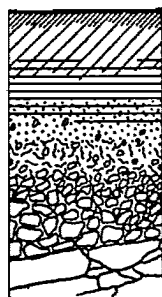


R. POSS, A. FORGET,
H. SARAGONI

**QUELQUES PROPRIETES PHYSIQUES ET
HYDRODYNAMIQUES DES TERRES DE BARRE**

ETUDE DES SOLS DE LA STATION AGRONOMIQUE
DE DAVIE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE LOME



Février 1984

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE LOME

QUELQUES PROPRIETES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES
DES TERRES DE BARRE
ETUDE DES SOLS DE LA STATION AGRONOMIQUE DE DAVIE

POSS, FORGET et SARAGONI

Février 1984

P l a n

INTRODUCTION

1- LES DEUX SITES ETUDIES

2- DETERMINATION DE LA POROSITE TOTALE

2-1. Méthode

2-2. Résultats et interprétation

3- COMPORTEMENT SOUS LAME D'EAU ET RESSUYAGE

3-1. Buts et méthode

3-2. Résultats et interprétation

3-2-1. Infiltration

3-2-1-1. Sous forêt

3-2-1-2. Sous jachère

3-2-2. Ressuyage

3-2-2-1. Sous forêt

3-2-2-2. Sous jachère

3-3. Conclusions

4- COMPOSITION VOLUMIQUE ET RESERVE UTILE

5- EVOLUTION ANNUELLE DE L'HUMIDITE

5-1. Méthode

5-2. Résultats et interprétation

5-2-1. Etat d'humectation du sol

5-2-2. Evaluation de l'évapotranspiration
réelle mensuelle

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE : Résultats des analyses chimiques

QUELQUES PROPRIETES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES
DES TERRES DE BARRE
ETUDE DES SOLS DE LA STATION AGRONOMIQUE DE DAVIE

R. POSS*, A. FORGET*, H. SARAGONI**

INTRODUCTION

Les terres de Barre ne représentent qu'une très faible partie des sols du TOGO puisqu'elles ne couvrent qu'une bande de 40 à 50 kilomètres à proximité du littoral. Elles présentent cependant un intérêt économique considérable car elles supportent des densités de population atteignant parfois 300 habitants/km² (recensement de 1981) et elles contribuent largement à l'alimentation de la ville de Lomé. L'épuisement et la dégradation de ces sols surexploités a été constatée depuis longtemps (DABIN, 1956), mais tous les efforts de protection des sols se heurtent à l'impossibilité de ménager des jachères avec les densités actuelles. C'est pourquoi l'IRAT expérimente sur sa station de DAVIE les possibilités de fumure minérale afin de conserver un niveau de production suffisant. Dès les premières études, le faible taux de potassium avait été noté comme principal facteur limitant chimique et il semble provenir d'un entraînement particulièrement rapide dans ces sols réputés bien drainants. Une étude physique et hydrodynamique a donc été réalisée afin de comprendre le régime hydrique, les vitesses de circulation et les capacités de stockage de ces sols.

1- LES DEUX SITES ETUDIES

Les terres de Barre sont issues des dépôts corrélatifs de la phase d'érosion fini-tertiaire qui a succédé à une longue phase climatique chaude et humide ayant donné naissance à des sols ferrallitiques épais. Le matériau originel des terres de Barre est donc de nature ferrallitique, principalement composé de quartz et de kaolinite associée à des oxydes de fer. Ce matériau rouge, sans éléments grossiers, très homogène latéralement a peu évolué au cours du quaternaire, le processus pédologique le plus marquant étant un appauvrissement des horizons superficiels. Les terres de Barre forment actuellement de

grands plateaux en pente très faible entaillés par quelques cours d'eau (Sio, Haho, Mono). La station IRAT est située sur l'un d'eux et elle est composée de sols représentatifs de la région.

Afin de comprendre les modifications du sol liées à la mise en culture, nous avons entrepris l'étude simultanée de deux sites distants de quelques centaines de mètres. Le premier (DAV 1) est situé dans une forêt sacrée et représente donc le témoin naturel. Le deuxième (DAV 2) se trouve dans les parcelles d'essais, sur un sol anciennement forestier mis en culture depuis 13 ans et qui est sous jachère herbacée depuis 3 ans. Les dernières façons culturales ont été un labour à la charrue à disques et un travail superficiel avec les disques en 1979.

La morphologie des deux sols (tableaux 1 et 2) diffère profondément dans les horizons supérieurs. Sous forêt la surface du sol est entièrement recouverte de feuilles. Sous ces feuilles se développe une activité biologique intense qui se traduit par de très nombreux micropeds et une perforation considérable de la surface du sol. Le premier horizon, très caractéristique des sols forestiers, présente, sur quatre centimètres, une structure grumeleuse très fine (micropeds), une très faible cohésion et une grande abondance de racines fines. De 4 à 15 centimètres, la structure devient plus grossière et les racines moins abondantes, mais avec une forte proportion de grosses racines horizontales, bien que la limite de l'horizon sous-jacent ne corresponde ni à un contraste textural, ni à un contraste structural. Entre 15 et 30 centimètres, le taux de matière organique diminue nettement et la structure devient massive par endroits.

La mise en culture a modifié cette organisation. La végétation ne couvre plus que 80 % du sol. La surface est glacée, sans perforation en fin de saison sèche, mais aucune organisation lamellaire superficielle n'apparaît. Le premier horizon (0-8 cm), qui correspond aux façons culturales, possède un taux de matière organique beaucoup plus faible que sous forêt (0,9 % contre 6,9 %), mais la structure reste fragmentaire car le sol a été peu cultivé et la végétation herbacée actuelle favorisé la formation d'agrégats (agrégats plus nombreux dans le chevelu racinaire). Ce caractère est hérité de la végétation naturelle et il disparaît après quelques années de culture intensive. Le deuxième horizon (8-18 cm) correspond au niveau labouré. La structure est à tendance massive malgré le taux de matière organique (0,75 %). L'apparition de cette compaction est fréquente dans les sols tropicaux mis en culture (de BLIC, 1976) ; elle est accentuée sur les terres de Barre par une cohésion élevée à l'état frais (qui disparaît à l'état humide) rendant le travail du sol difficile dès que le sol s'assèche. Le passage au troisième horizon est net, mais sans semelle de labour (travail du sol dans de bonnes conditions d'humidité). Cet horizon est très proche de l'horizon AB sous forêt dont il ne diffère que par une pénétration plus importante de la matière organique probablement liée au système racinaire de la couverture herbacée.

En profondeur, par contre, les deux sols sont peu différents, avec une couleur rouge sombre, une texture voisine, une faible structuration et une porosité développée. Cependant, en DAV 2, les racines des arbres ont disparu à la mise en culture, laissant des cavités parfaitement reconnaissables après 13 ans.

Profondeur (cm)	Typologie	Notation ABC	Couleur humide	Humidité	Taux de mo	Texture	Structure	Porosité	Cohésion	Abondance et taille des racines	Netteté - Régularité de la transition
0-4	Appumite grumoclode	A 11	5 YR 2,5/2	Frais	Humifère	S	Fragmentaire nette généralisée. Grumeuse TF (micropeds) à M associée à particulaire (sables déliés)	Très très poreux Très nombreux pores vacuolaires	Très meuble	Très nombreuses fines à très fines	Nette ondulée
4-15	Appumite	A 12	5 YR 3/2	Frais	Humifère	S a	Fragmentaire nette généralisée. Grumeuse grossière à très grossière	Très poreux Pores très nombreux F et M vacuolaires et tubulaires	Meuble	Nombreuses très fines à grosses	Distincte ondulée
15-30	Structichron dyscrophe	AB	2,5 YR 2,5/4	Frais	Peu humifère	S A	Fragmentaire peu nette massive par endroits. Polyédrique subanguleuse grossière	Poreux Pores très nombreux vacuolaires et tubulaires	Meuble	Nombreuses très fines à grosses	Distincte ondulée
30-80	Structichron	B 21	10 R 3/4	Frais - sec	Très peu humifère	A S	Fragmentaire peu nette. Polyédrique grossière	Poreux Pores F et M vacuolaires et cavités biologiques	Peu meuble (cf. humidité)	Peu nombreuses très fines à grosses	Distincte Régulière
80-190	Structichron	B 22	10 R 3/4	Frais - sec	Très peu humifère	A	Fragmentaire peu nette. Polyédrique grossière	Poreux Pores F et M vacuolaires et cavités biologiques	Peu meuble (cf. humidité)	Quelques fines Très rares grosses	-

Tableau 1 : Principaux caractères morphologiques du sol sous forêt (DAV 1)

Profondeur (cm)	Typologie	Notation ABC	Couleur humide	Humidité	Taux de mo	Texture	Structure	Porosité	Cohésion	Abondance et taille des racines	Netteté - Régularité de la transition
0-8	Arumite	A 11 p	5 YR 3/3	Frais	Humifère	S	Fragmentaire nette généralisée. Grumeleuse très fine à très grossière très nette + tendances particulières	Très poreux Porosité interagrégats	Meuble	Très nombreuses Très fines	Distincte Régulière
8-18	Arumite amerode	A 12 p	5 YR 3/2	Frais	Humifère	S a	Massive peu nette à éclats émoussés	Poreux Pores très nombreux très fins vacuolaires	Peu meuble (Meuble humide)	Peu nombreuses très fines	Nette Régulière
18-50	Structichron dyscrophe	AB	2,5 YR 3/4	(Frais) Humide	Peu humifère	S A	Fragmentaire peu nette. Polyédrique subanguleuse moyenne à grossière	Très poreux Pores très nombreux très fins et moyens vacuolaires	Meuble (cf. humidité)	Peu nombreuses très fines	Graduelle ondulée
50-115	Structichron	B 21	10 R 3/6	(Frais) Humide	Apparemment non humifère	A	Fragmentaire peu nette. Polyédrique (parfois subanguleuse). Moyenne à grossière	Poreux Pores fins et moyens vacuolaires. Quelques cavités biologiques	Meuble (cf. humidité)	Quelques passant à rares très fines	Diffuse Régulière
115-190	Structichron	B 22	10 R 3/6	(Frais) Humide	Apparemment non humifère	A	Fragmentaire nette Polyédrique moyenne à grossière	Poreux Pores fins à moyens vacuolaires	Meuble (cf. humidité)	Très rares Très fines	

Ttableau 2 : Principaux caractères morphologiques du sol sous cultures (DAV 2)

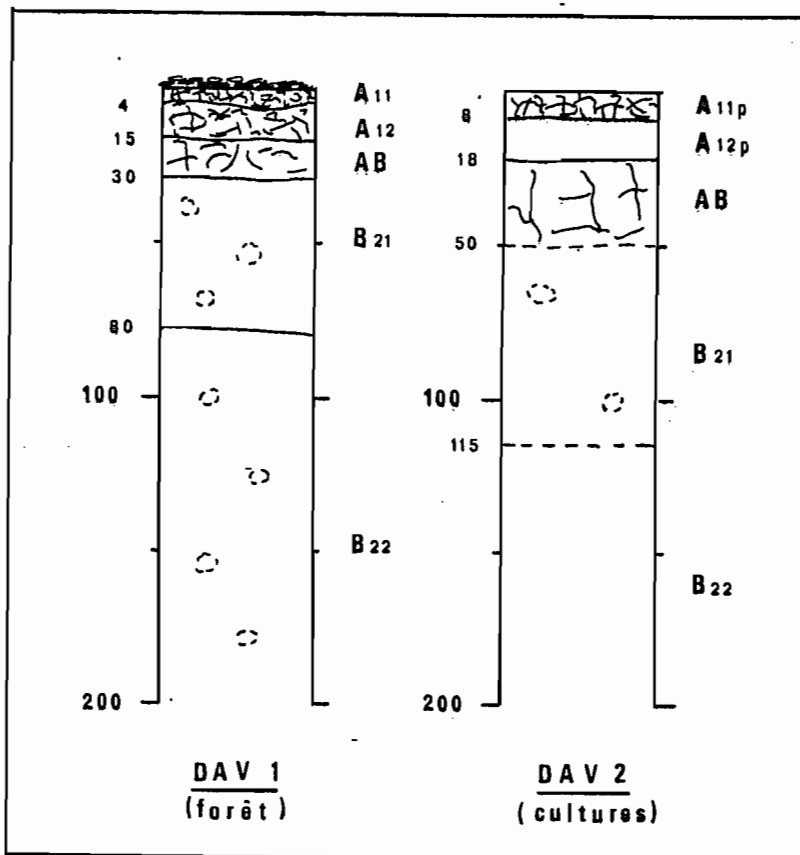


Figure 1. Représentation schématique des sols

2- DETERMINATION DE LA POROSITE TOTALE

2-1. Méthode

La porosité totale d'un horizon sans éléments grossiers est calculée à partir de sa densité apparente (d_a) et de sa densité réelle (d_r), à l'aide de la relation :

$$\text{Por. tot. (points)} = 100 \times (d_r - d_a) / d_r$$

La densité apparente a été déterminée au cylindre pour la majorité des horizons et au densitomètre à membrane pour les horizons où l'abondance des racines interdisait l'utilisation des cylindres. Le cylindre qui a été utilisé permettait des prélèvements de 250 cm³, le densitomètre des prélèvements jusqu'à 3 litres, mais que nous avons limité à des volumes compris entre 400 et 1300 cm³. Pour les deux méthodes une bonne répétabilité a été constatée et la précision a été évaluée (AUDRY et al., 1973) à 3 % en valeur relative (+ 0,05 pour une densité de 1,70, soit $\pm 1,5$ points pour une porosité totale de 50 points). Le nombre de répétitions a été fixé à 4 pour les horizons profonds et à 6 pour les horizons superficiels où la variabilité est plus élevée.

La densité réelle a été évaluée par ébullition (méthode ROOSE citée par AUDRY et al., 1973) sur un prélèvement soigneusement échantillonné. Le principe consiste à mesurer le volume occupé par un poids P de

terre en la faisant bouillir pendant 2 heures dans une fiole jaugée et en ajustant ensuite le niveau. Les pesées de la fiole pleine d'eau P1 et de la fiole contenant le mélange terre + eau P2 permettent de calculer rapidement la densité réelle :

$$d_r = \frac{P}{P + P_1 - P_2}$$

Cette méthode a été préférée à la méthode classique au pycnomètre en raison de sa rapidité et de sa simplicité, qui ont permis d'effectuer 3 répétitions sur chaque échantillon prélevé pour la densité apparente. En utilisant des échantillons de 50 grammes de terre, des ballons de 250 cm³ et un local climatisé à 20° C la précision est supérieure à 1 % en valeur relative : en effectuant 12 répétitions sur le même échantillon, les résultats ont été de 2,765 ± 0,015. Cette méthode est critiquable pour les horizons fortement organiques où l'ébullition décompose partiellement les molécules, mais le pycnomètre pose également des problèmes dans ces horizons en raison des débris qui flottent à la surface et perturbent la mise à niveau.

L'incertitude sur la porosité de chaque échantillon est donc inférieure à 4 %. Avec 4 répétitions (et en faisant l'hypothèse de la normalité), l'incertitude liée aux mesures sur la moyenne est donc inférieure à 2 % et avec 6 répétitions à 1,6 %. Mais l'hétérogénéité du sol accroît l'incertitude : la médiane, qui a été prise comme valeur centrale, est donc précise à ± 1,5 à 2 %, mais la porosité de l'horizon, à l'échelle des prélèvements, peut varier autour de cette valeur dans des limites estimées par les valeurs extrêmes des résultats (± 5 points en surface sous forêt, ± 1,5 points environ en B22 sous culture, cf. 2-2).

2-2. Résultats et interprétation

L'ensemble des résultats est reporté dans le tableau 3. Sous forêt la porosité passe de 61,5 points à 58,5 entre la surface et 15 centimètres. Ces valeurs sont du même ordre que celles obtenues au Cameroun (63 points en moyenne, HUMBEL, 1976) et au Centre Côte d'Ivoire (57 points, POSS et VALENTIN, à paraître). La porosité de surface des sols sous végétation forestière semble donc indépendante de la pluviométrie, qui passe de 1 500 - 2 000 mm au Cameroun à 1 200 mm en Côte d'Ivoire et 1 000 mm à Davié. En profondeur la porosité reste comprise entre 43,5 et 46 points. Ces valeurs sont nettement plus faibles que celles mesurées dans des sols ferrallitiques typiques (plus de 50 points, HUMBEL, 1976), mais du même ordre pour tous les sols ferrallitiques de savane, que ce soit en Côte d'Ivoire ou au Nord-Togo (total pluviométrique de 900 mm) : la porosité totale "hors éléments grossiers" reste toujours comprise entre 40 et 50 points dans les horizons AB et B (POSS, sous presse). Il faut y voir, d'une part l'influence du matériau ferrallitique, mais également celle des activités biologiques qui se développent de manière comparable sous des climats comportant l'alternance d'une saison sèche de 5 à 7 mois et d'une saison des pluies dont le total pluviométrique permet l'humectation de tout le profil, au moins jusqu'à deux mètres, en année normale.

Profil	Horizon	Répétition	Méthode C cylindre M membrane	Densité apparente	Densité réelle médiane (3 rep.)	Porosité totale	Densité apparente médiane	Porosité totale médiane
DAV 1 (forêt)	A 11	1	M	0,75	2,58	70,9	0,99	61,5
		2		0,90	2,56	64,8		
		3		0,96	2,56	62,5		
		4		1,02	2,57	60,3		
		5		1,06	2,60	59,1		
		6		1,14	2,60	56,1		
	A 12	1	M	1,09	2,62	58,4	1,09	58,5
		2		1,09	2,63	58,5		
		3		1,10	2,63	58,2		
		4		1,26	2,64	52,3		
	A B	1	C	1,48	2,66	44,4	1,51	43,5
		2		1,51	2,66	43,2		
		3		1,51	2,68	43,7		
		4		1,53	2,67	42,7		
	B 21	1	C	1,50	2,68	44,0	1,52	43,5
		2		1,51	2,70	44,1		
		3		1,54	2,68	42,5		
		4		1,55	2,68	42,2		
	B 22	1	C	1,37	2,68	48,9	1,45	46,0
		2		1,42	2,69	47,2		
3		1,49		2,69	44,6			
4		1,52		2,72	44,1			
DAV 2 (cultures)	A 11 p	1	C	1,49	2,64	43,6	1,52	42,5
		2		1,50	2,65	43,4		
		3		1,51	2,65	43,0		
		4		1,54	2,65	41,7		
		5		1,54	2,64	41,7		
		6		1,59	2,65	40,0		
	A 12 p	1	C	1,64	2,64	37,9	1,72	35,0
		2		1,72	2,66	35,3		
		3		1,72	2,64	34,8		
		4		1,75	2,65	34,0		
	A B	1	C	1,44	2,66	45,9	1,56	41,0
		2		1,56	2,67	41,6		
		3		1,57	2,65	40,7		
		4		1,64	2,65	38,1		
	B 21	1	C	1,37	2,67	48,7	1,46	45,0
		2		1,44	2,67	46,1		
		3		1,49	2,66	44,0		
		4		1,58	2,68	40,8		
	B 22	1	C	1,46	2,68	45,5	1,50	44,0
		2		1,48	2,68	44,8		
3		1,52		2,68	43,3			
4		1,54		2,68	42,5			

Tableau 3 : Densités apparentes, densités réelles et porosités totales à DAVIE

Sous jachère la porosité de surface est de 42,5 points, valeur habituelle dans les sols cultivés et variable annuellement au rythme des façons culturales. Le deuxième horizon est le moins poreux de tout le profil (35 points). Cette compaction du deuxième horizon est fréquemment constatée en zone intertropicale : elle provient probablement ici de travail du sol, mais elle est également favorisée par la tendance à la compaction de moyenne profondeur constatée sous les climats à saisons contrastées. Sa position dans le profil permet un ameublissement facile par les façons culturales. En profondeur, les porosités sont du même ordre de grandeur que sous forêt : la déforestation n'a donc pas conduit à un tassement du sol.

La mise en culture a donc produit une diminution de la porosité en surface particulièrement marquée entre 8 et 18 centimètres, alors qu'elle se maintient à des valeurs de l'ordre de 43 à 46 points en profondeur.

3- COMPORTEMENT SOUS LAME D'EAU ET RESSUYAGE

3-1. Buts et méthode

L'expérience d'infiltration-ressuyage qui a été réalisée visait à atteindre deux buts. D'une part il a été prouvé dans le Nord-Togo (POSS et FORGET, 1983) qu'une nappe perchée soutirante apparaissait au cours de la saison des pluies dans de nombreux sols et il était nécessaire de déterminer si de tels phénomènes pouvaient apparaître sur les terres de Barre. D'autre part le suivi du ressuyage devait permettre de déterminer la capacité au champ des deux sols.

Douze cylindres de type Muntz ont été implantés sur chaque sol selon la figure 2 et enfoncés de quelques centimètres. Une lame d'eau de 60 centimètres a alors été apportée par tranches de 10 centimètres de telle sorte que le sol reste toujours couvert d'une lame d'eau afin d'éviter un emprisonnement d'air entre deux couches d'eau. Cette valeur a été choisie pour humecter le sol jusqu'à deux mètres : lors de l'infiltration il se forme un bulbe qui peut être très large lorsque le sol renferme un horizon peu perméable (POSS, 1978). Ce bulbe nécessite un apport au moins deux fois supérieur à la quantité théoriquement suffisante. Par ailleurs il gomme la discontinuité introduite par l'utilisation de petits cylindres. Rapportée à la surface couverte par les cylindres, la lame d'eau introduite

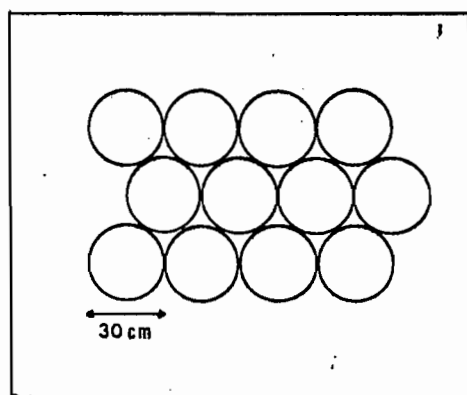


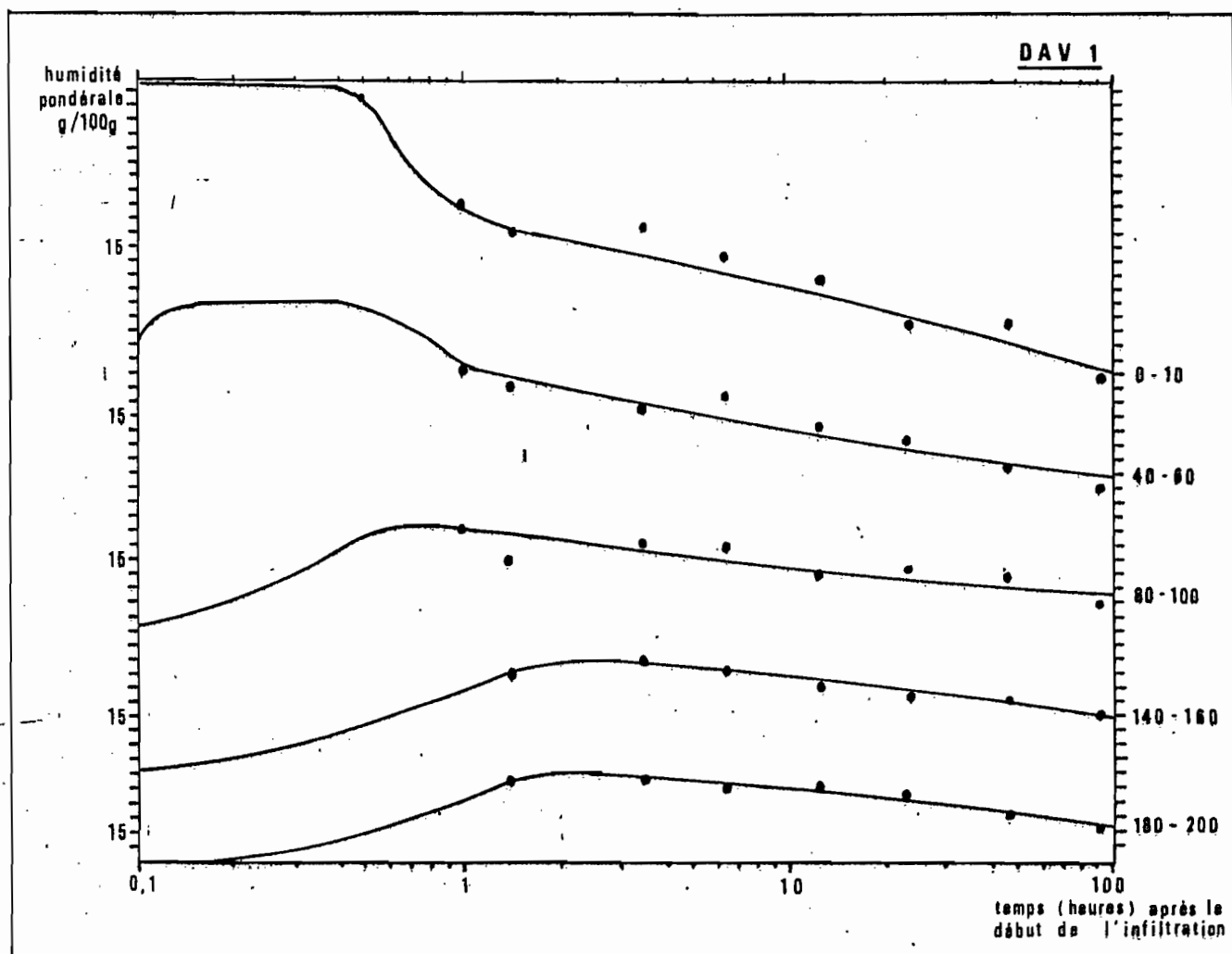
Figure 2. Disposition des cylindres

dans le sol est alors de 52 centimètres. Le temps d'infiltration a été noté à titre comparatif.

Après disparition de la lame d'eau le sol a été recouvert d'une bâche de 4 m x 4 m et d'une épaisse couche d'herbe pour éviter toute évaporation à partir de la surface. Des prélèvements de sol ont été effectués à la tarière (au centre des cylindres) aux temps (comptés à partir de la disparition de la lame d'eau) :

- 0
- 30 mn
- 1 h
- 1 h 30
- 3 h
- 6 h
- 12 h
- 24 h
- 48 h
- 96 h

L'humidité de ces échantillons a été déterminée par séchage à l'étuve à 105° C. Les courbes de ressuyage de chaque niveau ont ensuite été tracées et lissées (fig. 3) afin de gommer l'hétérogénéité liée au type de prélèvement. Les valeurs obtenues après lissage ont ensuite été traitées sur micro-ordinateur HP 85.



3-2. Résultats et interprétation

3-2-1. Infiltration

3-2-1-1. Sous forêt

L'infiltration de l'eau dans le sol sous forêt est extrêmement rapide, 400 cm/h en début d'infiltration, 200 cm/h à la fin, ce qui est lié à la forte perforation de la surface du sol et l'importante porosité des premiers horizons. Le premier profil d'humidité, réalisé à la disparition de la lame d'eau, rencontre une nappe entre 20 et 50 cm (sur la figure 4 la différence entre le profil 0 et la porosité totale correspond à

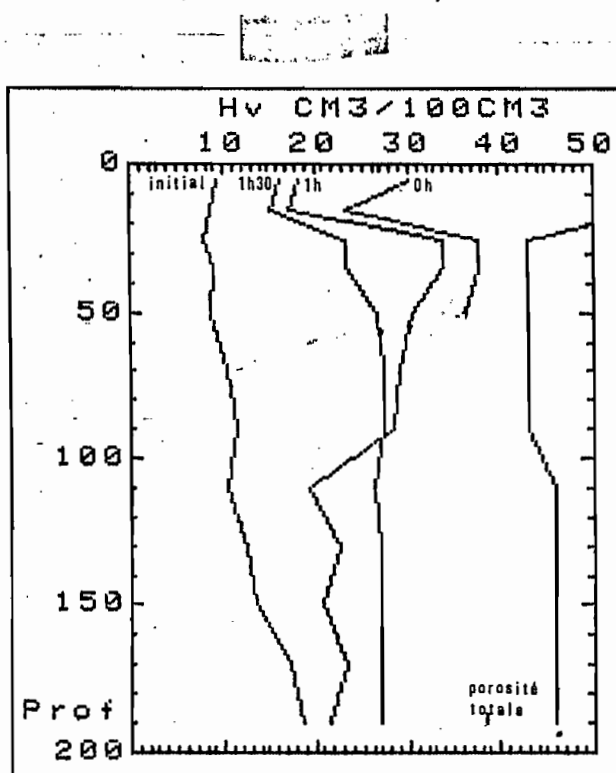


Figure 4 : Debut de ressuyage sous forêt (DAV 1)

la porosité fermée, aux incertitudes près). Cette nappe disparaît très rapidement : elle n'a pas été retrouvée 30 mn plus tard. Sa base correspond au niveau le moins perméable du profil, mais ce niveau ne détermine en aucun cas d'engorgement en conditions naturelles car aucune pluie ne peut atteindre 60 cm/h (la nappe a disparu 1 heure après la mise en eau). Dans ce sol le drainage est donc vertical.

A la base, le profil 30 mn est plus humide que le profil initial mais moins humide que le profil 1 h 30. L'humectation se réalise donc en deux phases : une phase rapide résultant de la circulation d'eau saturante par les gros pores, qui humecte le profil jusqu'à la base moins d'une heure après la mise en eau et une phase plus lente au cours de laquelle la masse du sol est humectée. L'humectation des horizons profonds au cours

de la phase lente s'effectue à partir de l'eau libérée par le ressuyage des horizons superficiels, la diminution de stock des horizons supérieurs étant pratiquement égale à l'augmentation du stock des horizons profonds (tableau 4). La légère augmentation du stock total provient de faibles mouvements latéraux et de la participation du bulbe à l'augmentation de l'humidité en profondeur. Une telle cinétique en deux temps, qui a déjà été signalée sous pluies naturelles au Cameroun (HUMBEL, 1976) et au Sénégal (CHAUVEL, 1977), semble très répandue dans les sols forestiers ; elle rend inutilisable le concept de front d'humectation. Il reste cependant à démontrer que, dans le cas des terres de Barre, le fonctionnement reste le même avec les apports plus limités des pluies naturelles.

Profondeur (cm)	stock sur la tranche (mm)	stock total (mm)
0-10	-2	-2
10-20	-2	-4
20-30	-11	-15
30-40	-11	-25
40-50	-4	-29
50-60	-4	-33
60-70	-2	-34
70-80	-2	-36
80-90	-1	-37
90-100	-1	-37
100-110	7	-31
110-120	7	-24
120-130	4	-20
130-140	4	-16
140-150	6	-10
150-160	6	-4
160-170	4	0
170-180	4	3
180-190	5	8
190-200	5	13

Tableau 4 : Evolution du stock entre 1 h et 1 h 30 (forêt)

3-2-1-2. Sous jachère

L'eau s'infiltré beaucoup plus lentement dans le sol sous jachère (30 cm/h) mais, contrairement à de nombreux sols, le niveau le moins perméable n'est pas la surface du sol. En effet le poinçonnage de la surface a été réalisé en cours d'expérimentation : il est sans influence sur la vitesse d'infiltration. D'autre part, à la disparition de la lame d'eau en surface, le sol est noyé jusqu'à 10 cm, mais seulement humide en dessous. C'est donc le niveau compacté entre 10 et 20 cm qui détermine la vitesse d'infiltration. Cette cinétique n'est valable que pour une irrigation par submersion : sous pluie naturelle et après suppression de la jachère, la modification de l'état de surface du sol peut créer un niveau moins perméable en surface déterminant le ruissellement. Cependant le ruissellement n'est jamais important sur les terres de Barre, où le réseau hydrographique est particulièrement lâche. L'engorgement du premier horizon disparaît très rapidement après l'infiltration de la lame d'eau : il ne peut donc pas apparaître en conditions naturelles. Malgré la péjoration des propriétés hydrodynamiques liée à la mise en culture, le drainage reste donc vertical.

Le tracé des profils de ressuyage (fig. 5) montre que le début de l'humectation des horizons profonds se poursuit 3 heures après le début de l'expérimentation (humidité initiale proche de l'humidité à 3 heures dans le niveau 180 - 200). Cette pénétration plus lente par rapport au sol

En comparant les profils d'humidité et la porosité totale, il apparaît que le sol reste toujours bien aéré (15 à 20 points de porosité), sauf entre 20 et 50 cm. Comme l'engorgement ne peut apparaître en conditions naturelles, l'ensemble du profil conserve, même au cours des phases les plus pluvieuses, une part importante de porosité occupée par l'air.

La variation de stock entre l'humidité initiale et l'humidité maximale permet de contrôler la quantité d'eau qui était nécessaire pour humecter le profil. Elle est ici de 268 mm, soit environ la moitié de l'eau apportée. L'autre moitié a été perdue dans le bulbe et par drainage profond.

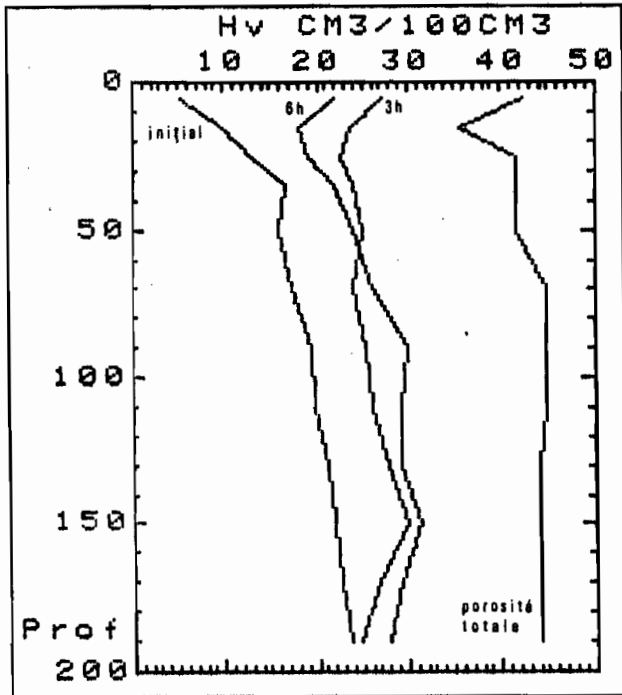


Figure 5 : Debut de ressuyage sous culture (DAV 2)

Profondeur (cm)	stock sur la tranche (mm)	stock total (mm)
0-10	-5	-5
10-20	-6	-11
20-30	-4	-15
30-40	-2	-17
40-50	-1	-18
50-60	-1	-18
60-70	2	-16
70-80	2	-14
80-90	4	-10
90-100	4	-5
100-110	3	-2
110-120	3	0
120-130	2	2
130-140	2	3
140-150	2	5
150-160	2	6
160-170	2	9
170-180	2	11
180-190	3	14
190-200	3	17

Tableau 5 : Evolution du stock entre 3 et 6 heures (jachère)

sous forêt est probablement liée à la modification de la perméabilité des horizons supérieurs : la mise en culture a supprimé la continuité des pores larges qui existait dans les conditions naturelles. La comparaison des profils 3 heures et 6 heures (tab. 5 et fig. 5) montre, comme sous forêt bien que dans une moindre mesure, une augmentation de l'humidité en profondeur après la fin de l'infiltration (fin de l'infiltration à 3 heures) liée au ressuyage des horizons superficiels et du bulbe, témoin d'une cinétique en deux temps.

La comparaison du profil d'humidité maximale et de la porosité totale (fig. 5) indique que l'air occupe toujours une porosité de l'ordre de 15 à 20 points, même dans les conditions les plus humides. L'aération du sol est donc excellente, favorable à l'exploitation racinaire.

La quantité d'eau qui était nécessaire pour humecter le profil est de 161 mm, soit environ le tiers du total de l'apport. Il était cependant préférable d'apporter considérablement plus car la faible perméabilité du deuxième horizon a dû produire un étalement du bulbe important.

3-2-2. Ressuyage

3-2-2-1. Sous forêt

Après la phase de redistribution, qui s'achève 1 h 30 après le début de l'infiltration, l'ensemble des niveaux se ressue (fig. 6).

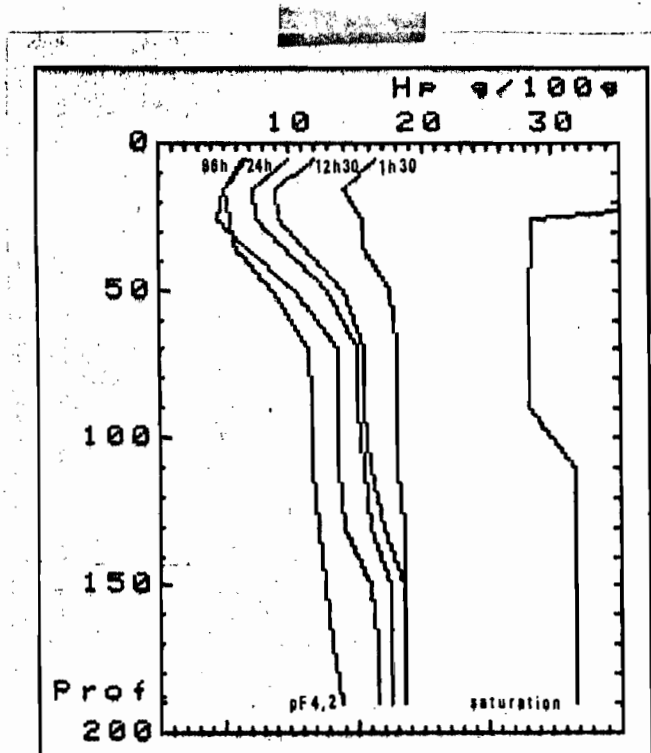


Figure 6 : Courbes de ressuyage sous forêt (DAVI)

Il est possible de quantifier le phénomène en évaluant la variation de stock au cours du temps (VACHAUD et al., 1978) entre la surface et différentes profondeurs (fig. 7). Nous avons choisi de représenter le stock d'eau utilisable (évalué par la différence entre l'humidité pondérale et l'humidité au pF 4,2 moyenne à chaque niveau) qui tend vers la réserve utile lorsqu'il n'y a pas d'évaporation à partir de la surface. Or nous constatons que le stock diminue régulièrement pendant les quatre jours du ressuyage et qu'il devient pratiquement nul entre 0 et 45 cm à la fin de l'expérimentation bien que le sol soit recouvert d'une bâche. L'absence de palier est due à l'absorption racinaire : les arbres reprennent de l'eau considérablement plus rapidement que la demande climatique (4,6 mm/j) :

- entre 12 et 24 heures, 48 mm/j
- entre 24 et 48 heures, 24 mm/j
- entre 48 et 96 heures, 14 mm/j.

La rapidité du phénomène provient d'une part de la réhydratation des tissus végétaux et d'autre part de ce que la surface évaporante du feuillage des arbres est sans commune mesure avec la surface d'expérimentation. Pour ce sol, cette méthode n'est pas adaptée à la détermination de la capacité au champ.

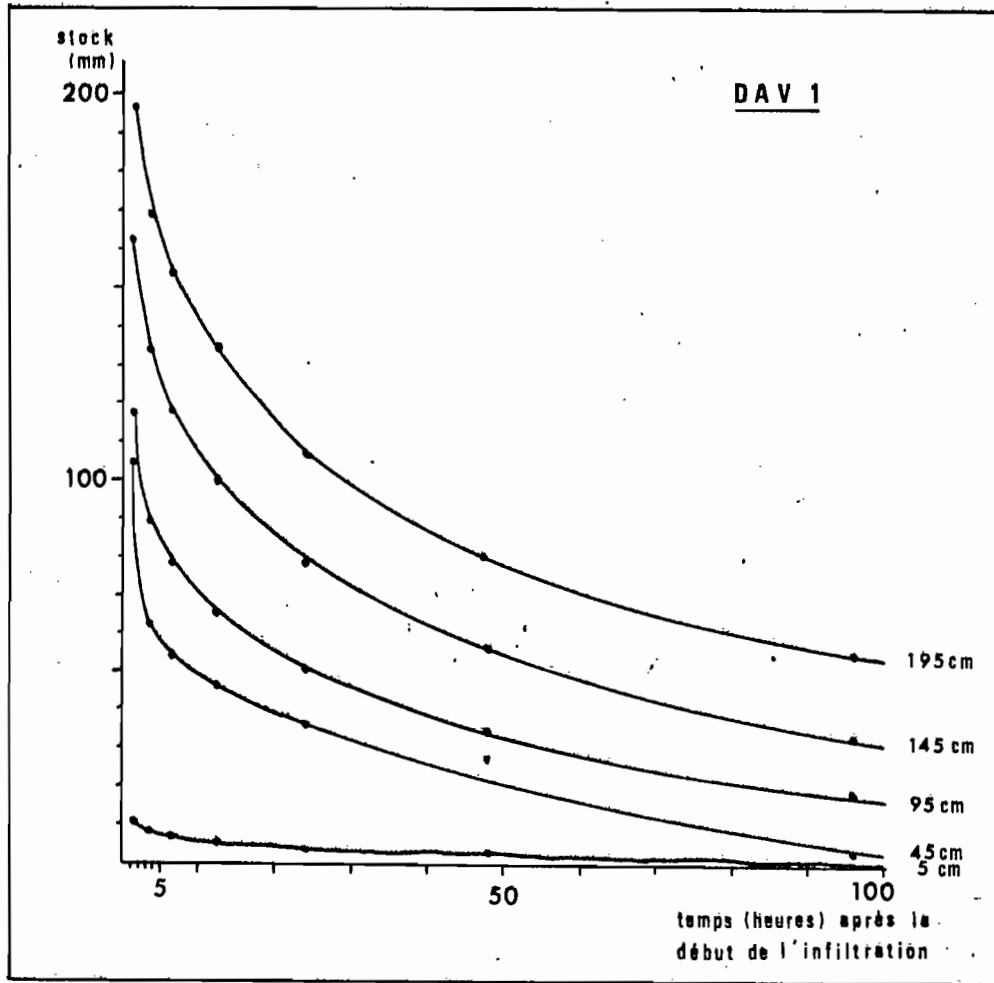


Figure 7 : Variation du stock d'eau utilisable entre la surface et différentes profondeurs (forêt)

3-2-2-2. Sous jachère

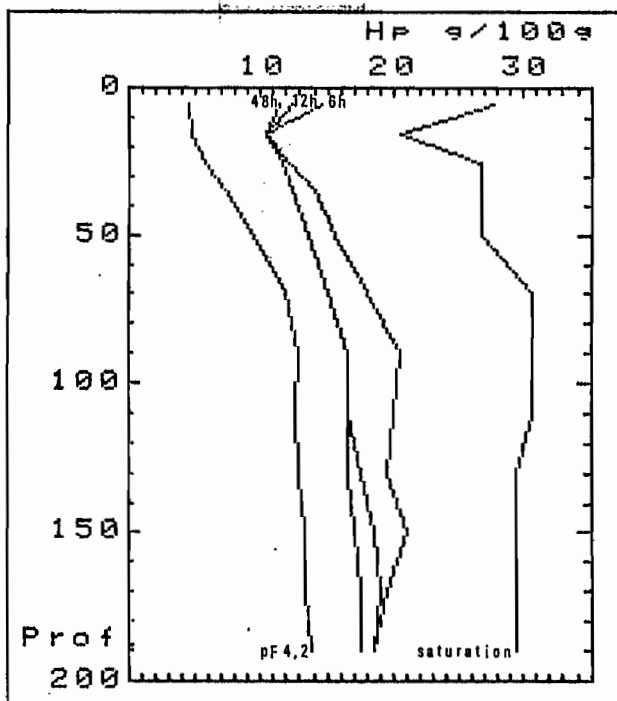


Figure 8 : Courbes de ressuyage sous culture (DAV2)

Sous jachère, l'ensemble des niveaux se ressuie également, 6 heures après la mise en eau (fig. 8 et 9). Le ressuyage est rapide : en 15 heures, 80 % de l'eau libre est évacuée du profil. Après 24 heures le palier est pratiquement atteint. Nous prendrons comme valeur de capacité au champ les valeurs d'humidité du profil 96 h. En comparant les valeurs d'humidité maximale (fig. 5) et de capacité au champ, il apparaît que la différence n'excède pas $3 \text{ cm}^3/100 \text{ cm}^3$: étant donné les variations latérales de texture, il n'est donc pas possible de suivre les variations d'humidité des horizons profonds au cours de la saison des pluies avec des prélèvements à la tarière.

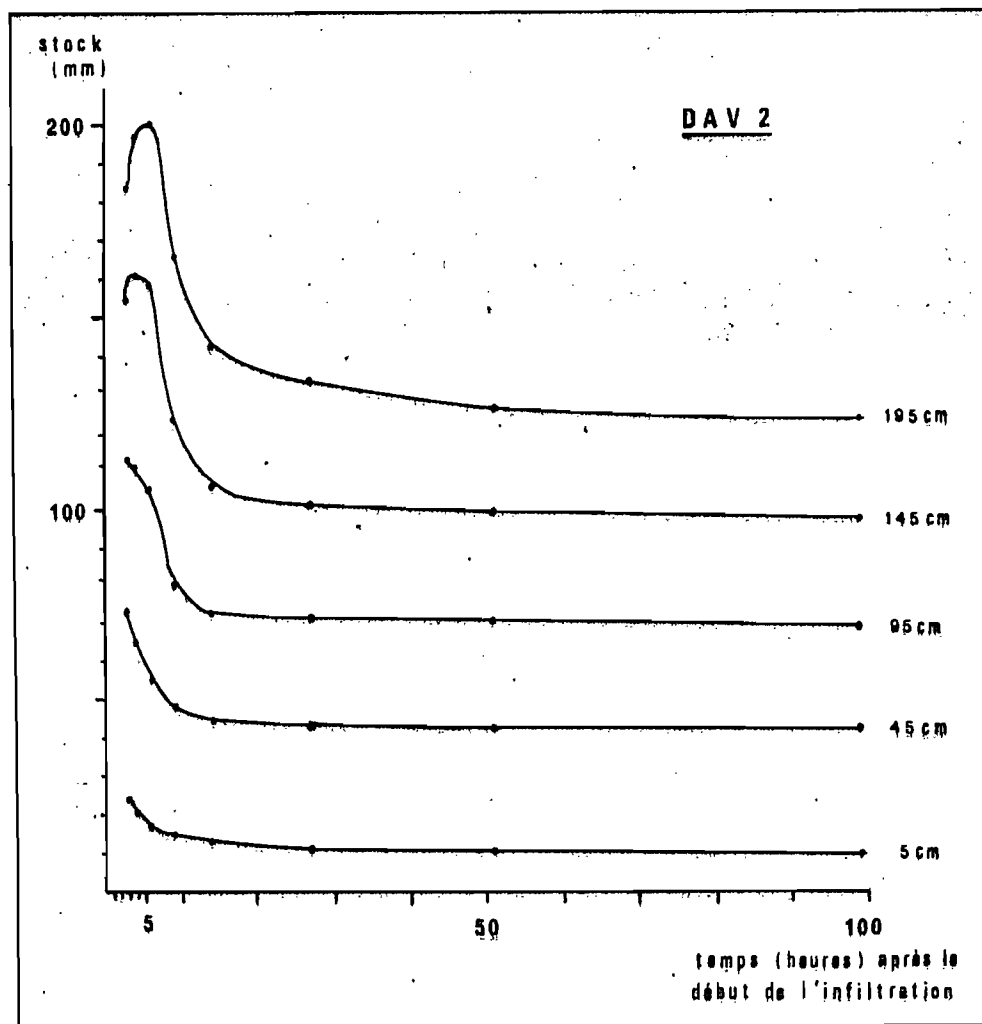


Figure 9 : Variation du stock d'eau utilisable entre la surface et différentes profondeurs (cultures)

3-3. Conclusions

Dans les deux sols le drainage est vertical, bien que la mise en culture ait diminué la perméabilité de l'horizon 8-18 cm sous culture. La pénétration de l'eau en profondeur est rapide et ne conduit jamais à la saturation du sol en conditions naturelles. Dans les conditions de l'expérience l'humectation s'est produite en deux phases : une phase rapide liée à la circulation de l'eau saturante dans les gros pores et une phase plus lente, qui a duré 1 h 30 sous forêt et 6 heures sous culture, humectant la masse du sol.

Le ressuyage du sol est rapide et la capacité au champ est pratiquement atteinte après 24 heures sous jachère. Sous forêt l'absorption racinaire interdit sa détermination.

4- COMPOSITION VOLUMIQUE ET RESERVE UTILE

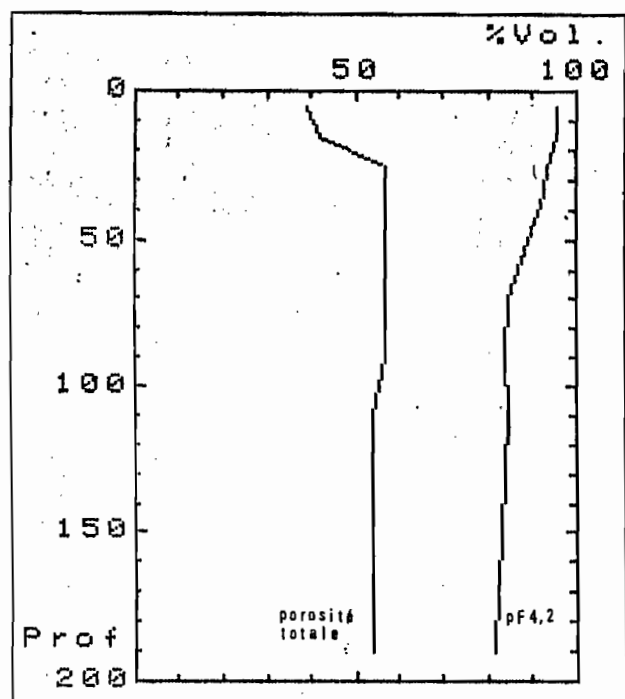


Figure 10 : Composition volumique sous forêt

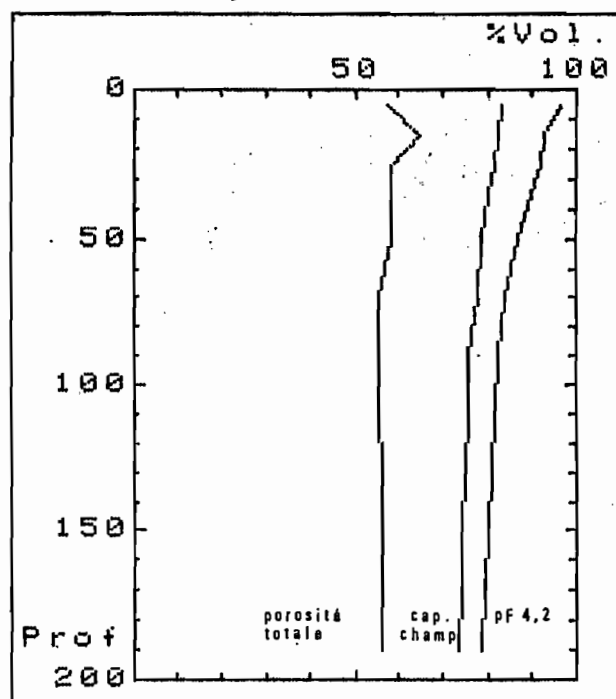


Figure 11 : Composition volumique sous culture

Profondeur	DAV1	DAV2
0-10	8,2	4,1
10-20	5,1	5,0
20-30	5,1	6,7
30-40	6,0	8,3
40-50	9,3	10,0
50-60	9,3	10,0
60-70	11,9	11,7
70-80	11,9	11,7
80-90	12,1	12,3
90-100	12,1	12,3
100-110	12,2	12,4
110-120	12,2	12,4
120-130	12,7	12,6
130-140	12,7	12,6
140-150	13,1	13,0
150-160	13,1	13,0
160-170	13,5	13,4
170-180	13,5	13,4
180-190	14,0	13,7
190-200	14,0	13,7

Tableau 6 : pF4,2 en DAV 1 et DAV 2

Sur les diagrammes de composition volumique nous avons fait figurer (fig. 10 et 11) les données relatives à la porosité du sol : porosité totale, capacité au champ et humidité au pF 4,2. L'humidité au pF 4,2 qui a été retenue (tab. 6) est la moyenne des valeurs déterminées sur les échantillons des prélèvements mensuels après suppression des valeurs aberrantes du mois d'août sous jachère (sépulture) (cf. 5). Les valeurs pour un niveau sont très voisines (différence inférieures à 0,7 g/100g), ce qui traduit la représentativité des sites retenus, sauf en surface où la valeur plus élevée sous forêt doit être imputée au taux de matière organique et entre 20 et 40 cm, où les plus fortes valeurs sous jachère proviennent du tassement du sol : un niveau donné sous jachère correspond à un niveau plus profond du sol sous forêt.

Profondeur (cm)	RU sur la tranche (mm)	RU totale (mm)
0-10	10	10
10-20	10	20
20-30	9	29
30-40	8	37
40-50	6	43
50-60	6	50
60-70	4	54
70-80	4	59
80-90	5	64
90-100	5	70
100-110	6	75
110-120	6	81
120-130	6	86
130-140	6	92
140-150	6	98
150-160	6	103
160-170	5	109
170-180	5	114
180-190	5	119
190-200	5	125

La différence entre l'humidité à la capacité au champ et la porosité totale représente la macro-porosité (porosité occupée par l'air dans le sol ressuyé). Elle est de l'ordre de 20 points dans le sol sous jachère. Sous forêt elle peut être estimée à 20 points en profondeur et 40 ou 50 points en surface, valeurs habituelles dans les sols ferrallitiques à drainage profond (HUMBEL, 1976).

La différence entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au pF 4,2 permet d'évaluer la réserve utile du sol par tranches de 10 cm (tab. 7). Sur les deux mètres étudiés la réserve utile est particulièrement faible (HENIN, 1977) avec 125 mm, ce qui semble lié à la conjonction d'une texture défavorable (riche en argile et pauvre en limons) et d'une structuration très faible. En effet, les horizons sablo-argileux de surface peuvent fournir plus d'eau aux plantes que les horizons profonds : la quantité totale est plus faible, mais l'eau est moins retenue que dans les horizons argileux.

Tableau 7 : Réserve utile sous culture

Ces réserves permettent de calculer le nombre de jours où le sol peut assurer l'alimentation des plantes en l'absence de précipitations, en négligeant les remontées capillaires (ce qui est parfois possible, KALMS et al., 1982). Pour les principaux mois de culture (juin, juillet et août où l'ETP est de 3,5 mm/j on obtient :

- 3 jours pour une profondeur de 10 cm
- 6 jours pour une profondeur de 20 cm
- 8 jours pour une profondeur de 30 cm
- 14 jours pour une profondeur de 60 cm

Ces valeurs ne fournissent qu'un ordre d'idée et devront être affinées sur le terrain.

Tableau 8 : Pluviométrie à Davié (octobre 1982 à décembre 1983)

Dates	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1		15,8						3,0							0,7
2	18,4	2,1					4,0		1,3						0,4
3		16,5											4,3		24,1
4															
5									14,3		0,7	4,3			
6											0,4	1,5			
7		5,6							0,2						
8												0,4			
9	4,7						46,2	4,1				1,1			2,5
10	13,9						21,8	1,9	2,2						7,8
11									12,7			70,0			1,3
12	2,7								6,0						
13	12,5									6,0				30,2	
14	4,6	2,7							24,4						
15								4,0	0,3						
16													3,8		
17									8,8	39,4	3,1	9,0			
18									3,9						
19									27,7			0,6		3,2	
20											0,6			0,3	
21											5,8				
22															
23									43,0			4,3	6,7		
24									1,2			0,4			
25								2,0					0,5		
26													3,8		
27												2,2		27,6	
28								11,9	0,7						
29	18,3							0,6							22,4
30											0,6	6,2	7,8		
31	5,2														
Total mensuel	80,3	42,7	0	0	0	0	72,0	27,5	148,7	45,4	11,2	100,0	26,9	83,7	36,8
Moyenne	131,1	63,2	20,9	14,3	31,3	113,1	123,3	133,4	195,9	77,9	40,3	99,9	131,1	63,2	20,9
Total cumulé (par année)	916,7	959,4	959,4	0	0	0	72,0	99,5	248,2	293,6	304,8	404,8	431,7	515,4	552,2

N.B. Les traits correspondent aux dates de réalisation des profils hydriques.

5- EVOLUTION ANNUELLE DE L'HUMIDITE

5-1. Méthode

Les mesures ont été réalisées entre le 15 novembre 1982 et le 25 novembre 1983. La petite saison des pluies qui avait précédé les mesures était peu marquée (tabl. 8), la saison sèche qui a suivi a été particulièrement sévère, avec présence fréquente d'harmattan entre le mois de décembre et le mois de mars, et les pluies de l'année 1983 ont été environ deux fois moins abondantes que la moyenne (1 047 mm, fig. 12). L'étude a donc porté sur une année particulièrement sèche et les humidités observées sont probablement des minima pour la région.

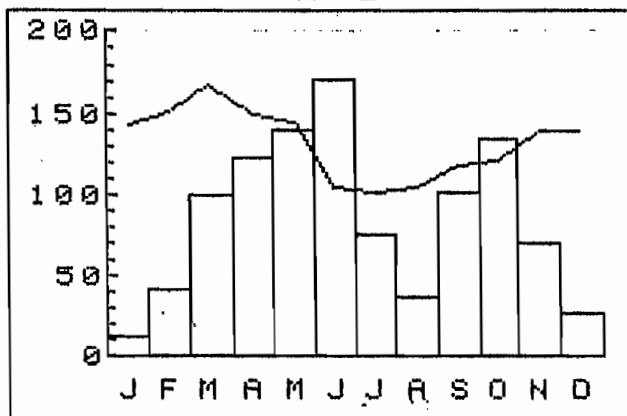


Figure 12 : P et ETP (Penman) à TSEVIE

Une fosse a été ouverte chaque mois sur les deux sites (le sol étant trop compact en saison sèche pour des prélèvements à la tarière) et des échantillons prélevés tous les dix centimètres jusqu'à 40 centimètres, tous les 20 centimètres ensuite. L'humidité a été appréciée au toucher sur le terrain, puis déterminée au laboratoire par séchage à l'étuve à 105°C sur deux échantillons de 400 grammes environ. L'humidité au pf 4,2 a été systématiquement mesurée sur chaque prélèvement

comme facteur textural, sans dessiccation préalable. La différence obtenue entre les deux échantillons d'humidité est inférieure à 0,5 g/100g dans 95 % des cas. La moyenne est donc estimée à $\pm 0,25$ g/100g, soit une incertitude très faible pour les valeurs élevées (1,7 % pour 15 g/100g), mais relativement forte pour les faibles valeurs (10 % pour 2,5 g/100g). La précision sur la mesure de l'humidité au pf 4,2 est constante en valeur absolue : de l'ordre de 0,1 g/100g quelle que soit la valeur. L'erreur relative est donc comprise entre 1 % (pour 10 g/100g) et 5 % (2 g/100g). La variabilité des résultats étant de 30 à 90 % pour les valeurs inférieures à 10 g/100g et de 10 à 30 % pour les valeurs supérieures, l'incertitude liée à la mesure est négligeable par rapport à l'hétérogénéité du sol pour la détermination de pf 4,2.

5-2. Résultats et interprétation

Les échantillons étant prélevés sur des fosses différentes, l'hétérogénéité spatiale de la texture rend l'étude de l'évolution des profils d'humidité pondérale au cours du temps difficile (fig. 13) car un même degré d'humectation se traduit par des chiffres différents. C'est pourquoi toutes les valeurs d'humidité pondérale ont été comparées à l'humidité au pf 4,2 déterminée sur le même échantillon, ce qui a permis d'établir des

Profondeur	15.11	30.12	31.01	25.02	24.03	03.05	26.05	24.06	25.07	25.08	23.09	27.10	25.11
0-10	Hp 9,3	4,2	4	3,8	3,1	4,2	5,0	21,8	7,5	6,1	22,2	7,7	7,1
	Pf 6,2	5,3	6,7	9,1	6,6	5,9	7,0	12,0	7,4	5,7	14,0	10,4	10,6
10-20	Hp 7,9	3,7	3,3	3,5	2,8	3,9	3,3	12,0	4,0	3,3	8,1	4,0	4,7
	Pf 6,3	3,8	5,8	5,1	4,1	4,3	4,6	5,9	4,9	3,9	6,7	5,2	5,8
20-30	Hp 5,1	3,2	7,1	3,2	3,1	5,0	3,8	12,1	4,5	3,3	6,0	3,7	5,2
	Pf 5,7	3,3	9,2	4,3	4,7	5,6	4,2	5,9	4,5	3,9	4,2	4,7	6,5
30-40	Hp 5,8	3,7	6,7	3,6	3,4	6,9	4,0	13,6	6,5	5,2	6,6	4,0	6,0
	Pf 6,4	4,4	8,4	4,5	4,9	8,2	5,6	7,8	5,7	6,2	4,6	4,6	7,0
40-60	Hp 5,6	7,2	7,8	6,8	8,8	9,0	5,9	17,5	9,9	9,5	10,6	8,3	7,6
	Pf 5,9	9,7	9,1	7,9	10,6	9,8	6,6	12,7	9,8	10,6	9,5	9,7	9,6
60-80	Hp 6,8	11,5	10,1	11,0	10,9	10,2	10,9	33,1	11,0	11,1	14,2	11,9	10,8
	Pf 7,3	13,4	11,3	12,4	12,6	11,0	12,2	13,5	11,5	12,4	12,3	13,6	11,5
80-100	Hp 7,5	12,7	10,2	11,6	10,9	9,7	11,7	25,6	11,5	10,6	13,9	12,2	11,1
	Pf 7,5	13,2	11,3	13,1	12,7	10,8	13,1	12,9	11,9	12,3	12,4	13,7	12,2
100-120	Hp 7,1	12,3	10,4	11,8	11,0	10,7	11,9	25,8	11,6	11,0	13,9	11,8	11,5
	Pf 7,9	13,5	11,3	13,4	12,8	11,5	13,1	12,8	12,3	11,9	12,6	13,4	12,3
120-140	Hp 8,6	12,7	11,0	11,8	11,2	10,9	12,2	21,8	11,7	10,7	12,6	11,8	12,2
	Pf 9,3	13,9	11,7	13,2	13,0	11,8	13,2	13,2	12,6	12,4	13,7	13,5	13,7
140-160	Hp 9,3	13,0	11,7	11,7	11,7	11,7	12,6	12,4	12,1	11,5	13,0	12,3	12,4
	Pf 9,5	14,2	12,3	13,4	13,4	12,7	13,8	13,7	13,5	12,7	13,8	13,8	13,7
160-180	Hp 12,0	13,0	12,9	12,2	11,5	12,0	13,0	12,9	12,6	12,3	13,2	12,2	13,0
	Pf 12,4	14,3	13,3	13,0	13,2	12,9	14,2	14,0	13,8	13,4	14,4	13,8	13,3
180-200	Hp 12,9	12,9	13,5	12,4	11,7	12,2	13,1	12,9	12,5	12,6	13,6	12,5	13,0
	Pf 15,7	13,0	13,7	13,5	13,3	13,1	14,0	14,2	13,6	13,5	14,3	15,7	14,0

Tableau 9 : Valeurs mensuelles d'humidite ponderales et de pF4,2 en g/100g (DAV 1)

Profondeur	15.11	30.12	31.01	25.02	24.03	03.05	26.05	24.06	25.07	25.08	23.09	27.10	25.11
0-10	151	79	7	41	48	70	72	181	102	107	158	74	67
10-20	126	97	57	69	68	92	72	202	83	83	121	77	80
20-30	90	98	78	75	65	90	90	207	101	84	144	79	81
30-40	90	85	80	80	68	85	72	174	114	83	145	87	87
40-60	96	74	86	86	83	92	88	137	102	90	112	85	79
60-80	93	86	90	89	87	93	89	246	96	90	116	88	94
80-100	100	97	90	89	86	90	89	199	97	86	112	89	92
100-120	89	92	92	88	86	93	91	201	94	92	110	88	94
120-140	92	91	95	89	86	93	92	165	93	86	92	88	89
140-160	98	92	95	88	88	92	91	90	90	91	94	89	91
160-180	96	91	97	94	88	93	92	92	91	92	91	88	98
180-200	83	99	99	92	88	93	93	90	92	93	95	79	93

Tableau 10 : Valeurs mensuelles du rapport Hp/Pf4,2 (DAV 1)

profils de rapport H_p/pF 4,2 (fig. 14) qui reflètent mieux l'état hydrique du sol.

L'ensemble des résultats obtenus a été reporté sur les figures 15 et 16.

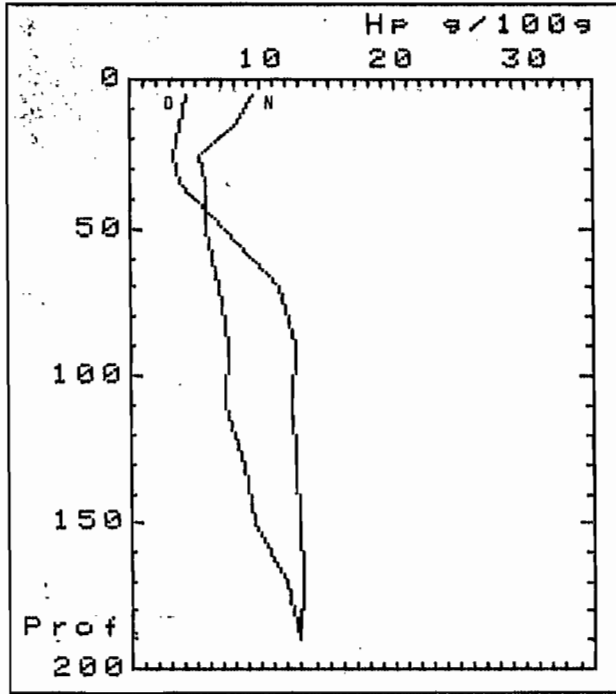


Figure 13 : Profils hydriques sous forêt (nov. et dec.)

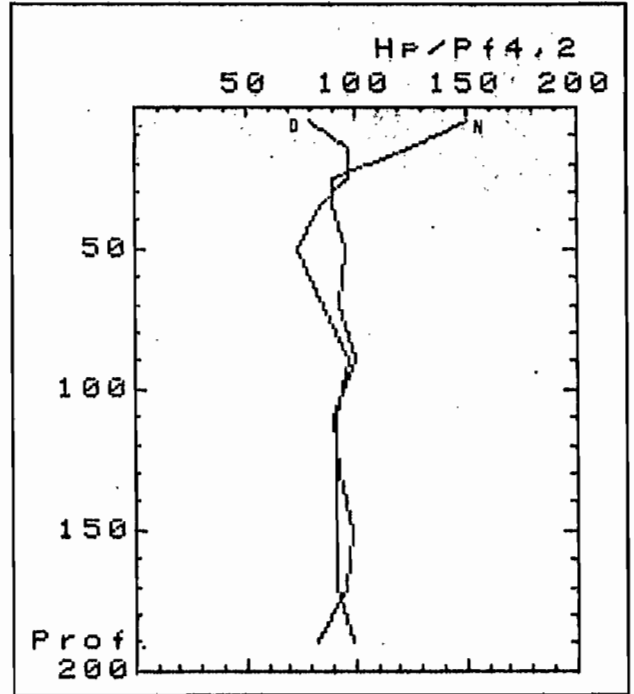


Figure 14 : Profils $H_p/Pf_{4,2}$ sous forêt (nov. et dec.)

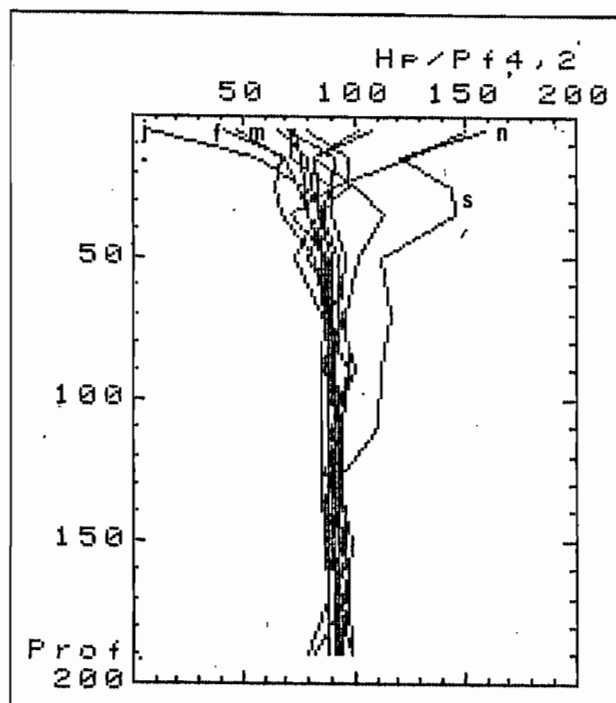


Figure 15 : Evolution des profils H_p/Pf 4,2 sous forêt

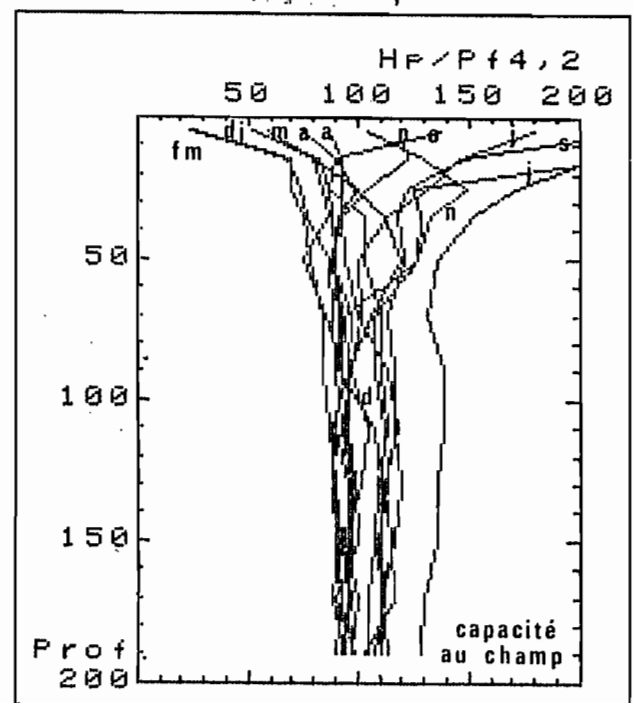


Figure 16 : Evolution des profils H_p/Pf sous jachère

Profondeur	15.11	30.12	31.01	25.02	24.03	03.05	26.05	24.06	25.07	25.08	23.09	27.10	25.11
0-10 Hp	3,5	2,1	3,5	1,0	1,0	2,6	2,2	10,9	7,7	4,7	9,1	5,8	4,4
0-10 Pf	3,4	4,1	6,6	4,1	4,1	3,4	3,7	3,9	4,3	5,5	4,1	4,3	3,7
10-20 Hp	5,9	4,2	3,7	3,2	3,8	3,8	3,1	9,9	7,8	5,4	10,9	4,0	6,6
10-20 Pf	4,5	5,1	4,6	4,6	5,4	4,2	4,0	4,6	5,4	5,8	7,4	4,4	5,4
20-30 Hp	8,4	5,5	4,2	3,8	4,7	5,1	5,3	10,5	8,7	7,2	12,2	6,7	8,2
20-30 Pf	5,7	6,3	5,0	5,1	6,9	5,2	5,4	8,4	6,7	7,9	10,0	7,8	7,9
30-40 Hp	10,7	6,4	5,4	5,4	5,5	7,6	6,2	14,7	10,4	7,7	14,8	8,8	7,7
30-40 Pf	8,0	7,2	6,2	7,0	7,3	6,7	6,8	11,5	9,2	8,3	12,6	8,5	8,3
40-60 Hp	10,3	7,1	8,8	9,0	6,7	9,0	6,8	16,6	11,6	8,7	15,0	12,0	8,5
40-60 Pf	8,1	8,0	11,7	10,4	8,6	7,5	7,6	13,1	11,5	9,3	12,5	11,6	9,6
60-80 Hp	11,9	8,9	11,4	12,2	10,4	9,0	9,1	12,6	12,9	8,9	14,1	13,9	10,7
60-80 Pf	11,0	9,5	13,4	13,8	12,4	8,5	9,4	13,4	12,8	9,0	12,4	12,6	11,6
80-100 Hp	13,4	11,3	11,9	12,4	10,5	10,0	10,2	12,2	11,9	8,0	15,2	13,5	11,5
80-100 Pf	12,4	12,3	12,9	13,9	12,4	10,4	10,7	12,8	12,2	7,0	13,0	12,3	12,4
100-120 Hp	13,7	12,9	12,0	12,7	10,4	11,0	10,2	12,2	12,5	7,8	15,0	13,7	11,2
100-120 Pf	12,2	12,0	13,4	13,7	12,0	12,5	10,7	12,9	12,1	6,6	12,9	12,1	12,4
120-140 Hp	14,3	13,6	12,1	13,1	10,7	11,5	10,6	12,7	12,7	8,3	15,9	13,7	12,2
120-140 Pf	12,6	12,3	13,7	13,5	11,9	12,9	10,7	12,9	12,5	7,4	13,3	12,6	12,8
140-160 Hp	14,7	14,4	12,8	12,8	11,3	11,3	11,2	12,4	11,7	7,6	15,9	14,4	12,9
140-160 Pf	13,5	13,0	14,2	13,4	12,1	12,3	11,2	13,0	12,6	6,6	13,7	13,5	13,3
160-180 Hp	15,2	14,7	13,1	13,8	12,1	11,5	11,1	12,6	12,6	10,6	15,3	14,7	13,5
160-180 Pf	13,8	13,2	14,0	13,7	12,6	12,9	12,3	13,1	12,9	9,2	13,9	14,1	14,2
180-200 Hp	15,8	15,1	12,7	13,9	12,4	11,7	12,6	12,9	12,1	14,6	16,1	15,0	13,8
180-200 Pf	14,2	14,1	14,1	14,3	13,1	12,4	12,8	13,2	12,9	14,2	14,1	14,2	14,8

Tableau 11: Valeurs mensuelles d'humidite ponderales et de pF4,2 en g/100g (DAV 2)

Profondeur	15.11	30.12	31.01	25.02	24.03	03.05	26.05	24.06	25.07	25.08	23.09	27.10	25.11
0-10	104	51	53	25	24	75	59	281	180	86	222	137	119
10-20	130	82	79	69	70	89	79	214	146	92	147	90	122
20-30	148	87	84	74	69	99	100	126	131	92	122	87	105
30-40	133	88	87	77	75	113	91	128	114	93	117	103	93
40-60	127	89	76	87	78	120	89	126	101	94	120	104	89
60-80	108	93	85	88	84	106	97	94	101	100	113	110	92
80-100	108	92	93	90	85	96	95	95	98	114	116	110	93
100-120	112	108	90	93	87	88	95	95	104	118	116	113	91
120-140	113	111	88	97	90	89	99	98	101	112	119	109	95
140-160	108	111	90	95	93	91	100	95	93	114	116	107	97
160-180	110	112	93	100	96	89	90	96	98	116	110	104	96
180-200	111	107	90	98	95	95	99	97	94	103	114	105	93

Tableau 12: Valeurs mensuelles du rapport Hp/Pf4,2 (DAV 2)

Sur le terrain, l'appréciation de l'humidité s'est effectuée en distinguant trois états : sec, frais et humide. A l'état sec la terre exposée à l'évaporation ne donne aucune impression de fraîcheur. A l'état frais elle donne une impression de fraîcheur à l'air, mais sans paraître humide entre les doigts. A l'état humide l'impression d'humidité est nette, indépendamment de l'évaporation. A la suite d'environ 250 déterminations, une liaison apparaît dans ce sol entre cette appréciation et l'état d'humidité par rapport au pF 4,2, mais pas en valeur absolue. C'est donc plus une appréciation de tension de l'eau dans le sol qu'une appréciation de teneur en eau. L'état sec correspond à une humidité inférieure au pF 4,2, mais il n'est pas possible d'évaluer le degré d'assèchement (l'expression tactile "sec" a été notée pour des sols dont l'humidité était comprise entre 7 et 100 % du pF 4,2). L'état frais correspond à une humidité comprise entre 90 et 110 % du pF 4,2. Il reflète donc une tension de l'eau assez précise. Quant à l'état humide, il a été noté pour des humidités supérieures au pF 4,2, mais sans que la limite supérieure puisse être fixée (l'état très humide n'a pas été observé au cours de cette campagne). L'appréciation tactile permet donc de contrôler en partie les résultats d'humidité en particulier de confirmer l'humidification de la base des profils, donc l'apparition de drainage profond, mais, sauf dans le cas des sols à l'état frais, aucune valeur chiffrée ne peut être estimée. Au point de vue agronomique, on peut toutefois remarquer qu'une alimentation hydrique correcte des plantes cultivées ne pourra être assurée que si les horizons culturaux sont maintenus à l'état humide (humidité supérieure au pF 4,2).

5-2-1. Etat d'humectation du sol (tabl. 9, 10, 11, 12)

Sous forêt (DAV 1), dès la fin de la petite saison des pluies, l'humidité revient à l'humidité au pF 4,2 (les valeurs élevées en surface correspondent à la pluie de la veille, cf. tabl. 8, probablement plus forte sur ce site que sur l'autre). Au cours des quatre mois qui suivent, sans aucune pluie, les horizons profonds ne se dessèchent que très peu, pour atteindre 85-90 % de l'humidité au pF 4,2, soit une perte de 2 g/100g au maximum par rapport au mois de novembre. Mais le système racinaire exploite le sol sur une profondeur supérieure à 2 mètres : une fosse ouverte le 3 mai jusqu'à 5 mètres de profondeur a permis de constater, d'une part la présence de racines (qui se poursuivent jusqu'à plus de 8 mètres dans un autre profil), d'autre part un état d'humectation toujours compris entre 88 et 95 % du pF 4,2. Au cours de cette longue saison sèche, les arbres ont donc pu résister en exploitant les réserves profondes du sol, stockées lors de la saison des pluies 1982. En surface, par contre, le dessèchement est plus poussé et, si l'on excepte le mois de janvier où la mesure est aberrante, il atteint environ 40 % du pF 4,2, favorisé par l'atmosphère très sèche des périodes d'harmattan.

La succion atteinte peut être déterminée en remarquant (DAUDET, 1970) que l'assèchement produit par la température de 105°C correspond à un pF de 7,0 : la courbe liant l'humidité à la tension au ressuyage (fig. 17) passe donc par le point $H_p = 0$ et pF = 7. D'autre part, si la

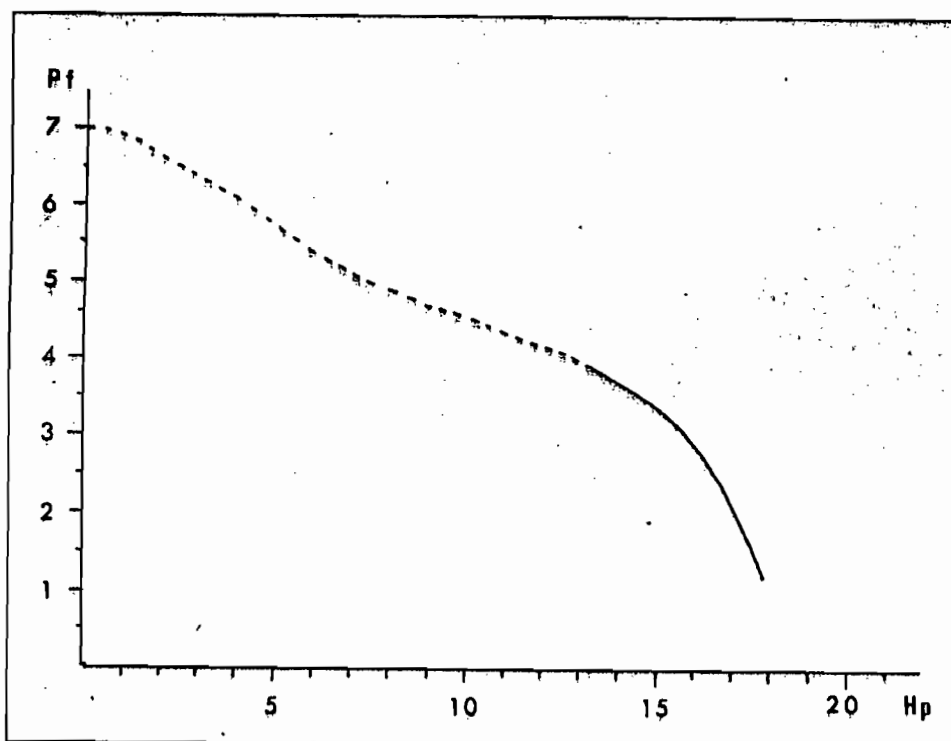


Figure 17 : Courbe $H_p = f(pF)$ au ressuyage

valeur de 105°C a été choisie, c'est qu'elle correspond à un palier très net sur les courbes d'analyse thermo-pondérales. La tangente à la courbe est donc horizontale pour l'humidité conventionnelle de 0 g/100g. L'humidité à 85-90 % de l'humidité au pF 4,2 est atteinte pour une succion de l'ordre de pF 4,5 à 4,7. C'est la succion maximale exercée par les racines des arbres. Le pF 4,2 est donc un excellent repère, mais il correspond à une succion légèrement plus faible que celle réellement observée sous couvert forestier. Les valeurs obtenues ici sont du même ordre que celles d'un couvert d'hévéa : en Côte d'Ivoire, sur un matériau comparable, les succions maximales observées correspondaient au pF 4,8 (MONTENY, comm. orale). En surface, par contre, la dessiccation s'est poursuivie jusqu'à un pF de l'ordre de 6,0.

Au début de la saison des pluies, la pluie de 70 mm du 9 et 10 avril humecte le sol jusqu'à 60 cm environ, et cette humectation est encore visible le 3 mai (tabl. 10). Elle se transmet très partiellement aux horizons profonds, mais pas sous forme d'eau libre (la tension est toujours supérieure à pF 4,2). Observée plusieurs fois au cours de la saison des pluies, elle se traduit par une augmentation du rapport H_p/pF 4,2 et par une impression de fraîcheur lors des prélèvements. Les transferts d'eau liée à des tensions élevées ne sont donc pas négligeables dans ce sol. Au cours de cette saison particulièrement déficitaire, la tranche de sol humide n'a atteint que 1,6 mètres de profondeur fin juin (même la pluie de 70 mm du 11 septembre n'a humecté que 1,2 mètre de sol). Aucun drainage profond n'est donc apparu et la forêt ne dispose pas de réserves profondes pour la saison sèche 1983 (la nappe est à 50 mètres de profondeur). Au 25 novembre 1982, l'état d'humectation des deux premiers mètres

du sol est proche de celui du 15 novembre 1982, mais il n'y a aucune eau disponible dans les horizons profonds.

Dans la jachère (DAV 2), la situation de départ au 15 novembre 1982 est très différente : sur tout le profil, sauf en surface, il reste de l'eau disponible pour les plantes. Cet état s'explique par la différence des systèmes racinaires, beaucoup plus superficiel sous jachère. Les réserves sont progressivement épuisées (fig. 16, tabl. 12) : sur un mètre au 30 décembre, sur plus de deux mètres fin janvier. Mais l'assèchement, qui doit s'effectuer par capillarité, le système racinaire ne descendant guère à plus de un mètre, ne se poursuit pas en profondeur. Une fosse ouverte jusqu'à 5 mètres le 3 mai a permis de constater que le sol restait humide en dessous de 2,5 mètres pendant toute la saison sèche, même en année particulièrement sèche. La dessiccation en fin de saison sèche est très proche de celle sous forêt entre 50 centimètres et 2 mètres (85 à 95 % du pF 4,2), mais elle est beaucoup plus prononcée dans les horizons superficiels, la surface étant directement exposée à l'insolation : elle atteint environ 25 % de l'humidité à pF 4,2 dès le mois de février, soit un pF de l'ordre de 6,5.

Au début de la saison des pluies, le sol sous jachère reconstruit ses réserves hydriques plus rapidement que celui sous forêt (cf. le mois de mai, tabl. 10 et 12), l'extraction racinaire de la végétation herbacée étant très faible en début de cycle. Contrairement au sol sous forêt, un drainage profond apparaît en fin de saison des pluies, très probablement lors de la pluie de 70 mm du 11 septembre, mais il reste limité à cette pluie, les pluies ultérieures étant d'intensité trop faible ou tombant sur un sol trop sec (les mesures du mois d'août sont à éliminer car elles ont été réalisées à l'emplacement d'une ancienne tombe comme en témoignent les faibles valeurs de pF 4,2 et des articles funéraires trouvés à la base du profil). La quantité d'eau perdue par drainage profond doit cependant être extrêmement limitée : en effet, au 25 juillet, la différence entre l'humidité observée et l'humidité à la capacité au champ correspond à un stock des 120 mm, alors qu'entre le 25 juillet et le 23 septembre le total pluviométrique a été de 100 mm. A la fin des mesures, le 25 novembre 1983, le sol était plus sec en profondeur qu'au 15 novembre 1982, probablement à cause de la faiblesse des pluies d'octobre et de début novembre.

Si l'on compare l'évolution de l'humidité du sol sous jachère et sous forêt au cours de la saison sèche, il apparaît que les horizons compris entre 50 centimètres et 2,5 mètres parviennent dans les deux cas à une humidité constante, comprise entre 85 et 95 % de l'humidité au pF 4,2 correspondant à la tension maximale d'extraction racinaire, mais que cet état est atteint beaucoup plus rapidement sous forêt. En surface l'assèchement est plus poussé dans la jachère (25 % du pF 4,2, soit 1 g/100g d'humidité pondérale) que sous forêt (40 % du pF 4,2, soit 3 g/100g d'humidité pondérale) par suite de l'exposition directe à l'insolation. En profondeur (entre 2,5 mètres et 5 mètres) l'état d'humectation est déterminé par le système racinaire : le sol reste humide sous jachère où il atteint un mètre, il s'assèche jusqu'à plus de 5 mètres sous forêt ou l'exploitation racinaire dépasse 8 mètres de profondeur.

Au cours de la saison des pluies le système racinaire de la forêt absorbe rapidement les apports d'eau, qui ne peuvent donc être transmis que très progressivement aux horizons profonds. Sous jachère, par contre,

le profil a été réhumecté jusqu'à plus de deux mètres, même au cours de cette année particulièrement sèche. Comme la dégradation de l'état de surface ne semble pas diminuer sensiblement l'infiltration dans la jachère (cf. la pluie de 70 mm du 11 septembre), la présence de jachère ou de culture constitue un facteur favorable à l'apparition d'un drainage profond, donc à la recharge de la nappe.

5-2-2. Evaluation de l'évapotranspiration réelle mensuelle

Les pertes par drainage profond ayant été extrêmement limitées au cours de l'année d'observation, il est possible d'estimer grossièrement l'évapotranspiration réelle en négligeant le ruissellement :

$$ETR = P - \Delta \text{ stock}$$

Si la pluviométrie est connue avec précision grâce au pluviomètre de la station, l'estimation de la variation de stock sur les deux premiers mètres est difficile, étant donnée l'hétérogénéité d'une fosse à l'autre. Pour cette estimation, nous avons utilisé les variations du stock d'eau utile ($H_p - pF_{4,2}$) pour chaque tranche de sol afin de masquer au maximum les variations liées aux différences de texture entre les profils prélevés. Cette approximation revient à admettre que, pour un niveau et une tension donnés, la différence entre l'humidité à cette tension et l'humidité à $pF_{4,2}$ est constante, quelle que soit la texture, donc que la forme de la courbe $H_p = f(pF)$ est la même dans la gamme d'humidités rencontrée. Elle est admissible pour trois raisons :

- le sol présente une grande homogénéité structurale
- les valeurs de $pF_{4,2}$ à un niveau donné sont proches (cf. tabl. 9 et 11)
- les humidités sont généralement proches de l'humidité à $pF_{4,2}$.

L'estimation des variations de stock se complique du fait d'un assèchement se prolongeant au-delà des deux mètres étudiés. Si dans le cas de la jachère l'assèchement ne se poursuit qu'à 2,5 mètres et que donc l'erreur sur l'évaluation de la variation de stock est faible (de l'ordre de 35 mm), elle ne peut être négligée sous forêt où le sol s'assèche sur plus de 5 mètres. En estimant qu'en novembre le sol était à la capacité au champ entre 2 et 5 mètres, il est possible, en utilisant les valeurs de $pF_{4,2}$ déterminées sur la fosse profonde ouverte en mai et en remarquant l'homogénéité du profil en profondeur qui permet de supposer une faible variation de valeur de capacité au champ par rapport au niveau 1,5-2 mètres, d'évaluer par excès les réserves profondes utilisées en saison sèche : elles sont de l'ordre de 200 à 300 mm.

L'évapotranspiration réelle entre deux dates a été estimée par sommation des variations de stocks à tous les niveaux ; cependant les estimations qu'il a été nécessaire d'effectuer rendent cette estimation très grossière (tabl. 13).

Tableau 13. Evaluation mensuelle de l'ETR sous jachère et sous forêt
(Novembre 82-Novembre 83)

Mois	P mm	ETR mensuelle (mm)		ETP Penman moyenne mm
		sous forêt DAV 1	sous jachère DAV 2	
O	80,3	-	-	122
N	42,7	-	-	139
D	0	44 *	27	140
J	0	2 *	47	143
F	0	10 *	0	152
M	0	10 *	0	168
A	72,0	35	27	150
M	27,5	25	17	145
J	148,7	93 **	122	106
J	45,4	93 **	66	102
A	11,2	25	9	106
S	100,0	39	33	118
O	26,9	86	65	122
N	33,7	26	85	139
Total (D à N)	465,4	488	498	1 591

* Sous forêt, l'utilisation des réserves profondes (2 à 6 mètres environ) n'a pu être prise en compte. Elle produit une augmentation de 200 à 300 mm répartie sur les mois de décembre à mars.

** Mesure du mois de juin aberrante. Calcul de la moyenne des mois de juin et juillet.

En année sèche, le drainage profond est très limité : sous jachère l'évapotranspiration réelle est donc proche du total pluviométrique. Sous forêt, par contre, il existe une possibilité de compensation d'une année sur l'autre en utilisant les réserves profondes, qui permet de maintenir l'évapotranspiration à une valeur supérieure au total pluviométrique.

D'autre part, le système racinaire de la forêt assèchant le sol plus rapidement que celui de la jachère, l'évapotranspiration fléchit plus rapidement sous forêt lorsque la pluviométrie est faible, en l'absence de réserves profondes (cf. janvier et novembre).

CONCLUSION

La mise en culture des terres de Barre ne modifie, du moins pendant au moins les 13 premières années que les propriétés des horizons supérieurs. La baisse du taux de matière organique s'accompagne de la dégradation de la structure et d'une compaction importante du niveau situé entre 10 et 20 centimètres. La perméabilité du sol diminue nettement en surface, mais le drainage reste vertical et rapide, avec une cinétique qui semble complexe. Le ressuyage du sol est également rapide, la capacité au champ étant pratiquement atteinte après 24 heures.

Au cours de la saison sèche le sol s'est asséché au moins jusqu'à deux mètres, que ce soit sous forêt ou sous culture. Mais cet assèchement est très rapide sous forêt, d'autant plus que les réserves utilisables sont faibles (125 mm sur deux mètres). Il se poursuit également plus longtemps au début de la saison des pluies car les arbres récupèrent l'intégralité des premières pluies pour réhydrater leurs tissus. L'assèchement s'est limité à deux mètres sous culture, alors que les racines des arbres ont épuisé les réserves jusqu'à plus de cinq mètres. L'humidité minimale est dans les deux cas voisine de l'humidité au pF 4,5-4,7 en profondeur (absorption racinaire), et le sol s'est maintenu à cette humidité pendant près de 5 mois. En surface, par contre, l'assèchement a été beaucoup plus poussé, l'évaporation s'effectuant directement à partir de la surface : des pF de 6 à 6,5 ont été observés.

Les conditions de circulation de l'eau dans le sol sont donc favorables à un lessivage de la potasse, d'autant plus que la nature minéralogique du matériau ne favorise pas le stockage des bases.

Les analyses ont été réalisées au Laboratoire du Centre ORSTOM de Lomé sous la direction de Monsieur LARVY DELARIVIERE.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDRY (P.), COMBEAU (A.), HUMBEL (F.X.), ROOSE (E.), VIZIER (J.F.), 1973.- Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Bull. gr. travail sur la dyn. act. des sols, n° 2, ORSTOM (Paris), 126 p.
- BLIC (Ph. de), 1976.- Le comportement de sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : rôle de traits hérités du milieu naturel. Cah. ORSTOM (Paris), Sér. Pédol., XIV, 2, pp. 113-130.
- CHAUVEL (A.), 1977.- Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Trav. Doc. n° 62, ORSTOM (Paris), 532 p.
- DABIN (B.), 1956.- Contribution à l'étude de la fertilité des terres de Barre. Agron. Trop., XVI, 4, pp. 490-506.
- DAUDET (F.A.), 1970.- Méthodes et techniques d'étude de l'état de liaison et de la teneur en eau dans le sol et la plante. in : Techniques d'étude des facteurs physiques de la biosphère. INRA (Paris), pp. 283-313.
- HENIN (S.), 1977.- Cours de physique du sol. Vol. II. L'eau et le sol - Les propriétés mécaniques - La chaleur et le sol. Init. Doc. Techn. n° 29, ORSTOM (Paris) - EDITEST, 222 p.
- HUMBEL (F.X.), 1976.- L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. Trav. Doc. n° 54, ORSTOM (Paris), 310 p.
- KALMS (J.M.), VACHAUD (G.), VAUCLIN (M.), 1982.- Etude méthodologique de l'alimentation hydrique de deux variétés de riz pluvial à l'échelle d'une parcelle. Agronomie, 2 (9), pp. 871-883.
- 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 (Paris), sér. Pédol., XVI, 2, pp. 131-154.
- POSS (R.), FORGET (A.), 1983.- Contribution à la connaissance des niveaux aquifères du Nord-Togo, en relation avec la nature du sol et du substrat (de l'Oti à la frontière voltaïque). Rapp. ORSTOM (Lomé), 22 p., multigr.
- VACHAUD (G.), DANCETTE (C.), SONKO (S.), THONY (J.L.), 1978.- Méthodes de caractérisation hydrodynamique in-situ d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. Ann. Agr., 29 (1), pp. 1-36.
- POSS (R.), 1983.- La modélisation de la porosité des horizons gravillonnaires à partir des lois d'assemblage. Cah. ORSTOM (Paris), sér. Pédol., sous presse.
- POSS (R.), VALENTIN (C.), à paraître.- Structure et fonctionnement d'un système eau-sol-végétation : une toposéquence ferrallitique de Savane (Katiola, Côte d'Ivoire), Cah. ORSTOM (Paris), sér. Pédol.

A n n e x e

Résultats des analyses chimiques

Résultats d'analyses du profil sous forêt (DAV 1)

	Référence Profondeur (cm)	11 0-4	12 4-15	13 15-30	14 30-80	15 80- >190
Matière organique	Taux de matière organique (%)	6,9	2,0	0,9	0,5	0,3
	Teneur en azote (‰)	3,61	1,14	0,49	0,37	0,31
	C/N	11	10	10	8	5
Granulométrie	Refus	0	0	0	0	0
	Argile 0-2 μ	6,5	11,2	14,9	29,0	47,3
	Limon fin 2-20 μ	18,1	4,4	2,4	2,3	2,6
	Limon grossier 20-50 μ	8,0	3,8	5,1	5,2	4,1
	Sable fin 50-200 μ	31,0	23,8	25,3	15,7	15,6
	" grossier 200-2000 μ	31,0	51,1	52,4	49,2	32,6
Complexe échangeable (meq/100g)	Ca	18,66	6,68	3,15	1,04	1,97
	Mg	4,97	1,73	1,44	1,13	1,22
	K	1,37	0,27	0,12	0,16	0,03
	Na	0,08	0,04	0,02	0,04	0,05
	S	25,10	8,72	4,73	2,38	3,27
	T	17,62	7,25	3,48	3,72	3,08
	S/T	142	120	136	64	106
Bases totales (attaque HNO ₃) (meq/100g)	Ca	28,7	13,7	16,2	6,9	7,5
	Mg	7,8	4,0	4,9	4,1	5,6
	K	2,0	1,3	1,0	1,0	1,0
	Na	3,0	3,5	2,8	3,0	3,7
	Somme des Bases	41,5	22,5	25,0	15,0	17,8
	P ₂ O ₅ total ‰	1,67	0,81	0,60	0,48	0,47
	Fe ₂ O ₃ total ‰	2,81	2,21	2,26	3,45	4,93
pH	eau	7,0	6,9	7,2	5,9	6,1
	Kcl	6,5	6,6	6,1	4,3	4,6

Résultats d'analyses du profil sous jachère (DAV 2)

	Référence Profondeur (cm)	21 0-8	22 8-18	23 18-50	24 50-115	25 115- 190
Matière organique	Taux de matière organique (%)	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1
	Teneur en azote (‰)	0,48	0,43	0,34	0,36	0,34
	C/N	10	10	9	5	2
Granulométrie	Refus	0	0	0	0	0
	Argile 0-2 μ	6,6	8,1	20,5	35,9	43,6
	Limon fin 2-20 μ	3,3	2,7	2,1	2,1	2,6
	Limon grossier 20-50 μ	7,6	5,3	5,8	3,3	5,7
	Sable fin 50-200 μ	22,4	25,7	18,5	14,5	12,3
	" grossier 200-2000 μ	59,7	57,5	53,3	45,0	36,7
Complexe échangeable (meq/100g)	Ca	1,26	1,51	1,04	1,14	1,39
	Mg	0,75	0,62	0,59	1,20	1,22
	K	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02
	Na	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04
	S	2,12	2,18	1,69	2,38	2,68
	T	2,51	3,24	3,05	3,32	4,39
	S/T %	84	67	55	72	61
Bases totales (attaque HNO ₃) (meq/100g)	Ca	25,0	25,0	6,9	7,5	6,9
	Mg	3,4	3,2	3,5	5,3	5,6
	K	1,3	1,6	1,0	1,0	1,3
	Na	3,0	5,2	3,7	3,5	3,9
	Somme des Bases	32,7	35,0	15,1	17,3	17,7
	P ₂ O ₅ total ‰	0,56	0,50	0,38	0,39	0,44
	Fe ₂ O ₃ total %	1,47	1,61	2,77	4,15	4,99
pH	eau	5,5	5,7	5,3	5,1	5,1
	Kcl	4,8	4,9	4,2	4,3	4,5

O. R. S. T. O. M.

Direction générale:

24, rue Bayard, 75008 Paris

Service Central de Documentation:

70-74, route d'Aulnay, 93140 BONDY

O. R. S. T. O. M.

B. P. 375 LOME - Togo