

PUBLICATIONS DE L'INSTITUT NATIONAL
POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE
(I. N. É. A. C.)

*Recherches sur les variations
de structure du sol
à Yangambi*
(CONGO BELGE)

PAR

J. D'HOORE et J. FRIPIAT

Assistants à la Division d'Agrologie de l'Institut National
pour l'Étude Agronomique du Congo Belge

SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 38
1948

PRIX : 30 FR.

Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge
I. N. É. A. C.

(A. R. du 22-12-33 et du 21-12-39).

L'INÉAC, créé pour promouvoir le développement scientifique de l'agriculture au Congo belge, exerce les attributions suivantes :

1. Administration de Stations de recherches dont la gestion lui est confiée par le Ministère des Colonies.
2. Organisation de missions d'études agronomiques et formation d'experts et de spécialistes.
3. Études, recherches, expérimentation et, en général, tous travaux quelconques se rapportant à son objet.

Administration :

A. COMMISSION.

Président :

- M. GODDING, R.**, Sénateur, ancien Ministre des Colonies.

Vice-Président :

- M. VANDEN ABEELE, M.**, Directeur Général du Service de l'Agriculture au Ministère des Colonies.

Secrétaire :

- M. LEBRUN, J.**, Secrétaire scientifique de l'I.N.É.A.C.

Membres :

- MM. ANTOINE, V.**, Professeur à l'Institut Agronomique de l'Université de Louvain;
ASSELBERGHS, E., Membre de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique;
BAEYENS, J., Professeur à l'Université de Louvain;
BOUILLENNE, R., Professeur à l'Université de Liège;
CONARD, A., Professeur à l'Université de Bruxelles;
DEBAUCHE, H., Professeur à l'Institut Agronomique de Louvain;
DE BAUW, A., Président du Comité Cotonnier Congolais;
DELEVOY, G., Membre de l'Institut Royal Colonial Belge;
DUBOIS, A., Professeur à l'Institut de Médecine Tropicale « Prince Léopold »;
GEURDEN, L., Professeur à l'École de Médecine Vétérinaire de l'État, à Gand;
GUILLAUME, A., Secrétaire Général du Comité Spécial du Katanga;
HAUMAN, L., Professeur à l'Université de Bruxelles;
HOMÈS, M., Professeur à l'Université de Bruxelles;
MAYNÉ, R., Recteur de l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux;
MULLIE, G., Vice-Président du Sénat, Membre du Conseil d'Administration du Fonds National de la Recherche Scientifique;
PONCELET, L., Météorologiste à l'Institut Royal Météorologique d'Uccle;
ROBERT, M., Professeur à l'Université de Bruxelles;
ROBYNS, W., Membre de l'Académie Royale Flamande des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique;
RODHAIN, J., Directeur de l'Institut de Médecine Tropicale « Prince Léopold », à Anvers;
STANER, P., Directeur au Ministère des Colonies;

RECHERCHES SUR LES VARIATIONS
DE STRUCTURE DU SOL
A YANGAMBI
(CONGO BELGE)

PUBLICATIONS DE L'INSTITUT NATIONAL
POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE
(I. N. É. A. C.)

*Recherches sur les variations
de structure du sol
à Yangambi*
(CONGO BELGE)

PAR

J. D'HOORE et J. FRIPIAT

Assistants à la Division d'Agrologie de l'Institut National
pour l'Étude Agronomique du Congo Belge.

SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 38
1948

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	7
CHAP. I. — Les phénomènes de surface	9
a) Ordre de grandeur des surfaces possibles	9
b) La notion de surface	10
c) Les phénomènes de surface	10
d) La surface « eau »	14
CHAP. II. — Végétation, facteur de peptisation	15
a) Premières constatations	15
b) Hypothèse sur le mécanisme	16
c) Étude systématique du phénomène de peptisation sur le champ	18
1° Le « test »	19
2° Consignation des résultats; le croquis de tranchée	19
3° Déductions	21
CHAP. III. — La surface spécifique, mesure de la structure	24
a) La structure d'un sol	24
b) La surface spécifique : S_o	25
c) Technique de la mesure	27
Équation utilisée	27
d) Quelques résultats	29
CHAP. IV. — Deux facteurs de structure : colloïdes totaux et colloïdes peptisés	32
a) Structure et colloïdes en dispersion naturelle	32
b) Le dosage de colloïdes	34
1° La dispersion	35
a) Les colloïdes peptisés : P	35
b) Les colloïdes totaux : T	35
2° Dosage	35
Remarques	37
c) Variation des valeurs P, T et F dans le profil	39
CHAP. V. — La fonction mathématique de la structure	40
a) Première constatation	40
b) Deuxième constatation	41
c) Discussion de la formule $S_o = K + kF + x \frac{100P}{T}$	44
d) Le mode d'agrégation et la capacité d'agrégation	46

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL

CHAP. VI. — Premiers résultats	49
<i>a)</i> Recherche des types de sol	49
<i>b)</i> Le problème de la jachère	51
CONCLUSIONS	55
ADDENDUM SUR LES CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES DE YANGAMBI	56
BIBLIOGRAPHIE.	57
RÉSUMÉ	58
SAMENVATTING	58
SUMMARY	59

INTRODUCTION

Les phénomènes qui contribuent à la formation d'un sol se classent en deux grandes catégories : les *transformations* et les *déplacements*.

1. Les transformations que peut subir un matériel de départ sont à la fois très nombreuses et très diverses. Nous considérons l'expression « matériel de départ » dans le sens le plus large : que ce soit une roche magmatique, un sédiment ou un sol déjà couvert de végétation. Cette mise au point implique la grande hétérogénéité du matériel de départ et toute une gamme de transformations possibles depuis les simples solubilisations et les néoformations jusqu'aux fines modifications des propriétés de surface.

Toutes ces transformations peuvent s'exprimer par des équations d'équilibre; la vitesse de réaction peut être grande (dissolution de sels dans l'eau, phénomènes de sorption, etc.) ou petite (substitution d'atomes dans les réseaux cristallins, néoformation de corps colloïdaux, etc.).

2. Les transformations précitées engendrent des corps à mobilité différente. Les plus mobiles (sels solubles, sels colloïdaux, suspensoïdes peptisés...) sont entraînés par les mouvements de l'eau capillaire vers d'autres niveaux du profil. Là, des transformations ultérieures peuvent réduire leur mobilité et provoquer des enrichissements locaux : le sol se différencie en « horizons » souvent même décelables à l'œil nu.

Les phénomènes de déplacement s'effectuent à des vitesses variables dépendant en premier lieu des équilibres qui régissent les phénomènes de mobilisation.

Les transformations et les déplacements trouvent leur cause finale dans les facteurs pédogénétiques : un sol doit être considéré comme étant le produit, à tout moment, d'une action de facteurs géographiques, climatiques et biologiques sur un matériel de départ.

Il reste acquis :

1° Que l'effet causé par chacun de ces facteurs *croît* en fonction du temps;

2° Que l'intensité des phénomènes *décroit* en fonction du temps, pour autant que les facteurs restent constants.

Nous pouvons donc en déduire :

1° Que là où l'on constate des variations rapides dans le sol, ce sol est loin de son état d'équilibre;

2° Que là où les variations deviennent lentes, nous avons affaire à un sol qui se rapproche de son état d'équilibre.

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL

Envisageons maintenant l'évolution des sols tropicaux à la lumière des quelques principes énoncés plus haut.

Considérons un sol sous forêt.

Une succession de phénomènes pédogénétiques l'a créé à partir d'un matériel de départ très hétérogène et, dans les cas qui nous occupent, généralement très pauvre en minéraux facilement altérables. Les variations que l'on constate dans le sol sont très lentes et peu marquées : le sol se rapproche de son état d'équilibre.

L'abatage de la forêt modifie brusquement l'ensemble des facteurs climatiques et biologiques. Cette rupture d'équilibre induit fatalement une nouvelle succession de phénomènes pédogénétiques.

Le sol primitif passera d'abord par une série d'états très différents l'un de l'autre qui se ressembleront ensuite de plus en plus et dont la durée augmentera parallèlement : après un long laps de temps, le sol atteindra finalement son état d'équilibre. Cette évolution peut se comparer à la succession des associations végétales qui recolonisent un terrain après abatage de la forêt : aux premières étapes, très différentes et très rapides, succède l'installation des groupements permanents affectés d'un dynamisme fort lent qui précèdent le climax.

La même série de phénomènes s'observe au cours de la mise en culture et pendant les rotations culture-jachère. On peut considérer le dernier stade de la jachère, la parasoleraie (*Musanga Smithii* R. BR.), comme un groupement semi-permanent. A cet état, le sol, comme la végétation, n'atteint pas son climax, et sa physionomie diffère de celle revêtue sous la forêt primitive.

Ce stade d'équilibre temporaire n'implique pas que le sol est moins « bon », car il n'est pas prouvé que l'état de climax du sol soit l'état agronomiquement le plus favorable.

Nous avons considéré plus haut la rapidité des variations comme le critère d'un sol éloigné de son état d'équilibre : or, parmi les phénomènes les plus rapides, les plus importants et les mieux observables, se situent les variations structurales : c'est à l'étude de ces variations et de leur rapport avec leurs causes directes qu'est consacré ce mémoire.

Nous examinerons en premier lieu les propriétés des surfaces actives et leur incidence sur la structure.

CHAPITRE I

Les phénomènes de surface.

A. Ordre de grandeur des surfaces possibles.

La terre peut être considérée comme une masse essentiellement poreuse et présentant, par voie de conséquence, de très grandes surfaces par unité de volume.

Ces surfaces peuvent limiter des particules élémentaires colloïdales ou non, ainsi que des agrégats de dimensions variables dont l'ensemble constitue le sol.

Lorsqu'on étudie les phénomènes physiques qui ont leur siège en surface, il est utile de distinguer les diverses classes de constituants.

Leur ordre de grandeur différent régit l'intensité des phénomènes observables.

Pour fixer les idées, considérons le tableau I qui indique la surface spécifique¹ de particules sphériques de diamètre variable.

TABLEAU I

Diamètre (sphère) mm	Surface spécifique cm ² /cm ³	Surface totale par m ³ ha	Remarques
1	60,-	0,6	sable grossier
0,1	600,-	6	sable très fin
0,01 (10 μ)	6.000,6	60	limon
0,001 (1 μ)	60.006,-	600	argile
0,0001 (0,1 μ)	600.060,-	6.000	argile colloïdale

Les phénomènes localisés à la surface des particules colloïdales sont responsables en grande partie des propriétés des agrégats et acquièrent ainsi une importance primordiale.

1. La surface spécifique est, par définition, la surface totale externe développée par toutes les particules présentes dans 1 cm³.

B. La notion de surface.

Une surface est une discontinuité de la matière : c'est un endroit de l'espace où l'on assiste à une brusque variation des propriétés physiques.

A l'intérieur d'une substance, les « champs de force » qui émanent des molécules constitutives se compensent mutuellement. A l'endroit de « coupure » constitué par la surface, cette compensation ne se produit plus (ou imparfaitement) et une série de phénomènes complexes se manifestent, tels, par exemple, les tensions superficielles, les phénomènes électrostatiques, les phénomènes de mouillabilité, etc.

C'est dans ce sens que l'on peut parler de « surfaces actives ».

Il est évident que les activités spécifiques des surfaces dépendent de leur nature : les surfaces d'un grain de limonite, d'un grain de quartz ou d'une particule colloïdale de kaolinite n'auront pas les mêmes propriétés, notamment au point de vue sorptif.

En conséquence, les grains cités peuvent acquérir des recouvrements différents; mais une fois qu'ils sont recouverts, les nouvelles surfaces formées détermineront des propriétés nouvelles qui n'ont pas nécessairement de relation avec les propriétés des surfaces primitives.

Par exemple, un grain de quartz recouvert d'une couche de limonite aura une surface active semblable à celle d'un grain de limonite.

On comprend aisément le rôle capital que les recouvrements peuvent jouer en pédologie et surtout en ce qui concerne la fraction colloïdale.

En se basant sur le concept de surface active et sur les notions de substrat et de matériaux sorbables qui en dérivent, nous avons établi une classification des éléments du sol d'après un degré croissant de complexité moléculaire (voir tableau II). Nous avons modifié le tableau présenté dans une publication antérieure [10].

C. Les phénomènes de surface.

La surface externe d'une particule colloïdale est donc le siège d'une énergie qui peut se manifester sous plusieurs formes en engendrant divers phénomènes.

Ces derniers présentent cependant une caractéristique commune : ils tendent par leurs effets à diminuer l'énergie qui est précisément à leur origine.

On sait que les colloïdes peuvent se présenter sous deux états : l'état peptisé à haute dispersion et l'état floculé à dispersion beaucoup plus basse.

L'état peptisé possède, par suite de l'extension plus considérable des surfaces, un contenu énergétique plus élevé que l'état floculé : l'état peptisé constitue donc un état plus instable que l'état floculé.

On connaît cependant en chimie colloïdale des cas de particules suspendues ne coagulant pratiquement pas : en pédologie, on peut

réaliser des suspensions d'argile qui n'offrent pas de sédimentation appréciable. Il est donc possible de stabiliser des colloïdes peptisés.

Quels sont ces facteurs stabilisants ?

Sans entrer dans trop de détails, nous nous efforcerons cependant de dégager des théories actuellement admises les points principaux qui concernent les colloïdes du sol.

Les colloïdes argileux à l'état pur appartiennent à la catégorie des suspensoïdes.

Le facteur stabilisant des suspensoïdes est, d'après KRUYT [14], leur charge (ou potentiel ζ), qui diminue, par des effets électrostatiques, les probabilités d'adhésion.

La charge est à l'origine des échanges d'ions.

Un colloïde argileux à l'état pur a une charge négative et est de ce fait susceptible d'échanger des « bases ».

Par suite de la présence d'une charge au voisinage de la surface, le colloïde argileux peut aussi manifester des attractions électrostatiques pour des molécules polaires ou pour des colloïdes de charge opposée.

C'est ainsi qu'une particule d'argile (négative) peut s'entourer de micelles d'hydroxyde ferrique (positives).

Nous pouvons considérer ce processus comme un recouvrement et l'on conçoit aisément que dans les sols tropicaux très ferrugineux, il puisse être fréquent.

Il peut en résulter que les colloïdes argileux aient, par leur recouvrement ferrique, des charges à tendance positive : quelques données expérimentales ne nous permettent pas d'écarter cette hypothèse. Nous signalons certains résultats de MATSON rapportés par JOFFE [13] : dans son étude des sols de Cuba (Nipe colloids), MATSON a pu mettre en évidence un caractère positif du complexe absorbant. Ce fait pourrait jeter un jour nouveau sur les difficultés rencontrées dans l'utilisation des engrais sous les tropiques.

Parmi les molécules polaires que les suspensoïdes peuvent orienter et attirer vers leurs surfaces, figurent en premier lieu les molécules d'eau : il peut se constituer un véritable « manteau d'eau » autour des micelles colloïdales. Le gradient de concentration d'eau sera d'autant plus élevé que la charge est plus forte.

Un colloïde floculé possède un film d'eau moins épais que le même colloïde peptisé, mais pour les suspensoïdes purs l'effet n'est jamais fort important.

Les suspensoïdes argileux peuvent exercer un effet similaire sur des molécules organiques : avec certains types de molécules complexes, ce phénomène comporte des conséquences importantes, car il transforme le colloïde *suspensoïde* en colloïde *émulsoïde*.

Ceux-ci ont deux facteurs de stabilité : la charge et l'hydratation.

Un colloïde émulsoïde peptisé possède un « manteau d'eau » fort

TABLEAU II

Classification des éléments d'un sol d'après un degré croissant de complexité moléculaire.

		SURFACES ACTIVES		
		MATÉRIAUX SORBABLES	SUBSTRATS	
Molécules	{ Gaz libres : O ₂ , CO ₂ , N ₂ ... Eau, composés organiques liquides, Solutions aqueuses }	{ gaz corps organiques sels minéraux }		
			Polymolécules	{ Organiques ou organo-minérales liquides Solution aqueuse des mêmes }
			Colloïdes en dispersion aqueuse	{ Peptisés Floculés }
			{ minéraux = argiles, etc. organiques = corps humiques... organo-minéraux = complexes argilo-humiques... réversiblement irréversiblement : concrétions..., « pseudo-sables » }	
Solides amorphes ou cristallins	{ Organiques : cellulose, chitine, etc... Organiques minéralisés : charbon... Minéraux }			
Corps organisés			Vivants ou morts, végétaux ou animaux.	

considérable : si on le lui enlève, on supprime son facteur principal de stabilité.

Il peut exister dans le sol des colloïdes naturellement peptisés. On pourrait supposer qu'ils sont constitués par des suspensoïdes primitivement floculés et rechargés par une variation de pH ou par l'action de certains ions.

Dans nos sols, ce processus paraît inadmissible : il suffit d'ailleurs pour s'en convaincre d'examiner la colonne « bases échangeables » d'un tableau d'analyse : les valeurs restent basses et ne subissent pas de fluctuations importantes.

Or, on constate que :

1^o En ajoutant une certaine quantité d'alcool au colloïde peptisé, nous provoquons sa floculation immédiate;

2^o Dans une certaine mesure, la stabilité de la suspension est indépendante de la charge :

a) des additions de quantités d'électrolyte relativement importantes par rapport à la capacité de sorption n'ont pas d'effet;

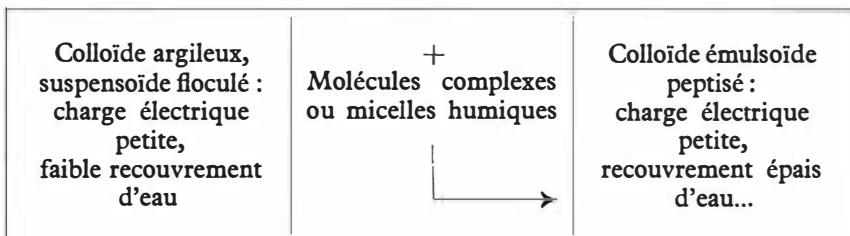
b) des variations de pH peuvent atteindre une ou deux unités.

Ces faits nous autorisent à affirmer que les colloïdes que nous trouvons à l'état naturellement peptisé dans nos sols sont des *émulsoïdes*.

Des faits de ce genre ont déjà été relevés, mais de nombreux auteurs semblent admettre implicitement, sinon explicitement, que les complexes argilo-humiques doivent la stabilité de leur suspension au fait que la partie organique se comporte comme un colloïde protecteur. Nous pensons que la simple intervention de molécules complexes comprenant des radicaux « mouillables » peut conduire aux mêmes effets.

Nous avons constaté, par exemple, que l'action de la glycérine ou du manitol, en solution aqueuse sur certains suspensoïdes floculés, peut augmenter dans des proportions très grandes le volume du floculat et provoquer une légère peptisation.

Nous schématiserons ces considérations de la façon suivante :



Nous examinerons, d'une manière plus détaillée, l'importance que peut avoir une variation de l'épaisseur du manteau d'eau sur les colloïdes naturels.

D. La surface « eau ».

E.W. RUSSELL fut parmi les premiers chercheurs à émettre l'hypothèse que c'est la liaison « eau » qui assure la cohésion des particules élémentaires du sol. Différents expérimentateurs, notamment S. HENIN [11], ont travaillé dans ce sens, et il semble qu'il y ait maintenant un faisceau suffisant de preuves pour considérer l'hypothèse de E.W. RUSSELL comme solidement établie.

Comme les films d'eau constituent les points d'appui des forces adhésives s'exerçant entre les colloïdes naturels du sol, on comprend que la cohésion variera suivant l'épaisseur du recouvrement « eau ». Elle sera d'autant plus forte que le film sera mince.

Donc les colloïdes naturellement peptisés (à caractère émulsionnaire) seront liés d'une façon beaucoup plus lâche que les colloïdes floculés (à caractère suspensoïde).

Du point de vue agrégation, les colloïdes joueront un rôle absolument différent suivant leur état de dispersion : nous pouvons les considérer comme deux facteurs distincts de structure du sol.

Il peut aussi arriver que sous certaines influences les micelles floculées perdent complètement leur film d'eau. Dans un travail antérieur [9] nous avons déjà mentionné que les particules argileuses se mouillent d'autant moins bien qu'elles sont recouvertes d'hydroxyde ferrique.

On peut imaginer que ce phénomène soit poussé à l'extrême.

Dans cet état, les colloïdes peuvent néanmoins se réunir et former des agrégats d'une stabilité très élevée.

Ce phénomène peut résulter, au dire de DE LEENHEER et WAEGEMANS [8], d'une cristallisation de l'orthohydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sous forme de métahydroxyde (limonite); c'est le processus de formation des pseudo-sables.

Nous ne pensons pas que l'on puisse considérer encore les particules argileuses agrégées de cette façon irréversible comme colloïdes du sol. Cependant, une part de celles-ci peut être dosée par les méthodes habituelles de dispersion. Aussi avons-nous cherché et mis au point, en vue du dosage, une méthode de séparation dont l'effet se limite à scinder les liaisons « eau ». Nous l'exposerons ultérieurement.

CHAPITRE II

Végétation, facteur de peptisation.

Nous avons souligné que la fraction colloïdale des sols peut se présenter sous deux états de dispersion : l'état peptisé et l'état floculé. Une simple agitation avec de l'eau distillée peut déjà déceler la forme prépondérante; nous sommes donc en mesure d'établir la localisation des deux états dans les sols à étudier.

A. Premières constatations :

Examinons un profil pédologique quelconque des environs de Yangambi :

De la surface vers la profondeur, nous rencontrons toujours les trois couches suivantes :

1^o Une couche constituée d'un mélange en proportion variable de colloïdes peptisés et floculés. Un nouveau mode opératoire, décrit au chapitre IV, nous permet de doser les deux formes de colloïdes; dans cette couche supérieure, nous trouvons généralement plus de 50 % de colloïdes peptisés par rapport aux colloïdes totaux. L'épaisseur de cette couche est très variable.

2^o Une couche de transition, où la proportion des colloïdes peptisés diminue très rapidement. Cette couche est également d'épaisseur variable mais souvent plus mince que la précédente.

3^o Une couche qui renferme tous les colloïdes à l'état floculé. Cette couche ne fut pas délimitée en profondeur : néanmoins, nous avons prélevé quelques échantillons à des endroits que nous pouvons considérer comme la base du sédiment « roche mère » des sols de Yangambi. Ils proviennent des falaises qui longent le fleuve, de coupes de terrain et de quelques têtes de source ¹. Dans ces couches profondes, toute la fraction colloïdale se trouve également à l'état floculé.

1. Les terres expérimentales de l'Inéac à Yangambi sont situées sur un plateau qui domine la rive droite du fleuve Congo. Il est bordé par des falaises atteignant une hauteur moyenne de 50 mètres. Ces falaises montrent une succession de sédiments argilo-sablonneux très peu consolidés à stratification concordante presque horizontale. En plusieurs endroits, des ruisseaux et de petites rivières ont raviné le plateau. Les têtes de source que nous avons prospectées présentent toutes la particularité suivante : l'eau apparaît à un endroit où une bande de grenailles limonitiques, souvent cimentées en blocs, sépare deux sédiments différents. On remarque, vers le haut, une couche argileuse d'une couleur et d'une composition se rapprochant de celle des sols de Yangambi et, vers le bas, une couche de couleur plus claire et à composition plus sableuse.

La grenaille limonitique se retrouve sur la paroi des falaises et de quelques coupes de terre. C'est toujours au-dessus de cette bande limonitique que furent prélevés les échantillons en question.

Différentes observations nous ont permis de conclure que la cause prépondérante de ces variations de l'état de dispersion gît dans l'action de la végétation sur le sol.

Voici quelques-unes des constatations qui, répétées maintes fois, nous ont amenés à cette conclusion.

1^o Examinons la paroi d'une ancienne tranchée sur laquelle la végétation commence à s'installer. Le prélèvement d'échantillons à des profondeurs croissantes nous conduit à une couche où nos méthodes ne décèlent plus de colloïdes peptisés. Si dans cette zone nous avons la chance de découvrir une plantule, la terre retenue entre ses radicelles (ou située dans leur voisinage immédiat) possède un pourcentage considérable de colloïdes peptisés.

2^o Une constatation similaire peut apparaître au voisinage immédiat de radicelles se développant dans un horizon entièrement floculé. Les grosses racines semblent beaucoup moins actives.

3^o La matière organique en décomposition (telle la litière) jouit de propriétés peptisantes. Nous avons réalisé l'expérience suivante : dans quelques centaines de grammes de litière de forêt, nous faisons percoller de l'eau distillée; 1 ml du percollat est ajouté à de la terre sèche parfaitement floculée; après quelques minutes et après agitation, on constate qu'une partie appréciable des colloïdes rentre en suspension dans l'eau distillée.

Nous avons pu mettre le même fait en évidence avec de l'argile presque pure provenant des falaises de Yangambi (voir note 1, page 15).

4^o Là où la végétation réussit à s'accrocher aux parois abruptes des falaises, nous constatons toujours une érosion beaucoup plus marquée à proximité et surtout en dessous de ces colonies végétales. Ce fait s'explique très bien par la présence de radicelles et de débris végétaux : la plus grande mobilité de l'argile peptisée par la végétation, rend ces endroits plus sensibles à l'érosion par les eaux de ruissellement.

Nous pouvons donc admettre que, sur un terrain couvert de végétation, chaque zone de radicelles ou chaque amas de litière constitue un centre de mise en peptisation. Ces centres agissent dans toutes les directions, mais l'intensité de l'action décroît très rapidement avec la distance. Vu leurs localisations naturelles, les actions se superposent dans les directions horizontales. Dans la direction verticale, la décroissance de l'activité est perceptible vers le bas : elle s'annule à une profondeur donnée.

La limite inférieure de la couche peptisée constitue donc un véritable front de peptisation dirigé vers le bas.

B. Hypothèse sur le mécanisme.

Différentes raisons exposées plus haut nous amènent à admettre que les colloïdes du sol non soumis à l'action de la végétation sont à l'état

floculé, tandis qu'aux environs des racelles, il se produit une mise en peptisation partielle.

Il nous reste donc à envisager par quels mécanismes les colloïdes floculés du sol peuvent virer à l'état peptisé, et lesquels parmi ceux-ci sont compatibles avec l'action présumée de la végétation.

Il résulte des données reprises dans le chapitre précédent que pour les suspensoïdes une augmentation du potentiel ζ , leur unique facteur de stabilité, suffirait. Ceci pourrait se faire, par des échanges de bases, par une diminution de l'acidité. La réalité est toute différente. Nous ne constatons pas de grandes différences de pH entre les couches peptisées et floculées; d'autre part, des pH de 3,5 à 4,5 accusent une activité de l'ion H^+ largement suffisante pour décharger un suspensoïde négatif. On admet même que l'acidité aux environs immédiats des poils radiculaires est plus grande que dans le sol environnant. Ce fait a été relevé par F. SEKERA (cité par KUBIENA [15]) : il impute l'acidité accrue au dégagement de CO_2 par les poils radiculaires.

Expérimentalement, nous n'avons pas réussi à peptiser par le CO_2 des colloïdes naturellement floculés. Répétons toutefois que c'est au voisinage immédiat des poils radiculaires que la peptisation est la plus intense.

D'autre part, nous reconnaissons nettement des propriétés émuloïdes aux colloïdes peptisés (indifférence relative vis-à-vis des électrolytes, sensibilité envers des agents déshydratants, etc.).

Pour qu'un colloïde floculé de nature suspensoïde devienne un colloïde à propriétés émuloïdes, il est nécessaire que son recouvrement soit modifié. Le facteur stabilisant principal d'un émuloïde étant l'hydratation, le nouveau recouvrement devra posséder une grande mouillabilité.

Il est certain qu'il existe dans le sol des colloïdes organiques à caractère émuloïde et fortement hydratés, et que ceux-ci peuvent se fixer aux surfaces des particules suspensoïdes. JUNG (cité par DE LEENHEER et WAEGEMANS [8]) a prouvé expérimentalement en 1943 que les minéraux argileux peuvent fixer des micelles humiques jusqu'à une valeur limite. Cette valeur atteinte, la particule minérale est entourée d'une seule couche de particules humiques, d'un manteau de sorption, dit monomoléculaire. La liaison est apolaire. Il existe donc dans le sol des colloïdes protecteurs.

In vitro cette action peptisante des colloïdes émuloïdes peut être expérimentée avec des « solutions » d'agar-agar, de dextrine, de gomme adragante, etc.

Toutefois d'autres corps peuvent intervenir. Étudiant la « valeur de floculation de suspensions argileuses », TIULIN [19] constate que l'addition de corps tensioactifs (tels que acide butyrique, acide valériannique, alcool isoamylique) la fait varier. Nous avons constaté que

l'addition de petites quantités de glycérine ou de manitol à une dispersion de colloïdes floculés rendait le floculat plus volumineux. KRUYT [14] relate que pour un suspensoïde négatif la valeur de floculation est d'autant plus grande que l'anion est mieux sorbable : or, les anions les mieux sorbables sont des anions organiques.

Il existe dans la litière plusieurs corps tensioactifs et plusieurs acides organiques.

Aux environs immédiats des radicelles, les poils radiculaires éphémères fournissent la matière première organique. Rappelons ici le concept de rhizosphère, de HILTNER, qui implique une plus grande activité microbiologique aux environs immédiats des poils radiculaires, ainsi que des sécrétions par les radicelles.

La peptisation naturelle constitue donc un phénomène de recouvrement. Les corps qui forment ces recouvrements sont ou bien les colloïdes émulsoides ou bien des corps plus simples : corps tensioactifs, anions organiques, sorbables aux surfaces colloïdales et mouillables.

Citons cependant encore les deux expériences suivantes :

1. L'extrait de litière, mentionné plus haut, fut concentré sous vide à une température n'excédant pas les 50 °C. Le concentré avait un aspect brun opalescent et avait conservé toutes ses propriétés peptisantes. Celles-ci disparaissaient après ébullition (à 100 °C) et après oxydation à l'eau oxygénée.

Une analyse sommaire indiquait la présence prépondérante de fer.

2. Le réactif de Comber ¹ donne immédiatement la coloration rouge du complexe ferrique là où les colloïdes du sol sont à l'état peptisé.

Exécutée d'une façon systématique sur des profils, la réaction montre des intensités de coloration s'estompant graduellement en profondeur : elle est la plus intense immédiatement en dessous de la litière.

Remarquons ici que ce réactif fut employé jadis pour évaluer l'acidité des terres des régions tempérées; la coloration rouge y devient visible à partir d'un pH inférieur à 6.

L'intervention d'un complexe organo-ferrique ou organo-ferreux facilement dissociable dans le phénomène de la mise en peptisation n'est donc pas à exclure. D'ailleurs, la présence de « fer libre » dans des sols bien agrégés fut déjà signalée (LUTZ [15]).

C. Étude systématique du phénomène de peptisation sur le champ.

Nous avons constaté que le degré de peptisation ² peut être plus grand dans un échantillon fraîchement prélevé que dans le même échantillon séché à l'air. Le caractère labile du phénomène nous obligea donc de l'étudier sur place.

1. KCNS 40 % dans l'alcool méthylique.

2. Degré de peptisation : rapport des pourcentages en colloïdes peptisés sur totaux.

VÉGÉTATION, FACTEUR DE PEPTISATION

Les tranchées rectilignes préconisées par M. LIVENS, Chef de la Division d'Agrologie, s'avèrent les plus pratiques et les plus rationnelles pour une étude de ce genre. Elles nous ont permis en outre de choisir, sur des parois examinées, les profils les plus représentatifs et de soumettre ceux-ci à une étude plus approfondie au laboratoire.

Voici la façon dont nous procédons.

Sur une paroi de la tranchée, nous traçons à chaque mètre une verticale. Le long de cette verticale, nous prélevons des prises de terre à des profondeurs mesurées. Au moyen du test rapide, qui sera décrit plus loin, nous évaluons les états de dispersion. Nous recherchons surtout les transitions. Les résultats du test sont consignés sur un croquis à échelle, le « croquis de tranchée », et nous relions les points de valeur égale. Ces lignes de jonction montrent les trois zones mentionnées dans le paragraphe B.

1° Le « TEST » :

Il s'effectue dans de gros tubes à essai (16 cm haut. et 3 cm diam.) qui contiennent au préalable un ml du réactif (alcool méthylique-tétrachlorure de carbone). Une prise de terre (2-5 g) est ajoutée, mélangée avec le réactif pendant une minute; on introduit 50 ml d'eau distillée et on agite fortement. Après une minute de repos, on observe la dispersion.

Suivant leur aspect, nous groupons les suspensions en quatre catégories :

a) *Peptisation* (+). La suspension est bien opaque et homogène. On ne remarque pas de flocons.

b) *Début de floculation* (Δ). La suspension est toujours bien opaque, mais contient des flocons d'argile.

Ceux-ci remontent souvent vers la surface le long de la paroi du tube, entraînés par des courants de convection ascensionnels. C'est la catégorie la mieux observable. Elle limite la couche peptisée.

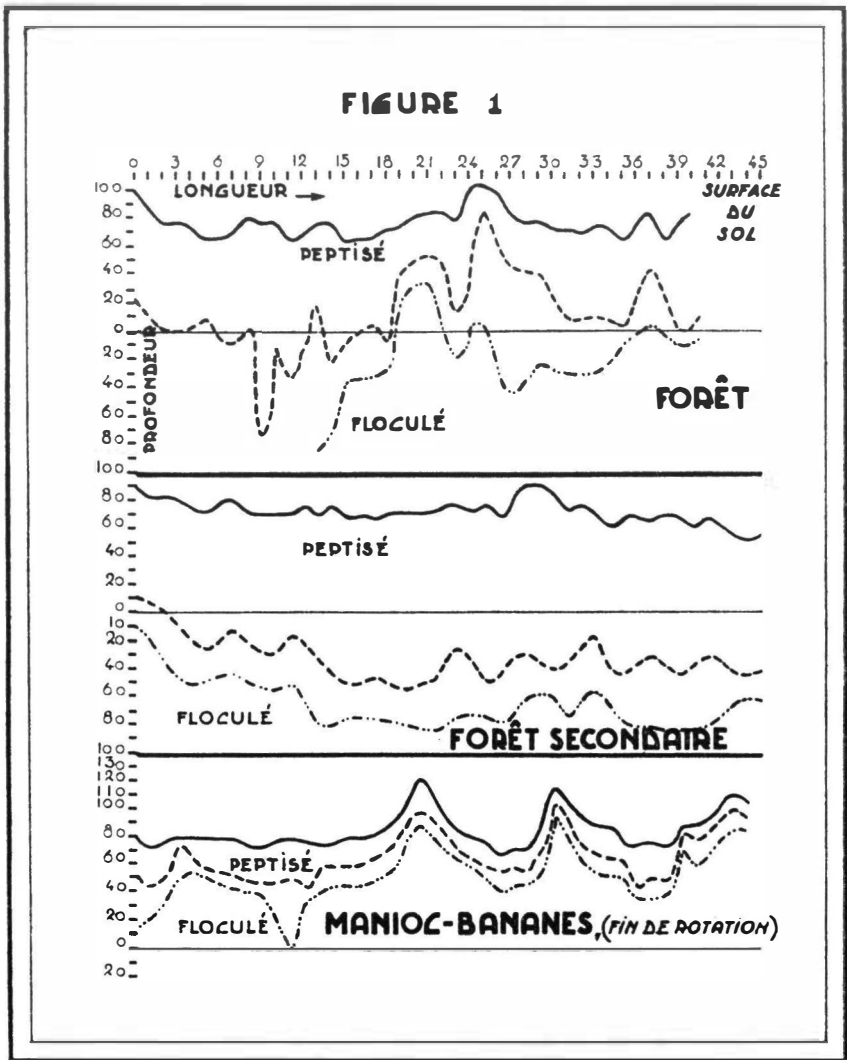
c) *Floculation nette* (\square). La suspension a un aspect floconneux. Après dépôt des flocons, le liquide surnageant reste trouble et la cassure du précipité est peu nette. Cette catégorie correspond à la couche de transition.

d) *Floculation totale* (X). Après dépôt du floculat, le liquide surnageant est clair et la cassure du précipité est nette. La recoagulation rapide des particules dispersées détermine un changement de couleur dans la suspension. Cette catégorie correspond à la zone entièrement floculée.

2° CONSIGNATION DES RÉSULTATS. LE CROQUIS DE TRANCHÉE.

Le croquis de tranchée tend à donner une représentation exacte des observations recueillies. Afin de mieux faire ressortir les fluctuations, l'échelle de la coordonnée verticale est décuplée par rapport à celle de l'horizontale (par exemple, 1/10, 1/100).

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL



Croquis de tranchées figurant les bandes peptisées, floculées et de transition.

VÉGÉTATION, FACTEUR DE PEPTISATION

L'abscisse est la ligne horizontale O, tracée sur la paroi de la tranchée, suivant laquelle elle a été nivelée : le croquis représente donc également le microrelief.

Après délimitation nette de la paroi, nous localisons les tests au moyen des signes conventionnels, et nous circonscrivons la zone peptisée et la zone de floculation totale.

Sur le croquis de tranchée sont également consignés tous les renseignements que l'on peut recueillir par observation directe : aspect et composition du couvert végétal, profondeur de l'enracinement, accumulations de litière, souches mortes et autres débris végétaux, termitières et autres concentrations d'éléments du sol par intervention animale.

La figure 1 représente quelques croquis de tranchée.

3° DÉDUCTIONS :

Chaque croquis représente deux bandes bien délimitées de part et d'autre : la bande peptisée et la bande de transition, la troisième bande n'est délimitée en profondeur que par le fond de la tranchée.

Dans un terrain bien homogène, ces deux bandes doivent rester plus ou moins parallèles au relief et doivent donc conserver la même épaisseur sur toute leur longueur. En vue de la comparaison des croquis, c'est donc sur des variations d'épaisseur que doit porter notre attention. Les généralités suivantes sont à retenir :

a) Influence du microrelief.

Une dépression correspond toujours à une augmentation en épaisseur des couches peptisées et de transition.

Inversement, un monticule amoindrit l'épaisseur des deux couches.

Ces corrélations peuvent s'expliquer par l'influence de l'eau et la plus grande mobilité des particules peptisées.

b) Influence des troncs d'arbres abattus (ceux-ci se distinguent des autres débris végétaux).

Leur influence se limite fréquemment à empêcher la végétation de s'installer aux endroits qu'ils couvrent, surtout lorsqu'ils sont extérieurement carbonisés. Leur effet consiste à faire remonter la zone floculée.

c) Influence des souches mortes.

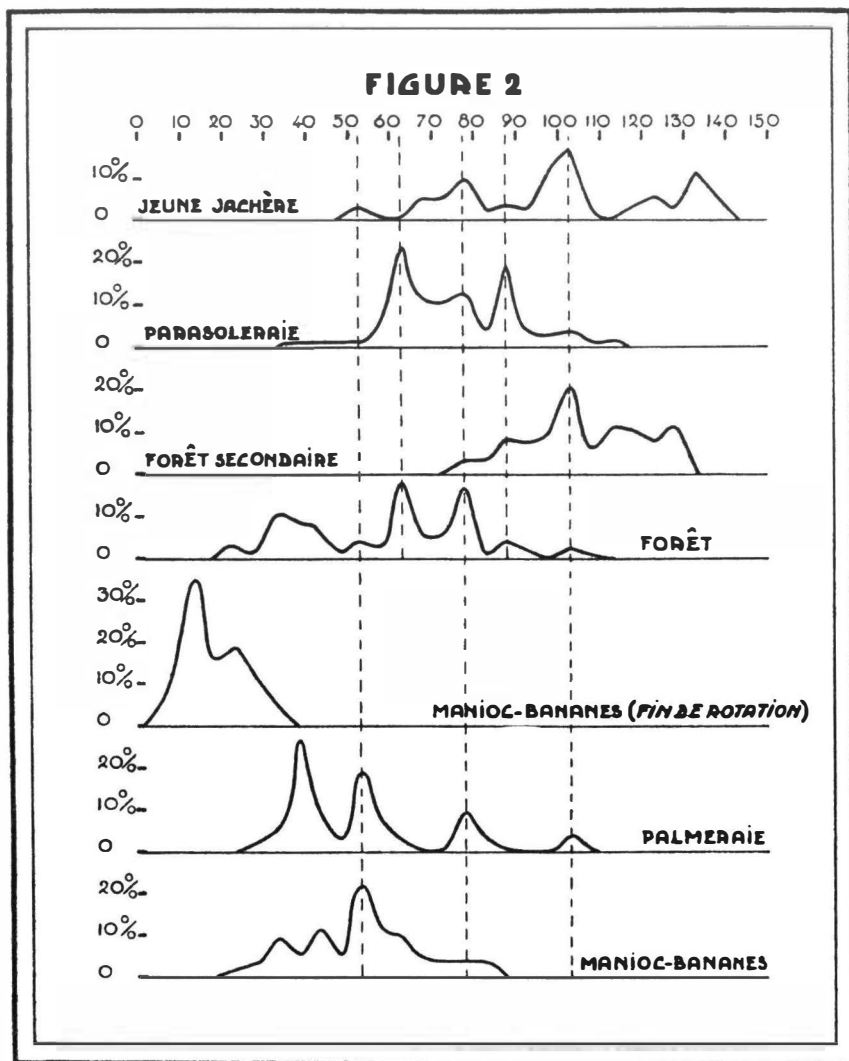
Elles abaissent la couche floculée et la bande de transition devient plus importante.

d) Influence des termitières.

Ce n'est pas seulement par leur relief qu'elles influencent le profil. Nous constatons généralement une peptisation aux alentours de couloirs souterrains et des chambres de culture.

Les influences précédentes doivent être considérées plutôt comme accidentelles. L'étude statistique des épaisseurs permet d'ailleurs de les éliminer.

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL



Graphiques représentant les épaisseurs de la couche peptisée en abscisses et le fréquence en ordonnées.

VÉGÉTATION, FACTEUR DE PEPTISATION

Dans cette étude statistique, nous nous sommes cantonnés davantage à la couche supérieure peptisée, parce qu'elle concerne plus directement la végétation et qu'elle se délimite avec le plus de précision.

Sur les graphiques, nous mesurons l'épaisseur de la couche peptisée tous les 0,50 m. Nous classons ensuite les épaisseurs par échelon de 5 cm. Ce procédé compense plus ou moins l'erreur de mesure.

Une courbe, portant les épaisseurs de la couche peptisée en abscisse et la fréquence en ordonnée, facilite grandement la comparaison des différents croquis de tranchée.

La figure 2 indique une série de ces courbes. Plus une courbe est étalée, plus la profondeur de la couche sera variable et irrégulière.

Une profondeur dominante se traduit par un maximum; plus une couche est régulière, plus sa courbe sera ramassée et déterminera des maxima bien marqués.

Nous avons souvent constaté que des maxima dans des tranchées différentes correspondaient aux mêmes profondeurs. Il semble donc qu'il existe des profondeurs de peptisation type; étant donnée la relation intime entre l'épaisseur de la couche peptisée et l'enracinement, la courbe de fréquence acquiert en quelque sorte des propriétés de « spectre d'enracinement maximum ».

Nous basant sur les données déjà recueillies, nous pouvons admettre :

La grande irrégularité :

Sous forêt,
Sous jeune jachère.

La grande régularité :

Sous parasoleraie,
Sous jeune forêt secondaire,
Sous cultures vivrières (Manioc, Bananes, Arachides).

Quant à l'épaisseur de la couche supérieure, les plus grandes profondeurs furent constatées :

Sous jeune jachère,
Sous jeune forêt secondaire (cette couche était aussi des plus régulières).

Les couches les moins épaisses furent trouvées dans des champs de plantes vivrières en fin de rotation.

Nous espérons qu'un nombre plus élevé de données nous permettra de formuler des conclusions générales sur :

1° L'influence spécifique des plantes individuelles ou des associations;

2° L'influence des méthodes culturales.

CHAPITRE III

La surface spécifique : Mesure de la structure.

A. La structure d'un sol.

L.D. BAVER [2] définit la structure d'un sol comme « le modèle selon lequel les particules constitutives sont arrangées ».

W.L. KUBIENA [15] préfère au terme « structure » l'expression « soil fabric » difficilement traduisible en français et qu'il considère comme « l'arrangement des constituants du sol en relation les uns avec les autres ». L'auteur cité analyse minutieusement les différents sens attribués aux termes « structure » et « texture »; il en ressort qu'il est difficile d'inclure dans un même mot des notions parfois très éloignées : il faut distinguer notamment la forme, le volume des particules élémentaires et leur arrangement dans l'espace.

A cet égard, l'étude de la structure des sols tropicaux comporte une certaine simplification; dans la bibliographie anglo-saxonne, ces sols sont souvent qualifiés de « structureless » en ce sens que leurs agrégats élémentaires — les « fabric units » de KUBIENA — n'ont pas de forme régulière : c'est donc de la composition, des dimensions et de l'arrangement des unités structurales qu'il faudra s'occuper.

Tout d'abord, l'existence des « unités structurales » est-elle admise d'une façon générale? Nous pouvons répondre affirmativement.

Lorsqu'on tamise un sol avec un tamis assez fin (à mailles généralement inférieures à 0,5 mm), on isole une fraction qui joue un rôle vecteur dans l'ensemble des propriétés physiques du sol : c'est elle qui limite sa perméabilité et sa porosité, qui règle sa capillarité et qui est responsable de la quasi-totalité de la surface spécifique.

De plus, et c'est là un point important, ces fractions fines sont stables. Lorsqu'on effectue sur une terre séchée à l'air ambiant des tamisages répétés au cours du temps, on constate que les pourcentages en éléments fins peuvent varier d'une façon sensible : une dessiccation plus avancée provoque un émiettement des agrégats d'ordre supérieur, mais les particules fines qui en résultent ont des propriétés constantes au cours du temps.

Cette reproductibilité ne se vérifie qu'à partir d'une finesse donnée du tamis utilisé.

C'est, nous semble-t-il, la remarque expérimentale qui nous permet d'affirmer l'existence d'unités de structure. De plus, vu le rôle vecteur qu'elles jouent dans la physique du sol, nous pouvons ajouter que toutes

les déterminations faites sur elles fourniront des valeurs spécifiques et représentatives des propriétés structurales du sol.

Nous ne suggérons nullement par là que les agrégats d'ordre supérieur ne soient pas intéressants, mais nous soulignons :

1° que leur instabilité rend leur étude difficile;

2° que leurs propriétés sont vraisemblablement une fonction des propriétés des agrégats élémentaires.

Les chercheurs s'accordent généralement avec nous sur ces différents points. Mentionnons, à titre d'exemple, une étude de BAEYENS et DE CANNIÈRE [3], la méthode de BOYOUCOS [5] pour déterminer la structure du sol et un travail de YARILOV [20].

Pour étudier la structure, il est donc logique et préférable d'examiner en premier lieu les propriétés des unités structurales.

Pour isoler ces unités structurales, nous effectuons deux tamisages sur l'échantillon séché à l'air ambiant : un premier au tamis de 2 mm et un second au tamis de 0,297 mm. Nous considérons la fraction non retenue par ce dernier tamis comme contenant les petits agrégats élémentaires et c'est sur celle-ci que nous faisons nos déterminations.

B. La surface spécifique.

Nous avons choisi, comme expression de la structure, la surface spécifique. Elle nous permet de mesurer les dimensions des particules élémentaires, elle détermine les propriétés de perméabilité et de porosité et, de plus, — et ce n'est pas son moindre avantage, — elle fournit des chiffres précis et significatifs (reproductibilité des résultats : 1 % à 2 %). Cette précision est réalisable par l'utilisation de l'air comme fluide, qui évite les nombreux inconvénients présentés par l'emploi de l'eau : le colmatage des pores, le gonflement, etc.

Différents chercheurs ont déjà fait mention de la surface spécifique du sol comme grandeur intervenant dans les coefficients de perméabilité, mais très peu semblent l'avoir utilisée comme fonction représentative de la structure. La seule référence que nous avons pu trouver à ce sujet concerne un travail de KING (*Physics of Agriculture*) paru en 1899 et consécutif aux études théoriques de SCHLICHTER [18].

Lorsqu'on effectue les mesures de surface spécifique sur la fraction refusée au tamis de 0,297 mm, on constate que les valeurs obtenues sont négligeables vis-à-vis de celles obtenues pour la fraction plus fine que 0,297 mm.

Ce fait comporte une conséquence intéressante : en effet, la surface spécifique constitue une grandeur additive dans des limites assez larges. Il suffira donc de connaître le pourcentage d'éléments plus fins que 0,297 mm et leurs surfaces spécifiques pour établir la surface spécifique de la terre entière. D'autre part, nous avons vérifié la propriété d'additivité de la façon suivante : nous avons séparé les échantillons

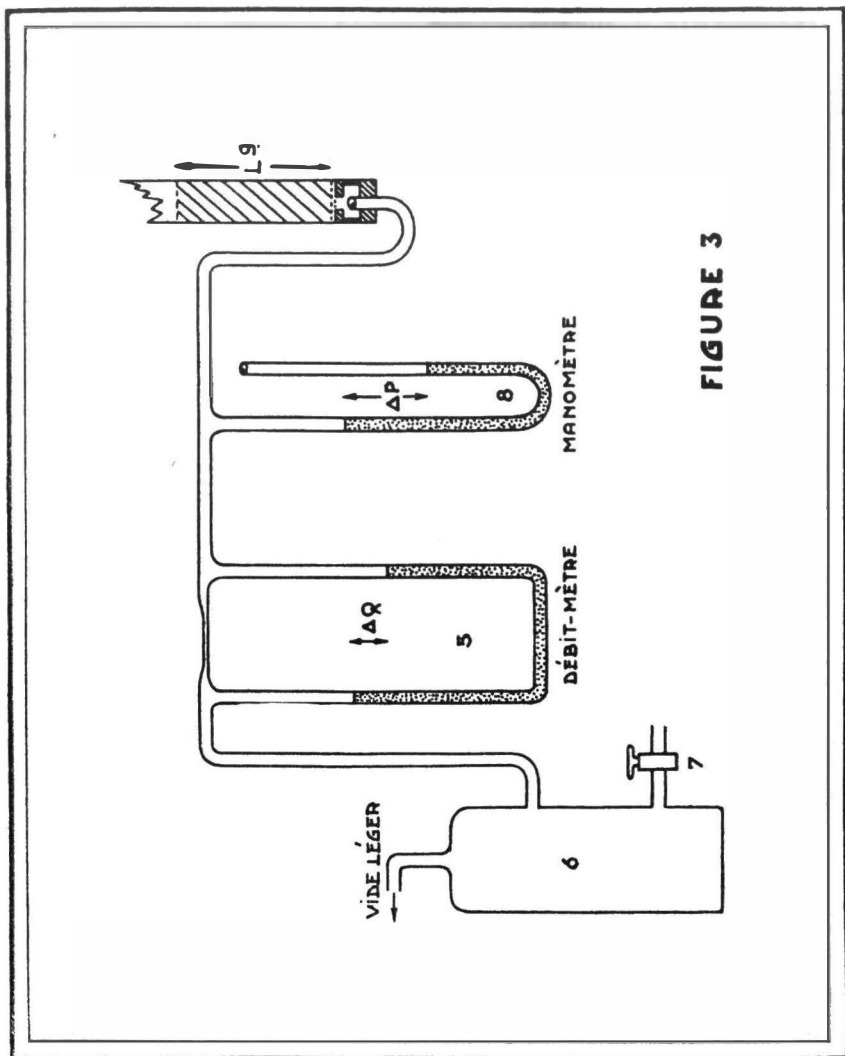


FIGURE 3

Technique de la mesure.

MESURE DE LA STRUCTURE

plus fins que 0,297 mm en deux fractions : l'une, comprise entre 0,125 mm et 0,297 mm, l'autre, plus fine que 0,125 mm. Connaissant la surface spécifique de l'ensemble et celle de chacune des deux fractions, nous devons obtenir, par simple résolution d'un système d'équations à deux inconnues, les pourcentages relatifs des deux fractions.

Nous pouvons vérifier ces chiffres par pesée. La concordance observée a été reconnue bonne.

Voici quelques résultats pour des échantillons différents.

TABLEAU III

POURCENTAGE		POURCENTAGE	
calculé	observé	calculé	observé
85,7	83,0	78,9	75,0
85,5	84,2	76,6	76,5
83,6	83,0	79,3	77,5

C. Technique de la mesure.

Nous avons utilisé pour la mise au point de notre méthode de travail l'excellente étude de R.R. SULLIVAN et K.L. HERTEL parue dans *Advances in colloid Science* [1].

On introduit la fraction passant au tamis de 0,297 mm dans le tube *g* et l'on tasse légèrement en tapotant le tube. On lit la longueur *L* occupée par la terre. On soumet le récipient (6) à un vide léger que l'on règle à l'aide du robinet (7). Un certain débit ΔQ passe à travers le cylindre de terre.

La différence de pression ΔP se lit sur le manomètre (8).

Le débit se mesure à l'aide du débitmètre (5) : la dénivellation du liquide est proportionnelle au débit passant par le capillaire.

Le liquide utilisé pour (5) et (8) est de l'huile très fine pour pompe à vide.

L'emploi de l'eau n'est pas souhaitable, car ce liquide donne lieu à des condensations dans le capillaire, ce qui trouble les mesures.

Nous pouvons dresser expérimentalement la variation de ΔQ en fonction de ΔP pour une longueur donnée *L* du cylindre de terre.

Enfin, on pèse la terre contenue dans le tube *g* : on connaît ainsi la porosité de l'échantillon.

Équation utilisée.

L'équation reliant le débit d'un flot gazeux traversant une poudre fine (dont les particules sont de forme quelconque) à la différence de

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL

pression qui est nécessaire pour créer l'avancement du fluide est la suivante :

$$\Delta Q = \frac{A}{\mu S_0^2} \frac{1}{k} \frac{1}{L} \Delta P f(\varepsilon) \quad (1)$$

$$\text{où } f(\varepsilon) = \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \quad (2)$$

Les symboles utilisés ont le sens suivant :

ΔQ = débit.

A = section carrée du tube contenant la terre.

L = longueur de la colonne de terre.

ΔP = différence de pression.

μ = viscosité du gaz employé (ici l'air).

S_0 = surface spécifique.

ε = porosité.

k = constante.

Les unités sont les unités c, g, s .

Les constantes sont A, μ et k . Cette dernière dépend de la nature générale des échantillons proposés; pour la terre, nous pensons que $k = 5$ est une valeur convenable. Différents auteurs l'ont en effet déterminé pour diverses espèces de sable (depuis le sable grossier jusqu'au sable très fin).

Dans notre cas : $A = 1,894 \text{ cm}^2$ et $\mu = 185,6 \times 10^{-6}$ poises à $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Expérimentalement, on constate que la linéarité de ΔQ en fonction de ΔP , exprimée par la relation (1), est bien vérifiée (écart $< 0,5 \%$).

Le coefficient angulaire, que nous appelons T , s'exprimera :

$$T = \frac{d\Delta Q}{d\Delta P} = \frac{A}{\mu S_0^2} \frac{1}{k} \frac{1}{L} f(\varepsilon) \quad (3)$$

$$\text{D'où : } S_0^2 = \frac{1}{k} \frac{A}{\mu} \frac{1}{L} f(\varepsilon) \frac{1}{T} \quad (4)$$

Nous pouvons mettre l'expression (4) sous forme logarithmique :

$$\log S_0 = \frac{1}{2} \log \frac{A}{\mu k} - \frac{1}{2} [\log L + \log T - \log f(\varepsilon)] \quad (5)$$

La porosité ε s'obtient expérimentalement d'une façon très simple :

a) $A \times L$ est le volume total occupé par un poids P de terre de densité réelle = 2,65 (remarquons que le fait de choisir cette valeur peut nous donner une certaine erreur systématique dans les horizons tout à fait superficiels où la teneur en matière organique est relativement élevée).

b) $\frac{P}{2,65}$ est le volume *réel* de la terre,

$$\varepsilon = \frac{AL - P/2,65}{AL} \times 100,$$

$$\varepsilon = 100 - \frac{100}{A \times 2,65} \times \frac{P}{L}$$

Appelons $\rho = \frac{P}{L}$

La fonction $f(\varepsilon)$ est donc en dernier ressort une fonction de ρ .

Or, dans un domaine donné (pour $1,7 < \rho < 2,65$), on constate que $\log f(\varepsilon)$ est une fonction linéaire de ρ .

$$\begin{aligned} \log f(\varepsilon) &= 3,8628 - 2 - 0,8625\rho^1 & (6) \\ &= 1,8628 - 0,8625\rho. \end{aligned}$$

L'écart entre les valeurs calculées par (6) et celles calculées par (2) est insignifiant.

Si nous introduisons cette expression dans (5) nous obtenons finalement :

$$\log. S_0 = 4,95894 - \frac{1}{2} [0,8625\rho + \log T + \log L]$$

Cette expression représente notre formule de travail.

D. Quelques résultats.

L'analyse complète des résultats déjà obtenus sera établie plus loin. Voici, toutefois, quelques indications.

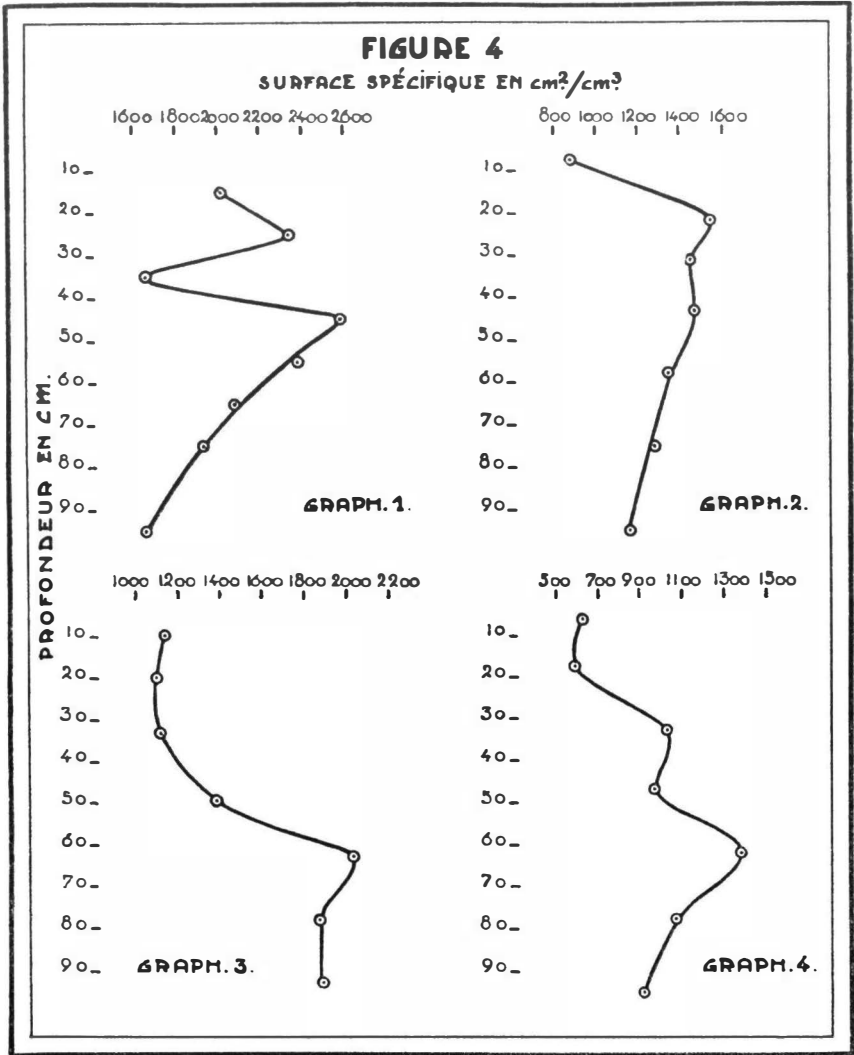
Les valeurs moyennes de S_0 sont de l'ordre de $1600 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$: les extrêmes que nous avons enregistrés sont 500 et 3000.

Quand on étudie la variation de S_0 suivant le profil on constate de nombreuses fluctuations. Les graphiques 1, 2, 3 et 4 de la figure 4 montrent quelques exemples pour des profils pris respectivement :

1° dans un ancien champ de plantes vivrières recouvert depuis deux ans de *Paspalum notatum* ;

1. Le « - 2 » provient du fait que la porosité ne doit pas être exprimée en pour-cents dans la formule (2).

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL



Variation de S_o dans 4 profils différents : en jachère à *Paspalum* (graph. 1), jachère de deux ans (graph. 2), forêt secondaire (graph. 3) et parasoleraie (graph. 4).

MESURE DE LA STRUCTURE

2° dans une jachère de deux ans (suivant une rotation de plantes vivrières);

3° en forêt secondaire;

4° dans une parasoleraie de 14 ans environ.

On voit qu'une allure générale se dessine malgré tout dans ces quatre exemples : la surface spécifique, petite dans l'horizon supérieur, passe rapidement par un maximum situé à des profondeurs variables, diminue lentement et oscille finalement autour d'une valeur moyenne.

La position du maximum se déplace suivant la nature des traitements que le terrain a subis.

CHAPITRE IV

Deux facteurs de structure : Colloïdes totaux et colloïdes peptisés.

A. Structure et colloïdes en dispersion naturelle.

Depuis longtemps déjà, on admet qu'une bonne structure du sol est liée à la présence de colloïdes floculés. On constate en effet l'influence néfaste de la sorption d'ions fortement hydratés (sodium) et l'action bienfaisante du chaulage qu'on attribue à l'action floculante de l'ion calcium.

Il est toutefois difficile d'expliquer la formation d'éléments structuraux, d'agrégats stables, uniquement par la floculation des colloïdes. Par quel phénomène les particules floculées adhèrent-elles les unes aux autres au lieu de simplement se tasser ?

L'explication en fut donnée par l'hypothèse de RUSSELL, qui, à quelques détails près, est adoptée par la plupart des chercheurs qui s'occupent de la structure du sol. Nous avons déjà eu l'occasion d'en parler au Chapitre II.

KUBIENA [15] étudie la structure directement au microscope. Il ressort de ses observations que tous les colloïdes ne contribuent pas de la même façon à l'agrégation.

Pour distinguer ses différents types d' « elementary fabric » il se base en premier lieu sur l'état de dispersion du ciment colloïdal (« ground mass »).

Qu'elles soient peptisées, floculées ou mixtes, toutes ces masses colloïdales se comportent différemment vis-à-vis des grains de sable, et leur composition varie suivant les différents types de sol. Les unes adhèrent fermement aux grains minéraux, d'autres entourent sans adhérer, d'autres encore se contentent de quelques points d'attache.

Les faits que nous venons de rassembler montrent que pour mettre en évidence des corrélations entre la structure d'un sol et la nature de son complexe colloïdal, il est nécessaire de doser séparément les colloïdes peptisés et floculés.

De plus, il existe des colloïdes qui, dans les circonstances naturelles, sont floculés irréversiblement.

Dans le tableau II (Classification des éléments d'un sol d'après un degré croissant de complexité moléculaire) nous avons distingué nettement les colloïdes floculés réversiblement des colloïdes floculés irréversiblement.

Il est évident que les floculats irréversibles ne participeront plus à la structure du sol de la même façon active que les floculats réversibles. Ils sont agglomérés en concrétions et se comporteront de la même façon passive que les grains de sable.

Nous nous proposons de ne doser que la partie colloïdale du sol intervenant activement dans la structure.

La méthode de dispersion, dite internationale (H_2O_2 - HCl - NH_4OH), présente de graves inconvénients : elle libère les colloïdes irréversiblement floculés, elle attaque les particules et leurs recouvrements de sesquioxides; comme dans les sols tropicaux, ceux-ci jouent un rôle prépondérant, la méthode peut fausser foncièrement l'image de la composition granulométrique.

La même considération infirme à notre avis la signification du facteur de structure de VAGELER-ALTEN, comme mesure de la structure des sols tropicaux.

Celui-ci peut s'écrire :

$$S = \frac{T' - P'}{T'} \times 100.$$

Où T' et P' représentent les pourcentages en colloïdes totaux (après préparation) et peptisés (dans l'eau distillée). La valeur T' obtenue après l'attaque violente précitée ne correspond pas exactement à la réalité.

Pour éviter ces inconvénients, nous avons mis au point une méthode de dispersion dont l'action désintégrante s'arrête aux liaisons « eau » et où aucun décapage des recouvrements n'est à craindre.

En voici le principe : le réactif employé est un mélange de 20 % (volume) de CCl_4 et de 80 % de CH_3OH . Dans un tube sec, on humecte un peu de terre séchée à l'air avec le réactif. Après quelques minutes et une légère agitation, il se forme une pâte visqueuse. On agite ensuite avec de l'eau distillée : la fraction colloïdale est dispersée et séparée de la fraction non colloïdale. Après repos, les particules floculées recoagulent et se déposent, les particules peptisées se maintiennent en suspension.

Nous pensons que les phénomènes physiques suivants se produisent :

a) L'alcool méthylique entre au contact des films d'eau qui entourent les particules élémentaires : une certaine dissolution se produit qui détermine un abaissement de la tension interfaciale CCl_4/H_2O et une déshydratation partielle.

b) Le CCl_4 s'étale entre les films d'eau b) et rompt la cohésion.

c) Une émulsification partielle et spontanée du CCl_4 dans l'eau se produit (ce phénomène s'accompagne d'un dégagement de chaleur léger mais perceptible); ce processus active encore la séparation en produisant une orientation des particules argileuses autour des micelles de l'émulsion.

Le point *a*) de l'hypothèse s'accorde avec les théories d'HARKINS (voir notamment KRUYT [14]). Le point *b*) s'explique aisément par le théorème du triangle de NEUMANN. Le point *c*) résulte de considérations expérimentales directes.

Après un tel traitement, si le colloïde du sol est floclé naturellement, il possède la surface maximum compatible avec son état; il est dans les conditions idéales pour être facilement peptisé par addition d'une petite quantité d'ammoniaque : tout le colloïde reste alors en suspension.

Le mode opératoire complet sera donné plus loin.

En résumé, nous dosons donc les colloïdes réellement peptisés et les colloïdes totaux à l'exclusion des fractions floclées irréversiblement.

Pour des raisons pratiques, nous avons été amené à adopter comme limite supérieure de la fraction que nous appelons « colloïdale », le diamètre de 8 microns.

Remarquons qu'il s'agit du diamètre fictif calculé d'après la loi de STOKES, ce qui ne présente pas d'inconvénients graves. BAVER [2], par exemple, a étudié les corrélations qui existent entre les pourcentages d'agrégats inférieurs à 0,05 mm et les fractions de diamètre inférieur à 5 et à 1 microns. La corrélation est de loin supérieure pour la fraction inférieure à 5 microns (corr. 0,566 contre 0,379).

B. Le dosage de colloïdes.

Comme pour la mesure des surfaces spécifiques et pour les mêmes raisons, nous travaillons sur les fractions de terre passées par un tamis de 0,297 mm.

La méthode comprend le nouveau mode de dispersion et un dosage des colloïdes selon la technique, quelque peu adaptée, de BOYUCOS-CASSAGRANDE [6], [7].

Rappelons brièvement le principe de cette méthode :

Si nous homogénéisons une suspension quelconque, chaque unité de volume contient la même concentration en matière dispersée. Dès qu'on laisse la suspension au repos, la loi de STOKES intervient : sous l'influence de la gravitation, toutes les particules migrent vers le bas à une vitesse proportionnelle au carré de leur diamètre. Dans une suspension où toutes les particules seraient de densité et de diamètre égaux, elles descendraient toutes avec la même vitesse.

Après un temps *t*, toutes les particules auront quitté une couche de liquide de hauteur *H*, qui restera claire. Mais dans la partie opaque, toutes les particules migrant à la même vitesse, la composition restera strictement identique.

Une suspension de terre peut être considérée comme un mélange d'un grand nombre de suspensions différentes. Toutes les particules dispersées ont la même nature et le même poids spécifique : elles ne diffèrent que par leur diamètre.

Dès qu'on laisse la suspension de terre homogénéisée au repos, on peut supposer que toutes ces différentes suspensions commencent à déposer séparément. En effet, la suspension se sépare en couches. Après un temps t , on peut isoler mentalement une colonne comprise entre le ménisque supérieur et un plan horizontal se trouvant à une profondeur H ; dans cette colonne, on peut calculer, suivant la loi de STOKES, le diamètre des particules les plus grandes, c'est-à-dire celles qui passent par le plan inférieur de la colonne au moment t .

Nous avons supposé que toutes les particules avaient le même poids spécifique. D'autre part, celui de la phase liquide est connu. Une mesure de densité peut donc à tout moment nous donner le pourcentage en poids de particules en dispersion, dans la colonne de hauteur H .

1. LA DISPERSION.

Celle-ci s'effectue dans le même tube à essai et avec le même réactif employé pour le test sur le champ (voir p. 19).

La dispersion se fait en double : le premier tube fournira la suspension pour le dosage des colloïdes peptisés, le second tube est destiné au dosage des colloïdes totaux.

Deux fois 20 g de terre sèche ($< 297 \mu$) sont mis dans deux tubes parfaitement secs. Ajouter 5 ml de réactif, secouer légèrement avec la main pour bien mélanger, et laisser agir pendant 1-2 minutes. On ajoute alors 10 ml d'eau distillée à chacun des tubes et on homogénéise en agitant.

a) *Les colloïdes peptisés.*

Au premier tube, on ajoute 50 ml d'eau distillée, on agite, on laisse déposer une minute et on décante dans un cylindre gradué de 500 ml. On répète cette opération jusqu'au moment où l'eau agitée reste parfaitement claire. On remplit le cylindre avec de l'eau distillée jusqu'au trait supérieur (500 ml), on bouche avec la main, on secoue plusieurs fois et on laisse déposer. La partie floculée se ramasse en flocons et se dépose avec le sable, tandis que la partie peptisée reste en suspension.

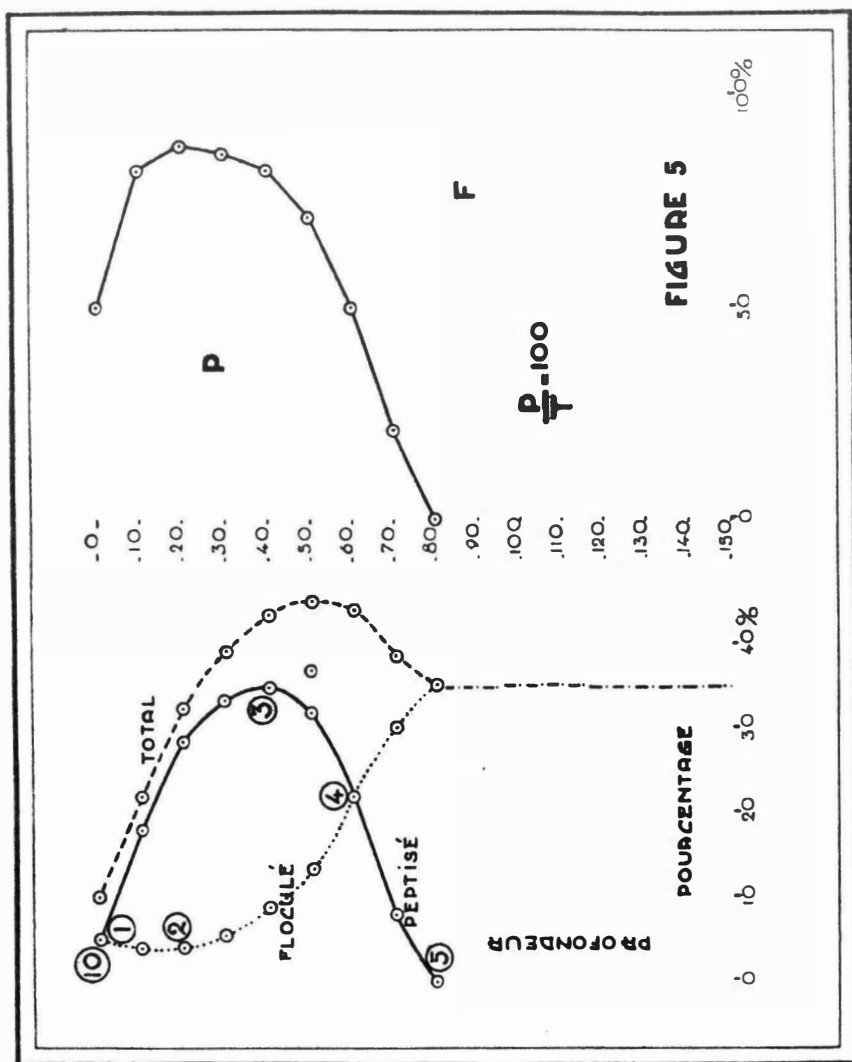
b) *Les colloïdes totaux.*

Au second tube, on ajoute 10 ml d'ammoniaque N (normale), on agite 2-3 fois, on ajoute 50 ml d'eau distillée et on décante dans un cylindre de 500 ml. On reprend jusqu'au moment où tout est clair, on dilue jusqu'à 500 ml et on homogénéise comme pour le dosage des colloïdes peptisés.

2. DOSAGE.

Il importe avant tout de maintenir la température des suspensions aussi constante que possible, afin d'éviter des courants de convection.

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL



Variations de T, P et F par rapport à la profondeur.

A cet effet, nous les plongeons dans des bacs d'eau. Le dosage des colloïdes par des mesures de densité implique une forte correction pour la température.

La sensibilité et l'exactitude des mesures sont inversement proportionnelles à la température (supérieure à 4 °C : densité maximum de l'eau). Il va de soi que cette restriction soulève des problèmes spéciaux dans un laboratoire situé sous l'équateur.

La température moyenne des suspensions avec lesquelles nous travaillons est de 25 °C. Compte tenu de la forme et de la longueur de la partie immergée de nos hydromètres, la lecture, après un temps de dépôt de 45', correspond à la fraction inférieure à 8 microns.

C'est ce degré de précision que nous avons adopté : nos teneurs en colloïdes sont déduites des densités mesurées après un temps de repos de 45 minutes.

L'hydromètre est introduit dans le cylindre après 30 minutes. La lecture définitive s'effectue après 45 minutes en même temps que la mesure de la température (au 0,1 °C).

De cette façon, nous recueillons deux données. La suspension traitée à l'ammoniaque fournit les colloïdes totaux (T). L'autre suspension donne les colloïdes naturellement peptisés (P). Ceci nous permet de calculer le degré de peptisation $\frac{P \times 100}{T}$ et la teneur en colloïdes floculés, $F = T - P$.

Nous pouvons considérer ces deux grandeurs comme des facteurs de structure.

Le chapitre suivant sera consacré à la relation qui existe entre ces deux facteurs et la surface spécifique.

Remarques. — 1. Les teneurs en colloïdes obtenues par cette méthode sont reproductibles à 1 % près dans la zone où tout est à l'état floculé.

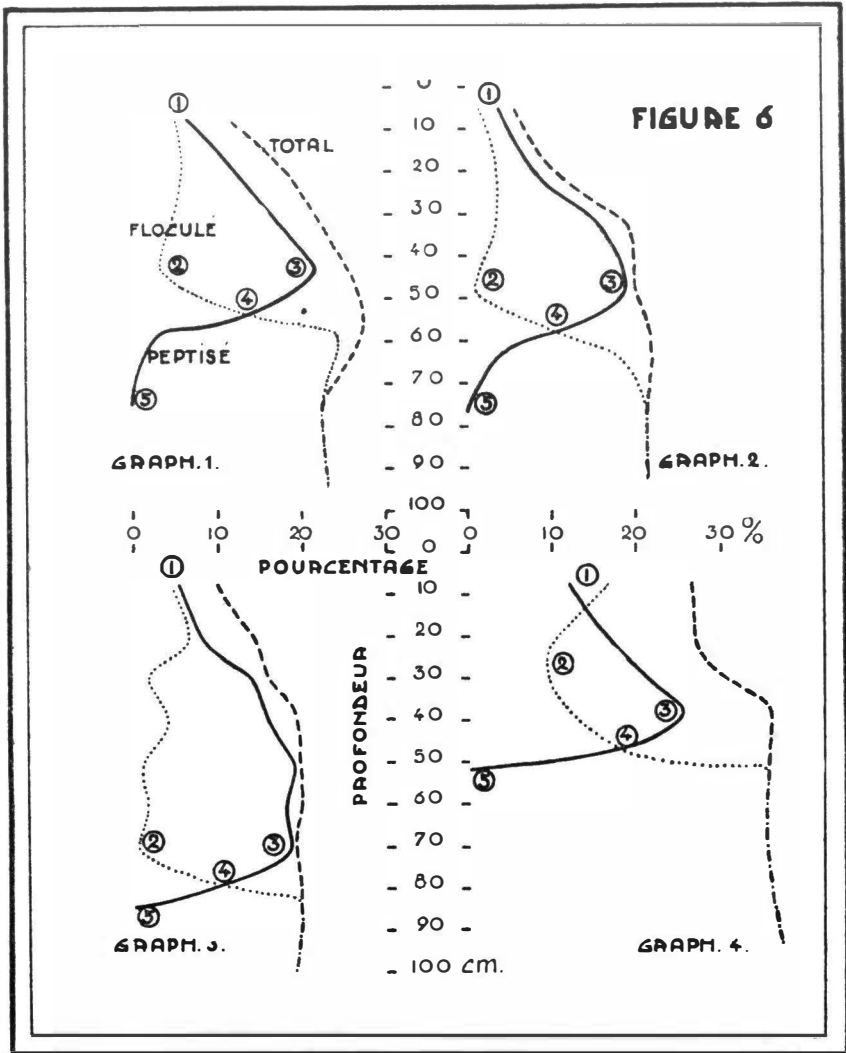
Dans les couches supérieures, la précision remonte jusqu'à 3 %, et nos chiffres doivent être légèrement inférieurs à la réalité. En effet, la concentration en colloïdes organiques s'accroît au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface.

Leur densité se rapproche de celle de l'eau et ils deviennent ainsi moins bien décelables par des mesures de densités.

2. Remarquons que le degré de peptisation présente quelque analogie avec le facteur de structure de VAGELER-ALTEN cité plus haut.

3. La valeur $\frac{P \times 100}{T}$ présente également une analogie avec le « dispersion ratio » de MIDDLETON, SLATER et BYERS. A l'aide de la méthode de BOYOUCOS, ces auteurs mesurent la quantité de matière en suspension après préparation au moyen d'un peptisant et après agitation

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL



Courbes réelles de variation des valeurs P, T et F dans le profil : en jeune jachère (graph. 1), en parasolaie (graph. 2), en jeune forêt secondaire (graph. 3) et en forêt peu secondaire (graph. 4).

dans l'eau. Ils limitent leur temps de dépôt à 40 secondes et à 10 minutes. PEELE [17] a trouvé que leur « dispersion ratio » était en rapport direct avec « l'érodibilité » des terres superficielles.

C. Variation des valeurs P, T et F dans le profil.

La figure 5 représente schématiquement des variations de T, P, F par rapport à la profondeur.

L'allure de la courbe T est bien connue. L'accumulation que représente son maximum caractérise l'horizon illuvial qui se trouve dans tous les profils où le mouvement de l'eau est descendant. Jusqu'à la zone floculée, nous pouvons considérer la courbe T comme la somme de P et de F : l'allure de ces deux courbes montre 5 points saillants.

1° A la surface, nous trouvons la zone la moins riche en colloïdes.

La surface est la plus exposée à l'action des pluies : la diminution en T est le résultat d'un délavage de l'argile par infiltration, ou éventuellement par ruissellement.

2° Immédiatement sous la surface, nous observons un minimum dans les courbes F. Celui-ci correspond à la profondeur où l'action de la végétation (et donc la peptisation) est la plus intense. Elle est la mieux colonisée par les racines.

3° La courbe P atteint ensuite un maximum. C'est entre le minimum de F et le maximum de P que nous trouvons souvent la partie la plus compacte du profil. Aux environs du maximum de P, la teneur en F remonte déjà rapidement.

4° A une profondeur donnée, les courbes F et P se croisent : 50 % du colloïde total sont peptisés. La valeur P tend rapidement vers 0.

Nous pouvons nous référer ici aux données expérimentales recueillies sur le champ. C'est ce point-ci (50 %) qui correspond à la catégorie : début de peptisation, qui limite la zone peptisée.

5° La valeur P devient = 0, et $F = T$.

Les points 4 et 5 délimitent la zone de transition sur le croquis de tranchée.

La figure 5 traduit également l'allure du degré de peptisation.

La figure 6 représente quelques courbes réelles; on y retrouvera facilement l'allure générale décrite.

Ces différentes courbes correspondent aux objets suivants :

Groupe 1 : Jeune jachère (2 ans).

Groupe 2 : Parasoleraie.

Groupe 3 : Jeune forêt secondaire.

Groupe 4 : Forêt peu secondarisée.

On remarquera la différence d'ampleur des couches peptisées. Dans les trois premiers graphiques, profils en évolution rapide, les points 2 et 3 se rapprochent. Ceci signifie que le colloïde peptisé n'a pas encore pu migrer.

CHAPITRE V

La fonction mathématique de la structure.

Dans les lignes précédentes, nous avons examiné la signification et la technique de mesure de trois grandeurs en relation directe avec la structure : la surface spécifique (S_0), le pourcentage en colloïdes totaux (T) et le pourcentage en colloïdes peptisés (P).

Il reste à déterminer si des relations unissent ces trois variables indépendantes.

A. Première constatation.

Pour des raisons de simplification, nous avons examiné d'abord les résultats fournis par les échantillons où toute trace décelable de colloïdes peptisés a disparu.

La teneur en colloïdes totaux s'identifie donc avec la teneur en colloïdes floculés (F).

$$T = P + F. \quad (1)$$

Les échantillons ont été prélevés, à des endroits disséminés sur une superficie d'environ 250 km², sur des terrains soumis à des traitements fort dissemblables et portant les végétations les plus diverses : forêt, forêt secondaire, terrain d'expérience de plantes vivrières, palmeraie, parasolaie, différents stades de jachère, etc.

Nous avons divisé l'échelle des teneurs en colloïdes floculés en « cases » de trois unités pour-cents et nous y avons réparti les surfaces spécifiques correspondantes. Dans chaque case, nous avons distingué deux groupes de grandeurs de surface : l'un élevé et l'autre beaucoup plus bas. Pour chacun d'eux, les moyennes ont été effectuées.

Lorsque nous portons en graphique ces valeurs moyennes en fonction de la teneur en colloïdes, nous constatons qu'elles se situent sur deux droites bien distinctes (voir fig. n° 7).

Analytiquement, ces deux droites peuvent se représenter par deux équations du premier degré :

$$S_0 = K + kF \quad (a) \quad (2)$$

$$S_0 = K' + k'F \quad (b)$$

Nous en concluons que les sols examinés appartiennent à deux types distincts suivant que la relation qui relie leur surface spécifique à la teneur en colloïdes floculés est de la forme 2 (a) ou 2 (b). Nous appellerons ces types « Yangambi 1 » et « Yangambi 2 ».

Nous avons observé également un type « Yangambi 3 », mais les données sont encore insuffisantes pour établir sa droite représentative avec certitude ¹.

L'expression (2) revêt un très grand intérêt : elle nous fournit en effet un moyen de classer les types de sols d'une façon *univoque* en faisant abstraction des différenciations et des uniformisations que les végétations et les modes cultureux peuvent *provoquer*. Les constantes K et *k* acquièrent la signification de constantes pédologiques : elles dépendront en premier lieu de la nature du matériel de départ (au sens de « parent material »); il est vraisemblable aussi qu'elles seront influencées par les facteurs climatiques, sans cependant pouvoir en préciser déjà l'importance.

B. Deuxième constatation.

Examinons maintenant les résultats obtenus pour les échantillons où subsiste une part importante de colloïdes peptisés.

On constate de prime abord que l'expression (2) n'est plus respectée : ceci n'a évidemment rien d'étonnant. Nous avons déjà insisté sur l'influence profonde que les colloïdes peptisés exercent sur l'agrégation.

Il fallait donc admettre à priori que la variable P doit intervenir dans la fonction reliant la surface spécifique aux pourcentages de colloïdes présents.

Après avoir expérimenté différentes formes de fonctions, nous avons établi la relation suivante :

$$S_0 = K + kF + \alpha \frac{P}{T} \times 100. \quad (3)$$

Donc, lorsque le pourcentage en colloïdes peptisés s'annule, l'expression (3) se ramène à l'expression (2).

Voici les faits expérimentaux sur lesquels nous basons l'expression (3):

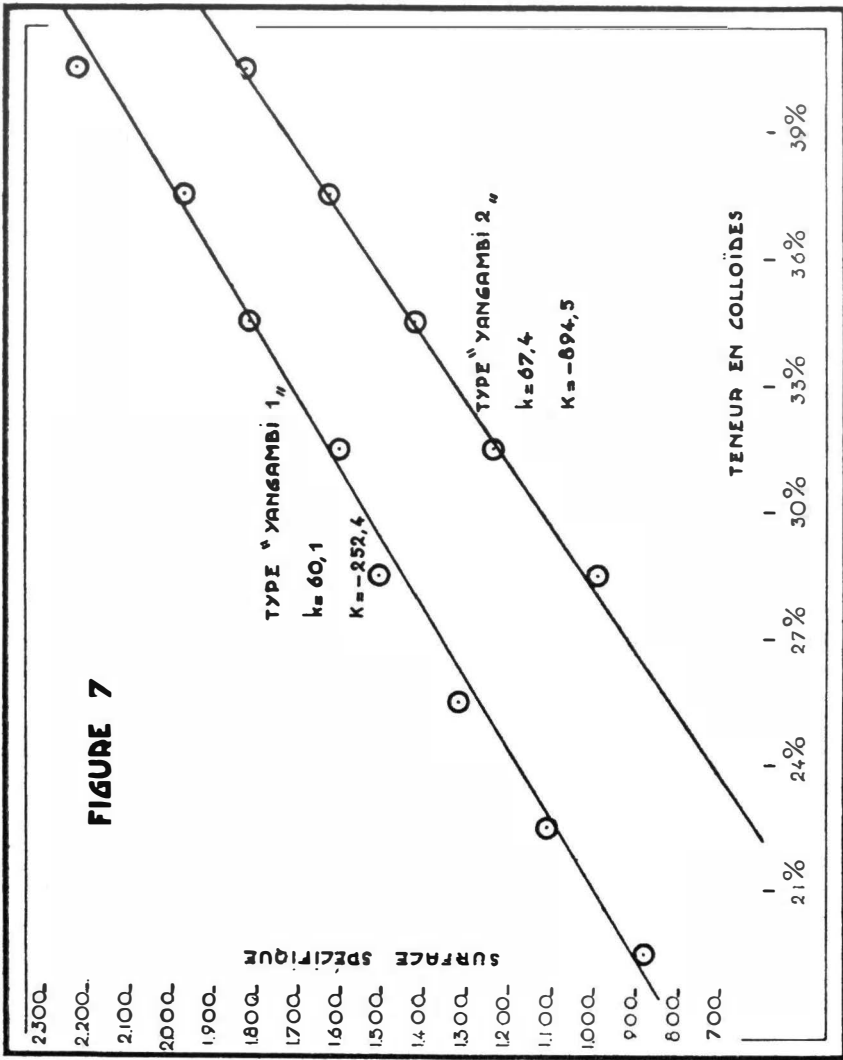
1^o Examinons la partie d'un profil où il existe un pourcentage variable de colloïdes peptisés. Prélevons des échantillons de 10 cm en 10 cm à partir de la surface jusqu'à la limite où disparaît la mise en peptisation naturelle.

Suivant les méthodes décrites, mesurons les valeurs S_0 , P et T.

Nous constatons que les pourcentages en colloïdes totaux augmentent assez rapidement pour arriver, à la limite de la zone peptisée, à une valeur sensiblement constante. Les valeurs S_0 et P peuvent subir des oscillations assez grandes.

Quelques exemples illustreront ces considérations.

1. Elle sera vraisemblablement située au-dessus de celle du type 1.



Fonction mathématique de la structure.

FONCTION MATHÉMATIQUE DE LA STRUCTURE

TABLEAU IV

Profondeur	T %	P %	$\frac{P}{T} 100$	S ₀	
1 ^{er} profil	0-10	15,0	7,9	53,3	1029,0
	10-20	29,9	10,6	35,5	1445,6
	20-30	30,4	22,8	74,9	1394,7
2 ^e profil	0-15	25,9	14,4	55,8	1806,0
	15-30	33,6	26,0	77,4	2155,8
	30-45	36,6	5,2	13,3	2234,0
3 ^e profil	0-10	29,0	11,4	39,3	1349,3
	10-20	28,2	16,6	58,9	1145,7
	20-30	27,3	17,4	63,7	1128,6
	30-40	27,7	20,2	73,0	1071,7
	40-50	28,4	6,9	24,3	1023,7

L'étude des couches sous-jacentes (où P = 0) nous indique le type de sol de ces profils et, par voie de conséquence, les valeurs de k et K.

Ainsi le premier et le second profils sont du type « Yangambi 1 », tandis que le troisième est du type « Yangambi 2 ».

Pour chacune des couches, nous pouvons calculer la valeur de (K + kF). D'autre part, nous pouvons déduire les valeurs α de la connaissance du rapport $\frac{P}{T} 100$.

Voici les résultats obtenus pour les trois profils précités.

TABLEAU V

Profondeur	α	α moyen	
1 ^{er} profil	0-10	16,0	15,7
	10-20	15,2	
	20-30	15,9	
2 ^e profil	0-15	24,6	25,0
	15-30	25,3	
	30-45	25,0	
3 ^e profil	0-10	26,9 *	20,5
	10-20	21,4	
	20-30	21,3	
	30-40	20,0	
	40-50	19,3	

* Exclu de la moyenne.

Malgré les variations *indépendantes* et *considérables* que peuvent subir les grandeurs T, P et So, le coefficient α a une valeur sensiblement constante pour un profil déterminé.

Le seul écart que l'on peut observer dans les exemples cités est présenté par l'horizon superficiel du 3^e profil.

Ce cas se produit assez fréquemment et est dû, pensons-nous, à la présence d'une quantité assez grande de matières organiques, qui a, entre autres conséquences, une influence marquée, que nous négligeons, sur la densité réelle de l'échantillon.

Nous avons pu vérifier l'existence de la constante α pour une trentaine de profils appartenant tous au type « Yangambi 1 » ou « Yangambi 2 » et situés sous des couvertures végétales variées : champs de plantes vivrières, forêt, forêt secondaire, jachères, etc.

2^o L'examen des « α » de différents profils fournit toute une gamme de valeurs. Nous les discuterons ultérieurement.

On remarque cependant immédiatement que, pour une parcelle déterminée, les « α » de différents profils présentent des valeurs assez voisines qui peuvent être considérées comme représentatives des couches « peptisées » de la parcelle. Par exemple, pour 3 profils pris à 15 m d'intervalle dans une jachère de deux ans, nous avons obtenu : $\alpha = 14,9; 16,6; 15,3$; moyenne = 15,6.

Ces deux séries de constatations nous semblent suffisamment probantes pour conclure à la validité de l'expression (3) et pour lui impartir un sens physique défini.

Remarquons que le coefficient α présente une particularité que nous n'avons pas encore mentionnée.

Dans certains profils et à des profondeurs déterminées, il subit une diminution brusque pour reprendre, par après, sa valeur constante. Cette diminution semble correspondre à certaines caractéristiques morphologiques (début du socle).

Ce phénomène n'est cependant pas général et nous ne disposons pas de preuves suffisantes pour affirmer la correspondance suggérée.

C. Discussion de la formule.

Discutons les particularités et les conséquences de l'expression (3).

$$So = K + kF + \alpha \frac{P}{P + F} \times 100 \quad (3)$$

On voit que So peut être considérée comme la somme de deux fonctions : la première (K + kF) dépend uniquement du pourcentage en colloïdes floculés, la seconde $\left(100 \times \frac{P}{P + F}\right)$ possède deux variables : P et F.

Appelons l'une ΦF et l'autre ΦP :

$$S_0 = \Phi F + \Phi P \quad (4)$$

a) Étudions $\Phi F = K + kF$.

Le colloïde floculé, outre le fait qu'il peut être présent en quantité variable, possède certaines qualités qui lui sont conférées par la nature du matériel de départ dont il dérive et par la forme même de l'action qui l'a produit : divers facteurs climatiques peuvent intervenir.

Il peut donc y avoir de multiples espèces de colloïdes floculés et ces diverses espèces engendreront des unités structurales différentes.

Ce sont ces qualités que nous retrouvons dans les paramètres K et k . Il est donc logique que ces paramètres nous permettent de répartir les unités structurales en différents genres et, partant, de classer les sols selon différents types. Nous devons insérer ici une remarque à propos des grandeurs négatives que nous avons trouvées pour K .

La linéarité de S_0 vis-à-vis de F , pour $P = 0$, a été vérifiée pour des teneurs en colloïdes variant de 18 à 42 %. Il est, d'autre part, évident que des surfaces spécifiques ne peuvent jamais devenir négatives, ce qui se produirait théoriquement si F s'abaissait au delà d'une certaine valeur ($kF < K$).

L'alternative suivante est possible :

1° Notre formule (2) a une limite de validité au delà de laquelle la variation de S_0 vis-à-vis de F cesse d'être linéaire.

2° Pour un type de sol donné, les unités structurales ont un pourcentage limite en colloïdes totaux.

Nous ne pouvons encore départager ces deux hypothèses.

b) Examinons $\Phi P = \left(100 \times \frac{P}{P + F} \right)$.

Lorsque, sous l'action de différents facteurs biologiques dérivant de la végétation, un colloïde donné passe de l'état floculé à l'état dispersé, il acquiert de nouvelles propriétés en fonction de la nature de ces facteurs ainsi que des qualités primitives de l'état floculé.

Il faut en outre distinguer deux notions principales : l'une d'*intensité* s'exprimant par la *quantité* relative de colloïdes passant de l'état floculé à l'état peptisé, l'autre de *qualité* des colloïdes peptisés ainsi formés.

La qualité dépendra à son tour de deux groupes de causes : les unes dérivant de la nature du mécanisme (voir p. 17) qui préside à la mise en dispersion, les autres de la nature du floculé.

Dans la fonction ΦP , la notion d'intensité est exprimée par le rapport $100 \frac{P}{T}$, et la notion de qualité par le facteur α .

On peut à bon droit considérer ce dernier comme une grandeur représentative de la nature de l'interaction du milieu biologique sur un type de floculé donné.

En termes plus clairs, mais peut-être moins précis : α nous permet de chiffrer les actions que différentes associations végétales, divers modes culturels, etc. peuvent exercer sur les agrégats « unités structurales » d'un type de sol donné.

D. Le mode d'agrégation et la capacité d'agrégation.

En remaniant l'équation (3) en fonction de (1), nous obtenons :

$$S_0 = (K + kT) + \left(\frac{100\alpha}{T} - k \right) P \quad (3bis)$$

Cette modification peut paraître purement formelle : elle déterminera cependant quelques constatations intéressantes.

Placé devant un terrain donné auquel il désire imprimer des modifications structurales, le praticien se heurte à un certain nombre de facteurs dépendants ou indépendants de sa volonté.

Ainsi, la teneur totale en colloïdes échappe en grande partie à son contrôle.

Par contre, les quantités et les qualités de colloïdes peptisés peuvent être réglées en agissant sur les phénomènes biologiques responsables de la mise en dispersion et donc, en dernière analyse, par le choix judicieux de diverses plantes ou associations végétales.

Nous pouvons à nouveau examiner séparément les deux termes de l'expression (3bis) :

$(K + kT)$ fait intervenir des éléments de structure échappant au contrôle de l'homme : ce sont les qualités du colloïde floculé (K et k) et la teneur en colloïdes totaux.

$\left(\frac{100\alpha}{T} - k \right) P$ concerne des éléments qui sont susceptibles d'être modifiés par l'action de l'homme.

a) Le facteur P : les radicelles de plantes peuvent peptiser des colloïdes floculés à différentes profondeurs ; de plus, une étude systématique pourra révéler que certaines plantes sont plus actives que d'autres.

b) Le facteur α : les plantes ont une action spécifique sur la qualité des colloïdes peptisés. C'est surtout par cette grandeur que l'on peut agir sur la structure.

Suivant la valeur absolue du rapport $\frac{\alpha}{T} 100$, le terme $\left(\frac{100\alpha}{T} - k \right)$ peut prendre une valeur, positive ou négative, suivant les cas et pour un degré de peptisation P donné ; la surface spécifique peut donc être augmentée ou diminuée.

Nous signalerons plus loin quelques-unes des valeurs α que nous avons pu mesurer.

En empruntant au langage mathématique ses expressions précises, dérivons partiellement S_0 considérée comme fonction explicite de T et de P :

$$\left(\frac{\delta S_0}{\delta T}\right)_P = k - \frac{100 \times P}{T^2} \quad \left(\frac{\delta S_0}{\delta P}\right)_T = \frac{100 \times}{T} - k$$

Par définition, appelons $\left(\frac{\delta S_0}{\delta T}\right)_P$: *mode d'agrégation*,

et $\left(\frac{\delta S_0}{\delta P}\right)_T$: *capacité d'agrégation*.

Pour $P = 0$: $\left(\frac{\delta S_0}{\delta T}\right)_P = k$.

En d'autres termes : pour un type de sol donné, le *mode d'agrégation* des unités structurales est le même là où toute trace décelable de colloïdes peptisés a disparu. Là où cesse la mise en dispersion naturelle par les différents facteurs déjà mentionnés, le sol, considéré au point de vue de ses agrégats élémentaires, n'a aucune idée de ce qu'il porte et aucune souvenance des traitements auxquels il est ou a été soumis. Ces considérations, pour prématurées qu'elles paraissent, reposent sur le résultat d'environ 200 déterminations effectuées sur les parcelles les plus diverses.

La *capacité d'agrégation* dépend donc de la teneur en colloïdes totaux, de la qualité du floculé (k) et de la qualité du peptisé (\times). Elle peut être positive ou négative : sa valeur absolue variera dans un profil d'après les variations de la teneur T .

Pour résumer la discussion de la formule (3), nous croyons utile de reprendre quelques idées de JENNY [3] et de les confronter avec nos déductions.

Cet auteur classe les facteurs pédogénétiques de la façon suivante :

Climat	}	Variables indépendantes.
Organismes		
Topographie		
Matériel de départ		
Temps		

Du point de vue de la structure et suivant notre exposé, on voit que la variable « organisme » agit par la mise en peptisation avec une intensité mesurée par $\frac{100 P}{T}$ et une qualité chiffrée par \times .

Nous pouvons donc affirmer que la décomposition de S_0 en deux

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL

fonctions ΦF et ΦP revient à opérer une séparation « des facteurs de formation d'un sol ».

ΦF implique les variables	}	Climat	
		Topographie	
		Matériel de départ	
		Temps	
et ΦP les variables	}	Organismes	} microclimat modes cultureaux.
		Temps	

CHAPITRE VI

Premiers résultats.

Les considérations théoriques qui précèdent ont déjà étayé quelques résultats pratiques.

A. Recherche des types de sol.

Voici le problème que nous nous étions posé : étant donnée une superficie de quelque six cents hectares de forêt tropicale, sur laquelle 50 profils ont été relevés, comment déterminer les différents types de sols qui peuvent exister sur cette superficie en les classant d'après leurs paramètres K et k .

Le premier travail consistait à retenir les échantillons ne contenant plus de colloïdes peptisés et d'écarter les autres.

A cette fin, le test déjà décrit a été appliqué.

Nous avons ensuite déterminé la surface spécifique et la teneur en colloïdes totaux des échantillons retenus en opérant sur la fraction inférieure à 0,297 μ .

En possession des droites expérimentales des sols type « Yangambi 1 » et « Yangambi 2 », nous avons pu établir sur quelle droite se situaient les points expérimentaux « So fonction de T ».

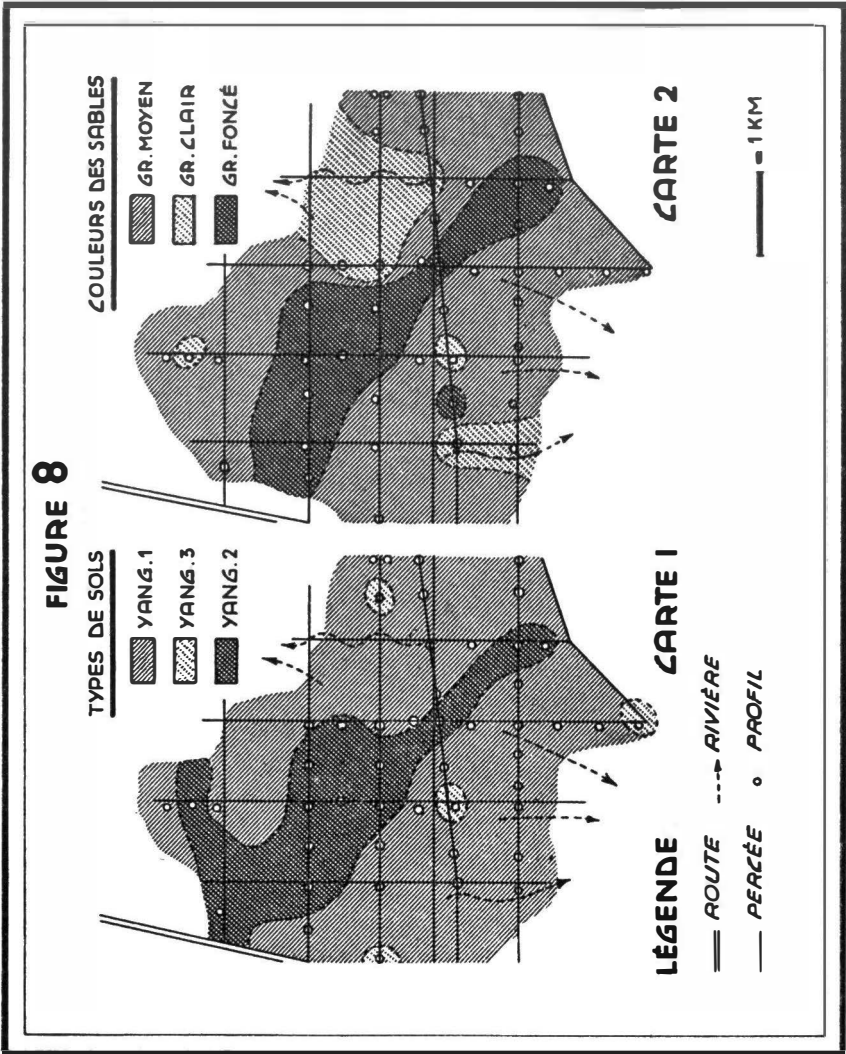
Nous avons constaté que 64 % des profils étaient du type « Yangambi 1 » et 25,5 % du type « Yangambi 2 ». Les profils restants, soit 10,5 %, semblent appartenir au type « Yangambi 3 » que nous avons déjà découvert en d'autres endroits.

La carte de nos résultats établit que le type « Yangambi 2 » se situe sur une ligne de crête séparant les bassins versants de deux petites rivières, affluents du fleuve Congo.

Une autre constatation se dégage encore et constitue en quelque sorte une manifestation pratique des phénomènes de recouvrements sur lesquels nous avons insisté précédemment.

Contrairement à l'inventaire minéralogique des fractions non colloïdales, qui n'avait décelé aucune différence marquée entre les échantillons examinés, les fractions sableuses présentaient des variations de couleur.

Pour minimiser le facteur de subjectivité inhérent à des estimations de ce genre, nous avons subdivisé le sable en trois fractions (de 2000 μ à 420 μ ; de 420 μ à 250 μ et de 250 μ à 125 μ) et avons fait classer individuellement les échantillons, suivant leur couleur, par six opérateurs différents.



Cartes du terrain prospecté.

PREMIERS RÉSULTATS

Nous avons distingué trois groupes :

- a) Un groupe foncé = aspect rouge-brun;
- b) Un groupe moyen = aspect brun-jaune;
- c) Un groupe clair = aspect jaune-brun clair.

Sur la base de cette répartition, nous avons dressé ensuite une carte du terrain prospecté (voir figure 8, cartes 1 et 2).

Il ressort à l'évidence de la comparaison de ces deux cartes que les sols du type « Yangambi 2 » coïncident dans l'ensemble avec les zones où nous trouvons les sables du groupe foncé, tandis que les sols du type 1 correspondent aux groupes moyens et clairs.

La corrélation peut sembler inattendue : elle s'explique cependant par les phénomènes de surface.

En effet, l'examen de fractions sableuses au microscope montre que les grains de quartz peuvent se présenter sous trois aspects :

- a) des grains incolores et non recouverts,
- b) des grains à recouvrement jaune,
- c) des grains à recouvrement rouge.

Ces recouvrements colorés peuvent être totaux ou partiels, minces ou épais.

Ils sont constitués par des hydroxydes ferriques à différents états d'hydratation.

De ces recouvrements différents résultent des propriétés de surface caractéristiques et du mélange en proportion variable de ces trois espèces de grains découle la coloration de la fraction globale.

Il est, d'autre part, logique d'admettre un parallélisme entre les recouvrements des sables et ceux des particules colloïdales et, partant, de trouver des propriétés différentes des colloïdes suivant la nature des sièges où ils se sont formés.

Des variations de couleur devraient se manifester également dans les suspensions, mais elles y deviennent peu perceptibles par suite du haut degré de dispersion et des phénomènes de TYNDALL.

Enfin, soulignons que les fractions sableuses et les fractions colloïdales n'ont pas le même degré de mobilité : cette différence explique qu'en certains endroits et pour des causes topographiques, nous pouvons observer un certain décalage entre les groupes de couleurs et les types de sols.

B. Le problème de la jachère.

Notre étude a débuté par le problème de la jachère, d'une importance essentielle pour nos terres tropicales. Le principe de la jachère peut, en définitive, s'établir ainsi :

L'abatage de la forêt, avant la mise en culture du terrain, déclenche une série de modifications structurales rapides.

Après un certain temps, l'agronome sent que son sol requiert une « régénération ». Il abandonne le terrain à la recolonisation végétale, qui comporte plusieurs stades au cours desquels des associations végétales spécifiques se succèdent. Après quelques années (5 à 6 ans), la parasoleraie s'établit, pour céder la place, une vingtaine d'années plus tard, à une forêt secondaire.

En présence de ces faits, le pédologue peut se poser la question suivante :

A quoi correspond pour le sol cette succession d'associations végétales ?

Pour notre part, nous nous sommes placés au point de vue de la structure et nous avons déjà souligné certaines variations.

Nous nous étendrons particulièrement ici sur les modifications que le facteur x peut subir. En effet, si le problème de la jachère se ramène principalement à un problème de succession d'associations végétales, il doit se caractériser pour le sol par une transformation des facteurs biologiques qui provoqueront la mise en dispersion naturelle.

Le facteur x est donc appelé à nous fournir des renseignements intéressants.

Nous avons mesuré sa valeur pour toute une série de parcelles situées dans le type Yangambi 1.

Le tableau VI groupe les résultats obtenus.

On voit que x peut subir des fluctuations importantes. Bien que l'énoncé de conséquences pratiques nécessite encore de multiples données, nous pouvons, dès à présent, signaler quelques remarques :

a) Dans les parcelles 6, 8 et 9, constituées respectivement par une jachère de deux ans, parasoleraie d'environ 14 ans et une jeune forêt secondaire, x diminue graduellement : 15,6, 14,7 et 13,8.

b) Les parcelles 1 et 9 sont, dans une certaine mesure, représentatives respectivement du point de départ et du point d'aboutissement du cycle forêt primitive - cultures - jachères - forêt secondaire. Les deux valeurs de x (34,9 et 13,8) sont situées aux extrêmes de l'échelle.

c) La jachère à *Paspalum notatum* (parcelle 2) semble restituer le x le plus proche de celui mesuré pour la forêt primitive.

d) Dans les parcelles 1, 3 et 7, constituées par une forêt, une forêt où les grands arbres ont été abattus et un sous-bois, les valeurs de x descendent très brusquement : l'évolution semble très rapide.

Nous pouvons évidemment nous demander s'il est préférable, au point de vue structure, d'obtenir un x élevé ou un x de valeur réduite. Bien que seule l'expérience puisse nous l'apprendre, nous sommes convaincus qu'il existe des valeurs optima pour chaque espèce de plante.

PREMIERS RÉSULTATS

TABLEAU VI

z	Parcelles situées dans le type « Yangambi 1 »	N°
34,9	Forêt à <i>Cynometra</i> .	1
27,0	Parcelle sous <i>Paspalum notatum</i> depuis 2 ans. Ancien champ de cultures vivrières : système cultural inspiré des méthodes européennes. Cycle de 7 ans de cultures pures; labours fréquents. Puis, pendant 5 ans, essais infructueux de jachères (<i>Pennisetum</i> , légumineuses, etc.).	2
17,6	Vieille forêt remaniée : beaucoup de grands arbres ont été abattus.	3
16,1	Parcelle sous <i>Paspalum conjugatum</i> depuis 2 ans; porte également de l' <i>Erigeron</i> . Ancien champ de plantes vivrières en culture pendant 2 ans; labour et sarclage. Essai infructueux de jachère à <i>Pueraria</i> .	4
15,7	Sol forestier après deux ans de cultures vivrières, actuellement en fin de rotation; porte des bananiers et du manioc. Système cultural caractérisé par de courtes périodes de culture (3 ans) et une longue jachère forestière de 14 ans.	5
15,6	Jachère forestière âgée de 2 ans après 3 années de cultures vivrières.	6
15,4	Recrû forestier de 2 ans; le sol n'a pas subi de cultures.	7
14,7	Parasoleraie âgée de \pm 15 ans.	8
13,8	Jeune forêt secondaire âgée de \pm 35 ans.	9

De la formule de VAGELER et ALTEN, nous pouvons cependant tirer un renseignement. Nous avons vu précédemment que, *par analogie*, le facteur de structure S pouvait s'exprimer :

$$S = \frac{F}{T} \times 100.$$

Nous pouvons en déduire que :

$$\frac{P}{T} 100 = 100 - S.$$

VARIATIONS DE STRUCTURE DU SOL

En introduisant cette valeur dans notre expression de ΦP , on obtient :

$$\Phi P = x (100 - S)$$

Or, d'après VAGELER et ALTEN, la structure d'un sol est d'autant meilleure que S tend vers 100. Réciproquement, la structure deviendra d'autant meilleure que ΦP sera plus petit. Mais ΦP peut encore diminuer avec l'abaissement de x . Donc, *au point de vue des unités structurales* et d'après le tableau VI, on constate que le sol de forêt primitive (parcelle 1) serait le moins favorable et que les sols de la jeune forêt secondaire et de la parasoleraie (parcelles 8 et 9) seraient les meilleurs.

CONCLUSIONS

Au cours de ce travail, nous nous sommes efforcés davantage à décrire des méthodes capables de fournir des valeurs précises et significatives pour l'étude des variations structurales de nos sols qu'à exposer des résultats.

Le problème est d'une grande complexité et seules des considérations assez arides peuvent y jeter quelque lumière.

D'autre part, l'existence d'interactions marquées et mesurables entre des phénomènes biologiques et des phénomènes d'ordre purement physico-chimique, comme ceux qui se produisent à la surface des colloïdes, montre que cette branche de la pédologie n'aura d'avenir que dans la mesure où le chercheur travaillera en collaboration avec les botanistes et les microbiologistes.

Quant à nous, nous pensons que la suite logique de nos recherches nous amènera à examiner deux points apparemment éloignés, mais en réalité très voisins : les propriétés des agrégats d'ordre supérieur et le mécanisme de la peptisation des colloïdes floculés.

Pour terminer, nous tenons à remercier cordialement tous ceux qui nous ont prodigué leur aide pour l'élaboration de ce travail et particulièrement M. le Docteur JEAN LEBRUN, Secrétaire scientifique de l'Inéac, et M. J. LIVENS, Chef de la Division d'Agrologie de l'Inéac.

Yangambi, le 12 octobre 1947.

*Laboratoire des recherches spéciales
de la Division d'Agrologie.*

ADDENDUM

Nous consignons ici quelques caractéristiques climatiques et géographiques de Yangambi, siège principal de l'Inéac en Afrique.

Signalons qu'une documentation importante sur ces sujets est rassemblée dans l'excellent ouvrage de É. BERNARD, Chef de la Division de Climatologie de l'Inéac : « Le climat écologique de la cuvette centrale congolaise » [4]. Nous y avons recueilli les quelques chiffres suivants :

Position géographique : 0° 45' latitude Nord; 24° 29' longitude Est.

Altitude : 470 m.

Moyenne annuelle des précipitations : 1691 mm.

Température moyenne annuelle : 24° 5.

Température moyenne maximum annuelle : 30° 3.

Température moyenne minimum annuelle : 18° 7.

Température moyenne du sol à 75 cm : 26° 3.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Advances in colloid science.** Édité par F.O. Kraemer. Interscience Publishers, New-York, 1942.
- [2] BAVER, L.D., **Soil physics.** J. Wiley & Sons Inc., New-York, 1940.
- [3] BAHEYENS J. et DE CANNIÈRE, J., **Détermination de la structure des sols au moyen de la perméabilité.** *Agricultura*, mai 1947.
- [4] BERNARD, E., **Le climat écologique de la cuvette centrale congolaise.** I.N.É.A.C., Coll. in-4°, Bruxelles, 1945.
- [5] BOYUCOS, G.J., *Soil science*, t. 28, p. 27, 1929.
- [6] BOYUCOS, G.J. et McCool, M.M., **Rapid mechanical and colloidal analyses of soils. Colloidal Chemistry. Theoretical and applied.** Édité par J. Alexander. The Chemical Catalog Company Inc., New-York, 1931.
- [7] CASSAGRANDE, A., **Die Aerometer Methode zur Bestimmung der Kornverteilung der Böden und anderen Materialien.** Berlin, 1934.
- [8] DE LEENHKEER, L. et WAEGEMANS, G., **Le Sol.** Falk, Bruxelles, 1945.
- [9] D'HOORE, J. et FRIPIAT, J., **Quelques phénomènes de surface présentés par les constituants des sols tropicaux.** Comptes rendus de la Semaine Agricole de Yangambi, 1947. I.N.É.A.C., Bruxelles.
- [10] D'HOORE, J. et FRIPIAT, J., **Essai de classification des éléments du sol d'après un degré croissant de complexité.** *Ibidem*.
- [11] HENIN, S., **Étude physicochimique de la stabilité structurale des terres.** Imprimerie Nationale, Paris, 1938.
- [12] JENNY, H., **Factors of soil formation.** McGraw Hill, New-York, 1941.
- [13] JOFFE, J. S., **Pedology.** Rutgers University Press, 1936.
- [14] KRUYT, H.R., **Les colloïdes.** Alcan, Paris, 1933.
- [15] KUBIENA, W.L., **Micropedology.** Collegiate Press, Ames, Iowa, 1938.
- [16] LUTZ, J.F., **The relation of free Iron in the soil to aggregation.** Soil Science Society of America. Proceedings, 1936.
- [17] PEELE, T.C., **The relation of certain physical characteristics of the erodibility of Soils.** Soil Science Society of America. Proceedings, 1937.
- [18] SCHLICHTER, C.S., **Theoretical investigations of the notion of ground waters.** U.S. geological Survey, 19th Annual Report, Part 2 (1897-1898).
- [19] TIULIN, A.F., **Certain considerations on the genesis of soil structure and on methods for its determination.** Transactions of the first Commission of the International Society of Soil Science. Soviet Section, 1933. Volume A.I.
- [20] YARILOV, A.A., **Soil physics in relation to the five year plan.** *Ibidem*.

RÉSUMÉ

Les radicelles des plantes sont une cause directe de peptisation des colloïdes se trouvant primitivement à l'état floculé.

Nous décrivons un mode de dispersion permettant de doser les colloïdes naturellement peptisés et floculés, sans altérer leurs propriétés. Le réactif est constitué par un mélange de 80 % de CCl_4 et de 20 % de CH_3OH .

Pour la mesure des « unités structurales » des sols, nous employons la surface spécifique de la fraction $< 297 \mu$. Celle-ci se détermine très simplement à l'aide de la perméabilité à l'air.

Une relation mathématique minutieusement vérifiée a été trouvée entre la surface spécifique des unités structurales et leur contenu en colloïdes peptisés et floculés.

La forme même de l'expression mathématique de la structure nous fournit, d'une part, une méthode univoque pour classer les types de sols et, d'autre part, une constante qui chiffre les interactions des associations végétales sur un type de sol donné.

L'application de cette technique a débuté par l'étude de la jachère; quelques résultats sont cités.

SAMENVATTING

Wij stelden vast dat plantenwortels een peptiseerende werking uitoefenden op uitgevlokke bodemkolloïden.

Een dispersiemethode wordt beschreven welke toelaat natuurlijk gepeptiseerde en uitgevlokke bodemkolloïden afzonderlijk te doseren zonder hun eigenschappen grondig te wijzigen. Wij gebruiken een mengsel van 20 % Koolstoftetrachloride in Methylalkohol als reagens.

De specifieke oppervlakte S_0 van de bodemfractie $< 297 \mu$ werd als maat genomen voor de elementaire bodemkruimels en wordt berekend uit de doorlaatbaarheid voor lucht.

Wij vonden een goed bevestigd mathematisch verband tussen S_0 en de hoeveelheden gepeptiseerde en uitgevlokke bodemkolloïden welke de bodemkruimels bevatten.

Ons steunende op deze mathematische uitdrukking konden wij verschillende bodemtypes onderscheiden en bovendien een konstante afleiden welke de inwerking meet van bepaalde plantkundige associaties op een gegeven bodemtype.

Wij pasten onze bevindingen toe op de studie van de braakleggingsmethode en geven enkele resultaten dienaangaande.

SUMMARY

We observed that plant rootlets exerted a peptizing action on flocculated soil colloids.

A method is described for the determination of the peptized and flocculated colloid content of soils, without altering the natural properties of the colloids. The reagent used is a 20 % mixture of Carbon tetrachloride in Methylalcohol.

The specific surface (S_o) of the fraction $< 297\mu$ is considered as a measure for the structural units of the soil. S_o is calculated from the permeability for air.

We found a well controlled mathematic correlation between S_o and the peptized and flocculated colloid contents of the structural units.

The equation enabled us to distinguish between different soil types; moreover it contains a constant value that measures the action of vegetal associations on a given soil colloid type.

We used our techniques in the study of fallow problems and some first results are given.

Publications de l'INÉAC

Les publications de l'INÉAC peuvent être échangées contre des publications similaires et des périodiques émanant des Institutions belges ou étrangères. S'adresser : 12, rue aux Laines, à Bruxelles. Elles peuvent être obtenues moyennant versement du prix de vente au n° 8737 du compte chèques postaux de l'Institut.

Les études sont publiées sous la responsabilité de leurs auteurs.

SÉRIE SCIENTIFIQUE

1. **LEBRUN, J., Les essences forestières des régions montagneuses du Congo oriental**, 264 pp., 28 fig., 18 pl., 25 fr., 1935 (épuisé).
2. **STEYAERT, R.-L., Un parasite naturel du *Stephanoderes*. Le *Beauveria bassiana* (BALS).** VUILLEMIN, 46 pp., 16 fig., 5 fr., 1935.
3. **GHEsqUIÈRE, J., État sanitaire de quelques palmeraies de la province de Coquilhatville**, 40 pp., 4 fr., 1935.
4. **STANER, P., Quelques plantes congolaises à fruits comestibles**, 56 pp., 9 fig., 9 fr., 1935 (épuisé).
5. **BEIRNAERT, A., Introduction à la biologie florale du palmier à huile**, 42 pp., 28 fig., 12 fr., 1935.
6. **JURION, F., La brûlure des caféiers**, 28 pp., 30 fig., 8 fr., 1936.
7. **STEYAERT, R.-L., Étude des facteurs météorologiques régissant la pullulation du *Rhizoctonia solani* KÜHN sur le cotonnier**, 27 pp., 3 fig., 6 fr., 1936.
8. **LEROY, J.-V., Observations relatives à quelques insectes attaquant le caféier**, 30 pp., 9 fig., 10 fr., 1936 (épuisé).
9. **STEYAERT, R.-L., Le port et la pathologie du cotonnier. — Influence des facteurs météorologiques**, 32 pp., 11 fig., 17 tabl., 15 fr., 1936.
10. **LEROY, J.-V., Observations relatives à quelques hémiptères du cotonnier**, 20 pp., 18 pl., 9 fig., 35 fr., 1936.
11. **STOFFELS, E., La sélection du caféier *arabica* à la station de Mulungu (premières communications)**, 41 pp., 22 fig., 12 fr., 1936.
12. **OPSOMER, J.-E., Recherches sur la « Méthodique » de l'amélioration du riz à Yangambi. I. La technique des essais**, 25 pp., 2 fig., 15 tabl., 15 fr., 1937.
13. **STEYAERT, R.-L., Présence du *Sclerospora Maydis* (RAC.) PALM (S. *javanica* PALM) au Congo belge**, 16 pp., 1 pl., 5 fr., 1937.
14. **OPSOMER, J.-E., Notes techniques sur la conduite des essais avec plantes annuelles et l'analyse des résultats**, 79 pp., 16 fig., 20 fr., 1937 (épuisé).
15. **OPSOMER, J.-E., Recherches sur la « Méthodique » de l'amélioration du riz à Yangambi. II. Études de biologie florale. — Essais d'hybridation**, 33 pp., 7 fig., 10 fr., 1938.
16. **STEYAERT, R.-L., La sélection du cotonnier pour la résistance aux stigmatomycoses**, 29 pp., 10 tabl., 8 fig., 9 fr., 1939.
17. **GILBERT, G., Observations préliminaires sur la morphologie des plantules forestières au Congo belge**, 28 pp., 7 fig., 10 fr., 1939.
18. **STEYAERT, R.-L., Notes sur deux conditions pathologiques de l'*Elaeis guineensis***, 13 pp., 5 fig., 4 fr., 1939.
19. **HENDRICKX, F., Observations sur une maladie verruqueuse des fruits du caféier**, 11 p., 1 fig., 3 fr., 1939.
20. **HENRARD, P., Réaction de la microflore du sol aux feux de brousse. — Essai préliminaire exécuté dans la région de Kisantu**, 23 pp., 6 fr., 1939.

21. SOYER, D., La "rosette" de l'arachide. — Recherches sur les vecteurs possibles de la maladie, 23 pp., 7 fig., 11 fr., 1939.
22. FERRAND, M., Observations sur les variations de la concentration du latex *in situ* par la microméthode de la goutte de latex, 33 pp., 1 fig., 12 fr., 1941.
23. WOUTERS, W., Contribution à la biologie florale du maïs. — Sa pollinisation libre et sa pollinisation contrôlée en Afrique centrale, 51 pp., 11 fig., 14 fr., 1941.
24. OPSOMER, J.-E., Contribution à l'étude de l'hétérosis chez le riz, 30 pp., 1 fig., 12 fr., 1942.
- 24bis. VRIJDAGH, J., Étude sur la biologie des *Dysdercus supersticiosus* F. (Hemiptera), 19 pp., 10 tabl., 15 fr., 1941 (épuisé).
25. DE LEENHEER, L., Introduction à l'étude minéralogique des sols du Congo belge, 45 pp., 4 fig., 15 fr., 1944.
- 25bis. STOFFELS, E., La sélection du caféier *arabica* à la station de Mulungu. (Deuxièmes communications), 72 pp., 11 fig., 30 tabl., 50 fr., 1942 (imprimé en Afrique) - (épuisé).
26. HENDRICKX, F.-L., LEFÈVRE, P.-C. et LEROY, J.-V., Les *Antestia* spp. au Kivu, 69 pp., 9 fig., 5 graph., 50 fr., 1942 (épuisé).
27. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., Contribution à l'étude génétique et biométrique des variétés d'*Elaeis guineensis* JACQUIN. (Communication n° 4 sur le palmier à l'huile), 100 pp., 9 fig., 34 tabl., 60 fr., 1941 (épuisé).
28. VRIJDAGH, J., Étude de l'acarirose du cotonnier, causé par *Hemitarsonemus latus* (BANKS) au Congo belge, 25 pp., 6 fig., 20 fr., 1942 (épuisé).
29. SOYER, D., Miride du cotonnier. *Creontiades Pallidus* RAMB. *Capsidae* (Miridae), 15 pp., 8 fig., 25 fr., 1942 (épuisé).
30. LEFÈVRE, P.-C., Introduction à l'étude de *Helopeltis orophila* GHESQ., 46 pp., 6 graph., 10 tabl., 14 photos, 45 fr., 1942 (épuisé).
31. VRIJDAGH, J., Étude comparée sur la biologie de *Dysdercus nigrofasciatus* STAL., et *Dysdercus melanodores* KARSCH., 32 pp., 1 fig., 3 pl. en couleurs, 40 fr., 1942 (épuisé).
32. CASTAGNE, E., ADRIAENS, L. et ISTAS, R., Contribution à l'étude chimique de quelques bois congolais, 30 pp., 15 fr., 1946.
33. SOYER, D., Une nouvelle maladie du cotonnier. La Psyllose provoquée par *Paurocephala gossypii* RUSSELL, 40 pp., 1 pl., 9 fig., 50 fr., 1947.
34. WOUTERS, W., Contribution à l'étude taxonomique et caryologique du genre *Gossypium* et application à l'amélioration du cotonnier au Congo belge, 383 pp., 5 pl., 18 fig., 250 fr., 1948.
35. HENDRICKX, F.-L., *Sylloge fungorum congensium*, 216 pp., 100 fr., 1948.
36. FOUARGE, J., L'attaque du bois de Limba (*Terminalia superba* ENGL. et DIELS) par le *Lyctus brunneus* LE C., 17 pp., 9 fig., 15 fr., 1947.
37. DONIS, C., Essai d'économie forestière au Mayumbe, 92 pp., 3 cartes, 63 fig., 70 fr., 1948.
38. D'HOORE, J. et FRIPIAT, J., Recherches sur les variations de structure du sol à Yangambi, 60 pp., 8 fig., 30 fr., 1948.

SÉRIE TECHNIQUE

1. RINGOET, A., Notes sur la préparation du café, 52 pp., 13 fig., 5 fr., 1936 (épuisé).
2. SOYER, L., Les méthodes de mensuration de la longueur des fibres du coton, 27 pp., 12 fig., 3 fr., 1935.
3. SOYER, L., Technique de l'autofécondation et de l'hybridation des fleurs du cotonnier, 19 pp., 4 fig., 2 fr., 1935.
4. BEIRNAERT, A., Germination des graines du palmier *Elaeis*, 39 pp., 7 fig., 8 fr., 1936 (épuisé).

5. WAELKENS, M., **Travaux de sélection du Coton**, 107 pp., 23 fig., 15 fr., 1936.
6. FERRAND, M., **La multiplication de l'*Hevea brasiliensis* au Congo belge**, 34 pp., 11 fig., 12 fr., 1936 (épuisé).
7. REYPPENS, J.-L., **La production de la banane au Cameroun**, 22 pp., 20 fig., 8 fr., 1936.
8. PITTERY, R., **Quelques données sur l'expérimentation cotonnière. — Influence de la date des semis sur le rendement. — Essais comparatifs**, 61 pp., 47 tabl., 23 fig., 25 fr., 1936.
9. WAELKENS, M., **La purification du Triumph Big Boll dans l'Uele**, 44 pp., 22 fig., 15 fr., 1936.
10. WAELKENS, M., **La campagne cotonnière 1935-1936**, 46 pp., 9 fig., 12 fr., 1936.
11. WILBAUX, R., **Quelques données sur l'épuration de l'huile de palme**, 16 pp., 6 fig., 5 fr., 1937.
12. STOFFELS, E., **La taille du caféier *arabica* au Kivu**, 34 pp., 22 fig., 8 photos et 9 planches, 15 fr., 1937 (épuisé).
13. WILBAUX, R., **Recherches préliminaires sur la préparation du café par voie humide**, 50 pp., 3 fig., 12 fr., 1937.
14. SOYER, L., **Une méthode d'appréciation du coton-graines**, 30 pp., 7 fig., 9 tabl., 8 fr., 1937 (épuisé).
15. WILBAUX, R., **Recherches préliminaires sur la préparation du cacao**, 71 pp., 9 fig., 20 fr., 1937.
16. SOYER, D., **Les caractéristiques du cotonnier au Lomani — Étude comparative de cinq variétés de cotonniers expérimentées à la station de Gandajika** 60 pp., 14 fig., 3 pl., 24 tabl., 20 fr., 1937.
17. RINGOET, A., **La culture du quinquina. — Possibilités au Congo belge**, 40 pp., 9 fig., 10 fr., 1938.
18. GILLAIN, J., **Contribution à l'étude des races bovines indigènes au Congo belge**, 33 pp., 16 fig., 10 fr., 1938.
19. OPSOMER, J.-E. et CARNEWAL, J., **Rapport sur les essais comparatifs de décorticage de riz exécutés à Yangambi en 1936 et 1937**, 39 pp., 6 fig., 12 tabl., hors-texte, 8 fr., 1938.
20. LECOMTE, M., **Recherches sur le cotonnier dans les régions de savane de l'Uele**, 38 pp., 4 fig., 8 photos, 12 fr., 1938.
21. WILBAUX, R., **Recherches sur la préparation du café par voie humide**, 45 pp., 11 fig., 15 fr., 1938.
22. BANNEUX, L., **Quelques données économiques sur le coton au Congo belge**, 46 pp., 14 fr., 1938.
23. GILLAIN, J., **"East Coast Fever". — Traitement et immunisation des bovidés**, 32 pp., 14 graphiques, 12 fr., 1939.
24. STOFFELS, E.-H.-J., **Le quinquina**, 51 pp., 21 fig., 3 pl., 12 tabl., 18 fr., 1939 (épuisé).
- 25a. FERRAND, M., **Directives pour l'établissement d'une plantation d'*Hevea* greffés au Congo belge**, 48 pp., 4 pl., 13 fig., 15 fr., 1941.
- 25b. FERRAND, M., **Aanwijzingen voor het aanleggen van een geënte *Hevea* aanplanting in Belgisch-Congo**, 51 pp., 4 pl., 13 fig., 15 fr., 1941.
- 25c. FERRAND, M., **Directives pour l'établissement d'une plantation d'*Hevea* greffés au Congo belge**, 39 pp., 25 fr., 1941 (réimpression en Afrique du n° 25a).
26. BEIRNAERT, A., **La technique culturale sous l'Équateur**, xi-86 pp., 1 portrait héliogr., 4 fig., 22 fr., 1941.
27. LIVENS, J., **L'étude du sol et sa nécessité au Congo belge**, 53 pp., 1 fig., 16 fr., 1943.
- 27bis. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., **Note préliminaire concernant l'influence du dispositif de plantation sur les rendements. (Communication n° 1 sur le palmier à huile)**, 26 pp., 8 tabl., 10 fr., 1940 (épuisé).

28. RINGOET, A., **Note sur la culture du cacaoyer et son avenir au Congo belge**, 82 pp., 6 fig., 36 fr., 1944.
- 28bis. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., **Les graines livrées par la station de Yangambi. (Communication n° 2 sur le palmier à huile)**, 41 pp., 15 fr., 1941 (épuisé).
29. WAELKENS, M. et LECOMTE, M., **Le choix de la variété de coton dans les Districts de l'Uele et de l'Ubangui**, 31 pp., 7 tabl., 25 fr., 1941 (épuisé).
30. BEIRNAERT, A. et VANDERWEYEN, R., **Influence de l'origine variétale sur les rendements. (Communication n° 3 sur le palmier à huile)**, 26 pp., 8 tabl., 20 fr., 1941 (épuisé).
31. POSKIN, J.-H., **La taille du caféier *robusta***, 59 pp., 8 fig., 25 photos, 60 fr., 1942 (épuisé).
32. BROUWERS, M.-J.-A., **La greffe de l'*Hevea* en pépinière et au champ**, 29 pp., 8 fig., 12 photos, 30 fr., 1943 (épuisé).
33. DE POERCK, R., **Note contributive à l'amélioration des agrumes au Congo belge**, 78 pp., 60 fr., 1945 (imprimé en Afrique).
34. DE MEULEMEESTER, D. et RAES, G., **Caractéristiques de certaines variétés de cotons spécialement congolaises**, Première partie, 110 pp., 40 fr., 1947.
35. DE MEULEMEESTER, D. et RAES, G., **Caractéristiques de certaines variétés de cotons spécialement congolaises**, Deuxième partie, 37 pp., 40 fr., 1947.

HORS SÉRIE

- *** **Renseignements économiques sur les plantations du secteur central de Yangambi**, 24 pp., 3 fr., 1935.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1936**, 143 pp., 48 fig., 20 fr., 1937.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1937**, 181 pp., 26 fig., 1 carte hors texte, 20 fr., 1938.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1938 (1^{re} partie)**, 272 pp., 35 fig., 1 carte hors texte, 35 fr., 1939.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1938 (2^e partie)**, 216 pp., 25 fr., 1939.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1939**, 301 pp., 2 fig., 1 carte hors texte, 35 fr., 1941.
- *** **Rapport pour les Exercices 1940 et 1941**, 152 pp., 50 fr., 1943 (imprimé en Afrique).
- *** **Rapport pour les Exercices 1942 et 1943**, 154 pp., 50 fr., 1944 (imprimé en Afrique).
- *** **Rapport pour les Exercices 1944 et 1945**, 191 pp., 80 fr., 1947.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1946**, 184 pp., 70 fr., 1948.
- *** **Rapport annuel pour l'Exercice 1947**, 217 pp., 80 fr., 1948.
- GOEDERT, P., **Le régime pluvial au Congo belge**, 45 pp., 4 tabl., 15 planches et 2 graphiques hors texte, 30 fr., 1938.
- BELOT, R.-M., **La sériciculture au Congo belge**, 148 pp., 65 fig., 15 fr., 1938.
- BAEYENS, J., **Les sols de l'Afrique centrale et spécialement du Congo belge**, tome I. Le Bas-Congo, 375 pp., 9 cartes, 31 fig., 40 photos, 50 tabl., 150 fr., 1938 (épuisé).
- LEBRUN, J., **Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers au Congo**, 183 pp., 19 pl., 80 fr., 1941.
- *** **Communications de l'I.N.É.A.C., Recueil n° 1**, 66 pp., 7 fig., 60 fr., 1943 (imprimé en Afrique).
- *** **Comptes rendus de la Semaine agricole de Yangambi (du 26 février au 5 mars 1947)**, 2 vol. illustr., 952 pp., 500 fr., 1947.

COLLECTION IN-4°

LOUIS, J. et FOUARGE, J., **Essences forestières et bois du Congo.**

Fascicule 1. Introduction (*en préparation*).

Fascicule 2. *Afrormosia elata*, 22 pp., 6 pl., 3 fig., 55 fr., 1943.

Fascicule 3. *Guarea Thompsoni*, 38 pp., 4 pl., 8 fig., 85 fr., 1944.

Fascicule 4. *Entandrophragma palustre*, 75 pp., 4 pl., 5 fig., 180 fr., 1947.

Fascicule 5. *Guarea Laurentii*, XIV-14 pp., 1 portrait héliogr., 3 pl., 60 fr., 1948.

BERNARD, E., **Le climat écologique de la Cuvette centrale congolaise**, 240 pp., 36 fig., 2 cartes, 70 tabl., 300 fr., 1945.

FICHES BIBLIOGRAPHIQUES

Les fiches bibliographiques éditées par l'Institut peuvent être distribuées au public moyennant un abonnement annuel de 300 francs (pour l'étranger, port en plus). Cette documentation bibliographique est éditée mensuellement, en fascicules d'importance variable, et comprend environ 3000 fiches chaque année. Elle résulte du recensement régulier des acquisitions des bibliothèques de l'Institut qui reçoivent la plupart des publications périodiques et des ouvrages de fond intéressant la recherche agronomique en général et plus spécialement la mise en valeur agricole des pays tropicaux et sub-tropicaux.

Outre les indications bibliographiques habituelles, ces fiches comportent un indice de classification (établi d'après un système empirique calqué sur l'organisation de l'Institut) et un compte rendu sommaire en quelques lignes.

Un fascicule-spécimen peut être obtenu sur demande.

VAN DEN BRANDE, J., Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gand;
VAN DE PUTTE, Membre du Conseil Colonial;
VAN DER STRAETEN, E., Administrateur de Sociétés Coloniales;
VAN GOIDSENHOVEN, G., Recteur de l'École de Médecine Vétérinaire de
de l'État, à Cureghem;
VAN STRAELEN, V., Directeur du Musée Royal d'Histoire Naturelle de
Belgique;
WILLEMS, J., Directeur du Fonds National de la Recherche Scientifique.

B. COMITÉ DE DIRECTION.

Président :

M. VANDEN ABEELE, M., Directeur Général du Service de l'Agriculture au
Ministère des Colonies.

Secrétaire :

M. LEBRUN, J., Secrétaire scientifique de l'I.N.É.A.C.

Membres :

MM. ANTOINE, V., Professeur à l'Institut Agronomique de l'Université de Louvain;
DE BAUW, A., Président du Comité Cotonnier Congolais;
HAUMAN, L., Professeur à l'Université de Bruxelles;
HOMÈS, M., Professeur à l'Université de Bruxelles;
STANER, P., Directeur au Ministère des Colonies;
VAN STRAELEN, V., Directeur du Musée Royal d'Histoire Naturelle de
Belgique.

C. DIRECTEUR GÉNÉRAL.

M. VANDEN ABEELE, M., Directeur Général du Service de l'Agriculture au
Ministère des Colonies;

F. DIRECTEUR GÉNÉRAL EN AFRIQUE.

M. JURION, F.

