

ANALYSE PHYSIQUE ET FERTILITÉ DANS LES SOLS DES RÉGIONS HUMIDES DE CÔTE D'IVOIRE

par

B. DABIN

C.S.T. - BONDY

Avant-propos :

A - Le Cadre

B - Définition des caractères physiques

I - Etude de l'indice de structure et de l'humidité

Discussion et conclusion

II - Etude des rapports de l'érosion et de la fertilité

Conclusion générale

AVANT-PROPOS

Une étude d'ensemble des facteurs de fertilité des sols des régions humides de Côte d'Ivoire a été réalisée à la demande du B.D.P.A. et est publiée par les soins de cet organisme ; nous désirons ici seulement préciser quelques points particuliers concernant certains caractères physiques mesurables en relation avec la fertilité.

A - LE CADRE

Quelques données générales sur la zone humide de Côte d'Ivoire

Avant de préciser certains caractères des sols, il est bon de replacer ces mesures dans leur contexte naturel afin d'éviter certaines généralisations abusives qui sont malheureusement trop fréquentes et conduisent à des conclusions fausses lorsque les conditions générales sont différentes.

Climat

La zone humide de Côte d'Ivoire peut être définie par un climat subéquatorial à deux saisons des pluies et deux saisons sèches, avec des limites pluviométriques se situant entre 1 300 et 2 000 mm par an et une température moyenne annuelle voisine de 25°C.

Végétation

La végétation de cette zone humide de Côte d'Ivoire est la forêt dense.

Relief

La région est uniforme avec un relief faible, pénéplané, d'altitude variant de 0 à 200 m en s'éloignant de la côte. Les régions montagneuses sont peu importantes (région de Man 500 à 1 000 m).

Géologie

En dehors d'une étroite bande sableuse côtière, la zone étudiée présente au sud un plateau sédimentaire d'âge tertiaire formé de sables argileux, mais au nord et à l'ouest la plus grande partie est constituée par un socle ancien d'âge précambrien.

Une série métamorphique birrimienne constitue l'essentiel du sous-sol qui a été traversé ultérieurement par des venues éruptives plus acides.

La série birrimienne comprend des schistes arkosiques et argileux, une phase très métamorphique formée de micaschistes et des formations volcaniques comprenant des dolérites et des amphibolites.

Les roches éruptives acides sont surtout des granites dont certains sont fortement gneissifiés, ils sont hétérogènes au point de vue dimension des cristaux et composition chimique.

Les sols

Pendant longtemps on s'est contenté de classer les sols en fonction des roches mères, statistiquement ce classement s'est révélé assez valable car la nature de la roche mère influe nettement sur la granulométrie des sols, et nous verrons dans le présent article l'influence nette de la granulométrie sur la fertilité.

Dans des études plus détaillées on a constaté que les différences de roche mère étaient loin d'expliquer les nombreuses variations des sols, des pédologues tels que AUBERT, LENEUF, DABIN, de la SOUCHERE, ont montré qu'il existait en outre des modifications "zonales" des sols dûes au climat.

Les sols de la zone forestière se situent dans la classe des sols à "hydroxydes" et dans la sous-classe des sols "ferrallitiques", on trouve également de nombreux sols appartenant à la classe des sols hydromorphes.

Trois groupes ont pu être distingués parmi les sols ferrallitiques :

- 1 - Les sols faiblement ferrallitiques correspondant approximativement aux limites de la pluviométrie 1 300-1 500 mm ;
- 2 - Les sols fortement ferrallitiques correspondant approximativement aux limites 1 500-1 700 mm ;
- 3 - Les sols ferrallitiques très lessivés correspondant à une pluviométrie supérieure à 1 700 mm.

A part les sols faiblement ferrallitiques qui peuvent renfermer quelques argiles du type illite ce qui explique un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ supérieur à 2 dans la fraction fine, tous les autres sols contiennent essentiellement de la kaolinite, la richesse en oxydes peut être assez élevée, mais

les oxydes dominant surtout dans la fraction grossière concrétionnée ; le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est légèrement inférieur à 2 dans la fraction fine, sauf dans certains sols ferrallitiques très lessivés où il peut être plus bas, de l'ordre de 1,4.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est lié autant à l'importance du drainage et aux variations de roche mère qu'à l'action du climat.

L'importance du lessivage en bases, la nature et la quantité de matière organique, le lessivage des colloïdes et le concrétionnement des oxydes sont des critères de classification qui complètent le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Dans les différents groupes de sols ferrallitiques, il existe de nombreux intergrades en fonction des variations de drainage, vers les sols hydromorphes, ces intergrades ont amené la création des sous-groupes qui sont étudiés en détail dans le rapport cité en référence.

Remarque

L'étude présente traite essentiellement du problème des sols ferrallitiques, les éléments grossiers dont il est question sont des concrétions ferrallitiques dont le diamètre moyen est environ 10 mm, les argiles sont surtout du type kaolinite et oxydes, le complexe absorbant est généralement peu saturé en bases mais les cations Ca et Mg dominant en valeur relative, l'ion Na est toujours très faible, sauf dans certains sols hydromorphes non traités dans ce travail, les capacités d'échange sont de l'ordre de 1 méq. pour 10 % d'argile et de 3 méq. pour 1 % de matière organique, le tout rapporté à 100 g de sol.

Ces précisions permettent d'expliquer certains faits contenus dans ce rapport et d'en limiter l'extrapolation.

B - DÉFINITION DES CARACTÈRES PHYSIQUES

Les principaux caractères physiques, texture, structure, humidité, peuvent être appréciés par observation directe du sol en place, il semble même à présent que le qualitatif l'emporte souvent sur le quantitatif ; l'étude du profil culturel de S.HENIN montre à quel point il est important de "décortiquer" tous les éléments structuraux du profil avant d'entamer des analyses.

Néanmoins en milieu tropical humide, il existe une corrélation entre les catégories de sols, utilisées en cartographie, et les propriétés structurales essentielles, ces propriétés structurales sont en équilibre avec l'évolution du sol, le climat, la roche mère, varient en fonction du degré d'érosion mais semblent peu affectées pour le moment par le travail du sol.

Les mesures de laboratoire effectuées d'après les techniques de S.HENIN présentent de ce fait un intérêt tout particulier.

A partir de ces mesures de laboratoire nous avons calculé un certain nombre d'indices, et montré comment ces indices étaient en corrélation avec la nature des sols d'une part et avec leur fertilité d'autre part. Nous rappelons ici les formules utilisées :

$$\text{Indice de structure} = \text{St} \times \sqrt{\text{Pu} \times \text{Eu}}$$

St = stabilité structurale *

Pu = porosité utile

Eu = eau utilisable

* $\text{St} = 20 (2,5 + \text{Log } 10 \text{ K} - 0,837 \text{ Log } 10 \text{ I}_s)$

I_s = instabilité (HENIN)

K = perméabilité (en cm heure)

Pu = porosité totale - pF 4,2

A = porosité totale - pF 3

Eu = pF 3 - pF 4,2

$$\text{Indice d'humidité} = \frac{\sqrt{P_u \times E_u}}{S_t}$$

$$\text{Indice de drainage} = A \times \text{Log } 10 K$$

A = capacité minima pour l'air

K = perméabilité

On peut donner aux chiffres obtenus l'interprétation suivante :

Indice de structure

Horizon de surface : 0-25 cm

exceptionnel	- supérieur à 2 000
très bon	- supérieur à 1 600
bon	- 1 400 à 1 600
moyen	- 1 100 à 1 400
médiocre	- 900 à 1 100
mauvais	- inférieur à 900

Horizon de profondeur : 50 cm et au-dessous

bon	- supérieur à 900
moyen	- 700 à 900
médiocre	- 500 à 700
mauvais	- inférieur à 500

Indice d'humidité

au-dessous de 0,15	- humidité faible
entre 0,15 et 0,30	- humidité moyenne
0,30 à 0,40	- humidité forte
supérieur à 0,40	- humidité très forte

Indice de drainage

supérieur à 70	- exceptionnel
60 à 70	- très bon
50 à 60	- bon
40 à 50	- moyen
35 à 40	- mauvais pour les climats ou sols humides
	- médiocre, climats ou sols secs
au dessous de 35	- médiocre à mauvais dans tous les cas.

Les indices d'humidité et de drainage doivent être interprétés en fonction de la pluviométrie ou de la présence de nappe d'eau à plus ou moins grande profondeur.

Nous ne reprendrons pas ici les exemples qui ont été donnés dans un certain nombre de publications antérieures, nous désirons seulement interpréter trois graphiques représentant d'une part, l'influence de la teneur en (argile + limon) et de la matière organique sur l'indice de structure dans l'horizon supérieur des sols, et sur l'indice d'humidité de cet horizon, d'autre part l'influence de la richesse en gravillons (diamètre supérieur à 2 mm) et de la teneur en (argile + limon) sur l'indice de structure des horizons profonds.

I - ÉTUDE DE L'INDICE DE STRUCTURE ET DE L'HUMIDITÉ

A - ÉTUDE DE L'INDICE DE STRUCTURE

Nous avons séparé les graphiques en un certain nombre de casiers homogènes correspondant sensiblement aux limites indiquées ci-dessus :

a - Horizon de surface

Sols sableux à sablo-argileux			
- 0 à 25 % argile + limon			
matière organique	< 1 %	mauvais	
" "	1 à 2 %	moyen	
" "	2 à 3 %	bon	
" "	3 à 4 %	très bon	
Sols limoneux ou argilo-sableux			
- 25 à 40 % argile + limon			
matière organique	1 à 3 %	médiocre	
" "	3 à 4 %	très bon	
" "	supérieure à 4 %	exceptionnel	
Sols argileux			
- supérieurs à 40 % argile + limon			
matière organique	1,5 à 4 %	bon	
" "	supérieure à 4 %	très bon	

Il est intéressant de voir combien la matière organique agit fortement et pour des valeurs faibles sur la structure des sols sablo-argileux ; un taux supérieur à 2 % est suffisant pour avoir une bonne structure.

Dans le cas des sols limoneux ou argilo-sableux, nous n'avons pas de taux très bas inférieurs à 1 % ; mais il est intéressant de noter qu'entre 1 % et 3 % de matière organique, la structure est assez constante et médiocre, elle ne s'améliore réellement qu'au delà de 3 % de matière organique.

Ce chiffre de 3 % avait été également retenu* pour les sols de limon de France, mais cette teneur de 3 % est assez difficile et coûteuse à obtenir, c'est pourquoi des artifices de labour permettent souvent, en climat tempéré, de pallier le défaut de matière organique ; en sols tropicaux humides, les labours ne résistent pas aux pluies violentes et il faut obtenir obligatoirement les 3 % de matière organique (exemple : culture bananière dans les sols limoneux).

Dans le cas des sols argileux, nous n'avons pas de taux de matière organique inférieur à 1,5 %, la structure est bonne au-dessus de 1,5 % et jusqu'à 4 % de matière organique, très bonne au-dessus de 4 %, il semble donc que dans ces sols l'enrichissement en matière organique soit moins urgent que dans les sols limoneux ou sablo-argileux, mais agisse néanmoins dans le sens d'une amélioration pour les valeurs élevées.

Inversement la perte de matière organique par érosion a de ce fait une action moins dégradante sur la structure que dans le cas des sols limoneux ou sableux.

b - Horizon de profondeur

Dans les horizons de profondeur des sols ferrallitiques, le taux de matière organique est toujours inférieur à 1 %, par contre la teneur en éléments grossiers, gravillons ou quartz, peut être très élevée et influence considérablement l'indice de structure.

* renseignement oral donné par G. BARBIER.

Comme dans le cas précédent, nous avons séparé plusieurs casiers homogènes sur le graphique :

moins de 10 % de gravillons :

teneur en Argile + Limon inférieure à 12 % = structure mauvaise

teneur en Argile + Limon de 12 à 40 % = structure moyenne

teneur en Argile + Limon supérieure à 40 % = structure bonne

de 10 à 40 % de gravillons :

teneur en Argile + Limon inférieure à 40 % = structure mauvaise

teneur en Argile + Limon supérieure à 40 % = structure moyenne à bonne

de 40 à 50 % de gravillons :

teneur en Argile + Limon inférieure à 40 % = structure mauvaise

teneur en Argile + Limon supérieure à 40 % = structure moyenne

plus de 50 % de gravillons :

structure toujours mauvaise.

En réalité l'action des gravillons peut varier en fonction du type d'enracinement et est d'autant plus néfaste que le climat est plus sec, nous donnons ici quelques exemples concernant la culture du café et du cacao dans les sols fortement ferrallitiques.

Noter qu'en profondeur la qualité de la structure augmente avec la teneur en argile, il est possible que dans les sols ferrallitiques la richesse en oxydes de cette argile soit une des causes de sa bonne structure.

Relation entre la fertilité et la teneur en gravillons dans l'horizon de moyenne profondeur

Sols ferrallitiques typiques ou fortement ferrallitiques.

Profondeur cm	Refus 2 mm %	Argile %	Fertilité	Argile % Terre totale
60	77,5	30	mauvaise pour le caféier	6,8
50	67	43	mauvaise pour le caféier	14
50	59	33,2	moyenne pour le caféier	13,5
50	45	55,2	moyenne à assez bonne pour le caféier	31
50	37,7	31,5	médiocre pour le cacaoyer	20,5
50	31,47	28,8	médiocre pour le cacaoyer	20
50	48,8	43	médiocre pour le cacaoyer	22
50	47	52	moyenne pour le cacaoyer	27,5

B - HUMIDITÉ DES SOLS

L'indice d'humidité est un chiffre relatif fonction de l'eau utilisable, de la porosité utile et du drainage.

Le terme d'eau utilisable est défini généralement par la différence de deux pF choisis plus ou moins arbitrairement, en fait il existe dans le sol une eau fortement liée ou inutilisable (corres-

pendant au point de flétrissement) et une eau peu liée et plus ou moins utilisable suivant les plantes.

Pour la majorité des cultures il faut un équilibre convenable entre teneur en air et teneur en eau, mais l'adaptation des plantes à un excès d'eau ou à un manque d'eau est variable suivant les espèces cultivées.

Notre indice représente donc une valeur relative de l'eau "libre" ou faiblement liée, plus ou moins utilisable suivant les cas, il permet de classer les sols en : peu humides, moyennement humides et très humides, l'interprétation au point de vue fertilité devant tenir compte de l'indice de structure et de l'indice de drainage.

En général ce sont les sols moyennement humides, H. de 0,15 à 0,3 qui représentent le meilleur équilibre air-eau, lorsque H est inférieur à 0,15 les sols sont trop secs, lorsque H est supérieur à 0,4 les sols sont fréquemment trop humides.

Les valeurs moyennes de l'humidité ont une probabilité assez forte d'être favorables.

Les valeurs extrêmes de l'humidité ont une probabilité assez forte d'être défavorables.

Variation de l'indice d'humidité en fonction de (A + L) et de la teneur en matière organique

Nous avons également séparé le graphique des humidités en plusieurs secteurs homogènes.

- a - au-dessous de 12 % d'Argile + Limon et pour une teneur en matière organique inférieure à 2,5 %, l'indice d'humidité est faible et inférieur à 0,15 ;
- b - entre 12 et 50 % d'Argile + Limon, l'indice d'humidité croît rapidement lorsque le taux de (A + L) augmente, si le taux de matière organique reste faible et non supérieur à 1 %, dans ce cas au-dessus de 20 % de A + L on observe déjà des humidités très élevées supérieures à 0,4.

Si le taux de matière organique croît en même temps que le taux de A + L, alors l'indice d'humidité reste constant, la valeur de l'indice d'humidité dépend du rapport M.O/A+L. Il est intéressant de constater que pour une valeur de A + L située entre 20 et 50 %, l'indice d'humidité décroît lorsque le taux de matière organique augmente, mais cette diminution a pour résultat de faire passer l'humidité d'une valeur élevée ($> 0,4$) à une valeur moyenne (0,15 - 0,3), cela montre que la matière organique n'agit pas dans le sens d'un accroissement continu de l'humidité mais qu'elle joue essentiellement un rôle "régulateur" pour maintenir cette humidité à une valeur moyenne "favorable".

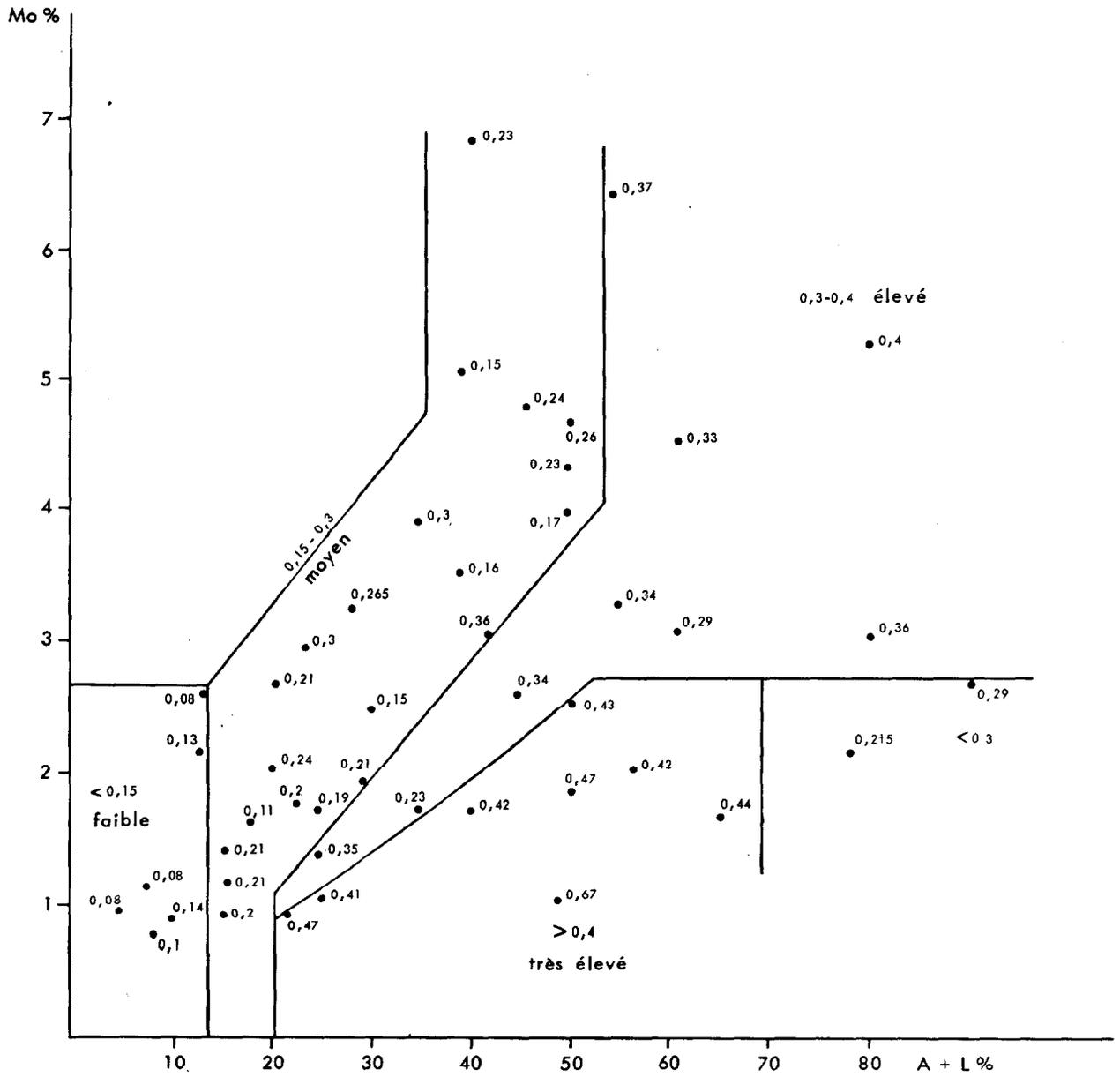
- c - entre 50 et 70 % Argile + Limon, l'humidité est assez forte au-dessus de 3 % de matière organique, très forte au-dessous de 3 % de matière organique.
- d - au-dessus de 70 % de A + L, l'humidité semble redevenue moyenne pour des teneurs en matière organique inférieures à 3 % (Nous avons souvent constaté que des sols très argileux redevenaient perméables en raison de leurs fentes de retrait, mais il y a peut-être d'autres raisons).

Les très fortes valeurs d'humidité correspondent souvent à des valeurs élevées des rapports limon/argile et sable fin/sable grossier.

Discussion

On a longuement discuté sur l'action de l'argile et de la matière organique sur l'humidité des sols, le graphique présent fait apparaître que, sauf pour des valeurs très élevées (A + L > 70 %), l'humidité des sols augmente avec le taux d'Argile + Limon, la matière organique a pour action de ramener cette humidité à un taux normal.

Ce graphique montre également que les sols très sableux sont les moins humides ; de nombreux auteurs prétendent actuellement (par réaction contre d'anciennes théories trop formelles) que les sols sableux sont les plus humides (en regard de l'alimentation des plantes), il ne faut pas exagérer non plus dans cette voie.



Indice d'humidité.

Argile + Limon
Matière organique

Si dans des régions à pluviométrie déficitaire, les sols sableux fixent moins d'eau en raison de leur point de flétrissement bas et en laissent davantage à la plante que les sols argileux à fort point de flétrissement, par contre dans les régions à forte pluviométrie, mais mal répartie, comme en Côte d'Ivoire, les sols argileux retiennent de fortes quantités d'eau après les pluies, et permettent une alimentation en eau de la plante pendant les périodes sèches intermédiaires, alors que les sols sableux se dessèchent rapidement. Ces faits sont d'observation courante, ils expliquent la répartition actuelle des cultures en fonction des sols ainsi que l'extension de la végétation forestière sur sols argileux en climat limite, alors que dans les mêmes conditions les sols sableux portent de la savane.

Conclusion

Au point de vue structure, les sols sableux peu humifères sont les plus mauvais, l'augmentation du taux de matière organique améliore rapidement cette structure, elle devient bonne au delà de 2 % de matière organique, très bonne au delà de 3 % de matière organique.

Les sols limoneux ont une structure médiocre, elle devient bonne lorsque la matière organique dépasse 3 %.

Les sols argileux ont une structure généralement bonne, elle devient très bonne lorsque le taux de matière organique dépasse 4 %.

En profondeur, la structure dépend du taux d'argile et du taux de gravillons, au-dessous de 50 % de gravillons, l'augmentation du taux d'argile améliore la structure.

Au point de vue humidité, les sols sableux sont les moins humides, l'augmentation de la teneur en (argile + limon) accroît rapidement l'humidité, la matière organique a une action "régulatrice". Au dessus de 12 % A + L l'humidité reste constante et de valeur moyenne lorsque le rapport M.O/A+L reste constant et supérieur à 0,05.

II - ÉTUDE DES RAPPORTS DE L'ÉROSION ET DE LA FERTILITÉ

Après avoir précisé les principales grandeurs physiques qui conditionnent la fertilité, il est indispensable de donner quelques indications sur l'évolution de ces grandeurs en fonction de l'érosion.

Le phénomène d'érosion qu'il s'agisse d'action à grande ou à courte distance, est le facteur essentiel d'évolution de la fertilité dans les sols de la zone humide de Côte d'Ivoire ; on peut même dire que les sols se classent au point de vue fertilité dans le sens de leur résistance à l'érosion (sols non hydromorphes).

Des parcelles expérimentales d'étude de l'érosion ont été suivies pendant plusieurs années à la station de recherche de l'ORSTOM à Adiopodoumé, nous donnons ici un tableau résumant les principaux résultats obtenus au cours des trois premières années d'expérience.

Nous comparons ici :

- une parcelle laissée sous forêt,
- à une parcelle portant des cultures protectrices,
- et à une parcelle nue.

Par ailleurs nous avons suivi l'évolution des sols dans une culture industrielle d'ananas, où une protection anti-érosive est réalisée par de larges bandes de *Pennisetum purpureum*, en courbes de niveau, qui alternent avec les bandes d'ananas et entrent dans l'assolement.

Les sols sont des sols beiges-sableux, sur sables tertiaires, appartenant au groupe des sols ferrallitiques très lessivés.

Dans l'expérience d'Adiopodoumé sur l'érosion, nous voyons que la quantité de terre enlevée à l'hectare qui est faible (mais non nulle) sous forêt, est considérable (plus de 100 tonnes par an) dans la parcelle nue. Cette parcelle après trois ans est devenue tout à fait stérile, les essais de remise en culture ont été très difficiles.

Au point de vue évolution du sol, nous constatons une baisse considérable d'indice de structure.

Cet indice qui est bon sous forêt devient mauvais dans la parcelle nue. L'indice de drainage et l'indice d'humidité diminuent également.

Le taux de matière organique et d'azote s'est abaissé de 50 à 70 % en valeur relative.

La somme des bases échangeables n'est que 1/10 du chiffre d'origine.

Dans la culture industrielle, l'appauvrissement des sols en six ans malgré une année de jachère est aussi important que dans l'essai en station.

En revanche une jachère continue de quatre années de *Pennisetum purpureum* a redonné au sol un indice de structure voisin du chiffre d'origine, les taux de matière organique et de bases échangeables ont remonté considérablement, le rapport C/N est malgré tout trop élevé.

Ces essais montrent à quel point la fertilité est liée à l'évolution du taux de matière organique, qui conditionne en particulier la richesse en bases échangeables et la structure.

Action de l'érosion sur la fertilité

	Terre érodée kg/ha 3 ans	Indice de structure	Indice d' humidité	Indice de drainage	M.O. %	N %	C/N	Somme des bases
a - Parcelles expérimentales d'Adiopodoumé								
Forêt	2.800	1.350	0,15	108	2,85	0,151	11	1,4
2 ans Flemingia	77.540	1.100	0,148	78	2,5	0,099	14,8	0,3
1 an Maïs 1 an Guatemala Grass								
Parcelle nue	335.391	700	0,125	74	1,24	0,059	12,4	0,14
b - Culture industrielle d'ananas (Ono)								
Sol régénéré par le Pennisetum 4 ans	non mesurée	1.350	0,165	91	2,46	0,08	17,7	2,48
1 an après défriche- ment, sol nu	"	910	0,115	84	1,5	0,069	12,6	3,13
2 cycles ananas 4 ans de culture	"	900	0,123	86	1,21	0,044	15,9	0,828
6 ans de culture	"	840	0,105	88	0,69	0,04	17	0,634

Le drainage reste élevé en valeur absolue car il s'agit de sols sableux.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude montre comment dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire (pluviométrie de 1 300 à 2 000 mm par an) les teneurs en éléments fins (Argile + Limon) et en matière organique interviennent sur les caractères physiques en relation avec la fertilité.

Cette teneur en éléments fins agit, sur la structure en surface et en profondeur, sur l'humidité, sur la résistance à l'érosion des sols.

Dans la mesure où les pluies sont violentes et mal réparties, il semble donc que la fertilité naturelle du moins pour certaines cultures (café, cacao, etc..) croisse dans le sens d'une augmentation du taux d'argile et de matière organique, c'est là un fait correspondant aux conditions actuelles de mise en valeur, il ne faut pas cependant en faire une règle générale, il est bien évident que l'action de l'homme au point de vue protection antiérosive, irrigation et amendements peut modifier complètement les données du problème.

BIBLIOGRAPHIE

- DABIN (B.) - Etude pour la reconversion des cultures de caféier dans la République de Côte d'Ivoire. Partie pédologique. T. 1 et 2. *Public. BDPA-ORSTOM*, 1963.
- DABIN (B.) - Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. *Ann. Agro.*, 1962, 13, 2, p. 111-140.
- DABIN (B.) - Utilisation d'un indice de structure pour la détermination de la qualité physique des sols tropicaux. *C.R. VII^e Congr. int. Sci. Sol*, 1, p. 311-320.
- DABIN (B.) - Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. *Bull. AFES*, 1961.
- DABIN (B.), LENEUF (N.) et RIOU (G.) - Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000^e. Notice explicative. Secrétariat d'Etat à l'Agriculture, Abidjan, 1960.
- HENIN (S.) - Le profil cultural. Principes de physique du sol.