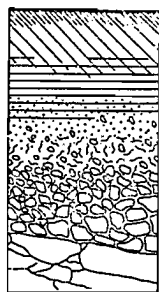


Yoro GBALLOU

**MODIFICATION DES PROFILS CULTURAUX  
DES SOLS FERRALLITIQUES SUR SABLES TERTIAIRES  
APRÈS MISE EN CULTURE TRADITIONNELLE  
ET SEMI-MOTORISÉE**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE D'ADIPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN



Novembre 1984

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME

B.P. V51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

---

Laboratoire de Pédologie

MODIFICATION DES PROFILS CULTURAUX  
DES SOLS FERRALLITIQUES SUR SABLES TERTIAIRES  
APRÈS MISE EN CULTURE TRADITIONNELLE ET SEMI-MOTORISÉE

par  
YORO (Gballou )

## INTRODUCTION

Dans la région de Bonoua les paysans pratiquent, parallèlement à l'agriculture traditionnelle dans le cadre des vivriers (igname, manioc, banane plantain, maïs...), l'agriculture semi-motorisée (défrichage, enfouissement des résidus végétaux, labours, pulvérisage...) pour la production d'ananas. Les modifications des profils culturaux provoquées par chacun des deux types d'exploitation peuvent paraître a priori différentes (YORO, 1979 ; De BLIC, 1976...) surtout au niveau des horizons supérieurs.

Cette étude se propose, à partir de deux méthodes au champ, de relever quelques caractéristiques concernant la morphologie et surtout la perméabilité et la cohésion du sol avant et après mise en culture traditionnelle ou semi-motorisée. Elle est donc un peu en marge du programme de recherche en milieu paysan mené à Bonoua (YORO et GODO, 1983) et dans lequel il est prévu un suivi de l'évolution des propriétés physiques (Is, granulométrie, porosité...) et chimiques (pH, C.E.S. S/T, m.o...) des sols sous cultures villageoises.

Le milieu de l'étude est celui que nous avons déjà décrit (YORO 1984).

## I. METHODOLOGIE

L'étude porte essentiellement sur l'utilisation de deux méthodes au champ : la perméabilité (Pioger) et la pénétrométrie. Celles-ci permettent chacune de mettre en évidence les hétérogénéités ou les homogénéités verticales du sol (AUDRY et al., 1973 ; MONG GINE 1979 ; BILLOT, 1982...) qui jouent un rôle non négligeable dans la répartition des racines (VIEHMEYER et HENDRICKSON, 1948).

Les deux méthodes ont été effectuées dans les profils culturaux épais de 50 cm.

### 1.1. Méthode de Perméabilité ou Pioger

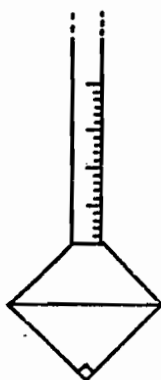
La méthode Pioger permet d'estimer la vitesse d'infiltration d'une lame d'eau connue. Elle consiste à enfoncer dans le sol un cylindre de 10 cm de diamètre protégé par un anneau de garde de 30 cm de diamètre. On verse simultanément dans les deux cylindres (intérieur et extérieur) une charge initiale de 10 cm d'eau. L'infiltration dans le cylindre central est ensuite étudiée en maintenant en permanence son niveau d'eau égal à celui de l'anneau extérieur (en ajoutant ou retirant de l'eau dans ce dernier).

La charge initiale dans le cadre de ce travail a été de 7 cm. Ceci s'explique par le fait que les sols étudiés sont très meubles voire bouillants en surface de telle sorte qu'on a été amené à enfoncer suffisamment les cylindres pour les stabiliser.

Il faut signaler que si la méthode Pioger permet de détecter les hétérogénéités des horizons d'un profil, elle n'autorise, par contre, pas à mettre en évidence les organisations pelliculaires superficielles (dépôts de sable, croûte de battance...) comme le simulateur de pluie (ASSELINE et VALENTIN, 1978 ; VALENTIN 1981).

### 1.2. Méthode de la pénétrométrie

Pour notre étude nous avons utilisé le pénétromètre à percussion qui convient surtout aux sols tropicaux (BILLOT, 1982). Son emploi consiste à faire pénétrer dans le sol une tige graduée de 50 cm munie à son extrémité inférieure d'une pointe conique (90° : schéma 1).



**SCHEMA 1 : EXTREMITE DE LA TIGE GRADUEE MONTÉE SUR LE PENETROMETRE A PERCUSSION UTILISE**

Pour ce faire on laisse tomber une masse de poids connu le long d'une autre tige de hauteur également connue. Cette masse frappe une petite enclume soudée à l'extrémité supérieure de la tige graduée qui s'enfonce alors petit à petit dans le sol sous l'effet des coups répétés.

Le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer un centimètre de la tige graduée permet de calculer la pression grâce à la formule empirique dite "des Hollandais" :

$$R = \frac{P^2 H}{2(P+p) ES}$$

où R : est la résistance à la pénétration en kg/cm<sup>2</sup>  
 P : le poids du mouton (masse) en kg  
 p : le poids de la tige et de l'enclume en kg  
 S : la section de la pointe conique en cm<sup>2</sup>  
 H : la hauteur de chute du mouton en cm  
 E : l'enfoncement par chute du mouton en cm.

Les humidités du sol constituant l'un des facteurs importants de variation de la résistance à la pénétration (VALENTIN 1981 (a) ; MAERTENS, 1964) la méthode a été effectuée au cours d'une seule saison (sèche) et pendant un laps de temps très court.

### 1.3. Protocole

L'étude a été conduite sur cinq sites différents caractérisés les uns et les autres par le passé cultural ou le type d'exploitation agricole (traditionnelle ou semi-motorisée). Nous avons ainsi des sols sous jachère de 15 ans environ (N<sub>I</sub>) et de 5 ans (K) et des sols sous cultures vivrières (N<sub>II</sub>) itinérantes et sous cultures mécanisées (S et SK). Pour ces derniers, les mesures ont été effectuées d'une part entre billons et d'autre part sur billons.

Les sols sous jachère ancienne vont servir de témoin. Les résultats obtenus sur les sites en cultures ou ayant récemment porté des cultures seront donc comparés à ceux de la vieille jachère (15 ans).

Sur chaque site cinq mesures infiltrométriques et cinq mesures pénétrométriques ont été effectuées en différents points. Chacune des premières a été répétée successivement trois fois afin d'apprécier la vitesse d'infiltration après un premier écoulement.

### 1.4. Les sols étudiés.

Les sols étudiés sont tous ferrallitiques fortement désaturés, appauvris sur sables tertiaires. Ils occupent les plateaux (YORO, 1984) et possèdent des horizons superficiels (A<sub>11</sub> et A<sub>12</sub> / 0-15, 15-30 cm) sableux. Selon la nature du couvert végétal ou le type d'exploitation agricole, ils présentent les caractéristiques morphologiques suivantes.

Sous jachère : Ils sont brun foncé (10YR 3/3), meubles et de structure à tendance fragmentaire, grumeleuse fine en surface (0-12 cm). En dessous, la structure devient massive avec des débits moyens.

Sous cultures traditionnelles : Ils sont bruns à brun pâle (10YR 5/3-6/3) en surface, bouillants et de structure grumeleuse très fine peu développée à tendance particulaire. Les éléments structuraux sont très fragiles.

Tableau 1 : Résultats de la perméabilité (Ploger)

Hauteur En (cm)	Temps (s)																				
	NI			N			K			Sur billons			S Entre billons			Sur billons			SK Entre billons		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	13	19	21	10	12	11	8	9	9	6	9	9	9	16	20	9	13	13	11	23	21
5	32	39	41	19	22	22	16	19	18	14	18	23	17	35	39	18	22	22	26	43	43
4	46	57	63	28	33	34	27	31	28	26	34	39	49	70	77	30	35	35	51	79	77
3	59	80	88	41	47	48	34	41	40	39	46	53	74	109	120	45	49	44	81	124	115
2	74	103	112	54	64	64	48	54	51	57	61	72	100	153	165	60	62	64	115	155	155
1	93	129	139	69	78	79	59	66	64	71	77	90	145	203	215	74	75	78	159	196	198
0	118	156	171	112	128	144	71	79	78	85	93	106	190	249	271	90	96	107	196	244	248

N.B. : 1, 2 et 3 sont le nombre de répétitions

Sous cultures semi-motorisées : Ils sont, sur les 15 cm supérieurs des billons, brun pâle (10YR 6/3). Boulants et de structure fragmentaire grumelleuse à tendance particulaire. Entre les billons on observe un dépôt de sables recouvert d'une pellicule plus ou moins fragile (cf. plus loin fig. : 8 et 9).

A partir de 30 cm de profondeur ces sols s'enrichissent progressivement en éléments fins (argile) en passant de sablo-argileux à argilo-sableux.

## II. RESULTATS

### 2.1. Perméabilité

Les résultats obtenus sur les cinq sites par la méthode Pioger sont consignés dans le tableau 1. Ils sont traduits en courbes sur les figures 1 à 5. De leur examen on peut noter les points suivants.

- La vitesse d'infiltration diminue plus ou moins quand on reprend la mesure deux à trois fois de suite sur la même surface. Sur N<sub>II</sub> elle passe de 225 cm/h à la première mesure à 175 cm/h à la troisième. Sur N<sub>I</sub> elle est respectivement, pour chacune des trois répétitions, de 213 ; 161 et 147 cm/h. On constate le même phénomène sur les sites K<sub>I</sub>, S et SK. Cette diminution pourrait s'expliquer soit par :

\* la saturation très rapide due à une nette insuffisance des éléments fins (A+L) dans les horizons étudiés,

\* le temps de mouillabilité plus ou moins influencé par les propriétés hydrophobes ou hydrophiles (JACQUIN 1978) des éléments structuraux constitutifs. A la première infiltration de la lame d'eau ce serait l'hydrophobie qui l'emporterait sur la capacité d'absorption. Ainsi l'écoulement est-il beaucoup plus rapide qu'à la seconde ou troisième lame d'eau ;

\* le colmatage des pores provoqué par les premières infiltrations. En effet, les eaux de drainage interne déplacent avec elles des éléments fins (lessivage) et des minéraux (lixiviation).

- la vitesse d'infiltration (173 cm/h) enregistrée sur le site témoin (N<sub>I</sub>) est inférieure à celle obtenue respectivement sur N<sub>II</sub> (198 cm/h) K (332 cm/h) et sur les billons (263 cm/h).

- La perméabilité (109 cm/h) mesurée dans l'espace interbillon est sensiblement inférieure à celle des autres sites.

- L'écoulement de l'eau en profondeur est régulier sur les sols en jachère et sur les billons (fig. : 1, 3, 4 et 5), alors qu'entre les billons et sur N<sub>II</sub> on remarque un ralentissement de la vitesse d'infiltration (fig. : 3, 4 et 5). Dans l'espace interbillon ce ralentissement se produit très tôt entre 20 et 40 secondes. Sur N<sub>II</sub>, il se manifeste, par contre, vers la fin de l'infiltration (70 et 80 secondes).

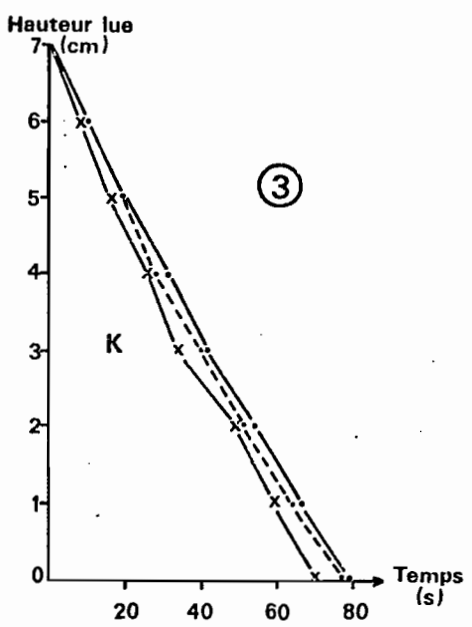
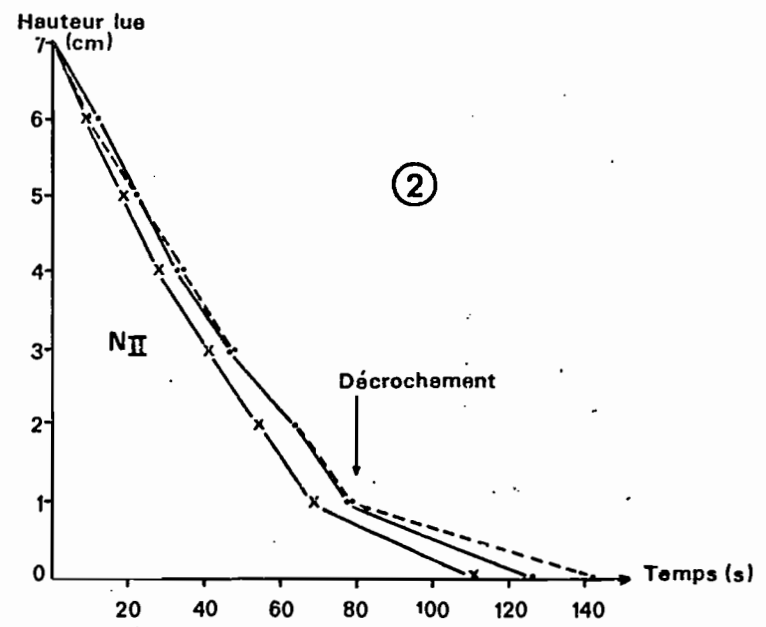
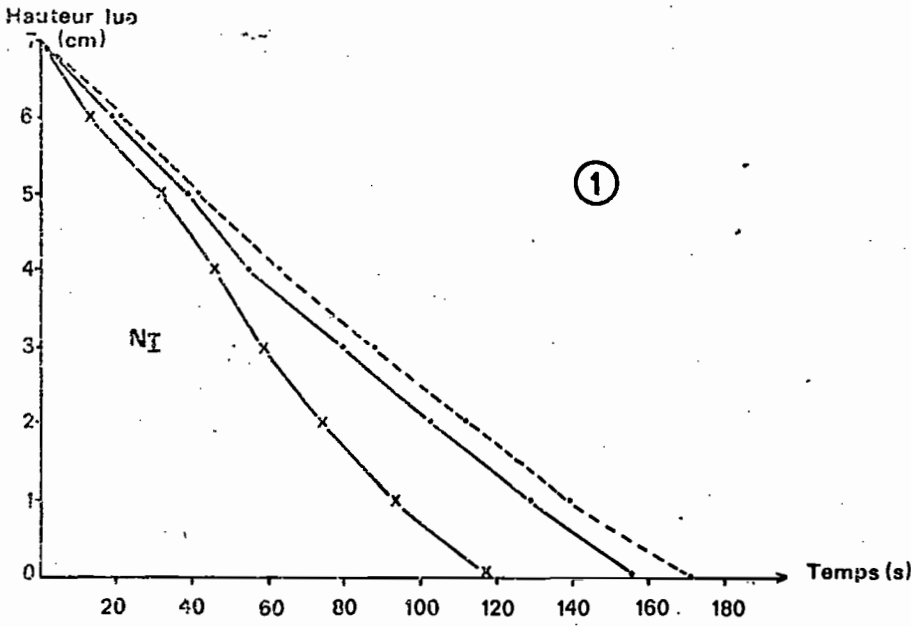
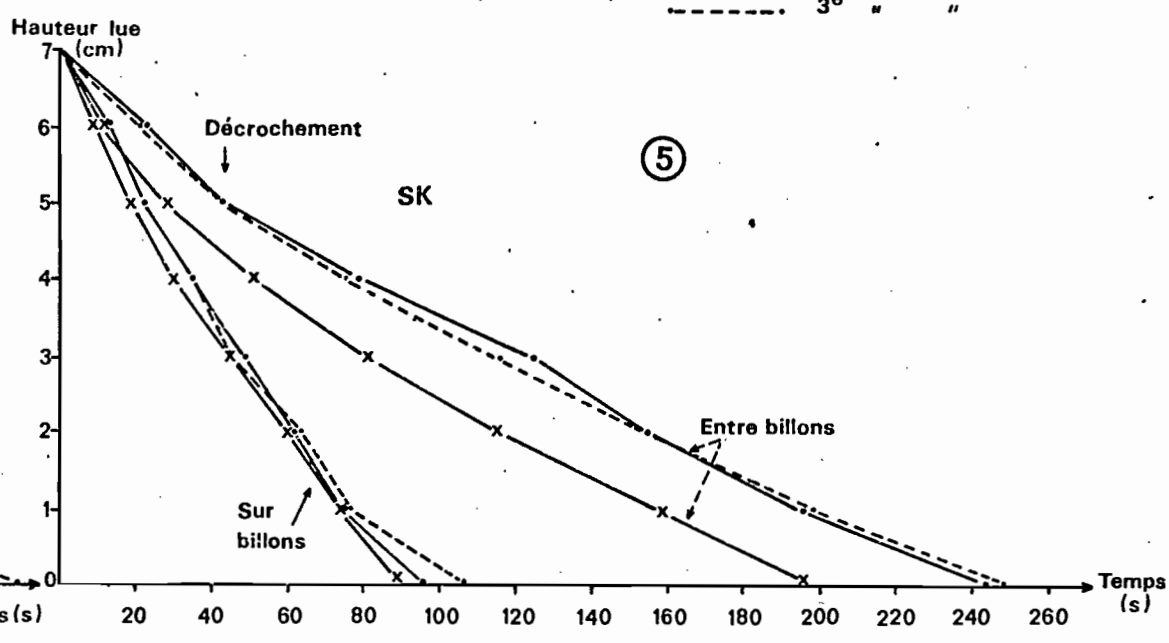
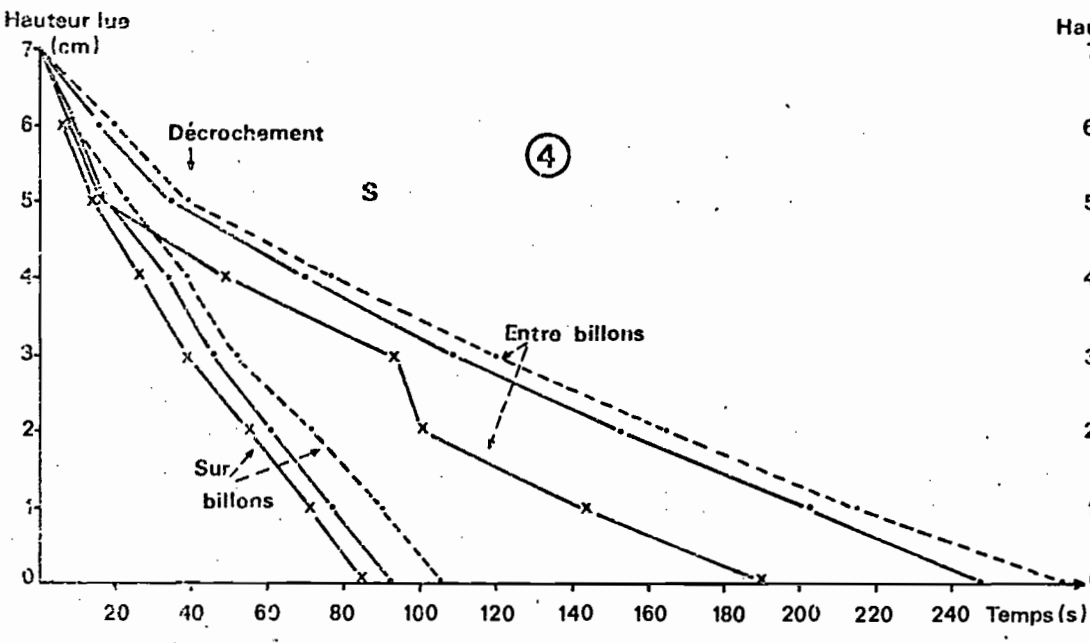


FIG. : COURBES DE PERMEABILITE

x — x 1<sup>ère</sup> répétition  
 . . . 2<sup>e</sup> " "  
 - - - 3<sup>e</sup> " "





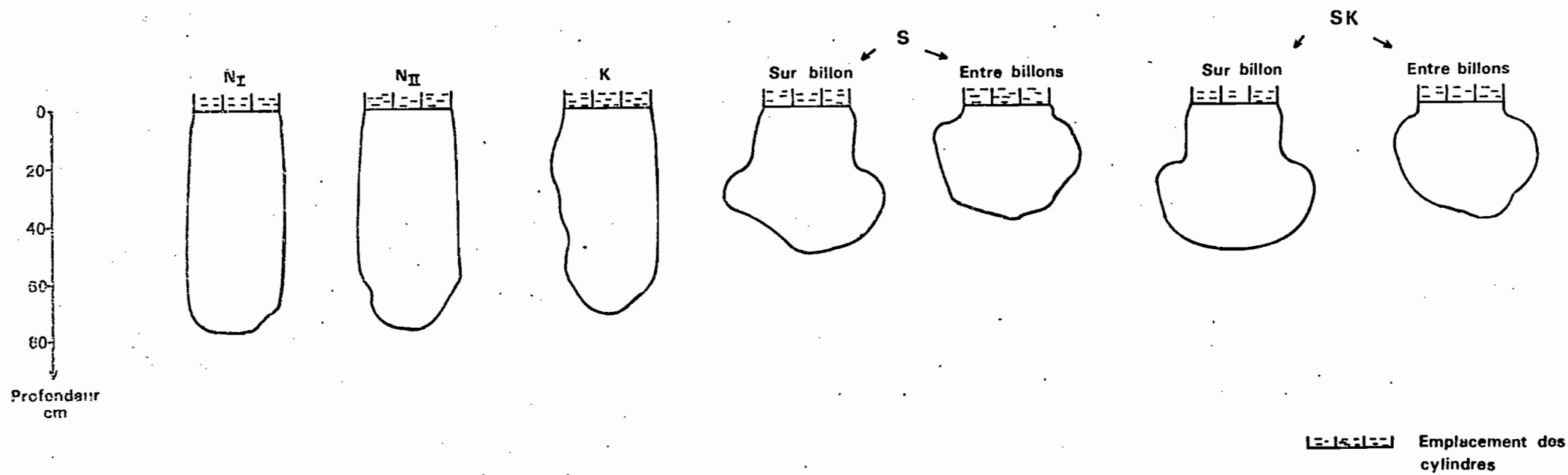


FIG. 6 : FORME DES FRONTS D'INFILTRATION SUR LES DIFFERENTS SITES ETUDIES

- Les horizons superficiels sont plus perméables que ceux sous-jacents.

Ces constatations nous amènent aux analyses suivantes :

La vitesse d'infiltration (verticale) dépend des facteurs internes, c'est-à-dire purement édaphiques (cohésion, porosité, texture, teneur en matière organique...) et externes (travail du sol). Les premiers expliqueraient le ralentissement de l'écoulement de la lame d'eau apportée en dernière position sur une même surface. Les seconds nous situent par contre sur les variations horizontales c'est-à-dire quand on passe d'un site à l'autre. Ces variations sont marquées et traduisent les incidences du travail de préparation sur les caractéristiques physiques des sols.

Les vitesses d'infiltration enregistrées respectivement sur billons (263 cm/h) et entre billons (107 cm/h), comparées à celle obtenue sur  $N_I$  (173 cm/h) montrent deux aspects du travail motorisé. L'un, positif, se traduit par une augmentation de la perméabilité. L'autre, négatif, se manifeste par un ralentissement de l'écoulement interne de l'eau. Dans ce dernier aspect on peut inclure l'érodibilité accrue des sols labourés. On observe, en effet, dans les espaces interbillons, des dépôts de sables d'épaisseur comprise entre 5 et 10 cm suivant les points. Ces dépôts sont le résultat d'un micro-colluvionnement c'est-à-dire d'une accumulation d'éléments fins sableux arrachés aux billons. Ce micro-colluvionnement rappelle celui que BERGER (1964) avait signalé entre les buttes d'igname. Le ralentissement presque brutal de la vitesse d'infiltration dans les espaces interbillons (fig. : 4 et 5), dès le début, s'accorde avec l'existence de deux couches différentes. La première, de structure à tendance particulaire et constituée de sables, est très perméable et mince. La seconde, de structure massive, est épaisse et relativement peu perméable. Le labour crée donc une discontinuité structurale verticale marquée.

La forme des fronts d'infiltration (fig. : 6) souligne sensiblement cette hétérogénéité. Sur les 10 premiers centimètres environ, la largeur du profil mouillé correspond à peu près au diamètre du cylindre extérieur. En dessous, cette largeur domine le diamètre de l'anneau de garde. On peut donc penser qu'il intervient un drainage latéral au-delà du dépôt de sables. Ce drainage latéral confirme ainsi la différence de perméabilité verticale des horizons entre billons.

Le profil mouillé met également en évidence la discontinuité entre la couche ameublie (billon) et l'horizon sous-jacent, non travaillé. Le drainage latéral intervient ici tardivement entre 20 et 30 cm de profondeur (à partir du sommet des billons). Cette discontinuité n'est pas perçue sur les courbes d'infiltration (fig. : 4 et 5) peut-être à cause de l'épaisseur des billons et de l'écoulement horizontal qui doit être également rapide.

Sur sol en cultures traditionnelles ( $N_{II}$ ), il existe aussi une discontinuité entre les horizons travaillés et ceux non travaillés sous-jacents (fig. : 2). Mais celle-ci est peu marquée et se produit en profondeur (40-50 cm). En plus elle est très peu perceptible sur le profil mouillé qui est régulier et homogène.

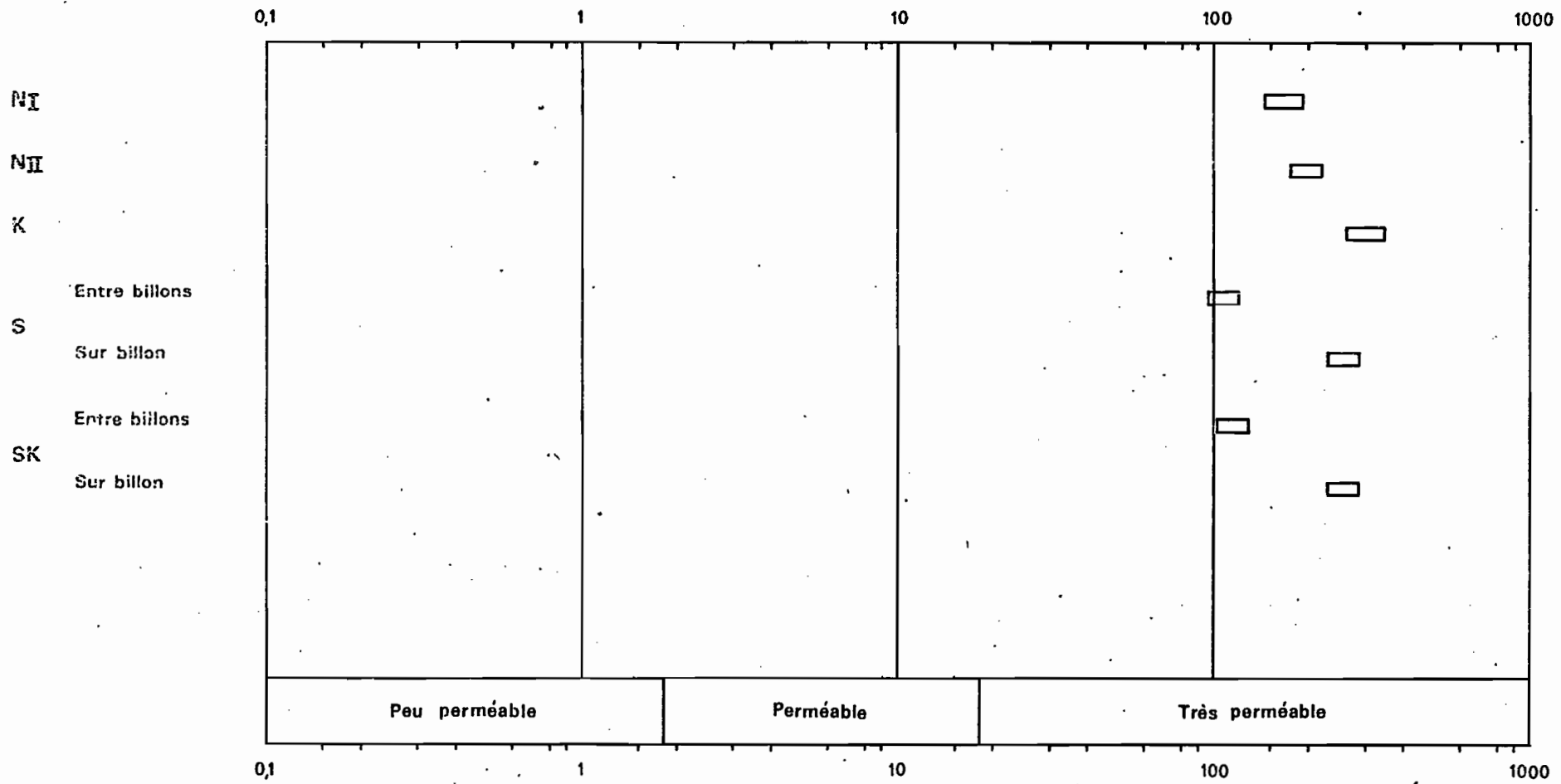


FIG. 7 : PERMEABILITE DES PROFILS CULTURAUX DES DIFFERENTS SITES

La forme régulière du profil mouillé peut s'expliquer par le fait que l'horizon sous-jacent est aussi très perméable et ne permet pas, même s'il ralentit la vitesse d'écoulement, un étalement du front d'humectation. La profondeur du profil mouillé qui oscille entre 40 et 70 cm pour une lame d'eau de 21 cm (7 x 3) souligne aussi, quant à elle, l'extrême rapidité de l'infiltration due à une insuffisance d'éléments fins (A+Lf) susceptibles d'absorber l'eau.

Les sols des cinq sites étudiés se classent tous, d'ailleurs, parmi les "très perméables" (POSS, 1978) comme les sols forestiers du Cameroun (HUMBEL, 1975).

En conclusion on peut retenir que la perméabilité du sol, en un moment donné, varie en fonction des types d'exploitation agricole (jachère, cultures traditionnelles ou semi-motorisées). Ces variations traduisent des discontinuités ou hétérogénéités verticales induites par les travaux de préparation du sol. On retiendra surtout que les modifications provoquées par le labour sont plus marquées que celles dues à la pratique traditionnelle.

## 2.2. Résistance à la pénétration

Les résultats consignés dans le tableau 2 ont permis de tracer les profils pénétrométriques représentés sur les figures 8, 9 et 10. L'observation de celles-ci fait ressortir les points suivants.

- La résistance à la pénétration est relativement plus faible dans les sols sous cultures traditionnelles ( $N_{II}$ ) que dans ceux en jachère ( $N_I$  et  $K$ ). La différence s'accroît en profondeur surtout entre  $N_{II}$  et  $K$ .

- Sur les trois sites  $N_I$ ,  $N_{II}$  et  $K$ , elle croît de 0 à 25 cm avant de se stabiliser en profondeur. Elle est toutefois plus faible dans les horizons superficiels que dans les couches sous-jacentes.

- Dans les 30 à 35 cm supérieurs des billons, la résistance est inférieure (5,31 kg/cm<sup>2</sup>) à celle des sols sous jachère ( $N_I$  et  $K$  : 16,9-28 kg/cm<sup>2</sup>) et ceux sous cultures traditionnelles ( $N_{II}$  : 14,44 kg/cm<sup>2</sup>). Sur cette épaisseur, elle croît très progressivement et de façon légère.

- En-dessous de 30-35 cm des billons, la résistance augmente brutalement (de 5,31 à 12,70 kg/cm<sup>2</sup> et de 11,24 à 23,75 kg/cm<sup>2</sup>).

- Dans les espaces interbillons, l'augmentation brutale de la résistance intervient, très tôt, à partir de 5 cm et atteint son maximum entre 25 et 30 cm (42 à 50 kg/cm<sup>2</sup>) avant de chuter en profondeur (28-30 kg/cm<sup>2</sup>).

De ces évolutions de la résistance à la pénétration sur les différents sites étudiés on peut tirer les analyses suivantes :

- \* La cohésion des sols ferrallitiques sur sables tertiaire est plus faible en surface qu'en profondeur. Cette remarque s'accorde avec les résultats des travaux de POSS (1978), MONG GINE (1979) et VALENTIN (1981).

Tableau 2 : Résultats de la pénétrométrie à masse

	N <sub>I</sub>		N <sub>II</sub>		K		S				SK			
	Sur billon	entre billons	Sur billon	entre billons	Sur billon	entre billons	Sur billon	entre billons	Sur billon	entre billons	Sur billon	entre billons	Sur billon	entre billons
	nb.c	R(kg/cm <sup>2</sup> )	nb.c	R	nb.c	R	nb.c	R	nb.c	R	nb.c	R	nb.c	R
0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	14	4,12	10	2,94	14	4,12	6	1,76	16	4,72	5	1,47	10	2,94
10	47	9,75	31	6,18	44	8,87	17	3,24	86	20,74	15	2,94	53	12,69
15	92	13,27	66	10,37	90	13,63	30	3,83	195	32,73	31	4,72	179	37,76
20	135	12,70	110	13,03	151	18,18	50	5,90	330	39,80	53	6,48	328	44,63
25	193	17,12	164	16,01	237	25,40	80	8,87	472	42,08	60	5,01	491	49,10
30	250	16,93	213	14,44	330	27,80	113	9,75	609	40,90	88	5,31	612	35,92
35	308	17,12	259	13,63	416	25,40	151	11,24	741	39,80	131	12,70	738	37,76
40	367	17,53	313	16,01	504	26,30	231	23,75	830	26,30	203	21,34	850	33,47
45	430	18,64	370	16,93	594	26,78	388	47,51	922	27,28	350	43,32	976	37,76
50	487	16,93	435	19,38	689	28,32	565	52,60	1019	28,88	552	61,37	1078	30,06

nb.c : nombre de coups du mouton  
 R (kg/cm<sup>2</sup>) : Pression.

P = 0,248 kg  
 p = 0,622 kg  
 S = 2,543 cm<sup>2</sup>  
 H = 106 cm  
 E est la seule variable.

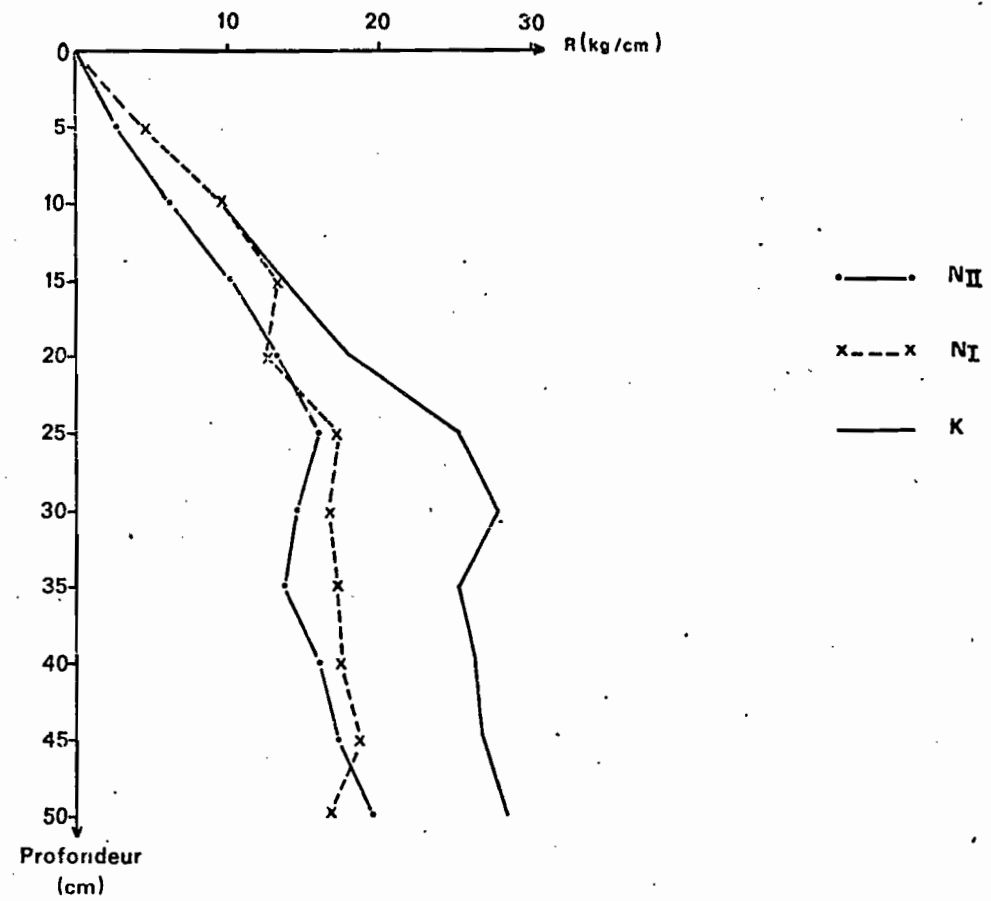
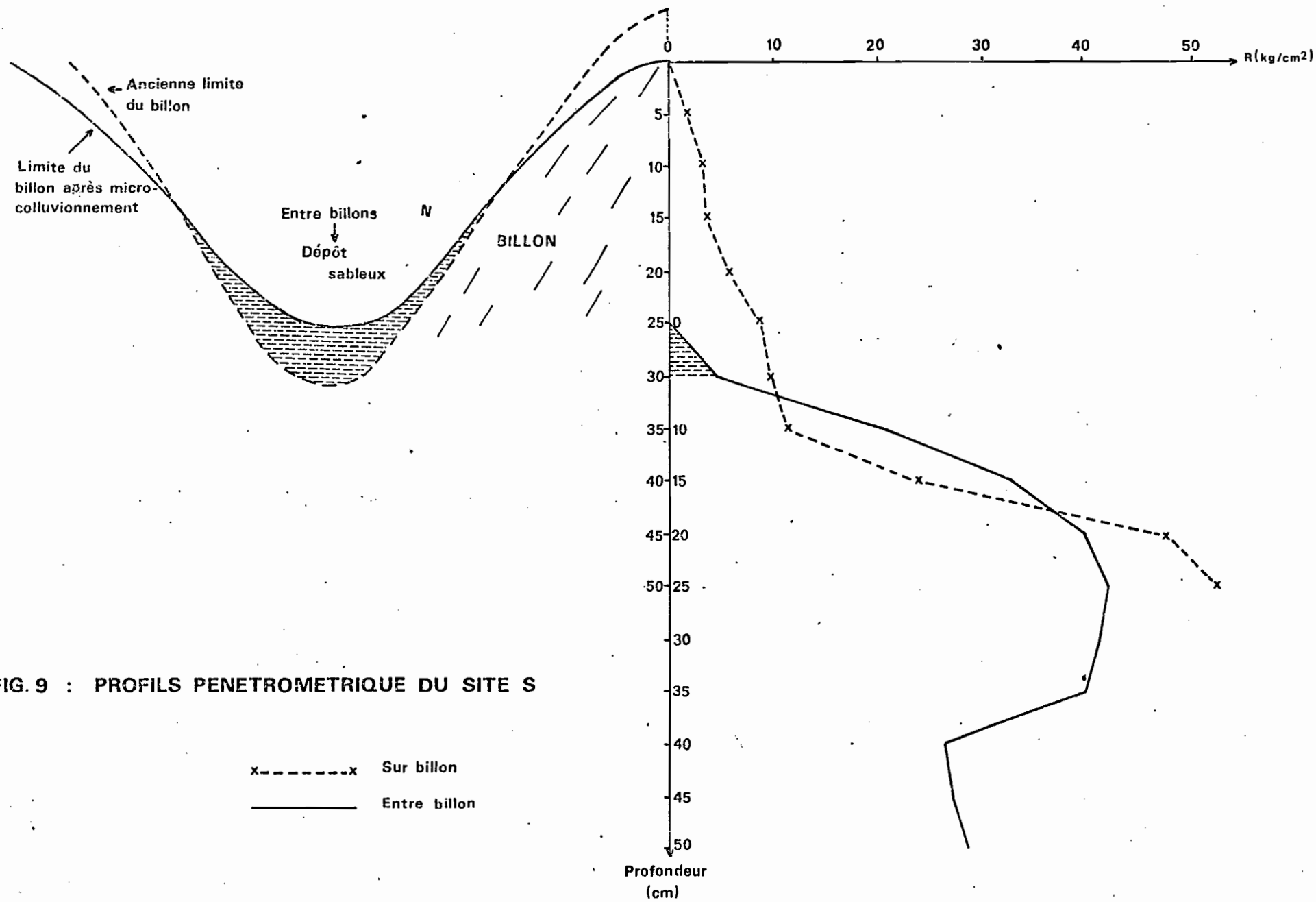
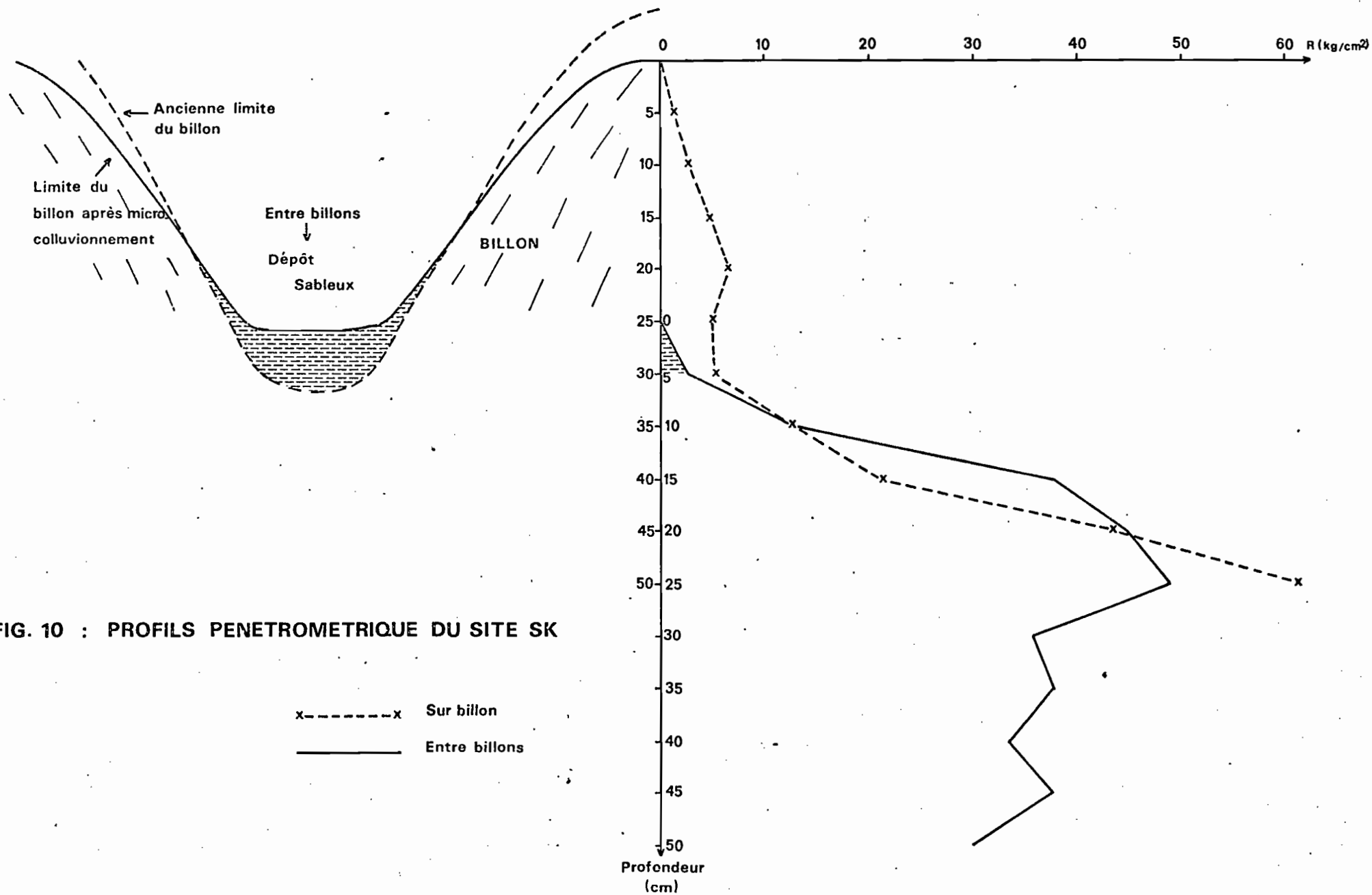


FIG.8 : PROFILS PENETROMETRIQUES DES SITES  $N_I$ ,  $N_{II}$  et K







\* La jachère en général et plus particulièrement celle qui est vieille favorise l'ameublissement du sol par l'action de la microfaune de la faune et des racines (MOREL et QUANTIN, 1964 ; JACQUIN, 1978).

\* Le travail du sol et essentiellement le labour diminue fortement la cohésion sur les premiers 30 cm du profil. Mais il accentue la discontinuité entre les horizons supérieurs et ceux sous-jacents. Cette discontinuité sur sol travaillé traditionnellement se rapproche de celle existant entre les horizons d'un sol en friche depuis 15 ans (fig. : 8). Le travail manuel provoquerait donc, sur le plan physique, des modifications négligeables par rapport à celles résultant de la motorisation (fig. : 9 et 10). Ces observations rejoignent celles déjà faites à propos de la vitesse d'infiltration et s'accordent, entre autres, avec les résultats de divers travaux (BERGER, 1964 ; HENIN, MONNIER et GRAS, 1969 ; de BLIC, 1975 et MOREAU 1978).

\* La discontinuité dans les espaces interbillons se manifeste dès les 5 premiers centimètres, alors que sur billons elle se produit à partir de 30 à 35 cm. Dans le premier cas, elle confirme l'existence de dépôts sableux très meubles reposant sur un horizon relativement cohérent. Dans le deuxième cas, elle souligne la différence entre les horizons labourés et les horizons sous-jacents non travaillés qui constituent dans la plupart du temps une limite de pénétration des racines (MEREDITH et PATRICK, 1961 ; BARLEY et GREACEN, 1967 ; de BLIC, 1976).

La pénétrométrie à percussion permet ainsi de déceler les hétérogénéités verticales des sols et de comparer celles-ci entre elles suivant le travail de préparation effectué lors de la mise en place des cultures. Elle permet également de relever, comme la méthode Pioger, les deux aspects (positif et négatif) du labour sur les caractéristiques physiques du sol (MOREAU, 1978).

## CONCLUSION

Les deux méthodes de terrain : la perméabilité Pioger et la pénétrométrie à percussion ont permis de mettre en évidence les modifications des caractéristiques physiques des profils culturaux sur sables tertiaires. Elles ont ainsi révélé que la pratique agricole traditionnelle provoque peu de transformations du sol au regard de celles dont la motorisation (labour, herbage, pulvérisage, sous-solage...) est responsable. En effet, ce type d'exploitation moderne crée des hétérogénéités verticales très marquées au niveau de la cohésion et de la perméabilité des sols. Ces hétérogénéités influencent très souvent le développement du système racinaire. A ce propos, BLONDEL (1966) note que "sur un sol non travaillé, à Bambej, les racines se développaient jusqu'à 1 mètre de profondeur, 45 % d'entre elles se trouvant entre 20 et 100 cm et que, par contre à Séfa, sur un terrain labouré, la quasitotalité des racines (95 %) était concentrée dans la couche superficielle.

Le labour suivi du hersage et du pulvérisage, en réduisant de manière excessive la taille des éléments structuraux des sols déjà très meubles comme ceux sur sables tertiaires, favorise l'érosion par le phénomène de rejaillissement (VALENTIN, 1981).

On tiendra surtout compte, dans toute mise en valeur moderne, des deux effets positifs et négatifs, mis en évidence grâce aux deux méthodes au champ et qu'exerce la motorisation sur les caractéristiques physiques des sols.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELIN J. et VALENTIN C., (1978).) Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol, 15, 4, 321-349.
- AUDRYP., COMBEAU A., HUMBEL F.X., ROOSE E. et VIZIER J.F.  
(1973).- Essai sur les études de dynamique actuelle des sols, 2, ORSTOM, Paris.
- BARLEY K.P., GREACEN E.L., (1967.- Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv. in agron. 19, 1-43.
- BERGER J.M. (1964).- Profils culturaux dans le centre de la Côte-d'Ivoire. Cah. sér. Pédol., vol., II, 1 p 41-67.
- BILLOT J.F. (1982).- Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. Bul. A.F.E.S. sci. du sol. n°3, 187-201.
- BLIC P. (de) (1975).- Comportement des sols après mise en culture mécanisée (région centre Côte d'Ivoire). ORSTOM, Adiopodoumé, 47 p., multigr.
- BLIC P. (de), (1976).- Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichage et mise en culture mécanisée : rôle des traits hérités du milieu naturel. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 14, 2, 113-130.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G. (1969).- Le profil cultural. Masson, Paris, 2e édition.
- HUMBEL F.X. (1975).- Etude de la macroporosité des sols par des tests de perméabilité : application d'un modèle de filtration aux sols ferrallitiques Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XIII, 2, 93-117.
- JACQUIN F. (1978).- Influence de la matière organique sur la structure du sol. ENSAIA-NANCY, P. 369-381.
- MAERTENS C. (1964).- La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Ann. Agron. 15,5 : 539-554.
- MEREDITH H.L. et PATRICK (1961).- Effects of soil compaction on sub soil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agr. J., 53:163-167.
- MONG GINE th. (1979).- Mise en culture et interaction eau-sol. Etude de trois sites en région ferrallitique de savane. ORSTOM, Adiopodoumé, 83 p., multigr.

- MOREAU R. (1978).- Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, n° 4 : 413-424.
- MOREL R., et QUANTIN P. (1964).- Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. Agr. Trop. XIX, n° 2 : 105-135.
- POSS R. (1978).- La dynamique de l'eau saturante dans les sols de la périphérie d'un inselberg en milieu ferrallitique de transition (Nord Côte d'Ivoire). Typologie des sols et tests hydrodynamiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 16, 2, 131-154.
- VALENTIN C. (1981) a).- Résistance mécanique à la pénétration de quelques sols ferrallitiques. Nord de la Côte d'Ivoire. ORSTOM Adiopodoumé, 25 p. multigr.
- VALENTIN C., (1981 b).- Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région sub désertique. Dynamique de formation et conséquence sur l'économie de l'eau. Thèse 3è cycle, Univer. Paris, VII.
- VIEHMEYER F.J. et HENDRICKSON A.H. (1948).- Soil density and root penetration. Soil sci., 65, 485-495.
- YORO G. (1979).- Aperçu sur les modifications du milieu naturel sous l'effet des pratiques culturales (TAI). ORSTOM, Adiopodoumé, 12 p., multigr.
- YORO G. et GODO G. (1983).- Recherche sur les systèmes de culture à base de manioc en milieu paysan dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Bonoua-Adiaké-Aboisso). Observations partielles sur les exploitations familiales de la région. ORSTOM, Adiopodoumé, 15 p. multigr. Annexe.
- YORO G. (1984).- Caractéristiques morpho-pédologiques des types de paysages sur sables tertiaires dans la région du Sud-Est (Bonoua). ORSTOM, Adiopodoumé.