

RELATIONS ENTRE LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET LA FERTILITÉ DANS LES SOLS TROPICAUX

B. DABIN

Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer, Bondy (Seine).

SOMMAIRE

Le présent travail comprend l'étude de plusieurs indices groupant les principales caractéristiques physiques des sols (stabilité structural, porosité), et montre quelques corrélations existant entre ces indices et la fertilité dans le cas de différentes cultures tropicales telles que le Riz, la Banane, le Cacao, le Coton.

I. — INTRODUCTION

L'étude de la structure nécessite l'appréciation de deux groupes de données ; les unes caractérisent l'état du sol à un instant donné, les autres sa variabilité, ou sa stabilité.

L'état structural d'une terre est déterminé par les facteurs intrinsèques tels que la texture, la richesse en matière organique, en bases, etc., et par une série de facteurs extrinsèques, facteurs biologiques (faune et action des racines), facteurs humains (travail du sol).

Quel que soit l'état instantané de la structure, celui-ci tend à évoluer vers un équilibre résultant du jeu des facteurs favorables, et des facteurs défavorables : c'est-à-dire l'instabilité de la structure, et l'intensité des agents climatiques (chutes de pluie).

Il est donc logique de distinguer, état structural et stabilité structurale.

Pour des végétations pérennes ou pour des conditions climatiques particulièrement agressives, voire même pour des irrigations abondantes, on doit observer une relation étroite entre l'état structural et la stabilité structurale.

Dans la mesure où l'état structural commande la végétation, une corrélation doit donc apparaître entre la croissance des plantes ou le rendement et la stabilité structurale.

On connaît les difficultés, que l'on éprouve à caractériser l'état physique du sol

en place ; au contraire, on sait que la stabilité structurale peut être appréciée par des méthodes de laboratoire. C'est dire que dans l'hypothèse où nous nous sommes placés, on pourrait juger de l'état structural du sol en place par des techniques d'utilisation commode.

Toutefois, les méthodes d'appréciation de la stabilité structurale ne donnent qu'une tendance, l'état final de la structure dépendant de la texture. Il était donc nécessaire d'ajouter aux techniques d'appréciation de la stabilité, des mesures reflétant les propriétés de l'état structural qui sera atteint asymptotiquement.

C'est ainsi que parmi les facteurs mesurables en relation avec la texture et la structure, nous avons déterminé différentes formes de la porosité :

a) *Porosité totale à saturation* : porosité d'un sol travaillé puis porté à saturation dans un excès d'eau.

b) *Porosité* correspondant à une force de succion de 1 000 g ou pF 3 ou *humidité équivalente*.

c) *Porosité* correspondant à une force de succion de 16 000 g ou pF 4,2 ou *point de flétrissement*.

II. — TECHNIQUES DE MESURE

1° Stabilité structurale et perméabilité

Les méthodes de mesure ont été décrites par S. HENIN ; nous en rappelons ici le principe essentiel : L'instabilité I_s est donnée par la formule suivante :

$$I_s = \frac{A + L \text{ (maximum) pour } 100}{\frac{\text{Agr. air} + \text{Agr. Alcool} + \text{Agr. Benzène}}{3} - 0,9 \text{ Sable grossier.}}$$

Agr. air } Pourcentage d'agrégats de diamètre supérieur à 0,2 mm obtenu par tamisage
alcool } dans l'eau après divers prétraitements à l'alcool, au benzène et sans prétraitement
Benzène }
A + L p. 100 = Argile + Limon (maximum de dispersion obtenue en fonction des divers prétraitements).

Cet *indice d'Instabilité* est complété par une mesure de *perméabilité* effectuée à saturation dans un tube de verre, sur échantillon remanié. La terre tamisée au tamis de 2 mm est tassée sous un excès d'eau par le simple effet de quelques rotations horizontales rapides ; cette mesure est conventionnelle mais bien reproductible.

Pour l'étude des sols tropicaux, nous avons apporté une légère modification qui consiste à rajouter à la terre tamisée les divers graviers et gravillons, en proportion identique à celle du sol en place, ce qui permet d'obtenir dans le tube une densité apparente assez proche de celle que l'on peut mesurer sur un sol en place très humide.

Soit K cm/heure la vitesse de filtration dans le tube.

Il existe une relation linéaire très générale entre $\log. 10 I_s$ et $\log. 10 K$, vérifiée en particulier par MONNIER, GRAS, COMBEAU et nous-mêmes sur des sols très divers.

Si les sols étudiés s'étalent sur une gamme de variation très étendue, ce qui est le cas dans l'étude présente, cette relation linéaire permet de regrouper les deux grandeurs en un indice unique que nous avons appelé S_t :

$$S_t = 20 (2,5 + \text{Log } 10 K - 0,837 \text{ Log } 10 I_s)$$

S_t représente à la fois la mobilité de l'eau dans le sol et la stabilité structurale, cet indice permet,

(1) Voir Bibliographie

(La densité réelle est mesurée par la méthode au pycnomètre, la porosité est donnée par la formule :

$$P \text{ p. } 100 = 100 \left(1 - \frac{d_a}{d_r} \right)$$

P p. 100 = porosité ; d_a = densité apparente ; d_r = densité réelle).

Cette mesure est, une mesure conventionnelle, mais les résultats sont assez proches de ceux que l'on obtient en mesurant la densité apparente d'un sol en place très humide, en y enfonçant un cylindre métallique.

Le graphique n° 1 montre la correspondance des porosités sur le terrain et au laboratoire d'une gamme très étalée de sols de Côte d'Ivoire.

B) Autres valeurs de la porosité.

Pour compléter la mesure de porosité à saturation, on détermine l'humidité p. 100 du volume à pF₃ (centrifugation) et l'humidité p. 100 du volume à pF_{4,2} (ressuyage à la presse à membrane sous 16 atmosphères).

Ces différentes mesures permettent de calculer les grandeurs suivantes :

Porosité utile = P_u = porosité totale à saturation — pF_{4,2}

Eau utilisable E_u = pF₃ — pF_{4,2}

Capacité pour l'air A = porosité totale à saturation — pF₃.

L'originalité et le principal intérêt de cette méthode résident dans le fait qu'elle peut être réalisée entièrement au laboratoire et en série à condition de ne pas écraser les échantillons de terre en cours de transport.

III. — RECHERCHE DES INDICES

En admettant que les grandeurs définies précédemment sont en relations avec les propriétés physiques du sol (certaines d'entre elles sont des données classiques), nous avons cherché à donner une valeur chiffrée de l'état *structural* en combinant ces différentes grandeurs dans plusieurs formules.

Après divers essais, nous avons choisi les formules suivantes, qui peuvent dans une certaine mesure s'expliquer mais non se démontrer et dont la seule justification est leur corrélation avec les faits de la pratique.

1) Indice de structure :

$$S_t \times \sqrt{P_u \times E_u} \quad (1)$$

2) Indice d'humidité :

$$\frac{\sqrt{P_u \times E_u}}{S_t}$$

3) Indice de ressuyage :

$$A \times \text{Log } 10 K$$

S_t = stabilité structurale

P_u = porosité utile

E_u = eau utilisable

A = capacité pour l'air

K = perméabilité

Signification des différents indices

1° $S_t \sqrt{P_u \times E_u}$ peut être considéré comme un indice de structure ; $\sqrt{P_u \times E_u}$ étant en effet en relation avec la richesse en colloïdes minéraux et

(1) Nous avons pris la racine carrée du produit ($P_u \times E_u$) pour conserver une expression du premier degré.

organiques, et S_i représentant leur stabilité. Une autre signification peut être donnée à cette formule. $\sqrt{P_u \times E_u}$ représente le potentiel de l'eau du sol et S_i sa mobilité d'où un rapport possible avec l'alimentation en eau de la plante dans les sols bien drainés.

II. $A \times \text{Log } 10 K$ est applicable essentiellement aux sols mal drainés où l'eau est en excès et où la croissance des plantes est due principalement à la teneur en air du sol. A étant la limite des sols bien ressuyés, $\text{Log } 10 K$ corrigeant cette valeur limite surtout dans le cas des sols peu perméables.

III $\frac{\sqrt{P_u \times E_u}}{S_i}$ Dans cette formule, le numérateur représente la quantité d'eau qui peut être emmagasinée et retenue par le sol, et le dénominateur est fonction de la perméabilité. Compte tenu de la fourniture en eau, un sol très poreux et peu perméable sera très humide, un sol peu poreux et très perméable sera peu humide, on peut considérer ce quotient comme un *indice d'humidité*.

En résumé

Les trois indices précédents ne doivent pas être considérés isolément, ce sont au contraire trois coordonnées qui permettent de situer avec ses différentes variantes, l'état physique intrinsèque d'un sol dont les éléments essentiels sont :

Structure — Humidité — Drainage.

IV. — APPLICATIONS PRATIQUES DES INDICES

Nous avons cherché à tester les indices :

1° en mettant les valeurs calculées des indices en relation avec des observations de l'état structural du sol en place ;

2° en établissant une corrélation entre la valeur de ces indices et les rendements de certaines cultures, ce qui permet d'effectuer une analyse statistique.

C'est ce test « rendement » qui constitue l'objet principal de cette note, l'étude des structures des principaux types de sol africains devant être traitée ultérieurement.

1° SOLS DES VALLÉES ALLUVIALES DU NIGER

Culture du Riz

Sols étudiés :

Les sols étudiés proviennent des cuvettes alluviales du Niger dans la région de Niamey (Kolo, Koulou, Tillabéry, Firgoun, etc.). La culture principale est le riz (riz irrigué à contre-saison).

Ces sols ont l'avantage d'être très bien caractérisés du point de vue morphologique et structural.

Trois types principaux sont ici représentés.

Tableau des valeurs analytiques

La profondeur de sol étudiée est 0-25 cm.

Type de sol	Terres noires hydromorphes					Sols bruns et gris hydromorphes				
	311	101	81	111	331	151	171	661	591	361
Numéro										
Sable grossier	2,6	7,85	3,8	10,4	0,6	1,65	1,25	0,15	1	0,1
Agrégats alcool % ..	38,71	31,18	48,5	47,19	67,9	22,87	52,83	56,02	66,88	55,91
Agrégats benzène %	21,01	37,5	17,36	54,26	31,95	6,99	14,76	4,35	5,11	13,7
Agrégats air %	22,01	32,3	30,86	47,61	54,09	9,27	30,8	27,63	39,82	44,51
Moyenne %	27,2	34	32	49,8	51,1	13,05	33	29,5	37,5	38
D.spersion A + L %	30	22	24,5	8,5	30	42,5	54,5	61,5	53,5	41,5
I _s	1,24	0,86	0,86	0,22	0,59	3,7	1,72	2,11	1,46	1,09
Perméabilité K cm/h	2,92	3,25	7,7	5,45	25,2	1,85	1,66	2,1	4,05	3,6
Log 10 I _s	1,09	0,92	0,93	0,33	0,77	1,56	1,23	1,32	1,16	1,03
Log 10 K	1,46	1,51	1,88	1,73	2,4	1,26	1,22	1,32	1,6	1,55
S _t	61	64,8	69	79,1	85	49,2	53,2	54,2	62,6	63,8
Porosité maximum %	71	64	70	63,5	71	65,5	66	70	65	55,5
pF 3 % du volume.	38,7	38,4	34,8	36,3	37,6	29,5	43,5	33	31	38
pF 4,2 % du volume	16,8	15,4	15,5	19,5	22,5	13,2	17,4	19,8	19	26,5
Porosité utile P _u %	54,2	48,6	54,5	44	48,6	52,3	48,6	50,2	46	39
Eau utilisable E _u %	21,9	23	19,3	16,8	15,1	16,3	16,1	13,2	12	11,5
Cap. pour l'air A %	32,25	25,6	35,2	27,2	33,5	36	32,5	37	34	27,5

Type de sol	N°	Rendement paddy	S _t	$\sqrt{P_u \times E_u}$	S _t × $\sqrt{P_u \times E_u}$	A × Log 10 K
Terre noire de fond hydromorphe argilo-humifère	311	supérieur à 4 tonnes/ha	61	34,6	2 100	47,5
	101		64,8	33,5	2 150	41,6
	81		69	32,4	2 220	66
	111		79,1	27,2	2 150	67
	331		85	27,1	2 300	80
Sol brun et gris hydromorphes argileux	151	2 à 3 tonnes/ha	49,2	29,3	1 440	45
	171		53,2	28	1 490	39,5
	661		54,2	25,8	1 400	49
	591		62,6	23,5	1 460	54
	361		63,8	21,4	1 360	43
Sol gris limoneux de bordure	41	1 à 2 tonnes/ha	56,8	19,5	1 100	45
	891		51,8	22,5	1 160	30
Sols ferrugineux tropicaux sableux	231	nul	61,4	9,7	595	33
	231		60,3	9,7	595	38

Ce qui frappe dans ce tableau c'est la *constance de l'indice de Structure* ($S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ pour chaque) type de sol, malgré des valeurs assez variables de S_t (noter que S_t et $\sqrt{P_u \times E_u}$ varient en sens inverse).

a) *Sols Noirs hydromorphes* (hydromorphie totale prolongée) :

Sols Argilo-humifères ;
Sols à structure grenue à grumeleuse.
Fertilité : très bonne.

b) *Sols Bruns et Gris hydromorphes* (hydromorphie totale temporaire).

Sols Argileux ;
— Structure polyédrique.
Fertilité : moyenne.

c) *Sols à hydromorphie très temporaire* :

Sols gris limoneux de bordure ;
— Structure fondue assez compacte.
Fertilité : médiocre.
La fertilité est considérée sans engrais.

A titre d'exemple, nous donnons pour ces sols la suite complète des résultats analytiques obtenus ; pour les autres sols nous donnerons seulement la valeur des indices.

Interprétation des résultats. Graphique n° 2.

Le graphique n° 2 représente la corrélation entre les rendements et les indices, en décomposant les indices en leurs divers éléments.

La corrélation la plus élevée est obtenue entre le rendement et $S_t \sqrt{P_u \times E_u}$ ou indice de structure.

— avec $\sqrt{P_u \times E_u}$ la corrélation est encore significative mais moins élevée (action de la richesse en argile).

— avec $A \times \text{Log } 10 K$, la corrélation n'est pas significative et elle est également très faible avec S_t .

Ces deux derniers résultats sont logiques, en effet, il est bien connu que le riz peut prospérer dans des sols dispersés et mal drainés.

Remarque :

En ce qui concerne les deux premiers indices ils sont surtout en relation avec la richesse en argile et matière organique des sols qui agit également sur les rendements en riz.

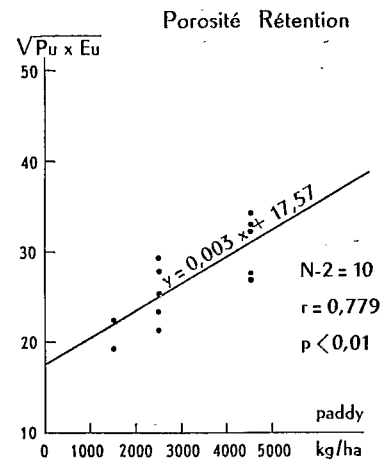
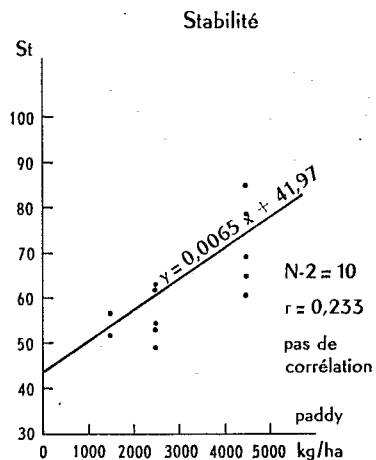
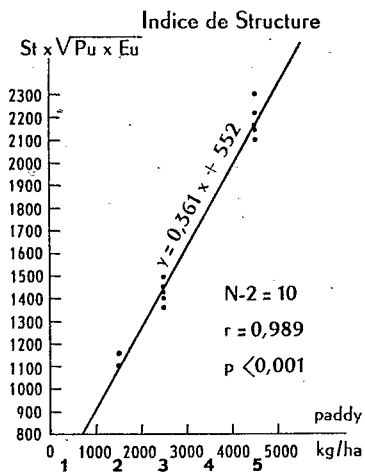
2° SOLS DE BANANERAIES DE BASSE CÔTE D'IVOIRE

En basse Côte d'Ivoire les bananeraies se trouvent dans des sols très divers, la pluviométrie, de 1 500 à 2 000 mm par an, permet cette culture sans irrigation dans des sols de plateau ou de pente bien drainés ; d'autre part, les terres d'alluvions plus basses sont également cultivées en bananeraie.

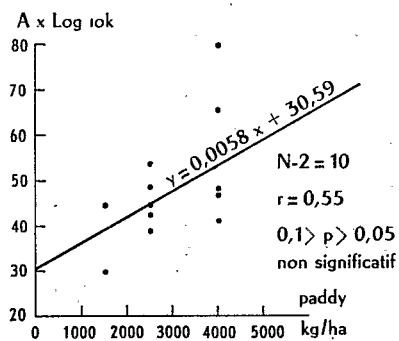
Nous avons pensé qu'il serait bon de séparer les deux catégories de sols en raison de leur grande différence au point de vue du régime de l'eau.

Dans le premier cas, la nappe phréatique est très profonde. Dans le second cas, elle est située entre 0,30 m et 1 m de profondeur.

ALLUVIONS DU NIGER - CULTURE DU RIZ



Indice de Ressuyage



GRAPHIQUE 2.

A) Sols où la nappe phréatique est profonde (plus de 2 m)

Liste des plantations étudiées

Numéro	Type de sol et roche-mère	Emplacement
WS 31	Sol ferrallitique très lessivé de plateau sur schistes Birrimiens arkosiques.	Azaguié
Alé. 11	Sol ferrallitique très lessivé de plateau sur sable tertiaire.	Brofodoumé
Scaf. 31	Sol ferrallitique lessivé de bas de pente sur schistes.	Bongo
MM. 21	Sol ferrallitique de plateau sur granite.	Akoupé
Gel. 31	Sol alluvial — Haute terrasse.	Agboville
Gra. 11	Sol alluvial — Moyenne terrasse.	Sassandra
Alé. 21	Sol ferrallitique lessivé sur sable tertiaire — replat argileux.	Brofodoumé
Bos. 11	Sol ferrallitique de plateau sur granite.	N'Douci
Baf. 21	Colluvion de roches basiques — plantation ancienne.	Singrobo
Alé. 111	Sol ferrallitique de pente, lessivé, sur micaschistes.	Alépé
WS. 41	Sol ferrallitique lessivé de pente sur schistes.	Azaguié
Iro. 861	Sol ferrallitique de pente sur amphibolite.	Groh
Iro. 421	Sol ferrallitique de pente sur amphibolite.	Groh

Comme nous le remarquons, les échantillons ont été prélevés dans des plantations différentes sur des sols différents.

Le rendement moyen de grandes parcelles nous a été communiqué par les planteurs qui utilisent tous, de fortes doses d'engrais, et la même variété (*Poyo*).

Nous avons classé ces rendements en six grandes catégories, correspondant à des différences de végétation en relation avec des caractéristiques du sol en place ; étant donnée d'autre part la gamme très étendue des résultats, on peut penser que le facteur sol domine largement les autres facteurs de production plus ou moins accidentels.

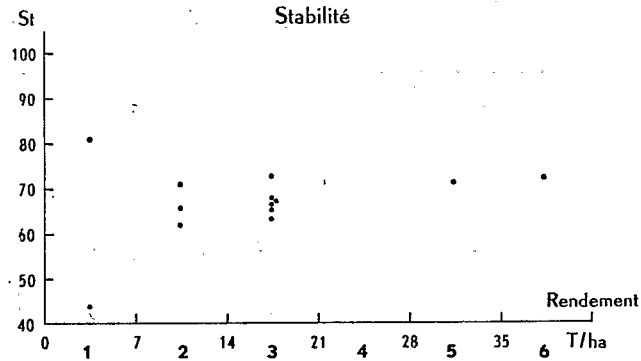
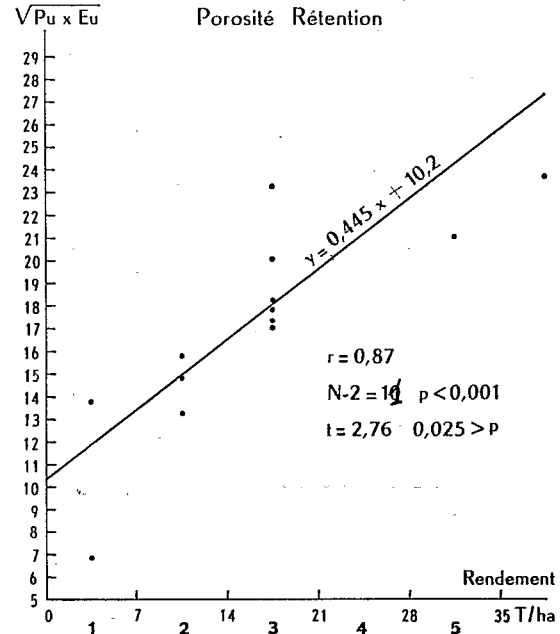
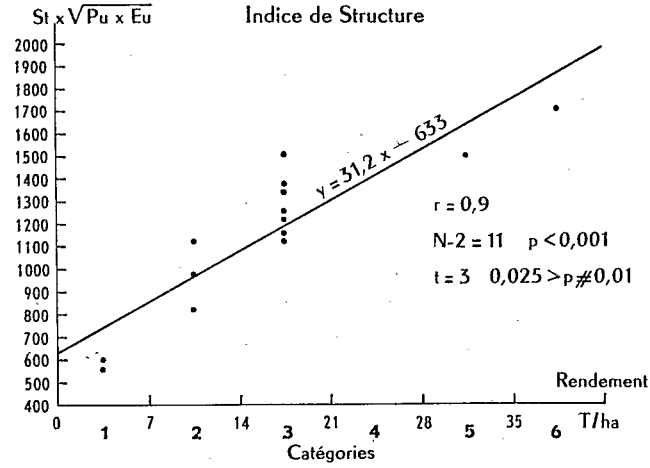
Les catégories sont les suivantes :

- 1 — mauvais 0 à 7 tonnes /ha
- 2 — médiocre 7 à 14 tonnes /ha
- 3 — moyen 14 à 21 tonnes /ha
- 4 — bon 21 à 28 tonnes /ha
- 5 — très bon 28 à 35 tonnes /ha
- 6 — exceptionnel supérieur à 35 tonnes /ha.

Interprétation des résultats :

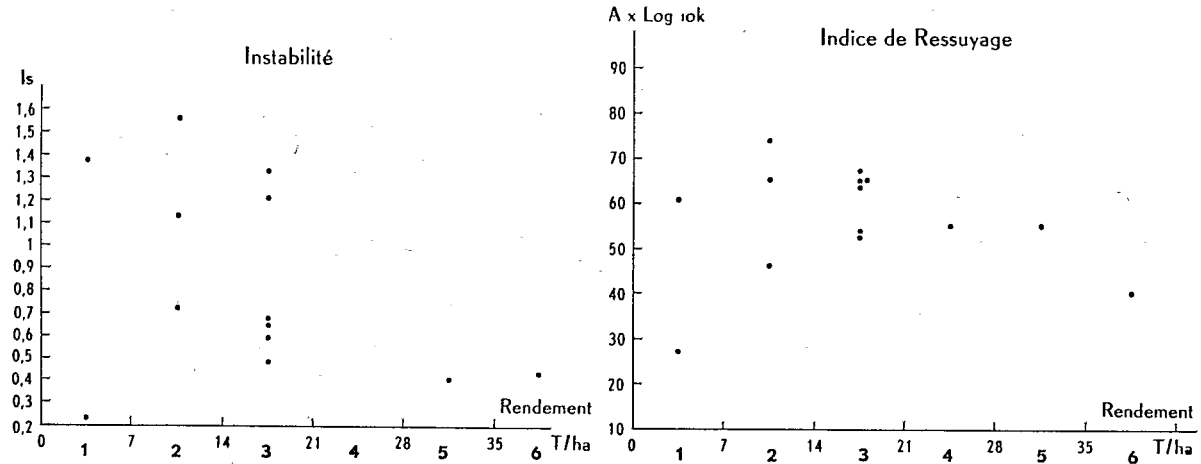
Les graphiques n° 3 et 3bis montrent les corrélations existant entre le rendement d'une part et d'autre part :

- l'indice de structure ($S_t \times (\sqrt{P_v \times E_u})$)
- les éléments qui composent l'indice de structure ($\sqrt{P_v \times E_u}$) et (S_t)
- l'indice de ressuyage ($A \times \text{Log } 10 K$).



GRAPHIQUE 3.

BASSE CÔTE D'IVOIRE - BANANERAIES - SOLS BIEN DRAINÉS



GRAPHIQUE 3bis.

Tableau des rendements et des indices

L'analyse du sol est effectuée sur 0-25 cm de profondeur.

Numéro	Rendement catégorie	S_t	$\sqrt{P_u \times E_u}$	$S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$	$A \times \text{Log } 10 K$
WS. 31	1	43,8	13,8	600	28
Alé. 11	1	81	6,9	560	60,5
Scaf. 31	2	62	13,2	820	46,5
MM. 21	2	65,4	14,8	980	65
Gel. 31	2	70,4	15,8	1 120	74
Gra. 11	3	63	17,9	1 120	64
Alé. 21	3	66,5	18,2	1 220	54
Bas. 11	3	66,8	17	1 150	53
Baf. 21	3	72,8	17	1 250	67
Alé. 111	3	65,2	23,2	1 510	65
WS. 31	3	67,3	20	1 350	65
Iro. 861	5	70,9	21	1 500	55
Iro. 421	6	72	27,3	1 710	40

La meilleure corrélation est donnée par l'indice de structure $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$. $\sqrt{P_u \times E_u}$ (Indice de porosité) donne également une corrélation très significative, assez proche de celle de l'indice de structure.

S_t , I_s , $A \times \text{Log. } 10 K$ (stabilité, instabilité, indice de ressuyage) d'après l'observation des graphiques, ces grandeurs ne montrent pas de corrélation avec les rendements.

Discussion des résultats.

L'action du facteur $\sqrt{P_u \times E_u}$ sur le rendement s'explique par le fait que dans les sols bien drainés c'est surtout la rétention d'eau par le sol qui est le facteur limitant du rendement; nous retrouverons dans tous les cas cette notion de facteur limitant.

Remarque :

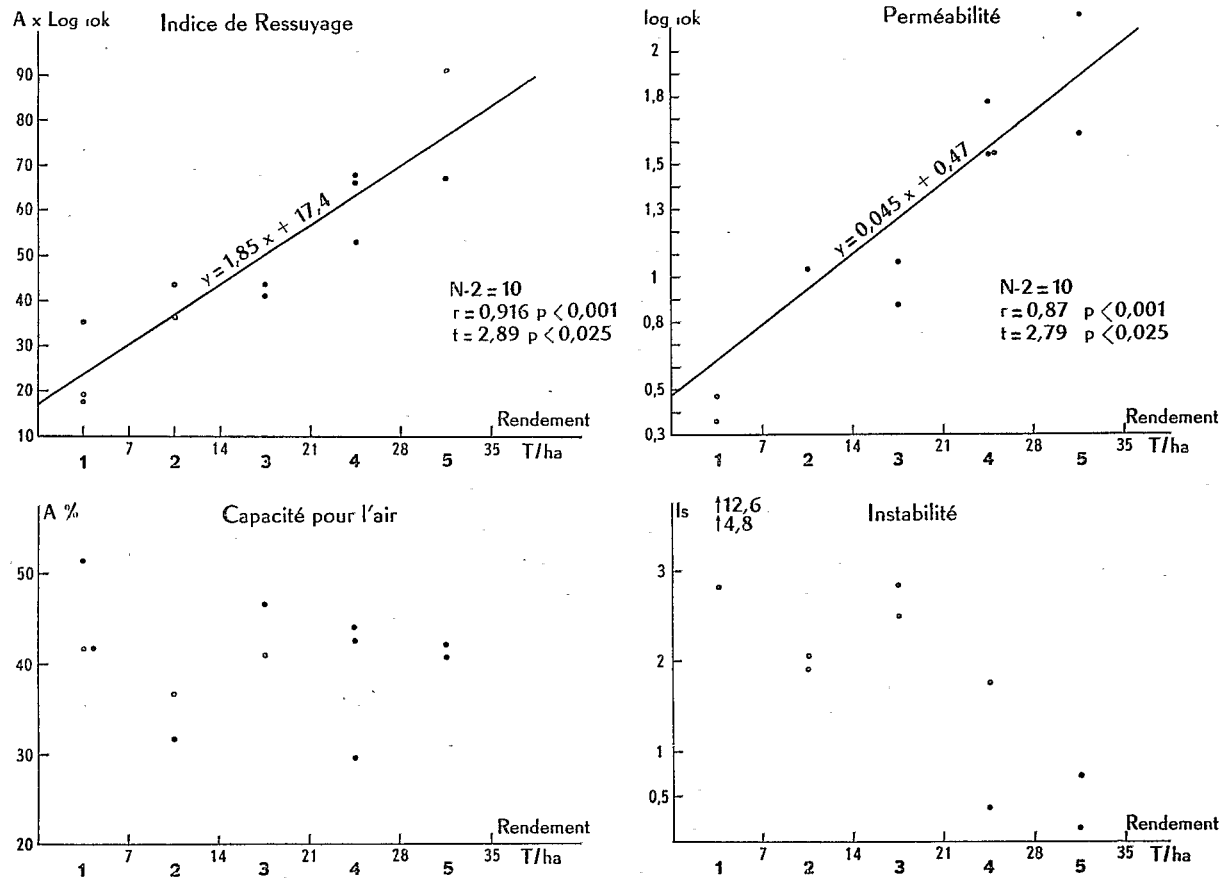
Les deux sols Alé 11 et WS 31 dont la fertilité est mauvaise, montrent des caractéristiques très différentes :

— Alé. 11 a un facteur $\sqrt{P_u \times E_u}$ très bas et un facteur de stabilité S_t très élevé.

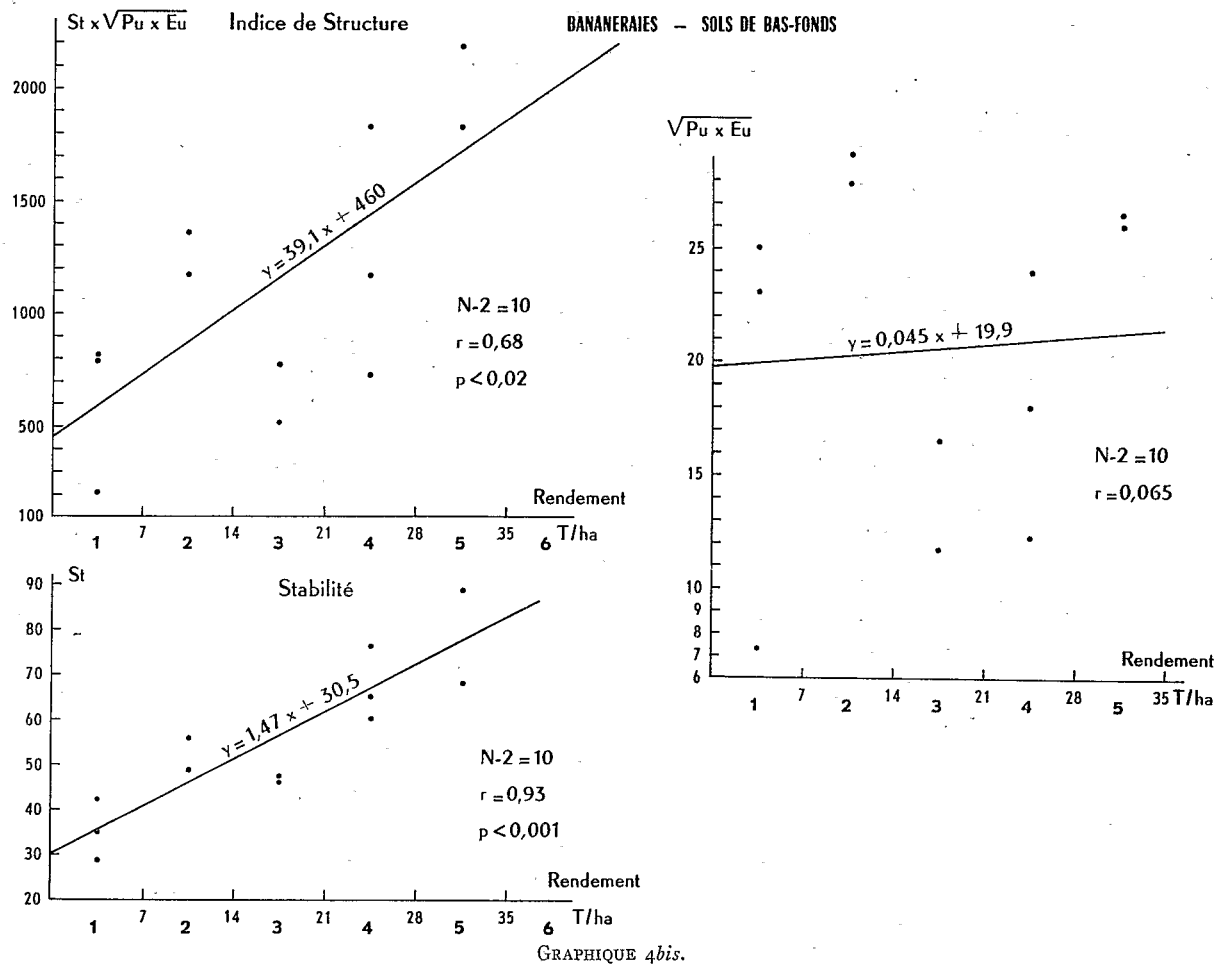
— WS. 31 a un facteur $\sqrt{P_u \times E_u}$ moyen, mais une stabilité S_t mauvaise.

L'un est un sol sableux très meuble, l'autre un sol limoneux compact. Dans les deux cas, la structure est mauvaise pour des raisons différentes; l'indice de structure donne deux valeurs basses bien groupées.

BASSE CÔTE D'IVOIRE — BANANERAIES — SOLS DE BAS-FONDS



GRAPHIQUE 4.



B) Sols où la nappe phréatique est peu profonde

Liste des plantations étudiées

Numéro	Type de sol	Emplacement
B. D. M. T. 31	Sol de tourbière forestière — argile organique — 10 ans de culture.	Agnéby (Côte d'Ivoire)
Mot. 41	Alluvion de la Comoë — zone basse.	Motobé
Saba. 11	Tourbe un peu argileuse — cultivée depuis 22 ans.	Agnéby
Saba. 51	Tourbe évoluée — cultivée depuis 7 ans.	Agnéby
B. D. M. T. 21	Argile organique — terrain récemment défriché.	Agnéby
B. M. 21	Tourbe peu évoluée, en terrain mal drainé.	Agnéby
Bos. 11	Bas fond en région granitique.	Sassandra
Ge. 11	Argile organique — cultivée depuis 10 ans.	Agnéby
Saba. 61	Tourbe évoluée — cultivée depuis 20 ans.	Agnéby
Mot. 31	Terrasse alluviale moyenne.	Motobé
Or. 1	Flat alluvial sur roche basique — vieille plantation.	Singrobo
B. D. M. T. 31	Tourbe peu évoluée.	Agnéby

Tableau des indices

Numéro	Rendement catégorie	Capacité pour l'air A	Perméa- bilité Log 10 K	Indice de ressuyage $A \times \text{Log}$ 10 K	Indice de structure $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$	Indice de porosité $\sqrt{P_u \times E_u}$	Stabilité S_t	Insta- bilité I_s
Mot. 41	1	41,8	0,86	35,5	810	25	42,2	12,6
B.D.M.T.21	1	51,5	0,36	18,5	210	7,35	28,8	18,5
B.M. 21	1	41,8	0,47	19	800	23	35	2,8
Mot. 31	2	36,5	1,04	38	1 360	28	48,8	2,05
Or. 1	2	31,6	1,42	44	1 110	31,6	56	1,9
B.D.M.T.41	3	41	1,07	44	780	16,6	46,6	2,85
B.D.M.T.31	3	46,6	0,88	41	510	11,6	46,6	2,5
Bos. 11	4	42,3	1,55	66	1 180	18	65,4	
Ge. 1	4	44	1,55	68	780	12,1	60,2	1,74
Saba. 61	4	29,5	1,77	52,5	1 840	24	76,5	0,34
Saba. 11	5	42	2,17	91	2 250	25	42,2	0,17
Saba. 51	5	409	1,64	67	1 830	26,5	68,6	0,72

Interprétation des résultats (graphiques n° 4 et 4 bis)

Les corrélations les plus élevées avec les rendements, sont obtenues pour :

- S_t (stabilité structurale) et $A \times \text{Log } 10 K$ (indice de ressuyage)
- $\text{Log } 10 K$ (perméabilité) présente une corrélation un peu moins élevée.
- I_s présente une corrélation d'après le graphique (mais non linéaire).

— $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ (indice de structure) présente une corrélation plus faible mais encore significative.

Les grandeurs qui ne présentent aucune corrélation avec les rendements sont : A (capacité pour l'air) non calculée et $\sqrt{P_u \times E_u}$ (indice de porosité).

Discussion des résultats.

Les résultats sont logiques ; ils sont inverses de ceux obtenus dans le cas des sols bien drainés.

Seul $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ (indice de structure) donne une corrélation dans les deux cas mais beaucoup plus faible dans le cas des sols mal drainés.

La stabilité structurale et l'indice de ressuyage sont réellement des facteurs limitants du rendement, ainsi que la perméabilité.

La capacité pour l'air A n'est valable qu'associée à la perméabilité.

Quant à la porosité et à l'eau utilisable ($\sqrt{P_u \times E_u}$), ce facteur ne présente aucune corrélation, l'eau étant ici en excès, ce qui est l'inverse des sols bien drainés.

Remarque :

Nous n'avons représenté que des sols cultivés, donc moyens, mais certains cas extrêmes de sols sableux de bas-fonds incultivables en bananeraie donnent les résultats suivants :

Porosité totale =	45 p. 100	
pF 3 =	4 p. 100	$S_t = 114$
pF 4,2 =	3 p. 100	$\sqrt{P_u \times E_u} = 6,5$
$E_v =$	1 p. 100	$S_t \times \sqrt{P_u \times E_u} = 740$
$P_u =$	42 p. 100	

Malgré un indice de stabilité très élevé, la fertilité est nulle. C'est l'indice de structure $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ qui est ici le facteur limitant.

3° LES SOLS A CACAOYERS EN BASSE CÔTE D'IVOIRE

De même que les bananiers, les cacaoyers s'étendent sur une large gamme de sols en Côte d'Ivoire. Les conditions climatiques sont à peu près les mêmes, mais leur aire de culture est plus vaste car le problème du transport rapide est moins important que pour la banane ; ce sont également des plantes très sensibles à la sécheresse, qui peuvent souffrir du manque d'eau au cours des mois de décembre, janvier, février.

A l'inverse du bananier dont l'enracinement est superficiel, le cacaoyer possède un pivot qui peut descendre assez profond, d'où des possibilités meilleures d'alimentation en eau, mais également l'importance que revêt la structure des horizons inférieurs du sol.

Dans l'étude présente, nous sommes partis de cacaoyères existantes et normale-

ment développées, ce qui implique des sols ne présentant pas d'obstacle au développement racinaire des arbres ; et dans ce cas, l'horizon supérieur 0 à 25 cm joue un rôle capital dans la fertilité générale du sol. Nous verrons d'ailleurs qu'il existe une relation entre la structure de l'horizon de surface et celle des horizons de profondeur.

Liste des plantations de cacaoyers

Numéro	Type de sol et roche-mère	Emplacement
Akr. 11	Sol ferrallitique très lessivé sur sable tertiaire, zone plane.	Akradio
At. 21	Sol ferrallitique typique sur schiste arkosique — pente.	Attobro
Rub. 11	Sol ferrallitique typique de pente sur granite.	Rubino
Abad. 21	Sol ferrallitique très lessivé de bas de pente sur sable tertiaire.	Abadjinkouté
N'D. 11	Sol faiblement ferrallitique de pente moyenne sur granite.	N'Douci
Br. 21	Sol ferrallitique très lessivé de pente moyenne sur sables tertiaires.	Brofodoumé
Iro. 111	Sol brun-jaune de bas de pente sur dolérite (hydromorphe).	Iroporia
Iro. 121	Sol brun-jaune de bas de pente sur micaschites (hydromorphe).	Iroporia
Or. 31	Sol faiblement ferrallitique de forte pente sur amphibolite.	Orumboboca
Ak. 21	Sol ferrallitique très lessivé de pente faible sur sables tertiaires.	Akouké (Abidjan)
Hi. 531	Sol faiblement ferrallitique sur granodiorite, pente faible.	Hiré
Yao. 31	Sol ferrallitique typique de pente faible sur micaschites.	Yaobou
Zod. 11	Sol ferrallitique typique de zone plate.	Zodgi
Iro. 431	Terre brune de pente moyenne sur amphibolite.	Iroporia

Nous n'avons pas séparé les sols suivant leur drainage comme dans le cas du bananier ; nous avons des sols de pente et quelques sols de bas de pente hydromorphes, mais pas réellement de sols de bas-fonds.

Les plantations étudiées sont des plantations africaines bien entretenues dont un certain nombre sont contrôlées par le Service de l'Agriculture qui nous a communiqué les rendements.

Tous les rendements sont des rendements *sans engrais* ; ils correspondent, comme pour la banane à des différences de végétation visibles sur le terrain (diamètre des arbres, nombre de cabosses, etc.) et l'observation du sol en place suffit à établir le diagnostic de fertilité.

Nous avons distingué 5 grandes catégories de rendements :

- 1 — mauvais 0 à 300 kg/ha
- 2 — médiocre 300 à 600 kg/ha
- 3 — moyen 600 à 900 kg/ha
- 4 — bon 900 à 1 200 kg/ha
- 5 — très bon supérieur à 1 200 kg/ha

On peut discuter sur ces rendements qui dépendent beaucoup des conditions culturales ; mais ils sont valables dans les cas que nous avons choisis.

Tableau des indices

Numéro	Rendement catégorie	Indice de structure	Indice porosité	Stabilité S_t	Instabilité I_s	Indice de ressuyage
		$S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$	$\sqrt{P_u \times E_u}$			$A \times \log 10 K$
Akr. 11	1	600	8,2	72	0,52	57
Abad. 21	1	850	9,85	87,6	0,56	90
At. 21	2	850	17,3	49,2	1,26	45,5
Rub. 11	2	830	11,6	70,7	0,45	49
N'D. 11	3	1 050	14,8	70	0,74	68
Ak. 21	3	1 380	11,4	96,8	0,31	87
Yao. 21	3	1 800	22	81,1	0,43	72
Zod. 11	3	1 660	22,5	74,1	0,44	53
Br. 21	4	1 300	12,8	101,3	0,07	81
Hi. 531	5	1 600	28	57	1,23	35
Iro. 431	5	2 300	23,4	99	0,18	78
Iro. 121	5	1 900	29,5	65,5	0,72	41
Iro. 111	5	1 550	25,5	61,5	1,06	24,5
Orumbo 31	5	1 550	21,5	71	0,34	51

Interprétation des résultats.

Les graphiques 5 et 5 bis montrent les corrélations entre les rendements d'une part et d'autre part : ($S_t \times (\sqrt{P_u \times E_u})$) (indice de structure) et ses composantes $\sqrt{P_u \times E_u}$ (porosité eau utilisable) S_t (stabilité), I_s (instabilité), en fin $A \times \log 10 K$ (indice de ressuyage).

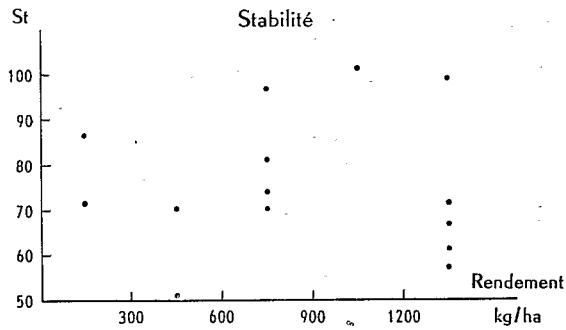
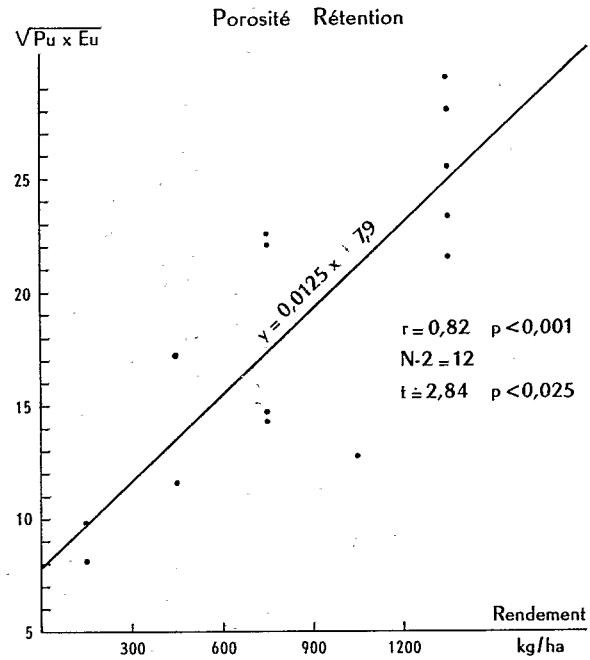
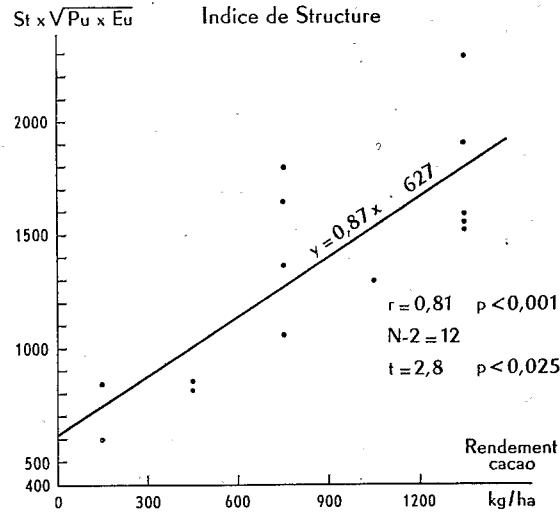
La corrélation est bonne pour $S_t \times (\sqrt{P_u \times E_u})$ et $(\sqrt{P_u \times E_u})$ le coefficient est équivalent dans les deux cas. Cela s'explique par le fait que dans tous les sols c'est la rétention d'eau qui est le facteur limitant du rendement.

Noter cependant dans le graphique $\sqrt{P_u \times E_u}$ un point aberrant (Br 21) correspondant à une zone de sables tertiaires sous climat très humide, ce point aberrant est bien regroupé dans l'indice de structure grâce à un indice de stabilité S_t élevé (101).

L'indice de stabilité S_t seul, ne donne pas de corrélation, de même que I_s et $(A \times \log 10 K)$ (indice de ressuyage).

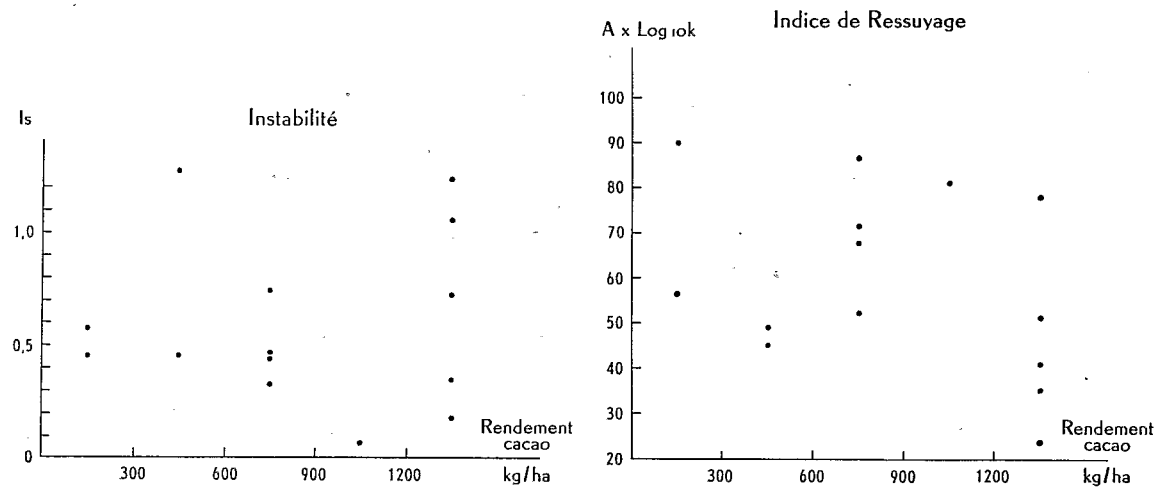
Ceci tient en partie à la nature même de la plante qui résiste très bien à l'engorgement temporaire même en sol hydromorphe.

BASSE CÔTE D'IVOIRE — SOLS A CACAoyERS



GRAPHIQUE 5.

BASSE CÔTE D'IVOIRE — SOLS A CACAoyERS



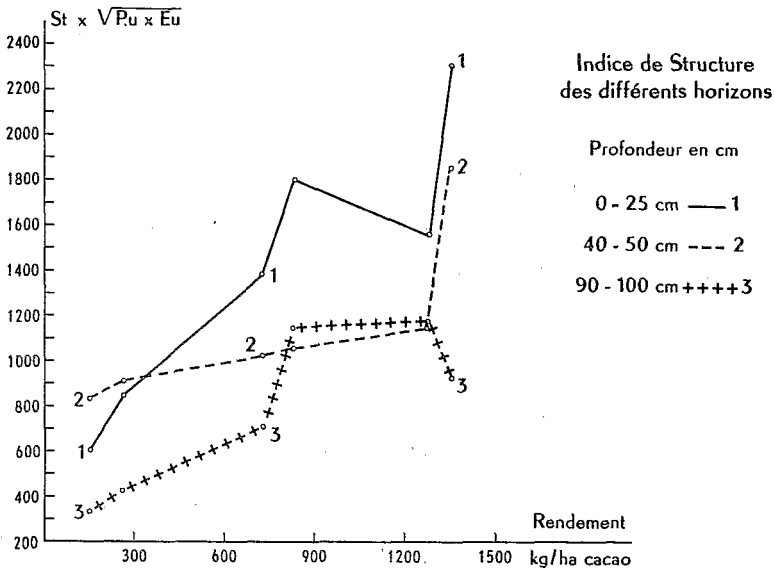
GRAPHIQUE 5bis.

Action des horizons de profondeur

Le graphique n° 6 montre la variation de l'indice de structure dans les horizons de profondeur à 0,50 m et 1 m ; il y a un parallélisme assez net entre la surface et l'horizon de moyenne profondeur ; l'horizon profond à 1 m montre une variation plus faible ; ce parallélisme explique la corrélation entre les rendements et la structure de l'horizon 0-25 cm dans les exemples choisis.

Ce parallélisme n'existe pas dans tous les sols, si l'on a à choisir un sol vierge pour y installer une cacaoyère, il faut tenir compte de la structure de l'horizon à 0,50 m de profondeur qui peut constituer un obstacle important pour la pénétration du pivot (sols gravillonnaires).

BASSE CÔTE D'IVOIRE — SOLS A CACAoyERS



GRAPHIQUE 6.

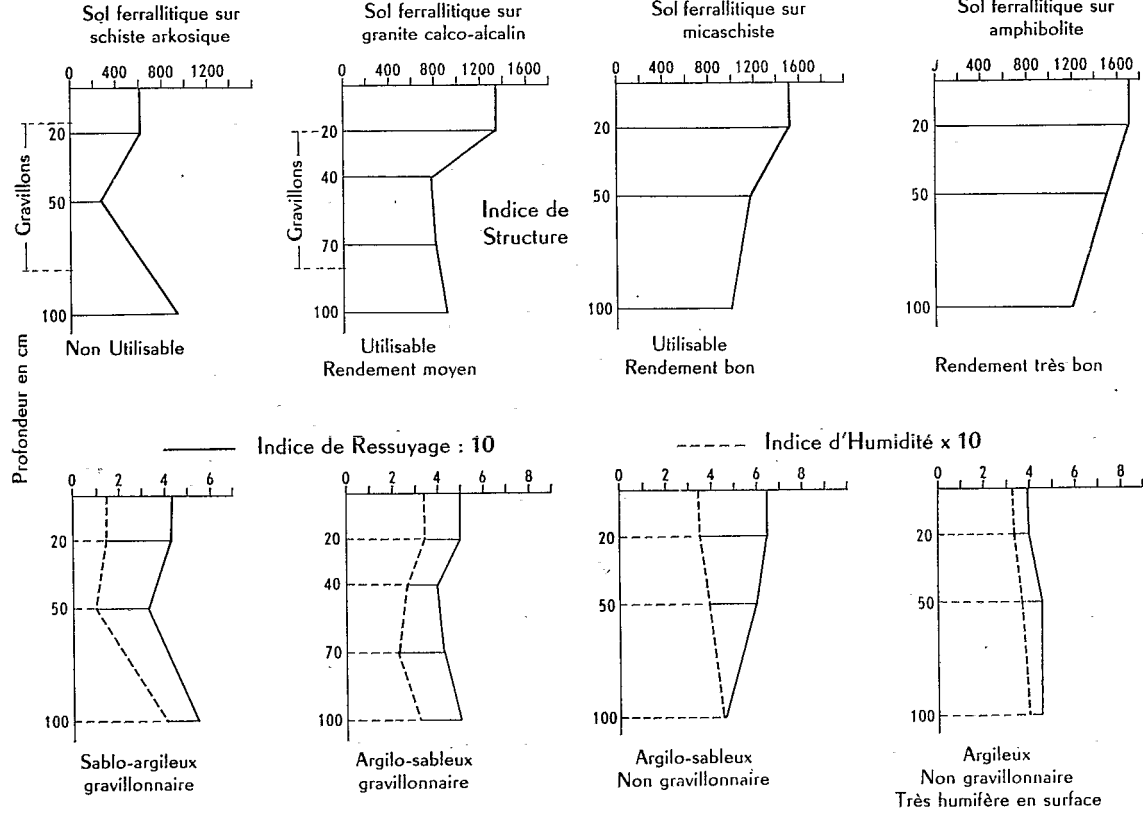
Le graphique n° 7 montre un mode pratique de représentation de profils structuraux permettant de comparer divers types de sols.

La structure meilleure de l'horizon de surface humifère apparaît bien ; l'horizon gravillonnaire à 0,50 m présente un minimum très net, alors que l'on note un indice de structure assez constant dans l'argile tachetée polyédrique à 1 m de profondeur.

Les sols non gravillonnaires ne présentent pas de minimum mais une diminution constante de l'indice de structure de la surface vers la profondeur, au fur et à mesure que l'humus disparaît, la teneur en argile augmentant légèrement, la structure passant de grumeleuse à polyédrique.

Il semble que pour le cacaoyer le minimum d'indice de structure en surface est de l'ordre de 600, et en profondeur de l'ordre de 300. Mais pour avoir une plantation correcte, il faut au moins 1 300 en surface et 650 en profondeur.

BASSE CÔTE D'IVOIRE — SOLS A CACAoyERS



GRAPHIQUE 7.

L'indice de ressuyage et l'humidité peuvent se représenter sur des graphiques analogues et fournissent des renseignements intéressants, compte tenu du climat et de la topographie ; noter une humidité basse dans les horizons gravillonnaires (0,50 m) et élevée dans l'argile tachetée à 1 m.

4° LES TERRES NOIRES A COTON DU TOGO

Avec les Terres Noires du Togo, nous avons un exemple net de sols chimiquement riches dont la fertilité dépend essentiellement des conditions physiques.

Bien que situées en zones de plateau, ces Terres Noires formées sur roche basique (Diorite), possèdent une hydromorphie interne due à la nature montmorillonitique ou illitique de l'argile et à la présence d'une proportion relativement importante de magnésium et de sodium dans le complexe absorbant ; certains sols drainent mal, rendant la croissance du Cotonnier difficile, cette plante étant très sensible à l'engorgement.

Sols étudiés.

— Les échantillons analysés proviennent tous de la Station de l'I. R. C. T. à Kolocopé (Anie-Mono) (la variété de Cotonnier cultivée est un Barbadense).

Tableau des rendements et des indices

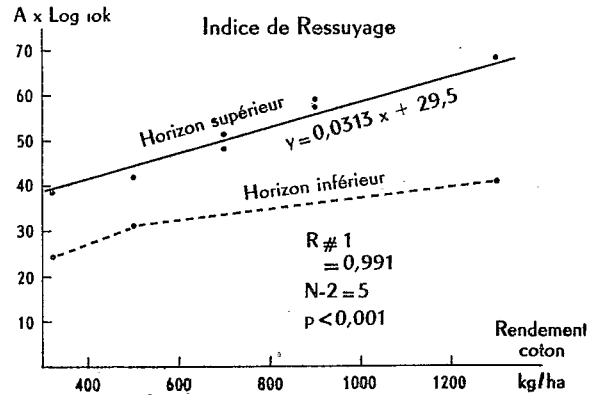
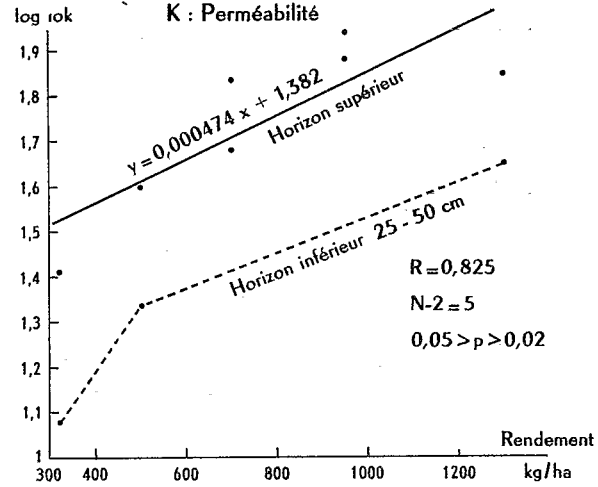
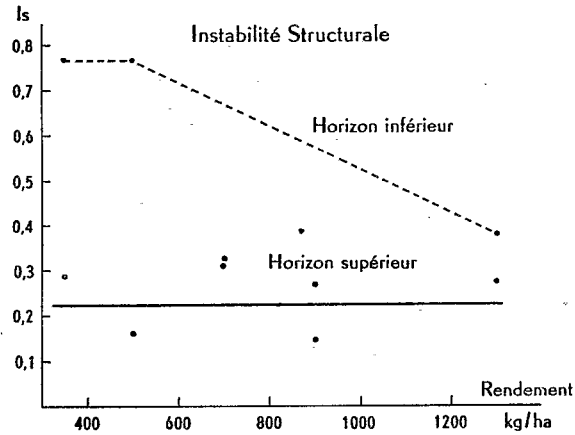
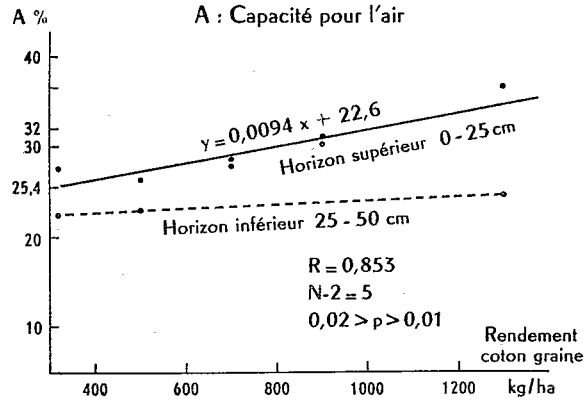
Numéro	Profondeur en cm	Rendement kg/ha	Capacité pour l'air A	Log 10 K	A × Log 10 K	$S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$	$\sqrt{P_u \times E_u}$	I_s
111 bis	0-20	> 1 200	36,4	1,85	68	1 650	20,6	0,27
31	0-20	800-1 000	30,94	1,88	58	2 150	25,5	0,15
81	0-20	800-1 000	30,3	1,94	59	2 100	26	0,27
71	0-20	600-800	27,9	1,84	51	1 950	25	0,31
121	0-20	600-800	28,5	1,68	48	1 750	23,5	0,31
11	0-20	400-600	26,04	1,6	42	1 650	21,3	0,16
21	0-20	< 400	27,9	1,41	39	1 570	22,7	0,29
112	20-40	> 1 200	24,7	1,65	41	1 750	24	0,38
12	20-40	400-600	23,16	1,34	31,5	1 500	24,5	0,77
22	20-40	< 400	22,54	1,08	24,5	1 850	33,5	0,77

Interprétation des résultats.

Graphiques 8 et 8 bis.

L'indice de structure $S_t \sqrt{P_u \times E_u}$ présente toujours une valeur élevée supérieure à 1 600 ; nous avons donc dans tous les cas un sol intrinsèquement fertile, cependant, cette fertilité ne peut pas toujours se manifester en raison d'un drainage trop faible.

TOGO — CULTURE DU COTON — TERRES NOIRES



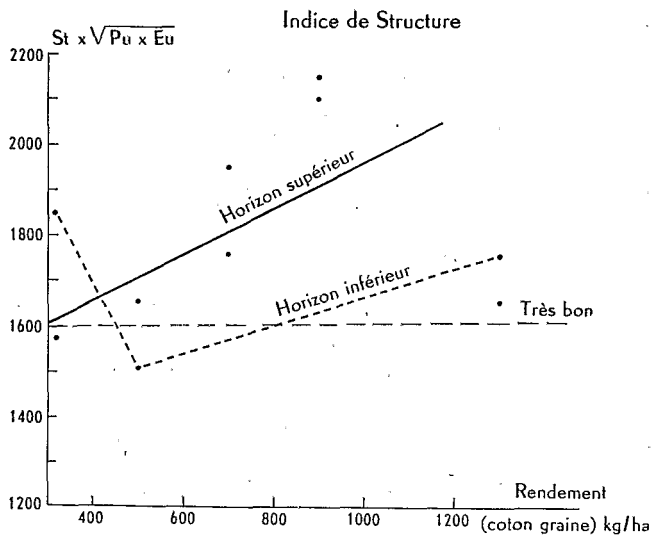
GRAPHIQUE 8.

Il existe une corrélation significative entre le rendement d'une part, et A (capacité pour l'air) ainsi que $\text{Log } 10 K$ (perméabilité) d'autre part et une relation quasi fonctionnelle entre le rendement et $A \times \text{Log } 10 K$ (Indice de ressuyage) (Les indices des horizons de profondeur sont sensiblement parallèles à ceux des horizons de surface).

Noter que l'instabilité I_s est toujours assez faible en surface et ne suit pas la perméabilité (sauf en profondeur).

Ces propriétés particulières (indice de structure bon, instabilité faible) font qu'il est possible, en agissant sur l'un des facteurs limitants (capacités pour l'air ou perméabilité) d'accroître fortement les rendements.

CULTURE DU COTON — TOGO (KOLOKOPÉ)



GRAPHIQUE 8bis.

Un travail profond du sol permet d'accroître A et augmente la production, le principal souci des agronomes de la Station est la mise au point des meilleures façons culturales. Si nous avons un mauvais indice de structure, un simple travail du sol ne suffirait pas, il faudrait également des amendements ; nous voyons donc comment cette étude systématique des indices permet non seulement de prévoir la fertilité mais également les techniques culturales à utiliser.

V. — INDICE D'HUMIDITÉ

L'indice d'humidité est calculé par la formule $\frac{\sqrt{P_u \times E_u}}{S_t}$. Il permet d'apprécier en valeur indiciaire l'humidité potentielle des différents sols et d'établir certains seuils de vocation culturale en fonction du climat ; mais nous ne donnerons ici que quelques exemples.

1° *Basse Côte d'Ivoire**Végétation naturelle.*

Sous climat très pluvieux 1 700 à 2 000 mm on observe plusieurs types de forêt dense : la forêt à « *Turraeanthus* » sur sables côtiers tertiaires et la forêt à « *Mapania* » sur schistes birrimiens arkosiques (voir publications de M. le Professeur MANGENOT).

La comparaison entre la forêt de Banco (sables) et la forêt de Yapo (schistes) est la suivante (0-25 cm) :

	Indice de structure	Indice de ressuyage	Humidité
Banco	1 120	92	0,133
Yapo	1 100	45	0,255

Sous un même climat, le sol de la forêt de Yapo est beaucoup plus humide, d'où la différence de végétation.

Culture bananière.

Sous ce même climat, certains sols de plateau sont incultivables en Bananeraie car trop secs.

ex : Coopérative de Brofodoumé (AG. 11) — Indice d'humidité = 0,084.

2° *Région de Divo*

— pluviométrie 1 400-1 500 mm — sols faiblement ferrallitiques sur roches basiques.

Sur sol rouge, les bananeraies prospèrent ; sur terre brune les bananiers dessèchent.

	Indice de structure	Indice de ressuyage	Indice d'humidité
Sol rouge	1 500	55	0,3
Terre brune	2 300	78	0,23

Sous ce climat, l'humidité est trop faible en surface (0-25 cm) dans les Terres brunes, elle est suffisante dans les sols rouges.

3° (*Région d'Akoupé — Agboville*)

Pluviométrie 1 300-1 400 mm.	humidité
Plantation de Mamini, Bananeraies souffrant de la sécheresse	0,22
Plantation Gelin, Bananeraies résistant à la sécheresse	0,5

4° *Autres exemples :*

Sol de plateau cuirassé, très sec	0,057
Horizon profond d'un sol alluvial très humide	0,72

VI. — RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Nous avons étudié, pour un certain nombre de cultures : Cacaoyer, Bananier, Cotonnier et Riz, ainsi que pour différents types de sol et différents climats, l'action des propriétés physiques du sol sur les rendements ; il semble que suivant les positions

topographiques (sol de plateau ou de bas-fond) les cultures (plantes sensibles ou résistantes à la sécheresse ou à l'engorgement), il existe dans chaque cas un facteur limitant du rendement qui peut être soit la porosité et l'eau utilisable, soit la stabilité structurale et la perméabilité.

La combinaison de ces facteurs en un indice de structure ($S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$) a l'avantage de donner dans tous les cas une indication valable sur la fertilité des sols, plus ou moins indépendante de la position topographique, de la culture et même du climat.

Nous n'avons pas traité ce problème du climat qui nécessiterait une étude approfondie, mais signalons seulement que pour la culture non irriguée du Coton et du Maïs au Niger (550 mm de pluie environ) un facteur $\sqrt{P_u \times E_u} = 20$ semble un minimum (Sol Brun Steppique) alors que pour la culture du Bananier et du Cacaoyer en Côte d'Ivoire, la limite se situe aux environs de 12 pour 1500 mm de pluie et est plus basse encore pour 1700 à 1800 mm. Dans tous les cas, le facteur $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ donne une limite d'environ 900, au-dessous de laquelle le rendement devient mauvais.

Nous donnons ici une échelle des indices de structure pour les différentes cultures :

	Cacaoyer	Bananier		Riz	Coton (1)
		bien drainé	mal drainé		
Très bon	1 650-1 950	1 520-1 760	1 600-1 860	2 000-2 300	> 1 600
Bon	1 400-1 650	1 300-1 520	1 300-1 600	1 600-2 000	1 300-1 600
Moyen	1 450-1 400	1 180-1 300	1 000-1 300	1 250-1 600	1 000-1 300
Médiocre	900-1 150	860-1 180	750-1 000	900-1 250	800-1 000
Mauvais	600-900	640-860	450-750	550-900	600-800

(1) Les indices de structure du coton proviennent de la comparaison de divers types de sol du Niger de fertilité variable.

Dans l'ensemble, il existe une assez bonne correspondance entre les cultures, le facteur $S_t \times \sqrt{P_u \times E_u}$ peut donc être considéré comme une caractéristique du sol relativement indépendante de la culture, du climat, de la topographie.

Cet indice ne peut cependant être utilisé seul, il a besoin d'être complété par l'indice de ressuyage (cas des sols à nappe phréatique proche de la surface, ou à engorgement interne) et par l'indice d'humidité (cas des sols bien drainés) ; l'interprétation de ces deux indices complémentaires est essentiellement fonction du climat, de la topographie et de la plante et permet d'indiquer des seuils aux dessous des quels telle ou telle culture n'est plus possible, ou bien nécessite des travaux d'irrigation, de drainage, de travail du sol, etc. ; dans certains cas, l'indice de ressuyage constitue le facteur limitant du rendement à condition que l'indice de structure soit bon.

En Afrique tropicale, la notion de vocation culturale est toujours valable en raison de la nécessité de produire dans les meilleures conditions économiques possibles, donc de rechercher au maximum la meilleure adaptation des cultures au sol dans les différents climats.

Les facteurs physiques sont les éléments essentiels de cette vocation culturale, l'indice de structure indiquant la fertilité générale, l'indice de ressuyage et l'indice d'humidité permettant d'adapter les cultures en fonction du climat et de la topographie.

Au terme de cette étude, il convient de souligner le sens que nous attribuons à nos résultats.

Les associations de données que nous avons utilisées présentent un caractère logique et s'il est possible que l'on puisse modifier quelque peu la façon de les associer, il semble qu'elles constituent des données complexes présentant une valeur globale. La valeur des corrélations obtenues constitue en elle-même un jugement ; il est vraisemblable que dans les mêmes conditions de milieu on retrouvera en moyenne des résultats du même ordre ; elles constituent donc un élément de diagnostic dans le cadre naturel où elles ont été établies.

Le fait que les groupes de valeurs utilisées varient d'une culture à l'autre montre par contre qu'il faudra, vraisemblablement les modifier si l'on veut étendre cette méthode de diagnostic à d'autres milieux à et d'autres cultures ; il est probable que dans la mesure où on voudra les appliquer dans des régions à climat moins agressif et à des cultures annuelles où l'état de la structure est fortement influencé par le travail du sol, leur valeur de diagnostic se trouvera réduite. Par contre, il est vraisemblable que pour les cultures pluriannuelles et les cultures pérennes, ces indices puissent présenter à nouveau un certain intérêt, même sous les climats tempérés.

Reçu pour publication en février 1962.

SUMMARY

THE RELATIONSHIPS BETWEEN PHYSICAL PROPERTIES AND FERTILITY OF TROPICAL SOILS

Soil structure in a tropical climate corresponds to an equilibrium and may be evaluated from laboratory measurements of structural stability and certain porosity values.

These laboratory measurement may be expressed by indices giving an overall picture of the different physical properties of the soil.

$$\text{Structural index} = St \times \sqrt{Pu \times Eu}$$

$$\text{Moisture index} = \frac{\sqrt{Pu \times Eu} St}{St}$$

Index of drying = $A \times \log K$,
where St = structural stability, Pu = useful porosity, Eu = available moisture, A = air capacity, and K = permeability.

There was a correlation between crops yields and these indices. For rice grown in the Niger region, the structural index provided the best correlation while the index of drying had no significance.

A similar result was obtained with cacao plantations at the Ivory Coast, and with banana grown on well-drained soil.

For banana grown on poorly drained soil, the indices of drying and structural stability showed the best correlation with yields ; the same was true for Cotton grown in the black montmorillonitic soils of Togo.

The moisture index is useful in estimating the drought resistance of crops in relation to the climate.

Соотношения между физическими свойствами тропических почв и их плодородностью.

Д. ДАБЕН — (О. Р. С. Т. О. М. — Бонди).

Структура почвы тропического климата соответствует определенному равновесию и ее можно оценить при помощи лабораторных мерил : прочность структуры и некоторые особенности порозности.

Мерилы эти можно сгруппировать в несколько показателей (индексов) дающих общее представление о различных физических свойствах почвы.

Показатель структуры $St \times \sqrt{Pu \times Eu}$.

Показатель влажности $\frac{\sqrt{Pu \times Eu}}{St}$

Показатель стекания $A \times \text{Log } 10 K$

St = Прочность структуры;

Pu = Порозность;

Eu = Потребленная влага;

A = Воздухоемкость;

K = Проницаемость.

Между этими индексами и урожайностью различных культур были установлены соотношения.

Наилучшее соотношение для культур риса в Нигерии дал индекс структуры. Индекс стекания напротив, не имеет значения.

Для культур какао на побережье Слоновой Кости играют роль те же показатели что и для культур банана на хорошо продреннированных почвах. В случае культур банана на плохо осушенных почвах наилучшее соотношение с урожайностью дали показатели стекания и прочности структуры. То же самое наблюдалось по отношению к культурам хлопка на монтмориллонитных черноземах в Того.

Индекс влажности позволил определить устойчивость культур к засухе в данном климате.

ZUSAMMENFASSUNG

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN PHYSISCHEN EIGENSCHAFTEN UND DER FRUCHTBARKEIT DER TROPISCHEN BÖDEN

Die Bodenstruktur im Tropenklima entspricht einem Gleichgewicht und lässt sich durch Messungen im Laboratorium (Stabilität der Struktur und einige Porositätswerte) erfassen.

Diese Messungen im Laboratorium können in Indexen zusammengefasst werden, die global die verschiedenen Eigenschaften des Bodens ergeben.

Strukturindex $St \times \sqrt{Pu \times Eu}$

Feuchtigkeitsindex $\frac{\sqrt{Pu \times Eu}}{St}$

Abstrocknungsindex $A \times \text{log } 10 K$

St = Strukturstabilität

Pu = benutzbare Porosität

Eu = benutzbares Wasser

A = Kapazität für Luft

K = Durchlässigkeit

Korrelationen wurden zwischen Ertrag und Indexen ermittelt.

Im Falle von Reiskulturen im Niger gibt der Strukturindex die beste Korrelation.

Der Abstrocknungsindex ist nicht von Bedeutung.

Die Kakaokultur an der Elfenbeinküste gibt das gleiche Resultat, genau wie die der Bananen auf gut drainiertem Boden.

Für Bananenkultur auf schlecht drainiertem Boden gibt der Abtrocknungsindex und die Strukturstabilität die besten Korrelationen mit den Erträgen.

Das gleiche gilt für die Baumwollkulturen in den schwarzen Montmorillonitböden des Togo.

Der Feuchtigkeitsindex erlaubt die Widerstandsfähigkeit der Kulturen gegen Trockenheit je nach Klima zu erfassen.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- de BOODT M., de LEENHEER, 1958. Soil structure index and plant growth. *Proc. Intern. Symp. Soil Structure, Ghent.*
- BOYER J., COMBEAU A., Étude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de République Centrafricaine. *Sols Afri.* 5, 5-42.
- COMBEAU A., 1960. Quelques facteurs de la variation de l'indice d'instabilité structurale dans certains sol ferrallitiques. *C. R. Acad. Agric.* 109-115.
- COMBEAU A., 1960. Observations sur certains facteurs de la rétention d'eau par le sol pour diverses valeurs remarquables du pF. *Rapport O. R. T. S. O. M.*
- DABIN B., 1956. Étude des propriétés physiques et chimiques des terres noires de la Station I. R. C. T d'Anié Mono (Togo). *Coton Fibres Trop.*, 11, 1-8.
- DABIN B., 1957-1958. Rapport de mission au Niger 1957. Étude Pédologique du Niger Central, 1958. Rapports inédits ORSTOM.
- DABIN B., 1958. Étude physique et chimique des essais d'engrais sur cacaoyères en basse Côte d'Ivoire. Rapport inédit ORSTOM.
- DABIN B., 1959. Utilisation d'un indice de structure pour la détermination de la qualité physique des sols tropicaux. *Rapport inédit ORSTOM*, 1959. *C. R. 7^e Congr. Intern. Sci. Sol*, Madison.
- DABIN B., LENEUF N., 1960. Les sols de bananeraies de la Côte d'Ivoire. Fruits n° 1, 3-27 ; n° 2, n° 3.
- HENIN S., FEORODOFF A., GRAS R., MONNIER G., 1961. Le profil cultural (principes de physiques du sol)
- LENEUF N. de LA SOUCHÈRE P. DABIN B., 1957. Contribution à l'étude pédologique de la région nord-est de Divo (Côte d'Ivoire). Rapport ORSTOM, Édition Cofafruit, Abidjan.
- MAYMARD J., COMBEAU A., Effet résiduel de la submersion sur la structure du sol. *Sols Afri.* 5, 123-48.

Redo

Ann. agron., 1962, 13 (2), III-140.

RELATIONS ENTRE LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET LA FERTILITÉ DANS LES SOLS TROPICAUX

B. DABIN

Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer, Bondy (Seine).

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

Collection de Référence

22 DEC. 1966

n° 11075 49
M