6 m depth under a dense moist forest of Ivory Coast, and till 2 m under a neighbouring irrigated banana trees plantation. The authors show that, under forest, the variations of the moisture totalize 120 mm in the first meter, and 200 mm in the whole soil profile ; under banana trees, the roots activity is limited to 30 centimeters. The water balance under forest indicates that the real evapotranspiration (RET) *reaches 79% of the rainfalls by neutron probe method, and 72% with the modified Thorntwaite method and in the next watersheds. Then, the difficulties of the use of neutron probe in humid tropical area and the signification of the moisture variations observed under forest till 4 to 6 m depth, are discussed.*

INTRODUCTION

Dans le cadre du programme de recherche de l'ORSTOM, sur la pédogenèse actuelle des sols tropicaux, deux séries de dispositifs de mesure de l'érosion et du drainage ont été installées, l'une dans la bananeraie de la station IRFA (1) d'Azaguie, et l'autre en un site en tous points comparable mais couvert d'une forêt dense humide et situé à quelques centaines de mètres (forêt du Teke).

Les résultats des observations effectuées de 1966 à 1973 concernant l'érosion, les pertes d'éléments nutritifs

(1) IRFA : Institut Recherches Fruitières en Afrique.

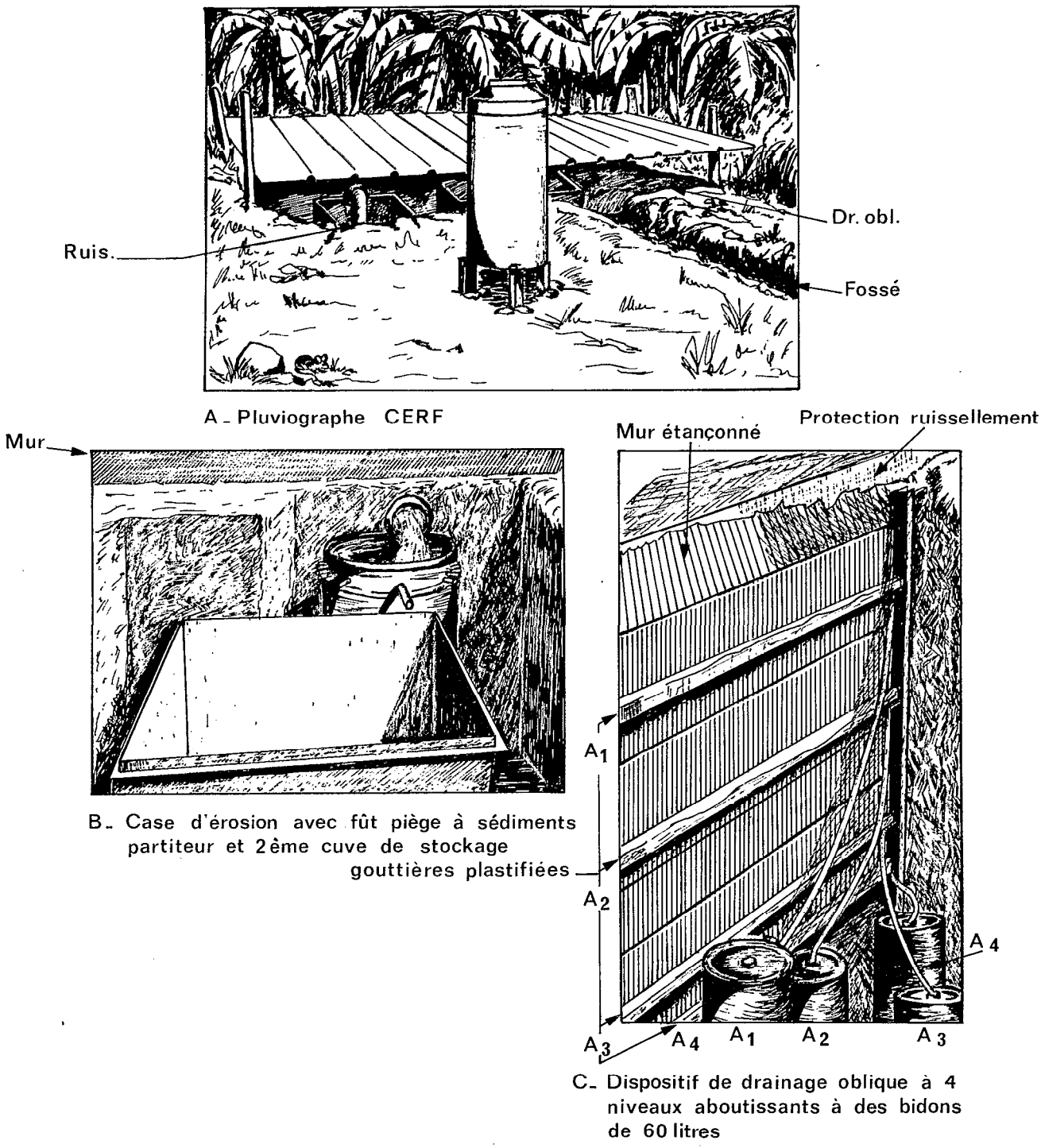

Fig. 1. — Vue de la case Erlo dans la bananeraie d'Azaguie

par lixiviation et la pédogenèse ont été publiés ailleurs (ROOSE et GODEFROY, 1967 et 1968 ; GODEFROY, ROOSE et MULLER, 1970-1975 ; ROOSE et GODEFROY, 1977).

Dans cette note, nous nous attacherons à l'interprétation des profils hydriques relevés presque chaque semaine pendant deux ans et demi à l'humidimètre à neutrons sur trois tubes d'accès placés à mi-pente, les uns sous forêt, et le dernier sous bananeraie irriguée.

Leur rôle dans l'ensemble du dispositif est de préciser les variations du stock d'humidité du sol en saison sèche et le niveau d'activité du système racinaire de cette forêt en milieu tropical, humide presque toute l'année. Une comparaison des méthodes d'estimation du bilan hydrique sera tentée en vue de déterminer la fraction des précipitations qui est évapo-transpirée par le milieu et celle qui percole au-delà du réseau racinaire et entraîne en dehors du système « sol - plante », divers éléments en solution et suspension.

Enfin, une critique de la méthode fera ressortir l'intérêt et les limites de son utilisation en milieu tropical humide.

1. LE MILIEU

La station d'Azaguie (alt. 80 m, lat. 5°33 N., long. 4° 03 W) se trouve à une quarantaine de kilomètres au nord d'Abidjan. Une forêt dense sempervirente pélohygrophile à Diospyros et Manapia recouvre des sols ferrallitiques très désaturés remaniés sur chlorito-schiste (voir fig. 2). Schématiquement, ces sols comprennent quatre horizons :

1. Un horizon gris humifère sableux, très mince (2 à 10 cm), très poreux, intensément colonisé par la faune et les racines ;

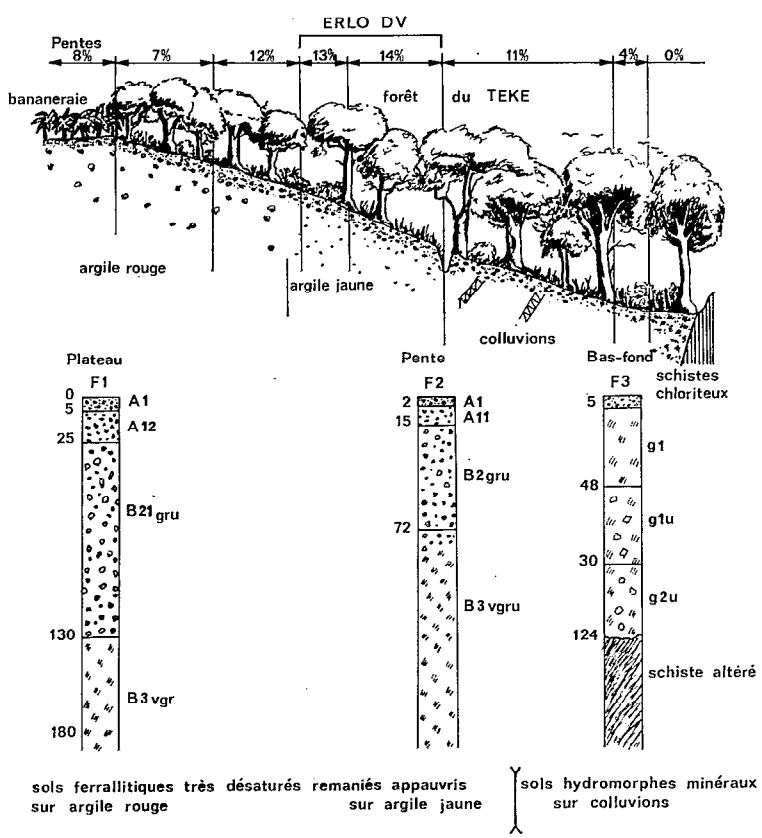

Fig. 2. — Toposéquence de la forêt du Teke

2. Un horizon jaune finement sableux (15 à 35 cm) déjà plus cohérent, encore exploité par les racines ;

3. Une nappe de graviers de quartz, de tailles diverses (0,5 à 15 cm de ∅) et quelques gravillons ferrugineux ;

4. Un niveau d'argile tachetée, très profond, rouge sur fond ocre, puis blanchâtre en profondeur. Les racines y sont extrêmement rares.

Le climat, du type équatorial de transition, est caractérisé par une température variant peu (2 °C) autour de la moyenne (25,6 °C), une humidité de l'air voisine de 80 à 90%, et des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 1 775 mm, réparties en deux saisons des pluies inégales. L'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée selon la formule de Turc atteint 1 330 mm et dépasse les précipitations quatre à cinq mois par an.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Quatre lysimètres

Quatre lysimètres ont été posés dans chacun des sites intégrant des proportions de plus en plus importantes du profil (40-80-140-180 cm de profondeur). Il s'agit de monolithes de sol de 63 cm de diamètre, piégés dans des cylindres de tôle fine en fer galvanisé, sans perturber la structure ni la porosité naturelles du sol ; les contacts sol - tôle sont assurés par des joints de goudron restant souples à température ambiante (20 à 40 °C). Sous forêt, les tôles remontent jusqu'au-dessus du niveau du sol. Le réseau racinaire est donc isolé : l'ETR est réduite au sous-bois assez dense qui recouvre la surface du sol (et déborde un peu des lysimètres). Le ruissellement ne pouvant se manifester dans les lysimètres, il faut, lors du bilan, soustraire du drainage le ruissellement mesuré dans une parcelle voisine. Sous bananeraie, la tôle des bordures a été découpée de façon à laisser libres les trente premiers centimètres du sol où se développe la majorité des racines. Une couronne de tôle posée en surface interdit tout ruissellement (Roose, Des Tureaux, 1970).

2.2. Une case Erlo (1)

Une case Erlo est une parcelle (250 m² de surface) englobant une grosse partie de la pente du versant au bas de laquelle on mesure l'érosion, le ruissellement, ainsi que le drainage oblique observé à quatre niveaux dans le sol (Roose, 1968). Ce dispositif tient à la fois de la parcelle d'érosion et du lysimètre, dont le fond est constitué d'horizons peu perméables. Il ne permet pas de recueillir toutes les eaux de percolation, mais une fraction des eaux libres (problème de contact sol/tôle comme dans tous les lysimètres) s'accumulant au-dessus des niveaux relativement moins perméables lors des fortes averses.

Outre les phénomènes d'érosion de surface, les cases ERLO rendent possible l'observation de l'évolution des charges solubles et solides (colloïdes) des eaux drainant à différentes profondeurs dans le sol.

2.3. Humidimètre a neutrons

L'humidité du sol a été suivie hebdomadairement pendant près de trois années consécutives avec un humidimètre à neutrons : un ensemble IP 110 puis un ensemble HP 310 EC 310 (système CEA) équipé d'une source Americium + Bérylium de 100 mCi.

Trois tubes d'accès de duralumin de 41 mm de diamètre interne ont été implantés, deux tubes sous forêt (2,5 et 6 m de profondeur) et un sous bananeraie irriguée (2,5 m).

La sonde à neutrons enregistre un taux de comptage de neutrons ralentis proportionnel à l'humidité volumique du sol. Pour exprimer les résultats en pourcentage d'humidité volumique (ou en mm), il faut passer par une courbe d'étalonnage :

$N = \alpha\ Hv + \beta$;

N = taux de comptage en impulsions par seconde ;

Hv = humidité volumique en %.

La nature du sol (densité, absorption et diffusion des neutrons) influe sur le taux de comptage. Chaque type de sol doit donc être étalonné. Couchat (1974) a montré que les constantes neutroniques d'un sol (absorption et diffusion) caractérisent sa droite d'étalonnage.

(1) ERLO : Erosion Ruissellement Lessivage Oblique.

Un dispositif simple, mis au point par MOUTONNET et MARINI (1970) nous permet d'estimer le pouvoir absorbant du sol et d'en déduire la pente (α) de la courbe d'étalonnage.

L'ordonnée à l'origine (β) est calculée après un étalonnage sur le terrain : sur le tube de mesure on établit un profil neutronique, un profil de densité apparente au gammadensimètre et un profil d'humidité pondérale à la tarière.

Les résultats de l'étalonnage apparaissent au tableau 1.

TABLEAU 1

ÉTALONNAGE NEUTRONIQUE DES SOLS D'AZAGUIE

Localisation	*Profondeur* (cm)	*Sols ferrallitiques*	*Dens ité apparente* da	*Pente* α	*Ordonnée* β
Bananeraie	0-25	horizon de surface	1,5	9,3	—7
	25-50	horizon jaune graveleux	1,7	11,3	32
	50-150	horizon argile bariolée	1,3	10,9	52
Forêt	0-30	horizon de surface	1,26	13	124
	30-50	horizon graveleux	1,90	12,7	86
	70-150	horizon argile bariolée	1,37	11,2	111

Les mesures sont faites en 60 secondes tous les 10 cm jusqu'à 1 m de profondeur, puis tous les 20 cm.

Chaque mesure est exprimée en impulsions par seconde (i/s) pour une sonde comptant théoriquement 1 000 i/s dans l'eau.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. LES VARIATIONS MAXIMALES DU STOCK D'EAU DU SOL

On a comparé les profils les plus secs et les plus humides rencontrés au cours de l'année (fig. 3 à 7). Il faut noter que le profil le plus humide n'est pas le profil à saturation, car la mesure n'est pas forcément consécutive à une forte séquence pluvieuse : on est donc en présence d'un profil plus ou moins ressuyé.

La différence des stocks d'eau du sol entre les deux profils caractéristiques atteint les valeurs notées au tableau 2.

TABLEAU 2

DIFFÉRENCE DE STOCK D'HUMIDITÉ
ENTRE LES PROFILS HUMIDES (SAISONS DES PLUIES)
ET SECS (SAISONS SÈCHES)

	Tube n° 2 : forêt (mm)	*Tube n° 3 : forêt* (mm)
Tranche 0-110 cm :		
1970	116	155
1971	92	116
1972	123	—
Tranche 110-220 cm :		
1970	22	29,5
1971	22,8	44
1972	22,8	—

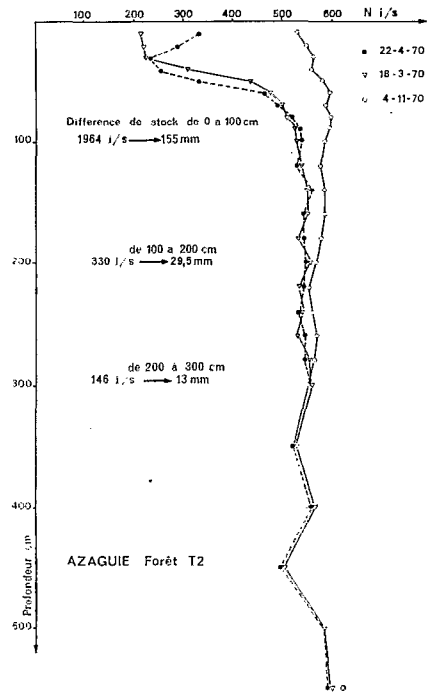

Fig. 3. — Profils humides et secs. 1970.

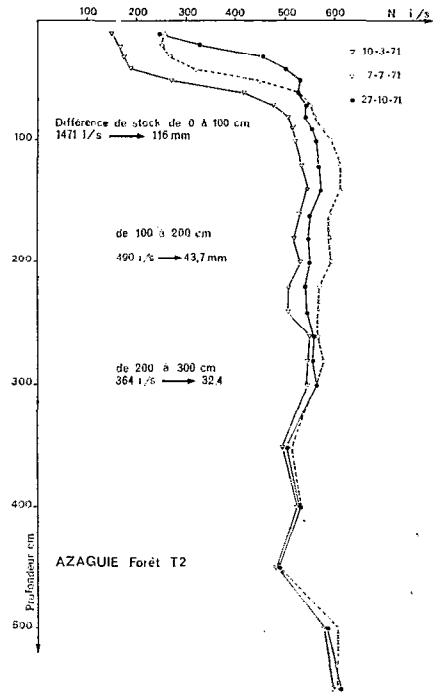

Fig. 4. — Profils humides et secs. 1971.

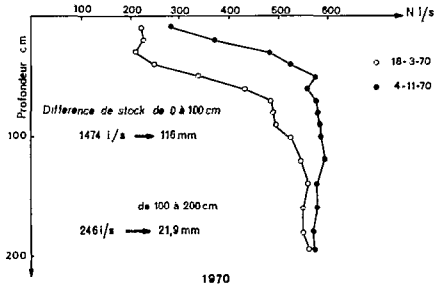

Fig. 5. — Azaguie. Forêt T3.

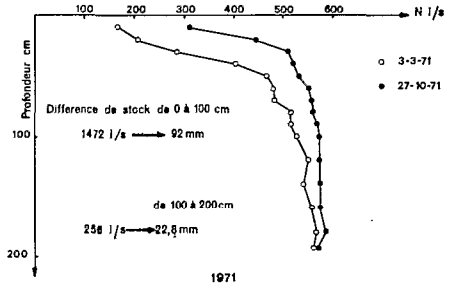

Fig. 6. — Azaguie. Forêt T3.

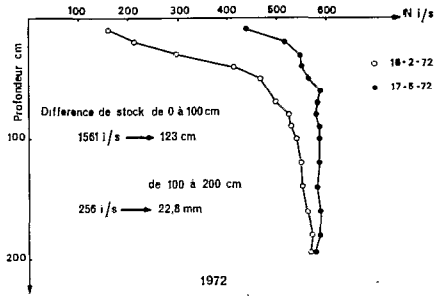

Fig. 7. — Azaguie. Forêt T3.

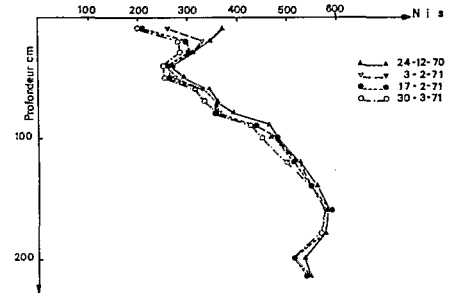

Fig. 8. — Azaguie. Bananeraie T1.

Profils humides et secs (fig. 5-6-7) et profils de ressuyage (fig. 8)

Les humidités maximales observées sont compatibles avec les porosités mesurées par Moulo (1974).

TABLEAU 3

COMPARAISON ENTRE LA POROSITÉ TOTALE ET L'HUMIDITÉ MAXIMALE OBSERVÉES

	Forêt		*Bananeraie*	
	Porosité (%)	*Hv maximale* (%)	*Porosité* (%)	*Hv maximale* (%)
Horizon humifère	60	30-33	46	44
Horizon graveleux	27 à 38	35-37	29	33
Horizon bariolé	47	41-43	50	45-50

3.2. LES VARIATIONS ENTRE TUBES

Les tubes n° 2 (6 m) et n° 3 (2,5 m) sont implantés en forêt à proximité l'un de l'autre, dans le même type de sol. Si on compare les mesures effectuées le même jour, aux mêmes niveaux, on constate des différences importantes dans les horizons superficiels (jusqu'à 60 cm de profondeur).

Niveau (cm)	*Humidité volumique* (Hv %)					
	Mesure du 27-10-1971			*Mesure du 18-3-1970*		
	T 2	*T 3*	*Ecart à la moyenne*	*T 2*	*T 3*	*Ecart à la moyenne*
30	29	33,4	7	10,1	9,8	1,5
60	37	33	5,7	32,5	28,5	6,5
100	39,2	39,2	0	37	37	0

Ces variations peuvent avoir plusieurs causes :

— *Erreurs sur le niveau de la mesure :* décalage vers le haut ou le bas du profil. A proximité de la surface, un écart de positionnement de quelques centimètres peut induire une erreur importante.

— *Hétérogénéité du sol :* c'est vraisemblablement la cause principale. D'après PEYREMORTS (1971), il faut faire des mesures sur 12 tubes, pour avoir une précision de $\pm$ 10 mm sur le bilan (probabilité 95%).

— *Hétérogénéité des précipitations* et du ruissellement, en fonction de la répartition des branches et des racines des végétaux.

3.3. VARIATIONS DES PROFILS D'HUMIDITÉ EN PROFONDEUR

La figure 8 (profils de ressuyage du tube n° 2) présente les principaux profils d'une période sèche commençant le 4 novembre 1970, deux jours après une forte pluie de 73 mm.

La plus grande partie du dessèchement se fait dans la tranche 0-110 cm, mais les tranches 110-210 cm et 210-310 cm enregistrent des variations non négligeables (plus de 10%). Les profils secs ne rejoignent le profil humide du 4 novembre 1970 que vers 360 cm de profondeur. Aux niveaux plus profonds (4 à 5 m), les profils se superposent généralement bien (à quelques % près).

Tranche (cm)	*Différence de stock* (i/s)	*Pente d'étalonnage*	(mm)	% *du bilan total*
0-110	2 436	12,7	192	75
110-210	444	11,2	37	14
210-310	302	11,2	27	11

On retrouve ces variations en profondeur sur d'autres profils (fig. 3 et 4).

Pour le tube n° 3 sous forêt, les profils secs et humides se rejoignent pratiquement à 2 m de profondeur. Néanmoins, la tranche 110-220 cm intervient pour 15 à 20% des pertes d'eau totales (fig. 4, 5, 6, 7).

Les variations en profondeur peuvent être dues à :

— *Des dérives de l'électronique au cours du temps.* L'hypothèse est peu probable car les profils se superposent bien au-dessous de 4 m.

— *Des erreurs sur le niveau de mesure :* elles sont peu importantes car les profils sont pratiquement verticaux de 100 à 400 cm de profondeur ?

— *L'existence d'une double valeur de capacité au champ* : l'une en saison sèche et une plus humide en fin de saison des pluies.

— *Un écoulement lent en profondeur* (ventre d'humidité complètement écrasé). La figure 9 montre la cinétique de dessèchement du sol à différents niveaux pendant la période sèche du 4 novembre 1970 au 3 mars 1971. Les quelques pluies de 15 ou 20 mm, tombées à cette époque, n'ayant pu réhumecter l'ensemble du profil, on a essayé de déterminer la capacité de rétention par la méthode Marcesse (1967). Les niveaux inférieurs à 80 cm de profondeur sont à la capacité de rétention dès le 4 novembre 1970, car seule apparaît la composante lente du ressuyage, mais ils continuent à perdre de l'humidité.

Niveau (cm)	*Le 4-11-70*		*Le 3-3-71*	
	(i/s)	(%)	(i/s)	(%)
100	580	52	520	46
200	570	51	530	47

Ces variations en profondeur sont-elles dues au prélèvement par le réseau racinaire des grands arbres en saison sèche ? A priori, cela semble peu probable puisque 90% des racines fines sont localisées au-dessus de l'horizon graveleux ; seuls quelques pivots descendent dans le niveau d'argile bariolée. En dehors de leur rôle mécanique de soutien des arbres, ces pivots ont-ils un rôle à jouer sur l'alimentation hydrique ? Sont-ils capables d'assurer l'équilibre hydrique de la forêt sempervirente alors qu'ils baignent dans des horizons humides certes, mais très pauvres en azote. On peut se le demander car si dans ces types de forêt la voûte foliaire reste verte toute l'année, la chute des feuilles est nettement accélérée en saison sèche dès que les réserves hydriques des horizons superficiels sont épuisées : ceci tend à prouver que la végétation puise d'abord dans les horizons superficiels (les plus fertiles) l'eau dont elle a besoin pour son métabolisme et qu'à défaut de celle-ci les racines profondes ne peuvent assurer qu'une partie des besoins en eau.

Quoi qu'il en soit, Huttel (1975) a observé également des variations d'humidité jusqu'à 6 m de profondeur dans la forêt voisine de Yapo et il estime qu'elles sont dues à un drainage très lent.

3.4. Evaluation de l'évapotranspiration a la sonde a neutrons

On a calculé la différence de stock d'eau sous forêt, au cours d'une période donnée, pour la tranche de sol 0-110 cm. Cette différence est exprimée en mm, en prenant pour pente d'étalonnage $\alpha = 12{,}7$.

L'évapotranspiration (ETR) est donnée par l'équation générale du bilan d'eau dans un sol :

$$ETR = P - R - D - (dS)$$

où P = pluie, R = ruissellement, D = drainage, dS = différence de stock d'eau (positive ou négative) entre le temps t_1 et le temps t_0.

Le ruissellement est mesuré sur les cases Erlo. Le drainage est estimé par la différence entre (pluie totale) et (ETP + ruiss.). En saison sèche, le drainage est nul. On apporte une correction pour les premiers mois de pluies (avril et mai) : le stock d'eau du sol (115 mm pour la tranche 0-110 cm) doit être réapprovisionné avant que le drainage apparaisse.

Avec la sonde à neutrons, on ne peut évaluer l'ETR que lors des périodes de drainage nul : les profils hydriques se rejoignent vers le bas. Cette méthode d'estimation du drainage permet de calculer le bilan pour toute l'année.

L'ETR est exprimée en mm/jour car nous ne disposons pas toujours de la différence de stock pour le mois complet.

Tube	*Période*	*Nombre de jours*	*Pluie + irrigation* (mm)	*dS* (mm)	*R + D* (mm)	*ETR* (mm)	*ETR* (mm/j)
T 2 forêt	4-11-70 au 3-3-71	118	138,5	—192	0	330,5	2,8
T 1 bananeraie	24-12-70 au 30-3-71	96	228	—52,4	0	280,4	2,9

Le tableau 4 donne les valeurs de l'ETR mensuelle calculées à l'aide de la sonde à neutrons pour les deux tubes sous forêt.

TABLEAU 4

CALCUL DE ETR A LA SONDE A NEUTRONS ET COMPARAISON AVEC ETR ESTIMÉE (THORNTWAITE MODIFIÉE)
(moyenne sur trois ans. Forêt du Téké 1970 à 1972)

	J	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*	*Moyenne annuelle*
ETR calculée/sonde tube 2 (tranche 0-110 cm) (mm/j)													
1970	—	—	2,5	7,1	3,2	—	—	1,5	1,85	3,14	3,3	1,1	
1971	1,2	1,8	2,2	5,3	6,5	—	2,5	2,5	3,8	3,4	3,3	3,7	
1972	1,7	2,2	2,4	1,25	—	1,7	2,8	—	—	—	—	—	
ETR calculée/sonde tube 3 (tranche 0-110 cm) (mm/j)													
1970	—	—	2,5	4,8	2	—	7,8	—	—	6,6	2,9	1,4	
1971	0,9	1,1	2,9	3,5	5,9	—	2,9	—	—	0,3	3,7	3,0	
1972	—	3,8	4,2	5,0	—	6,4	—	—	—	—	—	—	
ETR calculée sonde moyenne (mm/j)	1,3	2,2	2,8	4,5	4,4	4,0	4,0	2,0	2,8	3,3	3,3	2,3	3,075 mm/j 1 122 mm/an
ETR estimée corrigée moyenne (Thorntwaite modifiée) (mm/j)	3,11	4,17	3,91	3,82	3,55	3,02	2,69	1,0	2,23	3,23	3,23	2,84	3,056 mm/j 1 116 mm/an
ETP Turc moyenne (mm/j)	3,1	4,2	3,9	3,8	3,5	3	2,7	2,4	2,5	3,2	3,2	2,9	3,2 mm/j 1 168 mm/an

ETR calculée sonde : pluie-ruissellement-drainage — (stock)
ETR estimée : ETP en saison des pluies
pluie - ruissellement en saison sèche (D = O)
Correction : la variation du stock (200 mm) est redistribuée à ETR des mois secs qui suivent la saison des pluies.

Quelques remarques s'imposent :

— Les valeurs moyennes de l'ETR calculées sont faibles pour les mois de janvier, février et mars. Pourtant, à cette période, l'évapotranspiration potentielle (ETP) est forte et les réserves hydriques sont encore importantes.

— En juin et juillet ETR = 4 mm/j. Elle dépasse l'ETP. Ces valeurs incorrectes sont dues à une mauvaise continuité des relevés des profils neutroniques (période très pluvieuse) d'une part, à une sous-estimation possible du drainage d'autre part (l'estimation mensuelle est imprécise car des pluies groupées peuvent drainer).

— La moyenne journalière sur l'année, 3,07 mm/j est très proche des valeurs données par HUTTEL (1971, 1975) : 2,5 mm/j au Banco et 3,2 mm/j à Yapo pour les campagnes 1971 à 1973.

3.5. COMPARAISON AVEC LA MÉTHODE D'ESTIMATION DE L'ETR (Thorntwaite modifiée)

Le tableau 4 compare les moyennes mensuelles d'ETR/jour obtenues par les deux méthodes.

La méthode d'évaluation du bilan (méthode Thorntwaite modifiée (1)) est basée sur deux principes :

— en saison sèche ETR = P — ruiss. car il n'y a pas de drainage ;

— en saison humide ETR = ETP si P > ETP + ruiss.

On corrige l'ETR totale en lui ajoutant les variations du stock du sol et en les soustrayant au drainage. En effet, la végétation puise dans la réserve hydrique du sol après la fin de la saison des pluies et cette réserve doit être reconstituée avant que le drainage puisse commencer. Les variations du stock total d'humidité du sol sous forêt sont évaluées à 200 mm.

En fait cette estimation de l'ETR est trop forte car les réserves hydriques ne sont pas toutes également disponibles pour la plante et des pluies groupées en saison sèche peuvent provoquer un léger drainage.

TABLEAU 5

BILAN MOYEN SOUS FORÊT (1970-1972)

Pluie (mm)	*Ruissellement*		*ETP Turc* (mm)	*ETR sonde* (mm)	*ETR estimée*		*Drainage estimé*	
	(mm)	(%)			(mm)	(%)	(mm)	(%)
1 525	37	2,4	1 169	1 122	1 130	74,1	358	23,5

La valeur moyenne annuelle d'ETR donnée par la sonde + case d'érosion est très voisine de la valeur estimée par la méthode des bilans. Par contre, les valeurs d'ETR sonde sur un mois et sur un tube sont beaucoup plus variables. La sonde fait une mesure trop ponctuelle du stock d'eau pour pouvoir faire un calcul d'ETR à partir d'un seul tube. C'est la raison pour laquelle ne figurent pas les résultats complets du tube 1 sous bananeraie.

Les deux méthodes d'établissement de l'ETR comportant une part d'estimation, il est difficile de donner l'avantage à l'une ou l'autre.

3.6. COMPARAISON DE BILANS D'EAU SUR PARCELLE ET SUR BASSIN VERSANT

Il peut être intéressant de comparer les bilans obtenus sur une parcelle dans la forêt du Téké (à la sonde ou Thorntwaite modifiée Roose) à ceux qui ont été calculés par les hydrologues pour les bassins versants de la région (tableau 6).

On constate que le déficit d'écoulement des hydrologues correspond à peu près à l'ETR estimé par les deux méthodes (sonde et Thorntwaite modifiée) aux différences de couverture végétale près. Nos estimations semblent

(1) Thorntwaite corrigeait les résultats bruts en enlevant systématiquement 100 millimètres au drainage et en l'ajoutant à l'ETR. L'amélioration consiste à évaluer au champ la correction qui correspond à la différence de stock entre un profil à capacité au champ et les profils secs observés en fin de saison sèche.

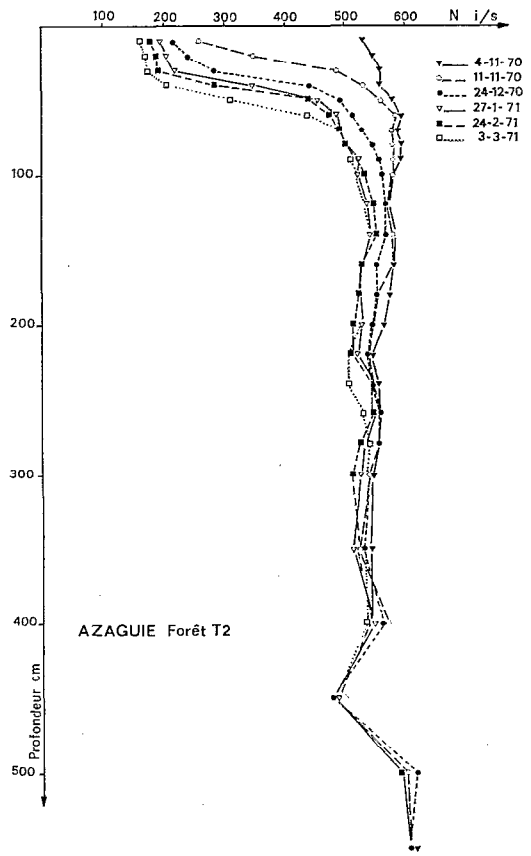

Fig. 9. — Profils de ressuyage

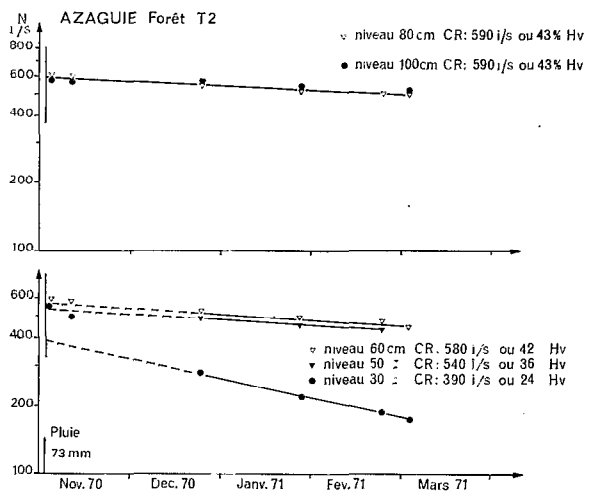

Fig. 10. — Essai de détermination de la capacité de rétention (période du 4-11-70 au 3-3-71)

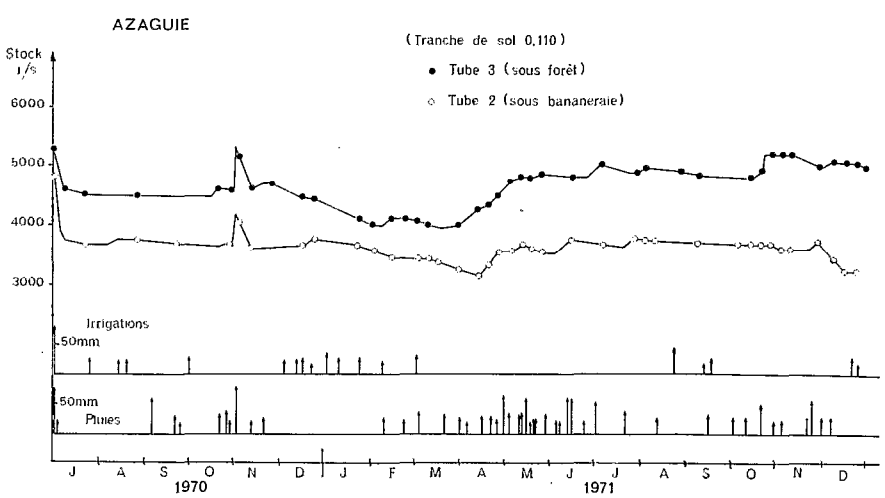

Fig. 11. — Évolution du stock neutronique

donc acceptables quoique optimistes (surtout sonde) car il est probable que dans ces milieux schisteux à pendage subvertical, il y ait des pertes d'eau par percolation lente en profondeur (qui à la sonde sont comptabilisées ETR).

TABLEAU 6

Lieu	*Surface* (km²)	*Pluie* (mm)	*Coefficient d'écoulement annuel* (%)	*Déficit d'écoulement* (%)	*Couvert végétal* (%)
B.V. Bafo	26,8	1 671-1 885	31-31,5	± 69	Forêt dense 93
B.V. Sitou	28,8	1 727-1 790	27,2-29,6	± 72	Forêt claire + cacao
B.V. Manso	92,5	1 716-1 850	31,8-29,9	± 70	Forêt dense 70
Parcelle Erlo				ETR sonde 79	
Parcelle Téké	0,0002	1 450 à 1 658	0,5 à 5,1	ETR Thorntwaite 73	Forêt dense 100

3.7. LES PROFILS HYDRIQUES SOUS BANANERAIE

La figure 8 montre une succession de profils pendant une période sèche (du 24-12-1970 au 30-3-1971). On constate que les pertes d'eau se font essentiellement dans la tranche de sol 0-30 cm. Ces pertes correspondent au prélèvement du bananier qui possède un enracinement très superficiel. Les variations d'humidité en profondeur existent mais sont beaucoup plus limitées que sous forêt (fig. 8) pour la même période.

Le calcul d'ETR donne une moyenne de 2,9 mm/j pendant ces trois mois.

La figure 11 fait apparaître l'évolution du stock d'eau de la tranche de sol 0-110 cm pour les tubes 2 et 3 pendant un an et demi. Le stock d'eau est exprimé en impulsions par seconde. L'évolution est parallèle pour les 2 tubes. Au cours de la période sèche (de décembre 1970 à mars 1971) le déficit hydrique sous forêt est plus accusé que sous bananeraie car il n'est pas compensé par les irrigations. Mais il apparaît nettement sous bananeraie en mars-avril, ce qui semblerait indiquer une insuffisance des irrigations ; les premières pluies étant trop faibles, la végétation puise dans le stock d'eau du sol.

CONCLUSIONS

En milieu tropical humide, la méthode neutronique de mesure d'humidité du sol n'est pas d'utilisation facile :

— Le matériel électronique craint l'humidité et la chaleur ;

— Le drainage étant important, il est difficile de boucler les bilans hydriques, même avec des tubes profonds ;

— La sonde ne peut saisir les mouvements d'eau à humidité constante. Il peut s'établir un débit faible mais permanent alimentant la nappe profonde. Cette perte d'eau est comptabilisée en ETR ce qui entraîne une surestimation de celle-ci.

Malgré l'insuffisance du dispositif (2 tubes sous forêt), la méthode neutronique a permis d'établir le bilan hydrique et de calculer l'ETR sous forêt avec une précision acceptable à l'échelle de l'année à condition de disposer des mesures de précipitations et de ruissellement. Il faut cependant noter que des résultats au moins aussi précis ont été obtenus avec des moyens beaucoup moins sophistiqués et moins coûteux (case d'érosion + station météo permettant le calcul de l'ETP et quelques sondages à la tarière à des époques bien choisies pour définir les profils humides et secs). L'amélioration de la précision des résultats ne peut être obtenue qu'en multipliant les tubes d'accès pour tenir compte de l'hétérogénéité du sol.

Il n'en reste pas moins vrai que l'humidimètre à neutrons est un moyen privilégié pour suivre l'évolution du stock d'eau du sol au cours du temps car il perturbe le milieu au minimum. Dans le cas étudié, par exemple, l'observation des variations d'humidité en profondeur s'est avérée intéressante car elle a permis de contrôler indirectement

l'importance du drainage (donc des migrations de matières) et la répartition de l'activité racinaire sous forêt et sous bananeraie. Ces variations d'humidité sont maximales dans les 30 premiers centimètres sous bananeraie et dans les 100 premiers centimètres sous forêt mais elles y atteignent encore plus de 10% jusqu'à 3 m et 2 à 5% vers 4-6 m ; ce qui pose bien des problèmes fondamentaux sur l'efficacité des différents étages du réseau racinaire. Les humidimètres à neutrons gagneraient donc à être couplés à d'autres dispositifs capables de préciser les flux et leur direction.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement M. Marini, responsable du laboratoire d'utilisation des radioisotopes de 1969 à 1971, qui a installé le dispositif de mesure et a supervisé les relevés hebdomadaires des deux premières années.

M. Gouyon qui a assuré la maintenance électronique du matériel,

et tous les techniciens qui ont exécuté les mesures dans des conditions pas toujours faciles (en particulier, Des Tureaux (P.), Diallo (H.)... Traore...).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Couchat (P.) – 1974 – Mesure neutronique de l'humidité des sols. *Thèse Doct. ès Sciences.* Université de Toulouse.

Girard (G.), Sircoulon (J.) et Touchebeuf (P.) – 1971 – Le réseau hydrographique in « Le milieu naturel de Côte d'Ivoire –, *Mémoire ORSTOM*, Paris, n° 50, 391 p.

Godefroy (J.), Roose (E. J.) et Muller (M.) – 1970 et 1975 – Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Côte d'Ivoire. *Fruits* 1970, 25, 6, pp. 403-420. *Fruits* 1975, 30, 4, pp. 223-235.

Huttel (Ch.) – 1971 – Estimation du bilan hydrique dans une forêt sempervirente de basse Côte d'Ivoire. I.A.E.A. Vienne, 1971. *Isot. and Rad. in soil plant relationships including forestry*, p. 439.

Huttel (Ch.) – 1975 – Recherches sur l'écosystème de la forêt subéquatoriale de basse Côte d'Ivoire. IV. Estimation du bilan hydrique. *Rev. Ecol. Appl.*, 29, pp. 192-202.

Marcesse (J.) – 1967 – Détermination *in situ* de la capacité de rétention d'un sol au moyen de l'humidimètre à neutrons. I.A.E.A. Proc. Symp. Istambul, juin 1967. *Isot. and Rad. tech. in soils physics and irrig. Studies.*

Moulo (N.) – 1974 – Etude comparative des sols sous forêt et sous bananier sur schistes à Azaguié d'après deux toposéquences. *Rapport de stage ORSTOM.* Abidjan, 99 p. multigr.

Moutonnet, Marini

Peyremorte (P.), Philippeau (G.) et Marcesse (J.) – 1971 – Optimisation de l'échantillonnage pour déterminer les bilans hydriques sous culture au moyen de l'humidimètre à neutrons. I.A.E.A. Vienne, 1971, *Isot. and Rad. in soil plant relationships including forestry.*

Roose (E. J.) et Godefroy (J.) – 1967 – *Lessivage des éléments fertilisants sous bananeraie.* Tananarive. Coll. fertilité des sols tropicaux comm., 114, pp. 1405-1409.

Roose (E. J.) – 1968 – Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 2, pp. 235-249.

Roose (E. J.) et Henry des Tureaux (P.) – 1970 – Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans les sols en place. *Agron. Trop.*, 25, 2, pp. 1079-1087.

Roose (E. J.) et Godefroy (J.) – 1977 – Pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique remanié sur schistes sous forêt et sous bananeraie fertilisée de basse Côte d'Ivoire : a) *ORSTOM*, Abidjan, 116 p., multigr. b) *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 1977, n° 4.