

BILAN D'EAU ET CONSERVATION DU SOL AU NIARI

RÉPUBLIQUE DU CONGO

par

P. FRANQUIN et **G. MARTIN**

Physiologiste
I.R.C.T.

Pédologue
O.R.S.T.O.M.

COUVERTURE DU SOL, ÉROSION ET LESSIVAGE

Si la nécessité d'une couverture du sol, dans les régions à pluviosité abondante, et singulièrement dans la zone intertropicale, est toujours reconnue, sinon par les usagers, du moins par les spécialistes des questions agronomiques, les raisons qu'on en donne manquent parfois d'analyse. Il s'agit presque toujours d'assurer une protection, d'une part contre l'érosion, d'autre part contre l'insolation et l'élévation de température consécutive. Pour justes que soient ces raisons, tant sont désastreux les effets de la négligence à leur égard, et pour grand que soit leur caractère de généralité, elles ne doivent pas faire oublier un autre ordre de phénomènes qui conditionnent le maintien de la fertilité par leur action sur l'évolution des cations, de l'humus et de l'argile : *les phénomènes de lessivage*.

Dans une certaine mesure d'ailleurs, érosion, variations de température du sol et lessivage ont des effets liés. Les sols les plus sujets au lessivage, sont souvent les moins sujets à l'érosion du fait d'une pente faible et/ou d'une perméabilité qui, limitant le ruissellement, favorisent l'infiltration. Mais, d'autre part, un lessivage intense, par son effet d'entraînement des bases et consécutivement de dispersion des colloïdes, conduit à un état de dégradation de la structure qui accélère le processus d'érosion. Enfin, une température élevée augmente la vitesse de dissolution des bases en élevant le taux de dissociation électrolytique et en activant les phénomènes d'échanges de cations au niveau des colloïdes.

Si, donc, il est indispensable d'avoir un sol bien protégé contre la radiation, contre l'action destructrice des gouttes d'eau, contre le ruissellement, ce qu'on obtient facilement avec un végétal couvrant bien le sol ou avec une couverture morte comme le paillage, il ne l'est pas moins de le défendre contre une percolation exagérée des eaux d'infiltration, ce que seule peut faire une couverture vivante, qui, non seulement fait écran à la surface du sol, mais l'occupe aussi profondément et densément dans sa masse par un réseau de racines capable d'absorber et de rendre à l'atmosphère par voie de transpiration, le maximum de l'eau provenant des précipitations. Toutes les couvertures ne remplissent pas ce rôle. C'est le cas des couvertures mortes qui, supprimant les pertes d'eau par la surface du sol, favorisent au contraire le lessivage. C'est le cas aussi des plantes à enracinement tout à fait superficiel comme le sont parfois les graminées annuelles qui remplacent dans les jachères naturelles les espèces vivaces détruites par la culture. C'est le cas encore des plantations trop claires et, lorsqu'elles sont semées à trop faible densité, celui des plantes de couverture rampantes, *Pueraria*, *Mucuna*, *Mimosa*, *Stylosanthes...*, dont un seul pied peut, certes, recouvrir une surface considérable, sans pour autant peut-être occuper le sol assez densément dans sa masse et qui, en tout cas, mettent longtemps dans ces conditions à réaliser une occupation totale.

26 AVR. 1974

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

Collection de Références

n° - 6814 Hgo.

B 6814 ex 1

EFFETS DE LA DÉNUDATION SUR LES SOLS DE LA VALLÉE DU NIARI

L'importance du phénomène de lessivage n'est plus à démontrer. Cependant, nous évoquerons dans cette étude un cas particulièrement frappant qui est celui des sols de la Vallée du Niari, au Congo, sous 4° à 5° de latitude Sud. Ces sols en position de plateaux sont constitués par une formation superficielle ancienne de texture argileuse et comprenant à sa base un niveau grossier composé de gravillons et de débris de cuirasse. Ce matériau argileux est caractérisé par sa grande homogénéité dans son épaisseur et sur toute la surface qu'il occupe, de même que par sa forte évolution : réserve minérale faible, nature kaolinique de la fraction silicatée, richesse en hydroxydes métalliques. Ces sols portent une végétation de savane comprenant presque exclusivement des graminées à fort enracinement (*Hyparrhenia diplandra* dominant) et sont naturellement lessivés, leur pH au défrichement se situant entre 4,9 et 5,5. Sous cette savane, les micro-organismes et les plantes sont en équilibre avec le sol : le complexe organo-minéral est stable à l'échelle des temps présents. Au moment de la mise en culture, cet équilibre est rompu et la minéralisation l'emporte sur les synthèses organiques. Un autre équilibre peut s'établir, mais à un niveau plus bas et, dans les cas les plus graves, le sol retourne pratiquement au stade minéral. Le matériau argileux, en proportion de 60 à 80 % (fraction inférieure à deux microns) est fait à parties égales d'hydroxydes métalliques d'une part et de kaolinite d'autre part pour la fraction silicatée. La capacité

d'échange, du fait du faible pouvoir de fixation de ce matériel argileux, et dans la couche superficielle humifère, est due pour la moitié au moins à la fraction colloïdale de la matière organique. Le taux d'humus ayant baissé après une ou plusieurs années de culture, suivant son importance au défrichement et les modalités de cette culture, et bien que la matière organique totale paraisse toujours en quantité suffisante, la capacité de fixation décroît rapidement jusqu'à ne plus être que de quelques milli-équivalents (pour 100 g de terre). Dans le meilleur cas à la station de l'I.R.C.T., à MADINGOU, capacité d'échange et degré de saturation sont de 10 meq. et de 25 % (somme des bases échangeables 2 meq/100 g). Mais dans le cas d'une parcelle dégradée, la capacité d'échange n'est plus que de 5,5 meq. et elle n'est saturée qu'à 10 %. Le pH, déjà bas au défrichement, peut tomber aux environs de 4,0 après quelques années de cultures mal conduites, surtout si par accident une dénudation du sol est intervenue. La dégradation se manifeste d'abord par une baisse générale de fertilité, puis par l'apparition de plages de stérilité totale qui vont en s'étendant. Sur ces surfaces, l'arachide et le cotonnier, entre autres, présentent les symptômes de la toxicité manganésique. Les rendements extrêmement bas, peuvent être nuls dans les cas extrêmes. L'abaissement du pH s'accompagne, en effet, du passage sous forme réduite assimilable de certaines formes oxydées insolubles, mais facilement réductibles du manganèse toujours abondant dans ces sols.

EXEMPLES DE DÉGRADATION DES SOLS

De très nombreux exemples peuvent être donnés d'analyses exprimant bien le phénomène de stérilisation, aussi bien dans l'espace si on compare au même moment, dans une parcelle, une plage stérile et une plage de végétation normale, que dans le temps, si d'année en année, on suit la fertilité d'une même parcelle.

Dans l'espace, on citera deux exemples tirés de parcelles de l'I.R.C.T. Le premier (tableau I) concerne une parcelle de cotonniers après trois ans de cultures diverses (champ 35 C). L'analyse du sol montre nettement la baisse des teneurs en CaO, MgO et K₂O et celle du pH qui s'ensuit, pour l'horizon 0-20 surtout. Bien que la matière organique totale ne paraisse pas affectée, il y a chute de N total. Au niveau de la plante, si la teneur en N est plus forte sur plage stérile, c'est qu'il s'agit d'un effet de concentration, comme

peut-être aussi dans une certaine mesure pour CaO et MgO dont les plus fortes valeurs sont cependant principalement dues à la faiblesse de la potasse, leur antagoniste. On constate, en effet, régulièrement, lorsque la potasse, moins sensible au lessivage dans ces sols, est en quantité suffisante, une baisse de MgO et surtout de CaO corrélatrice de celle des mêmes éléments dans le sol. On remarquera enfin surtout la forte augmentation de Mn dont le seuil toxique est de 800 à 1 000 ppm, suivant les circonstances.

Le deuxième exemple (tableau I) concerne un champ de maïs en quatrième année de culture diverse, faisant suite notamment à une arachide présentant par places les symptômes de l'intoxication par le manganèse (champ 22). Ici encore, chute importante de CaO et MgO (la potasse n'étant pas affectée) entraînant celle du pH et

TABLEAU I. — Congo, vallée du Niari — Dégradation des sols à la station de l'I.R.C.T.

1° Cotonnier après trois ans de cultures diverses	Analyse de sol (Ch. 35 C)							Analyse foliaire (cotonnier)					
	Horizon cm	pH	CaO Ech. meq.	MgO Ech. meq.	K ₂ O Ech. meq.	N %	MgO %	N %	P ₂ O ₅ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Mn ppm
Plages fertiles	0-20	5,1	1,57	0,49	0,25	0,14	3,8	2,2	0,4	2,6	0,4	1,8	500
	20-40	4,7	0,37	0,17	0,25	0,11	2,4						
Plages stériles	0-20	4,6	0,48	0,18	0,09	0,08	4,0	2,6	0,4	2,8	0,8	0,5	1 400
	20-40	4,6	0,78	0,10	0,05	0,10	1,5						

2° Maïs après trois ans de cultures diverses.	Analyse de sol (Ch. 22)							Analyse foliaire (Maïs)					
	Horizon cm	pH	CaO Ech. meq.	MgO Ech. meq.	K ₂ O Ech. meq.	N %	MgO %	N %	P ₂ O ₅ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Mn ppm
Plages fertiles	0-20	5,1	1,42	0,24	0,17	0,16	3,8	2,2	0,7	0,35	0,4	2,5	100
	20-40	5,1	0,82	0,20	0,12	0,12	2,8						
Plages stériles	0-20	4,6	0,41		0,17	0,14	3,1	1,8	0,6	0,2	0,2	2,3	600
	20-40	4,6	0,46	0,06	0,12	0,12	2,8						

baisse de la teneur en matière organique. Corrélativement, les tissus du maïs sont plus pauvres en N, CaO, MgO et six fois plus riches en Mn.

Les cas ne sont pas rares enfin où on a pu doser de 2 000 à 3 000 ppm de manganèse dans des cotonniers végétant, pour disparaître d'ailleurs bientôt au stade de quelques feuilles, sur des parcelles dont le pH était descendu au voisinage de 4,2.

Dans le temps, bien des exemples d'évolution peuvent être également cités, comme celui de la

parcelle D2 de l'UC4-CGOT. Les prélèvements répétés trois ans indiquent (tableau II) de la même façon une diminution des teneurs en CaO et MgO, la potasse restant stable, et donc une baisse de la somme des bases échangeables, mais probablement plus importante que celle de la capacité d'échange due à l'humus, perceptible dans les taux de matière organique totale et d'acides humiques, puisque le pH tombe rapidement exprimant une désaturation du complexe. La teneur en azote total décroît également, provoquant une augmentation du rapport C/N.

TABLEAU II. — Congo, vallée du Niari — Dégradation des sols dans la parcelle D2 de l'UC4-C.G.O.T.

Date de prélèvement.....	11-XII-1954		16-XI-1955		27-XI-1956	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
Profondeur						
pH.....	5,3	5,3	4,9	4,75	4,6	4,5
<i>Bases échangeables :</i>						
CaO meq.	2,1	0,37	1,40	0,96	1,31	0,86
MgO	0,4	0,07	0,31	0,15	0,15	0,06
K ₂ O	0,25	0,06	0,25	0,12	0,31	0,25
Na ₂ O	0,03	0,03	0,08	0,08	0,06	0,09
Somme meq.	2,82	0,53	2,04	1,28	1,83	1,26
CaO/MgO	4,7	5,3	4,6	6,2	8,7	14,3
C %	3,0	1,5	2,5	2,0	2,6	1,8
N mg/100 g	199	137	182	138	161	137
C/N	15	11	14	15	16	13
Mat. Org. %	5,2	2,3	4,4	3,4	4,5	3,1
Ac. Hum. mg/100.....	25	8	10	4	16	10

On a constaté, comme l'a déjà signalé H. JULIA (1953), que les processus de dégradation étaient particulièrement rapides pour les sols dénudés ou mal couverts. A ce sujet, les résultats de mesures de pH effectuées sur un essai de dénudation sont significatifs (tableau III). La saison des pluies comportant deux cycles pluvieux séparés par une petite saison sèche, deux cycles culturaux sont pratiqués annuellement.

On remarque que l'acidification est la plus forte sur les parcelles non travaillées après trois ans de dénudation. Elle semble, d'autre part, démarrer un peu plus vite sur les parcelles nues travaillées et on peut avancer que deux ou trois cycles de dénudation entraînent un appauvrissement du sol équivalent à celui qui résulte de six cycles d'arachide consécutifs.

TABLEAU III. — Congo, vallée du Niari — Evolution du pH d'une terre dans un essai de dénudation à la Station de l'I.R.C.T.

Traitement	pH moyen répétitions	Différence avec savane	Différence avec arachide
Savane	5,00		+ 0,35
Arachide : 6 cycles (3 ans)	4,65	— 0,35	
<i>Parcelles nues travaillées :</i>			
6 cycles (3 ans)	4,45	— 0,55	— 0,20
4 cycles (2 ans)	4,45	— 0,55	— 0,20
2 cycles (1 an)	4,80	— 0,20	+ 0,15
<i>Parcelles nues non travaillées :</i>			
3 ans	4,20	— 0,80	— 0,40
2 ans	4,45	— 0,55	— 0,20
1 an	4,90	— 0,10	+ 0,25

Or, il est possible de mettre en relation directe ces processus de dégradation avec le phénomène de lessivage. Une première observation en cuve lysimétrique a été faite en ce sens, en 1957. Deux cuves remplies d'un même sol, par horizons reconstitués (0-20, 20-50, 50-80, 80-110), étaient, l'une plantée en *Urena lobata*, plante jutière à système racinaire à la fois pivotant et fasciculé en surface et occupant parfaitement le sol, l'autre laissée nue, aux quelques graminées près semées naturellement, durant toute une saison pluvieuse de 1155 mm. On ne possède pas les analyses de sol au moment du remplissage, mais seulement celles qui ont pu être faites sur des échantillons prélevés en fin de saison (tableau IV).

S'il n'y a pas de différence sensible dans la matière organique et l'azote, la somme des bases échangeables, par contre, a fortement diminué dans la case restée nue (profondeur 0-20 cm). En conséquence, le pH a fortement baissé. Bien que les eaux de percolation n'aient pas été analysées (le lit de gravier occupant le fond des cases étant lui-même calcaire, les valeurs auraient été faussées), on peut avancer que cette perte est

bien due au lessivage consécutif au drainage important qui a affecté la case nue : entre le 1^{er} janvier et la fin de la saison pluvieuse, il a été recueilli 1 278 litres d'eau, représentant 319 mm de précipitations, tandis que la case cultivée ne laissait passer, dans le même temps, que 23 litres ou 6 mm, la différence correspondant à l'évapotranspiration de l'*Urena*.

TABLEAU IV. — Analyse du sol en cuve lysimétrique après une saison

Objets analysés	Case cultivée en <i>Urena</i>	Case nue
pH	4,6	4,1
Bases échangeables } meq/100 g	CaO	0,78
	MgO	0,26
	K ₂ O	0,42
	Na ₂ O	0,04
Somme des bases échangeables	2,90	1,50
Matière organique %	4,1	3,9
N total mg/100 g	140	140

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Ces observations ont conduit à examiner en cases lysimétriques, sous le rapport du bilan d'eau, le comportement de diverses plantes de culture, de couverture et de jachère susceptibles de rentrer dans un assolement.

Huit cases disposées en carré autour d'un puits central de collecte des eaux de drainage ont été remplies d'un sol jamais cultivé reconstitué par tranches de 0 à 20, 20 à 40 et 40 à 60 cm, sur un sous-sol déjà ancien de 50 cm d'épaisseur, reposant lui-même sur un lit de gravier de 10 cm au fond de la case. La répartition d'une même tranche de terre entre les huit cases a été faite de façon aussi homogène que possible par petites fractions de 20 litres de terre. Le tassement a été réalisé par un léger damage (on obtient ainsi une densité apparente de 1,15 contre 1,30 pour le sol en place). Le prélèvement avait été effectué après humectation du sol à saturation, puis resuyage pour éviter la détérioration de la structure. Chaque case était entourée d'une bordure de garde de deux mètres de la même plante.

Les plantes susceptibles de rentrer dans un assolement au NIARI sont, pour les *plantes annuelles* : arachide, maïs, paddy, cotonnier ; pour les *jachères-couvertures* : *Stylosanthes gracilis*, *Pueraria javanica*, pois d'angole, *Meibomia nicaraguensis*... ; pour les *jachères-prairies* : *Stylosanthes*, *Melinis minutiflora*, *Paspalum virgatum* ou leurs mélanges ; pour les *engrais verts* enfin : maïs, pois d'angole, *Tithonia speciosa*...

On avait retenu, pour une première expérimentation en 1958-59, les plantes citées au Tableau V. *Hibiscus*, *Paspalum* et *Stylosanthes* occupent leur case de végétation durant toute la saison pluvieuse, tandis qu'à une arachide ou à un maïs de premier cycle succèdent, sur la même case, une arachide, un maïs, un paddy ou un *Tithonia* de deuxième cycle.

Les lames d'eau percolées recueillies journalièrement, mais additionnées par périodes de sept jours, sont représentées dans les colonnes D du même tableau, ces quantités étant cumulées dans les colonnes SD. Ces résultats de drainage doivent être interprétés en fonction des observations de végétation. Il faut noter aussi qu'une partie de l'eau qui n'a pas percolé a servi tout d'abord à humecter les couches profondes jusqu'à la capacité de rétention.

Au premier cycle des pluies, l'*Hibiscus* (case 1) servi par son démarrage rapide, sa végétation dense couvrant parfaitement le sol et son enracinement profond ne laisse percoler que 48 mm d'eau sur une lame totale de précipitations de 630 mm, la différence ayant été utilisée pour

l'humectation des couches profondes et pour l'évapotranspiration de la plante. Sous les trois arachides (cases 2, 3 et 4), de végétation bien développée dissimulant parfaitement, malgré le port bas de cette plante, le pourtour des cases confondu avec la bordure de garde, la percolation a été de 124, 111 et 112 mm. Les cases 3 et 4 se sont comportées de façon rigoureusement semblable, leur différence avec la case 2 venant de ce que leur sous-sol, entre 50 et 110 cm, était constitué d'un sol à meilleure capacité de rétention pour l'eau que le sous-sol correspondant de la case 2. Passé le 7 décembre d'ailleurs, lorsque l'humidité a atteint la capacité de rétention dans les trois cases, leur comportement est rigoureusement le même. Les deux cases plantées en maïs (5 et 6), mal venu (cette culture exigeant du fumier sur ce type de sol), laissent passer 190 et 195 mm : ici encore, bien que les sous-sols fussent différents, comme il apparaît bien en début de drainage, l'accord est assez bon. C'est là un exemple de culture ratée qui n'occupe pas assez le sol et favorise le lessivage. Dans la case 7, le *Paspalum virgatum*, après un mauvais départ nécessitant plusieurs repiquages après semis, arrive à s'installer correctement en fin de premier cycle mais non sans avoir laissé percoler une lame de 160 mm. Enfin sous *Stylosanthes*, plante à végétation toujours lente au début, il ne draine néanmoins que 108 mm.

Au deuxième cycle des pluies, l'*Hibiscus* (case 1) se comporte tout d'abord comme une couverture parfaite, puis ayant perdu, parce que arrivé en fin de végétation, la plus grande partie de son feuillage, il laisse alors passer dans le dernier mois 96 mm. Sous l'*arachide* (case 2), il percole 174 mm sur les 446 tombés. Sous *Paddy* (case 3), cotonnier (case 4) et maïs (case 5), tous trois mal venus, il passe respectivement 181, 220 et 181 mm. Le *Tithonia* (case 6), resté chétif au point de laisser le sol presque nu, détermine un drainage de 279 mm. Enfin le *Paspalum* (case 7) et le *Stylosanthes* (case 8), malencontreusement fauchés à mi-mars pour favoriser le tallage, laissent passer respectivement 98 et 148 mm en fin de saison des pluies.

Ainsi, soit que les plantes en question, bien venues, aient été naturellement plus ou moins efficaces contre la percolation, soit que, mal venues, leur efficacité ait été réduite, les quantités d'eau recueillies sous les huit cases de végétation sont très inégales et diversement réparties dans le temps. Pour juger de l'effet de ces variations sur le lessivage des bases, on a fait des mesures de pH qui sont, au NIARI, un indice parlant de l'état de conservation du sol.

TABLEAU V. — Drainage, en mm, des cases lysimétriques 1958-1959

Case	1		2		3		4		5		6		7		8		Pluviométrie	
	D	SD	D	SD	D	SD	D	SD	D	SD	D	SD	D	SD	D	SD	Lame d'eau antérieure au 1 ^{er} déc. : 210 mm	
<i>1^{er} cycle</i>	<i>Hibiscus</i>		<i>Arachide</i>		<i>Arachide</i>		<i>Arachide</i>		<i>Maïs</i>		<i>Maïs</i>		<i>Paspalum</i>		<i>Stylosanthes</i>			
7/12	1	1	17	17	8	8	7	7			11	11	2	2			52	262
14	34	34	45	62	43	51	45	52	35	35	46	57	47	49	44	44	65	327
21	6	40	8	70	8	59	7	59	15	50	13	70	11	60	-9	53	—	327
28	—	»	—	»	—	»	—	»	2	52	2	72	2	62	2	55	21	348
4/1	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	89	437
11	8	48	32	102	31	90	31	90	70	122	56	128	53	115	29	94	42	479
18	—	»	2	104	2	92	2	92	7	129	7	135	3	118	3	97	18	497
25	—	»	—	»	—	»	—	»	10	139	10	145	2	120	—	»	51	548
1/2	—	»	6	110	6	98	8	100	29	168	31	176	22	142	3	100	40	588
8	—	»	11	121	10	108	11	111	16	184	14	190	16	158	8	108	12	600
15	—	»	2	123	2	110	1	112	4	188	3	193	2	160	—	»	10	610
22	—	»	1	124	1	111	—	112	2	190	2	195	—	»	—	»	30	640
<i>2^e cycle</i>			<i>Arachide</i>		<i>Paddy</i>		<i>Cotonnier</i>		<i>Maïs</i>		<i>Tithonia</i>							
29	—	»	3	127	3	114	3	115	4	194	4	199	—	»	—	»	5	645
8/3	—	»	2	129	1	115	1	116	1	195	1	200	—	»	—	»	11	656
15	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	1	201	—	»	—	»	17	673
22	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	42	715
29	—	»	—	»	—	»	—	»	—	»	4	205	—	»	—	»	32	747
5/4	—	»	—	»	4	119	3	119	—	»	4	209	—	»	—	»	25	772
12	—	»	24	153	40	159	50	169	16	211	53	262	—	»	—	»	70	842
19	—	»	38	191	44	203	48	217	43	254	58	320	1	161	26	134	114	956
26	20	68	30	221	30	233	33	250	33	287	37	357	22	183	32	166	19	975
3/5	24	92	10	231	13	246	15	265	19	306	38	395	17	200	24	190	108	1083
10	47	139	60	291	45	291	67	327	67	373	69	464	54	254	61	251	31	1114
17	5	144	5	296	3	294	7	332	7	380	8	472	4	258	5	256	—	1114
24	—	»	2	298	—	»	1	»	1	381	2	474	—	»	—	»	—	1114

Ces mesures, pour la tranche de sol 0-20, sont inscrites au Tableau VI, toutes ayant été faites en trois répétitions, avec la même électrode de verre (pH à l'eau, rapport eau/terre = 5/2). Les moyennes pour chaque case, à chaque date de prélève-

ment, sont présentées avec leur plus petite différence significative (p.p.d.s.) au seuil 5 %. Une deuxième série de moyennes obtenues au moyen de diverses électrodes est donnée dans le même tableau.

TABLEAU VI. — Evolution du pH du sol en cases lysimétriques.

pH au départ						pH mi-février				
Case	1	2	3	Moyenne	Moyenne 10 mesures	1	2	3	Moyenne	Moyenne 11 mesures
1	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,85	4,95	4,91	4,88
2	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,80	4,80	4,80	4,80	4,76
3	5,00	4,95	5,00	4,98	4,98	4,80	4,80	4,80	4,80	4,77
4	4,95	4,95	5,00	4,96	4,97	5,00	5,00	5,00	5,00	4,96
5	5,00	4,95	5,00	4,98	4,98	5,00	4,95	5,00	4,98	4,96
6	5,00	4,90	4,95	4,98	4,97	4,85	4,85	4,75	4,81	4,76
7	5,00	4,90	4,95	4,95	4,96	4,80	4,75	4,75	4,76	4,70
8	5,00	4,90	4,95	4,96	4,96	4,90	4,85	4,80	4,85	4,83
p.p.d.s. à P = 0,05				0,035	0,050	p.p.d.s. à P = 0,05			0,050	0,045
pH fin mai						pH fin juin				
Case	1	2	3	Moyenne	Moyenne 8 mesures	1	2	3	Moyenne	
1	4,80	4,75	4,80	4,78	4,77	4,65	4,70	4,65	4,66	
2	4,70	4,70	4,65	4,68	4,69	4,55	4,60	4,50	4,55	
3	4,90	4,80	4,85	4,85	4,82	4,80	4,75	4,80	4,78	
4	5,00	4,95	5,00	4,98	4,97	5,85	5,90	6,00	5,90	
5	5,05	5,00	5,00	5,05	5,03	6,00	6,00	6,00	6,00	
6	4,65	4,60	4,65	4,63	4,63	4,55	4,55	4,55	4,55	
7	4,85	4,80	4,90	4,85	4,81	4,85	4,80	4,90	4,85	
8	4,75	4,70	4,70	4,71	4,72	4,70	4,65	4,70	4,68	
p.p.d.s. à P = 0,05				0,045	0,050	p.p.d.s. à P = 0,05			0,06	

Au remplissage des cases, les moyennes diffèrent au plus de 0,03 unité de pH, la p.p.d.s. étant égale à 0,035. On peut considérer que la valeur moyenne du pH avant culture était égale à 4,96 ($\pm 0,008$). Sur une autre série de dix mesures, faites avec diverses électrodes, les moyennes (de moyenne générale $4,96 \pm 0,006$) diffèrent très peu des précédentes et ne se distinguent pas non plus l'une de l'autre. Les conditions de départ étaient ainsi bien uniformes.

A mi-février, les différences sont déjà sensibles. Les cases 4 et 5, sous arachide et maïs respectivement, se sont maintenues à 5,0 et 4,98 : mais elles avaient reçu 300 g/m² de calcaire broyé. Les cases 2 et 3 sous arachide sont passées à 4,80, comme la case 6 sous maïs : mais cette dernière a laissé drainer 195 mm contre 124 et 111 aux deux premières. La baisse la plus forte est notée pour la case 7 sous *Paspalum* avec ses 160 mm de percolation ; la plus faible pour l'*Hibiscus* (case 1) avec 48 mm, puis pour le *Stylosanthes* (case 8) avec 108 mm. Une autre série de mesures, en onze répétitions avec des électrodes variées fournit des moyennes qui, pour être quelque peu diffé-

rentes des précédentes, présentent les mêmes écarts relatifs.

Fin mai, quinze jours après l'arrêt des pluies du deuxième cycle, la situation s'est beaucoup aggravée pour les cases 2 (arachide : pH 4,68, percolation, 174 mm) et 6 (*Tithonia* manqué : pH 4,63, percolation 279 mm). Par contre, la case 3, en Paddy arachide, ne change pas (pH 4,85, percolation 181 mm). Le *Paspalum* améliore sa position (4,85) pour une percolation de 98 mm tandis que le *Stylosanthes* (pH 4,71) et l'*Hibiscus* (pH 4,78) perdent l'avantage marqué en premier cycle pour des percolations de 148 et 96 mm respectivement.

Fin juin, enfin, avec la sécheresse, la chute de pH s'accroît pour les cases 1 (*Hibiscus* 4,66), 2 (arachide + arachide : 4,55), 6 (maïs + *Tithonia* : 4,55) et 8 (*Stylosanthes* : 4,68) déjà en baisse au mois de mai. Le pH se maintient au contraire pour la case 7 (*Paspalum* : 4,85) mais il baisse pour la case 3 (arachide + Paddy : 4,78) qui tendait à remonter le mois précédent. Enfin, la hausse est spectaculaire pour les cases 4 et 5 qui ont reçu du calcaire au départ.

DISCUSSION

Des différences de 0,1 à 0,3 unités de pH (cases 4 et 5 exclues qui ont reçu du calcaire), qui peuvent paraître négligeables, sont au contraire pleines de signification, au Niari, dans la zone de forte acidité où se situe toujours le pH de ces sols déjà fortement lessivés avant leur mise en culture, parce qu'elles expriment (MARTIN, 1961), des pertes de bases très importantes, mais surtout du fait de la présence en grande quantité (souvent plus de 2 000 p.p.m. par détermination au pH du sol dans un tampon d'acétate de sodium additionné de 0,2 % de chlorhydrate d'hydroxylamine, FRANQUIN, 1958), de manganèse facilement réductible. Le cotonnier peut y être cultivé avec succès à pH 5,3 mais donne des rendements très diminués à pH 5,0, valeur au-dessous de laquelle sa culture perd tout intérêt. Il en va de même pour l'arachide de pH 4,7 à pH 4,4. L'équilibre des réactions d'oxydo-réduction par lesquelles le manganèse s'oxyde et se réduit réversiblement est, en effet, extrêmement sensible aux très faibles variations de pH, comme en témoignent les courbes des figures 1 et 2, d'où l'intérêt porté ici à ce critère de la fertilité.

Il se pose, d'autre part, la question de la représentation des échantillons de sol ayant servi aux déterminations. Chacun d'eux représente bien les 20 cm superficiels d'une case de végétation pour avoir été prélevé densément sur toute la surface de 4 m². Mais chacun des objets en comparaison n'est répété qu'une fois, sauf, lors du premier cycle de culture, pour l'arachide répétée trois fois (cases 2, 3 et 4, cette dernière ayant reçu du calcaire et pour le maïs répété deux fois (cases 5 et 6, la première avec du calcaire). Pour les trois cases cultivées en arachide d'une part, et pour les deux cases en maïs d'autre part, le drainage a été très étroitement le même. En conséquence, l'évolution du pH pour les deux cases en arachide n'ayant pas reçu du calcaire a été strictement semblable. Ceci est une bonne présomption que l'importance du drainage et ses effets sur l'évolution du pH reflétaient bien dans tous les cas le type de végétation. On considérera alors comme significative des différences de l'ordre du double ou du triple de l'erreur (0,05 en moyenne) de mesure au pH-mètre.

Ces précisions et réserves faites, on peut dire :

— Qu'après le premier cycle de pluies et de culture, les cases dont la percolation a été la plus importante (maïs et *Paspalum*) ont présenté la plus forte baisse de pH, tandis que celles qui ont laissé passer le moins d'eau (*Hibiscus* et *Stylosanthes*) ont présenté la plus faible. Mais une baisse aussi forte que sous maïs et sous *Paspalum*

est notée sous arachide pour une percolation pourtant bien moindre ;

— Que si, de façon générale, à la suite du deuxième cycle de pluies et de culture, les cases les plus affectées par la chute du pH sont aussi celles qui ont laissé percoler le plus d'eau :

	pH	percolation
— case 6 (maïs + <i>Tithonia</i>) ..	4,55	474 mm
— case 2 (arachide + arachide)	5,55	298 mm

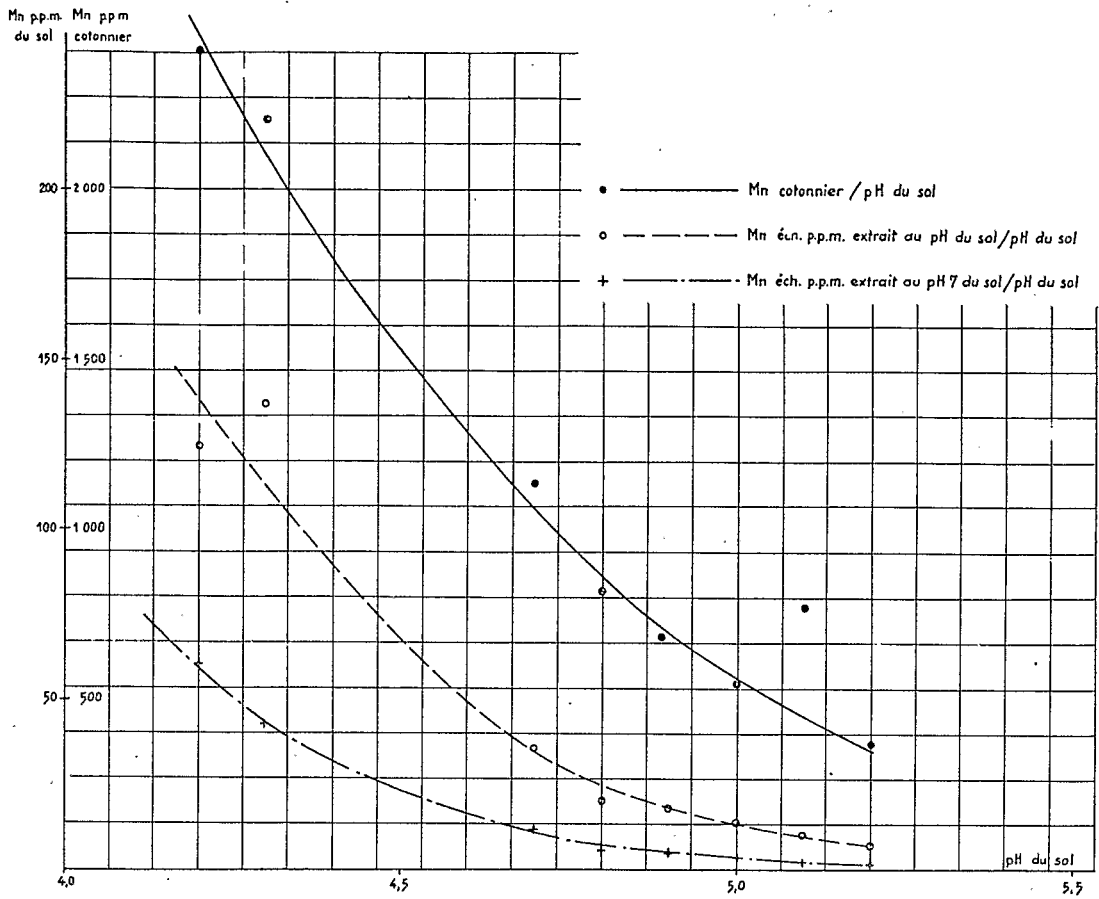
cette baisse n'est pas en rapport étroit avec les quantités qui ont lessivé le sol, puisqu'elle est la même pour deux arachides de végétation normale couvrant bien le sol que pour un maïs suivi d'une sole presque dénudée en deuxième cycle, du fait d'un *Tithonia* non réussi. De même, pour une percolation égale : *Paspalum*, 258 mm et *Stylosanthes*, 256 mm, la baisse est plus forte pour le second (4,68) que pour le premier (4,85). Pour une percolation égale encore (298 et 294 mm), arachide + arachide (4,55) a présenté une chute plus forte que arachide + paddy (4,78). Il est remarquable enfin que pour une percolation qui n'a été que de 114 mm, la case plantée en *Hibiscus* a été finalement très éprouvée (4,66) alors qu'à la fin du premier cycle elle n'avait qu'à peine varié sous une percolation de 48 mm.

On est amené à penser que si la quantité d'eau qui a drainé joue le rôle principal, d'autres facteurs interviennent :

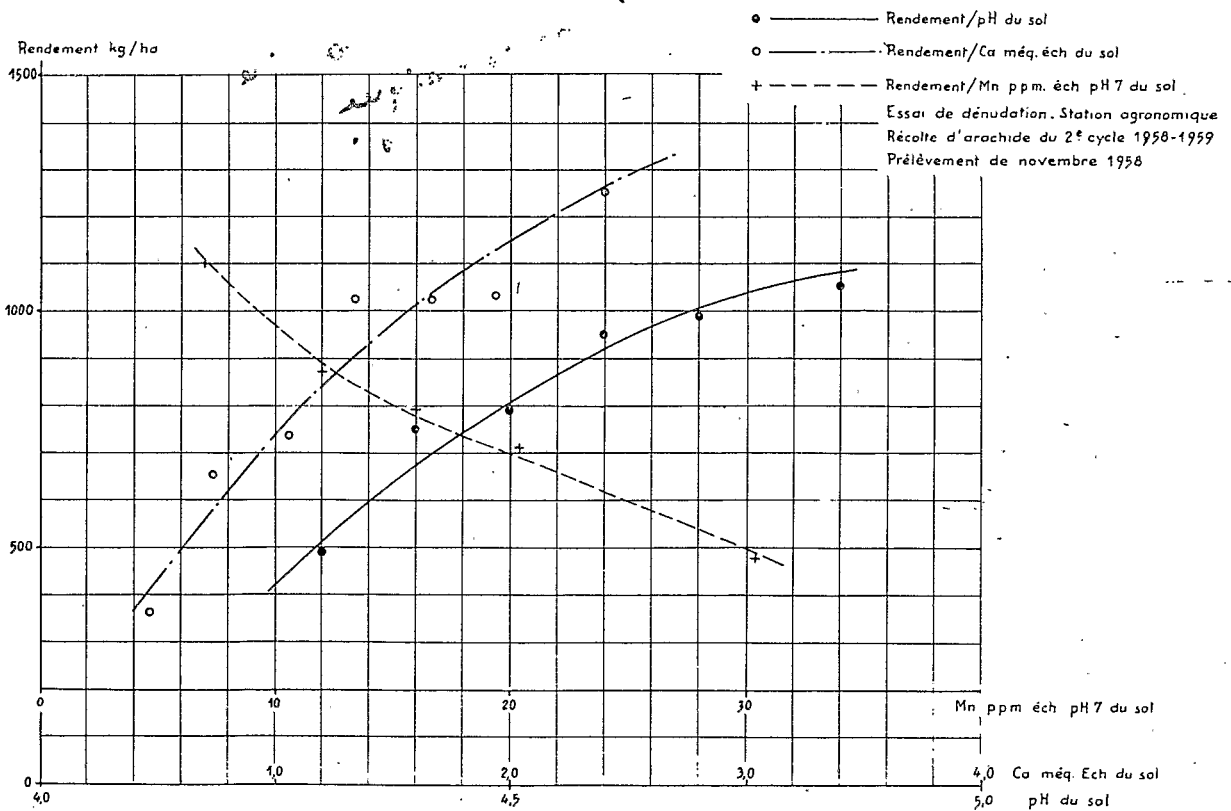
— *L'époque du drainage.* On a d'ailleurs souvent observé, au Niari (MARTIN, 1958), que les dénudations (systématiques ou consécutives à des cultures manquées) de deuxième cycle sont de beaucoup les plus dangereuses pour le maintien d'un pH convenable. C'est ce qui pourrait expliquer le comportement final de la case plantée en *Hibiscus* dont 96 mm sur 144 ont filtré dans le dernier mois de la saison des pluies, pour des raisons qu'on indiquera lors de l'examen des évapotranspirations. Le comportement final de la case plantée en *Stylosanthes* peut être expliqué de la même façon, notamment si on la compare à celui de la case plantée en *Paspalum* :

	1 ^{er} cycle	2 ^e cycle
<i>Paspalum</i>	160 mm	98 mm
<i>Stylosantes</i>	108 mm	148 mm

— *L'espèce végétale.* Il n'est pas exclu que certaines espèces aient, toutes autres choses égales, un effet spécifique sur l'évolution du pH des sols, effet par lequel pourraient s'expliquer au moins partiellement, les comportements des



Graphique 1



Graphique 2

cas plantées en arachide et en *Stylosanthes*, comparativement à celles cultivées en *Paspalum*, paddy et maïs, ou encore en légumineuses d'une part et en graminées d'autre part. Il y a là un champ de recherches qu'il pourrait être intéressant d'explorer.

ÉVAPOTRANSPIRATIONS

Pour l'interprétation des percolations (D), il est instructif de considérer les évapotranspirations

(ET) déduites des premières suivant la relation du bilan d'eau : $ET = P - D$, P représentant les pluies de la période considérée.

Les évapotranspirations ont donc été calculées approximativement, relativement à chacune des huit cases de végétation, pour différentes périodes allant du début ou de la fin d'une percolation au début ou à la fin d'une autre percolation. On a ainsi, dans le tableau VII, suivant la colonne :

TABLEAU VII. — Calcul de l'évapotranspiration en cases lysimétriques sous différentes végétations

Période		a)	b)	c)	d)	e)	f)
Lysimètre		22/12 au 15-21/5	22/12 au 6/2	22/12 au 29/1	20/2 au 15-21/5	1/5 au 15-21/5	6/4 au 28/4
1	C1 <i>Hibiscus</i> C2	4,4/5,25 84 %	6,0/4,6 130 %	6,8/5,2 130 %	3,9/5,7 69 %	3,0/5,5 54 %	7,3/4,5 162 %
2	C1 Arachide C2 Arachide	3,7/5,25 70 %	4,7/4,45 106 %	5,2/4,6 113 %	3,1/5,7 55 %	2,8/5,5 51 %	5,0/4,8 104 %
3	C1 Arachide C2 Paddy	3,8/5,25 72 %	4,7/4,45 106 %	5,2/4,6 113 %	3,1/5,7 55 %	3,5/5,5 64 %	4,0/4,8 83 %
4	C1 Arachide C2 Cotonnier	3,4/5,25 65 %	4,7/4,45 106 %	5,2/4,6 113 %	2,7/5,7 48 %	2,7/5,5 49 %	3,2/4,8 66 %
5	C1 Maïs C2 Maïs	3,1/5,25 60 %	2,9/4,45 65 %	3,3/4,6 72 %	2,9/5,7 51 %	2,2/5,5 40 %	4,8/4,8 100 %
6	C1 Maïs C2 <i>Tithonia</i>	2,5/5,25 48 %	3,2/4,45 72 %	3,7/4,6 80 %	1,9/5,7 33 %	1,2/5,5 22 %	2,6/4,8 54 %
7	C1 <i>Paspalum</i> C2	4,1/5,25 80 %	3,7/4,75 83 %	4,3/4,6 93 %	3,8/5,7 66 %	4,4/5,5 80 %	5,8/4,5 130 %
8	C1 <i>Stylosanthes</i> C2	3,8/5,25 72 %	4,7/4,45 106 %	5,0/4,6 109 %	3,5/5,7 58 %	3,8/5,5 69 %	6,5/4,8 135 %

a) Evapotranspiration sur l'ensemble des deux cycles (C1-C2) de pluies et de culture. La date de départ a été choisie à la fin de la première percolation (22 décembre environ) ;

b) Evapotranspiration sur la fin du premier cycle (C1) considéré comme terminé aux environs du 6 février (29 janvier pour l'*Hibiscus*) ;

c) Evapotranspiration sur la période du 22 décembre au 29 janvier (au 13 janvier pour l'*Hibiscus*) pour laquelle l'approvisionnement en eau a été optimal ;

d) Evapotranspiration sur la totalité du 2^e cycle (C2), du 20 février environ, date du semis de

l'arachide, du paddy, du cotonnier, du maïs et du *Tithonia*, à la fin de la dernière percolation ;

e) Evapotranspiration sur les trois à quatre dernières semaines du deuxième cycle (1^{er} mai au 15-21 mai) ;

f) Evapotranspiration sur la période du 1^{er} avril au 28 avril où l'approvisionnement en eau pouvait être considéré comme optimal.

Sur le trait de fraction on doit lire l'évapotranspiration réelle (ETR) ainsi déterminée, et sous le trait la valeur de l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée suivant la méthode

de BOUCHET (1961)¹ pour la période considérée. Le troisième nombre représente le pourcentage de la première à la seconde.

En conditions *optimales* d'approvisionnement en eau et chaque fois que la culture couvre parfaitement le sol, on devrait observer, du fait que les mesures sont faites en lysimètres de surface réduite (2 x 2 m) et malgré la bordure de garde de deux mètres, des évapotranspirations supérieures à ETP calculé, supposé représenter la vraie valeur de l'évapotranspiration potentielle, ceci d'autant plus que la végétation est de plus grande taille, les différences d'intensité transpiratoire inhérentes à des caractères spécifiques (albedo, structure du feuillage...) se trouvant masquées par l'importance du phénomène du bord. Or, c'est bien ce qu'on constate. On a mesuré :

— Au premier cycle :

— <i>Hibiscus</i>	130 % de ETP
— Chacune des 3 arachides	113 »
— <i>Stylosanthes</i>	109 »
— <i>Paspalum</i>	93 »
— Maïs	72 et 80

— Au deuxième cycle :

— <i>Hibiscus</i>	162 % de ETP
— <i>Stylosanthes</i>	135 »
— <i>Paspalum</i>	130 »
— Arachide	104 »
— Maïs	100 »
— Paddy	83 »
— Cotonnier	66 »
— <i>Tithonia</i>	54 »

Ces pourcentages sont encore bien en rapport avec l'état de végétation de chacune des cultures : *Hibiscus* dépassant 250 cm, *Stylosanthes* et *Paspalum* atteignant environ 45 cm après fauchage début mars, arachide couvrant le sol, maïs, comme toujours, moins densément qu'au premier cycle, maïs de 1 m n'assurant pas la couverture du sol, paddy clair parce que mal germé, cotonnier et *Tithonia* très faibles.

On peut constater par ces valeurs combien sont sujettes à interprétation des mesures d'évapotranspiration pratiquées en lysimètres. Il faut,

(1) ETP suivant BOUCHET se calcule d'après la relation $ETP = \alpha Pc$ où α est un coefficient expérimental, qui ne varie pas sensiblement avec le climat, tout au moins en régions et périodes suffisamment humides, et c un terme de correction des valeurs du Piche sous abri qui est fonction de la température moyenne de l'air et de la température moyenne du point de rosée. Cette méthode, contrairement à celle de THORNTHWAITE par exemple qui n'est utilisable qu'à l'échelle du mois, permet d'estimer ETP à l'échelle de la journée. Ci-après les valeurs de ETP calculées suivant BOUCHET et suivant THORNTHWAITE pour les mois considérés ici :

	D	J	F	M	A	M
BOUCHET	5,7	4,4	4,8	6,4	5,0	5,5
THORNTHWAITE	4,5	4,4	4,5	4,9	4,5	3,9

pour se rapprocher de la vraie valeur de ETP, s'adresser à une plante d'autant plus basse que la bordure de garde pourra être moins large, l'idéal étant la pelouse à laquelle doit pourtant être conservé un développement foliaire suffisant pour que ne soient pas tronquées les fortes valeurs de transpiration.

Avec l'extension des bordures de garde ou encore les lysimètres étant noyés dans un champ cultivé de grande étendue, les évapotranspirations *maximales* (déterminées en conditions optimales d'alimentation en eau) eussent convergé (pour les cultures couvrant parfaitement le sol) vers une zone de valeurs encadrant plus ou moins étroitement la vraie valeur de ETP (définie comme notion purement climatique) mais sans pour autant entraîner l'équivalence des évapotranspirations *réelles* considérées sur l'ensemble de la saison des pluies. L'évapotranspiration réelle sur une saison pluvieuse complète est en effet fonction de l'efficacité du système aérien, d'une part, et vraisemblablement aussi de celle du système souterrain.

L'efficacité du système aérien, en dehors des propriétés spécifiques d'intensité transpiratoire qui sont secondaires, sera la meilleure pour une plante couvrant le sol rapidement et sans interruption jusqu'à la cessation des pluies. C'est le cas des plantes de couverture pérennantes (*Pueraria*, *Stylosanthes*, *Meibomia*, *Flemingia*...) qui repartent en végétation dès le retour des pluies et restent vertes tant que l'alimentation en eau est suffisante. Ce n'est pas celui de la plupart des graminées, dont la floraison et la fructification dès mars-avril s'accompagnent de la dessiccation de l'appareil foliaire, non plus des prairies pâturées ou fauchées (comme l'ont été *Paspalum* et *Stylosanthes* dans les lysimètres); au contraire, un *Stylosanthes* semé l'année suivante en case lysimétrique, bien qu'ayant laissé percoler 180 mm au cours du premier cycle des pluies parce que démarrant difficilement, n'a rien laissé drainer au cours du deuxième cycle parce que jamais fauché : la lame d'eau totale était de 1 052 mm dont 562 pour le premier cycle et 490 pour le deuxième, contre 574 et 489 respectivement l'année précédente.

Cette condition d'efficacité du système aérien n'est pas entièrement remplie par l'*Hibiscus* qui, quoique couvrant très rapidement, n'a pas un cycle végétatif assez long pour le faire jusqu'à la fin de la saison des pluies, les plantes arrivées à maturité perdant presque tout leur feuillage et laissant alors drainer une grande partie de l'eau reçue (Tableaux V et VII). Il est à remarquer que des plantes qui couvrent rapidement en début de saison pluvieuse (comme l'arachide) ne sont pas forcément plus efficaces à cette époque contre le lessivage profond que les plus lentes à le faire

(comme *Stylosanthes*) : on peut en juger par les données du Tableau V. Après cinq mois de saison sèche, en effet, le sol étant desséché sur une grande profondeur et même au-dessous du point de flétrissement pour le haut du profil, une lame d'eau importante, de 200 à 300 mm environ, sur une profondeur de 2 m suivant les sols (densité apparente : 1,3 à 1,5; déficit hydrique : 8 à 12 %), compte non tenu des pertes par évapotranspiration, est nécessaire pour réhumidifier le profil jusqu'à la capacité de rétention avant qu'il puisse y avoir percolation au-delà de la profondeur exploitable par les racines (du point de vue approvisionnement en eau). Cette situation ne peut, dans les conditions de pluviosité de la région, être réalisée avant deux mois de pluie au moins : en fait, pour une profondeur de 110 cm seulement, la première percolation dans les cases lysimétriques (densité apparente : 1,15 % ; déficit moyen : 9,7 %) ne s'est établie qu'à partir du 7 décembre en moyenne alors qu'il était déjà tombé 262 mm en soixante-trois jours. Ce délai de deux mois, après lequel on observe d'ailleurs généralement un ralentissement des pluies du premier cycle, permet à la plupart des plantes d'établir une cou-

verture active. Néanmoins, la plus rapide à couvrir, l'*Hibiscus*, a eu au départ une action anti-drainage significativement plus forte que toutes les autres, qu'elle doit à la forte densité à laquelle on la sème, et à la rapide croissance de sa tige en hauteur (qui, dans le cas d'une parcelle de faibles dimensions, contribue à exagérer les effets de bord) et vraisemblablement de ses racines en profondeur.

La condition d'efficacité n'est, de loin, pas remplie par deux arachides successives qui, quoique couvrant assez rapidement, ont un cycle (pour la Rouge de LOUDIMA cultivée localement) tel, de quatre-vingt-cinq à quatre-vingt-dix jours, que l'évapotranspiration sur la fin ne parvient pas à rendre à l'atmosphère l'eau des dernières pluies.

Elle devrait déjà, théoriquement, l'être mieux par une succession arachide-cotonnier ou maïs-cotonnier, cette deuxième plante étant encore en pleine végétation lorsque s'installe la saison sèche, mais pour autant que cette culture sarclée plantée à l'écartement d'un mètre couvre finalement le sol et le fasse assez rapidement, ce qui n'est pas toujours le cas et ne l'a pas été en lysimètre.

CONCLUSION

Les dénudations, totales ou partielles, systématiques ou consécutives à des cultures déficientes, se traduisent toujours dans la Vallée du Niari, au Congo, par des pertes de fertilité sans rapport immédiat avec le phénomène d'érosion, généralement très réduit sur ces sols. Les observations au champ comme en conditions expérimentales, en cases lysimétriques notamment, permettent d'attribuer cette dégradation au lessivage des bases essentiellement. La conséquence, outre les déséquilibres d'ordre nutritionnel, est une baisse de pH qui entraîne la réduction du manganèse très abondant dans ces sols sous forme oxydée facilement réductible. Il s'ensuit une intoxication plus ou moins prononcée suivant la susceptibilité spécifique, des plantes cultivées.

La couverture du sol, par son rôle transpiratoire déterminant dans la réalisation du bilan d'eau, est ainsi le facteur dominant de la conservation de la fertilité du sol au NIARI, où l'art de

cultiver consiste à rendre à l'atmosphère, par voie d'évapotranspiration, le maximum du total des pluies. Même l'apport de calcaire, qui tend à passer dans la pratique, n'exclut pas la nécessité d'assurer une couverture aussi efficace qu'il est compatible avec une exploitation rationnelle du sol, tant sont élevées (MARTIN 1961) les pertes par lessivage observées après de tels apports et chères à remplacer les bases entraînées.

On en est ainsi arrivé à concevoir une agriculture non plus extensive, mais plus ou moins intensive, agriculture qui consiste, contrairement à ce qui s'est fait jusqu'ici avec les conséquences que l'on sait, à toujours occuper et couvrir le sol, à remplacer par des amendements (minéraux en système semi-intensif, minéraux et organiques en système intensif) les pertes obligatoires au cours de la période culturale, tandis qu'une période de repos en jachère totale ou pâturée permet au sol de se reconstituer partiellement.

Bibliographie

1953. — JULIA (H.). *Oléagineux*, 8^e année, 7.
 1955. — PREVOT (P.), OLLAGNIER (M.), AUBERT (G.), BRUGIERE (J.M.). *Oléagineux*, 10^e année, 4.
 1958. — FRANQUIN (P.). L'estimation du manganèse du sol en rapport avec le phénomène de toxicité. *Coton et Fibres Tropicales*, XIII, 3.
 1958. — MARTIN (G.). Essai de bilan de quatre années d'études pédologiques dans la Vallée du Niari. —

- Bureau des Sols, Haut-Commissariat en A.E.F., septembre 1958.
 1961. — MARTIN (G.). Essai d'appréciation des pertes en calcium et en magnésium après un apport d'amendement calcaire dans les sols de la Vallée du Niari. — Rapport ORSTOM non publié.
 1961. — BOUCHET (R.J.). Signification et portée agronomique de l'évapotranspiration potentielle. *Annales Agronomiques*, XII, 1.