

METHODE D'ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE

APPLICATION AUX SOLS TROPICAUX

A. COMBEAU

Maître de Recherches de l'ORSTOM, IDERT, Bondy

et

G. MONNIER

Chargé de Recherches au Laboratoire des Techniques culturales de l'Institut National de Recherche Agronomique

I. EXPOSE DE LA METHODE

Prélèvement et préparation de l'échantillon

Analyse d'agrégats :

- Principe
- Technique
- Expression des résultats
- Interprétation des résultats
- Interprétation des tests de l'analyse d'agrégats

Etude du comportement de la terre en milieu concentré :

- Choix du test
- Technique de percolation
- Expression des résultats

II. APPLICATION DE LA METHODE A L'ETUDE DE QUELQUES PROBLEMES PEDOLOGIQUES

A. — Importance de la notion de stabilité structurale

B. — Rôle de la matière organique :

- Mise en évidence
- Sols de République Centrafricaine
- Sols de Casamance
- Sols de République du Congo
- Essais de régénération des sols dégradés

C. — Effets de la salure

D. — Effets de la submersion

E. — Observations diverses

- a) Relation entre I_s et le degré d'évolution du sol
- b) Relation entre I_s et le pH
- c) Relation entre I_s et les caractéristiques hydriques

CONCLUSION



ETUDE DE LA STABILITE STRUCTURALE DES SOLS

La structure définit la façon dont les constituants élémentaires du sol, cailloux et graviers, sables, limons, argiles et matières organiques sont disposés les uns par rapport aux autres pour former des agglomérats, des mottes, des horizons, et l'ensemble du profil du sol. On sait que cette architecture interne du terrain, par ses conséquences sur l'état d'ameublissement, l'importance et la répartition de la porosité, commande dans une large mesure les conditions de travail du sol, l'aération, la circulation de l'eau, le développement et l'état sanitaire des racines des végétaux. C'est donc une donnée fondamentale en agronomie. Cependant, une bonne connaissance de l'état physique du sol à un moment donné, celui de l'observation, si elle est nécessaire n'est pas suffisante. En effet, cet état est en évolution constante sous l'action de nombreux facteurs au premier rang desquels figure l'eau. La structure favorable à l'établissement d'une culture conférée à un sol par des façons culturales appropriées va subir des agressions spécialement de la part de l'eau et peu à peu se dégrader. Toutes les terres ne seront pas aussi sensibles à l'action de l'eau et c'est ici qu'intervient la notion de stabilité structurale qui définit la résistance du sol à l'action de l'eau.

Les relations entre la structure et sa stabilité ne sont pas simples. Si l'on peut admettre que, pour la couche arable d'un sol cultivé, il existe une corrélation étroite entre l'état structural un certain temps après la préparation du sol et la stabilité de la structure, il n'en est pas de même dans tous les cas. L'horizon d'accumulation humique d'un podzol, par exemple, présente une structure continue très compacte, mais sa stabilité à l'eau est bonne, c'est-à-dire que si par le passage d'un instrument de culture on parvient à la disloquer, l'état favorable ainsi créé pourra persister un certain temps. A l'opposé, un sol de limon battant qui vient d'être convenablement préparé pour une culture de betterave par exemple, présentera une bonne structure, mais celle-ci ne résistera pas à une grosse pluie d'orage qui disloquera les mottes et provoquera la formation en surface d'une croûte plus ou moins compacte.

Ainsi la stabilité structurale apparaît comme une propriété différente de la structure. C'est une caractéristique dynamique et qui semble beaucoup plus fondamentale que l'état structural.

L'étalonnage d'une méthode d'appréciation de la stabilité est un travail très délicat. Il est illusoire, en effet, de vouloir reconstituer au laboratoire les conditions, beaucoup trop complexes, d'évolution de la structure qui prévalent dans le sol *in situ*. On en arrive ainsi à rechercher un parallélisme entre le comportement des sols au cours de tests de laboratoire et leur comportement au champ. Le problème est donc double :

- a) savoir évaluer et comparer le comportement au champ des sols à différentes périodes de l'année climatique et culturale,
- b) trouver des tests susceptibles de reproduire de façon suffisamment fidèle le classement des terres basé sur ce comportement au champ.

La réponse à la première question sort du cadre que nous nous sommes fixés. Disons seulement qu'elle est fournie par une série d'observations systématisées sur des sols très nombreux et très variés, et sur des sols analogues soumis à des traitements différents.

En ce qui concerne le choix des tests, rappelons tout d'abord que S. HENIN a montré¹ qu'il était nécessaire pour évaluer cette stabilité structurale, de faire appel à plusieurs techniques différentes. Les qualités requises d'une telle méthode sont en effet multiples. Elle doit être fidèle, sensible et d'une application générale. La première qualité relève de la technique des tests utilisés: l'analyse d'agrégats et les mesures de perméabilité sur échantillon remanié, ainsi que les possibilités d'interprétation qu'ils offrent. Après une comparaison générale des stabilités obtenues tant sur sols tropicaux que sur sols tempérés, nous rapporterons un certain nombre d'observations qui constitueront une illustration des possibilités d'application.

I. EXPOSE DE LA METHODE

Prélèvement et préparation de l'échantillon

L'échantillon est prélevé avec précaution (proscrire l'utilisation de la sonde pour l'échantillonnage des couches profondes). On utilisera donc une bêche pour les échantillons superficiels, ou bien l'on arrachera la terre des parois rafraîchies d'une tranchée pour les échantillons profonds.

La masse de terre récoltée sera séchée à l'air en mottes, puis forcée à la main et avec précaution au travers d'un tamis de 2 mm à mailles carrées. Ce tamisage qui est une opération délicate ne peut être évité si l'on veut que les conditions d'humectation soient aussi homogènes que possible. En effet, des grosses mottes seraient brutalement imbibées sur leur pourtour, alors que leur centre s'humecterait par capillarité beaucoup plus lentement. Le résultat serait alors par trop soumis à l'échantillonnage et aux conditions de séchage, et la méthode perdrait de sa fidélité.

Dans le cas où la terre est très cohérente, on doit parfois s'aider d'un pilon et d'un mortier pour réduire les mottes. Dans ce cas, on prélèvera les éléments fins au fur et à mesure de leur apparition par des tamisages fréquents.

Analyse d'agrégats

Principe

Il s'agit de déterminer le pourcentage d'agrégats supérieurs à 200μ qui ont résisté au contact avec l'eau dans des conditions différentes, et,

parallèlement, de mesurer la quantité d'éléments fins (0-20 μ) qui, sans dispersion préalable, se sont mis en suspension au cours de ces manipulations.

Technique

- Chaque prise d'essai de 10 g est déposée au fond d'un bécher de 250 ml.
- Dans le bécher n° 1 la terre est humectée par 10 ml d'alcool éthylique.
- Dans le bécher n° 2, on ajoute 10 ml de benzène, le bécher n° 3 lui, est brutalement rempli d'eau distillée. Au bout de 5 minutes, les béchers 1 et 2 sont également remplis d'eau.
- L'ensemble est alors laissé au repos.
- Au bout de 30 minutes, on transvase le contenu du bécher dans un erlenmeyer de 750 ml sur lequel est marqué un repère à 300 ml. Pour cette opération, on peut s'aider d'un jet de pissette dirigé de façon à ne pas détruire d'agrégats.
- Le volume est amené à 300 ml, l'erlenmeyer bouché et on agite 20 fois par retournements.
- Le contenu de l'erlenmeyer est alors jeté sur un tamis de 200 μ , de 10 cm de \emptyset , déposé dans une capsule de porcelaine de 1 litre. On s'aide d'un jet de pissette avec les mêmes précautions que précédemment.
- On tapote le tamis sur le fond de la capsule pour chasser l'air emprisonné et on imprime 20 fois* de suite au tamis un mouvement hélicoïdal aller et retour (amplitude 120°). Pour éliminer de cette opération le facteur personnel, FEODOROFF a imaginé un appareil permettant de mécaniser le tamisage.
- Les agrégats restés sur tamis sont recueillis dans une capsule, séchés et pesés.
- Le filtrat est transvasé dans une allonge de sédimentation avec précaution. Le volume est amené à 1.000 ml dans le cas du tamisage à la main, et à 1.200 ml si on a utilisé l'appareil de FEODOROFF.
- On homogénéise pendant 15 minutes la suspension par retournements et on prélève à la pipette de ROBINSON la fraction correspondant à l'argile + limon.

Remarque

Il arrive que la suspension flocule un peu au cours de la sédimentation. Dans ce cas on homogénéise à nouveau, on introduit 10 ml. de citrate de Na normal et on fait un retournement. Cette suite d'opérations se termine au temps t_0 , origine choisie de la sédimentation.

Expression des résultats

Le coefficient retenu est le suivant :

$$S = \frac{(\text{argile} + \text{limon})\% \text{ maximum}}{\text{moyenne arith. du } \% \text{ d'agrégats } > 200\mu - 0,9 \text{ de sable grossier } \%}$$

Les sables grossiers sont obtenus par une analyse mécanique **sans destruction du calcaire** (méthode au citrate).

On peut, dans la plupart des cas, éviter de prélever la fraction argile + limon sur celui des trois échantillons qui a reçu le prétraitement à l'alcool éthylique.

Le pourcentage maximum d'éléments 0-20 μ est en effet obtenu dans la très grande généralité des cas sur l'échantillon prétraité au benzène ou sur celui qui n'a subi aucun prétraitement.

Exemple de calcul :

agrégats grossiers %		S.G.		(argile + limon) %	
alcool	air	benzène	moyenne	air	benzène maximum
64,5	46,1	23,8	44,8	13,2	20,8
					36,7

$$S \text{ ou } IS = \frac{36,7}{44,8 - 0,9 \times 13,2} = 1,11 \quad \log_{10} S = 1,05$$

* N.B. En fait chaque opérateur doit tester la méthode compte tenu d'un certain coefficient personnel. Pour cela, il est pratique d'essayer sur un même échantillon un nombre de rotations variable allant de 10 à 40 par exemple. On choisira le nombre de coups de tamis au-delà duquel le taux d'agrégats ne diminue plus de façon sensible.

Compte-tenu des erreurs notées au cours des différentes opérations, il faut admettre une erreur relative globale $\frac{\Delta IS}{IS}$ de 8%. En fait cette erreur théorique maxima est rarement atteinte et la différence entre deux mesures sur un même échantillon est généralement de l'ordre de 3 à 5%.

Interprétation des résultats

Le tableau ci-dessous présente le comportement aux différents tests de toute une série de terres d'origine et de propriétés très diverses.

Comportement de différents types de sol sous l'influence des prétraitements

Comportement	Types de comportement au laboratoire	Agrégaats grossier %		
		Alcool	Air	Benzène
Stable	I — Fraction agrégée élevée et sensiblement constante :			
	Sol argilo-humique sur alluvions de l'Ouémé (Dahomey)	79,0	76,5	68,1
	Sol noir sur basalte récent (Cameroun)	64,0	63,5	60,5
	Sol humifère de prairie (Centre de la France)	83,1	77,0	76,5
Moyennement stable	Rendzine (sur calcaire tendre crétacé)	72,8	64,5	67,6
	II — Fraction agrégée élevée pour l'alcool et l'air, faible pour le benzène :			
	Sol ferrallitique rouge sur basalte ancien (horizon profond)	77,1	73,2	0,3
	Sol ferrugineux tropical lessivé sur granit (Cameroun)	56,1	46,4	1,3
Peu stable	Terre noire de Limagne (sous-sol)	71,0	56,2	8,7
	III — Fraction agrégée, moyenne ou forte pour l'alcool, très faible pour l'air et le benzène :			
	Argile de sous-sol des Landes	47,6	2,3	0,7
	Argile marneuse grise (Italie)	19,2	0,3	0,2
Instable	IV — Fraction agrégée très faible dans tous les cas :			
	Sol salin (Maroc)	5,5	2,8	1,8
	Tirs de bas-fond (Maroc)	8,0	4,9	2,9
	Sol sur montmorillonite magnésienne (Guadeloupe) horizon profond	0,5	0,4	0,3
	Argile marneuse beige (Italie)	1,1	0,1	0,2
	Marne du Plaisancien (France)	1,7	0,5	0,4
	Horizon profond de Solonetz (Marais Rochefortais)	2,0	0,5	1,1

Les quatre séries de résultats présentées dans ce tableau font clairement apparaître quel intérêt on trouve à utiliser non pas un test, mais une série de tests pour apprécier le comportement des terres. Il est en effet évident que les résultats du seul test " sans prétraitement " ne permettent pas de distinguer les classes I et II que le test au benzène différencie lui, nettement, ou bien les classes III et IV qui se comportent très différemment au contraire par rapport au test à l'alcool éthylique.

L'introduction des prétraitements revient à nuancer la nature du contact sol-eau et par là, permet d'accroître la sensibilité de l'appréciation de la stabilité. Nous allons voir qu'en outre l'utilisation de ces différents tests a l'avantage de nous fournir des éléments d'interprétation des causes de la stabilité (cohésion, matière organique etc.), mais le fait que cette méthode seule permet de rétablir le classement du comportement au champ, justifie à lui seul son utilisation.

Interprétation des divers tests de l'analyse d'agrégats

Les différents tests qui, combinés entre eux, permettent de définir l'indice d'instabilité structurale, sont eux-mêmes fonction de certaines caractéristiques du sol étudié. Plusieurs auteurs se sont attachés à définir l'importance des divers facteurs qui interviennent sur les résultats de ces tests.

MOREL et MASSON ² ont trouvé, sur les sols de la Station Agronomique de Grignon, des corrélations entre les taux d'agrégats stables à l'eau avec ou sans prétraitement et la teneur en matière organique, le prétraitement au benzène étant le plus significatif dans ce sens.

Mme S. MERIAUX ³ a mis en évidence, sur une série de sols et sous-sols du Centre-Est de la France, l'existence de corrélations entre les taux d'agrégats stables et la matière organique d'une part, l'argile d'autre part.

Dans une précédente étude ⁴ nous avons pu établir l'existence de corrélations analogues sur des sols tropicaux. Sur des séries d'échantillons comportant des sols ferrallitiques (République Centrafricaine), des sols ferrugineux tropicaux (Sénégal), des argiles noires tropicales (Togo) et des sols hydromorphes (Vallée du Sénégal), nous avons observé que la fraction agrégée stable après prétraitement à l'alcool était systématiquement liée à la teneur en éléments fins (0-20 μ). Dans le cas des sols ferrallitiques, cette fraction est également en corrélation étroite avec le taux du carbone.

Diverses observations ont également permis de confirmer la liaison entre la fraction agrégée stable après prétraitement au benzène et la teneur en matière organique totale, ceci aussi bien sur des sols tropicaux (République Centrafricaine, République du Congo), que sur des sols de France (sols bruns calcaires sur marnes de la région parisienne).

Dans le cas particulier des sols ferrallitiques, nous avons signalé également la liaison entre la dispersion maximum après prétraitement au benzène et la granulométrie d'une part, la teneur en matière organique d'autre part.

De ces observations, il ressort que les tests proposés rendent compte de l'action de certains composants du sol. Mais il importe de souligner que la nature des liaisons semble spécifique de chaque type de sol. Si l'on considère, par exemple, le cas de la fraction agrégée stable après prétraitement à l'alcool, on obtient les relations suivantes :

— sur sols ferrallitiques (30 échantillons) :

$$\text{Ag.A} - \text{S.G.} = 0,984 (A + L) + 3,59 \quad P > 0,001 \quad (13 < A + L < 45\%)$$

— sur sols hydromorphes argileux (83 échantillons) :

$$\text{Ag.A} - \text{S.G.} = 0,579 (A + L) - 8,80 \quad P > 0,001 \quad (55 < A + L < 80\%)$$

— sur sols hydromorphes sableux (24 échantillons) :

$$\text{Ag.A} - \text{S.G.} = 0,290 (A + L) + 0,80 \quad P > 0,001 \quad (22 < A + L < 50\%)$$

Par ailleurs, alors que sur les sols ferrallitiques nous avons relevé l'existence d'une corrélation directe très hautement significative entre la fraction (Ag.A - S.G.) et la teneur en carbone, nous observons par contre sur les sols bruns calcaires sur marnes de la région parisienne une corrélation inverse entre ces 2 mêmes variables.

Le cas de la fraction agrégée stable après prétraitement au benzène est plus typique encore :

— sur sols ferrallitiques (30 échantillons, République Centrafricaine) :

$$\text{Ag.B} - \text{S.G.} = 11,43 \text{ M.O.} - 16,4 \quad P > 0,001 \quad (0,9 < C\% < 2,1\%)$$

— sur sols faiblement ferrallitiques du Congo (24 échantillons) :

$$\text{Ag.B} - \text{S.G.} = 11,61 \text{ M.O.} - 22,6 \quad P > 0,001 \quad (1,5 < C\% < 5,2\%)$$

— sur sol brun calcaire sur marnes (30 échantillons) :

$$\text{Ag.B} - \text{S.G.} = 1,41 \text{ M.O.} - 0,66 \quad P > 0,001 \quad (0,9 < C\% < 2,0\%)$$

— relation obtenue par S. MÉRIAUX :

$$\text{Ag.B} - 0,9 \text{ S.G.} = 2,81 \text{ M.O.} + 13,3.$$

Ces remarques mettent en évidence le fait que la stabilité structurale — elle-même fonction de multiples facteurs — ne peut être déduite de façon simple des données de la granulométrie ou de la teneur en matière organique, et soulignent la nécessité d'une méthode de mesure de cette stabilité. Pour illustrer cette constatation, citons le fait que, alors que sur sol ferrallitique nous avons trouvé une relation inverse entre I_s et teneur en carbone, et qu'une relation du même genre a été signalée par MOREL et MASSON sur les sols de Grignon, par contre, sur sol brun calcaire de France, nous n'avons pas observé de corrélation significative entre ces 2 variables, mais une corrélation directe avec $(A \% L)\%$.

Des expériences de laboratoire montrent également que des matières organiques de types différents donnent des coefficients de régression différents avec le pourcentage de fraction agrégée au benzène.

Etude du comportement de la terre en milieu concentré

Les différents tests de l'analyse d'agrégats et l'indice I_s qu'ils permettent de calculer s'avèrent dans certains cas insuffisants à rendre compte du comportement effectif de la terre au champ.

Ainsi, certaines parcelles, sises au Centre National de Recherches Agronomiques, qui reçoivent des doses massives de chaux ou de calcaire broyé depuis 1928, bien que leur comportement indique une meilleure stabilité que les parcelles témoins non chaulées, ne peuvent être distinguées

de ces dernières par l'analyse des agrégats. D'une façon plus générale cette méthode ne permet pas, sauf cas extrêmes, de rendre compte des variations de stabilité dues à des modifications de la composition ionique du sol.

Pour combler cette lacune de la méthode et lui donner une application plus générale S. HENIN *et al.* ont proposé le principe d'une étude du sol en milieu concentré. Le premier test essayé, qui consistait à évaluer la quantité d'argile restant en suspension dans les conditions standard avec des rapports terre/eau variant de 0,2 à 0,8, s'est avéré peu sûr. En effet, la présence d'une petite quantité de sels solubles ou d'une grande quantité d'argile dans l'échantillon initial peut en provoquer la floculation accidentelle.

Aussi ce test a-t-il été remplacé par un test de percolation. Rappelons d'ailleurs que c'est par des expériences mettant plus ou moins directement en cause la percolation que SCHLOESING avait, dès 1885, mis en évidence l'action de la chaux sur les propriétés physiques du sol.

Le principe en est l'évaluation du coefficient de perméabilité K de la formule de DARCY déterminé par la percolation d'eau distillée à travers un échantillon de sol remanié.

Notons tout d'abord qu'une telle mesure est fondamentalement différente d'une perméabilité de sol en place. Les résultats seront influencés par la plus ou moins grande résistance au colmatage du filtre de terre mis en place au laboratoire et indépendante, à priori, de la structure du sol au champ.

La mise au point d'une telle méthode de mesure est délicate, car les conditions dans lesquelles on opère sont susceptibles d'influencer très sensiblement les résultats.

Plusieurs conditions doivent, en effet, être remplies pour que les résultats soient d'une part suffisamment reproductibles, d'autre part aussi indépendants que possible de phénomènes accidentels, liés au comportement particulier de certains sols soumis à une charge d'eau dans des tubes de diamètre limité :

- Le dégazage de la terre doit être aussi complet que possible, la présence d'air occlus pouvant perturber totalement la mesure.
- Les possibilités de gonflement de certaines terres montmorillonitiques, ou riches en matières organiques, doivent être préservées au maximum, faute de quoi l'échantillon enfermé dans un tube étroit se coince, devenant ainsi très imperméable. Le résultat est donc arbitraire car trop lié au degré de tassement du sol lors du remplissage des tubes.
- Enfin, il faut éviter en remplissant le tube de fabriquer un filtre complexe dont le coefficient K global serait fortement influencé par la partie la moins perméable. La répartition du sol dans le tube doit donc être aussi homogène que possible.

Pour éviter tous ces inconvénients, il est proposé la technique suivante :

Technique de percolation

- La préparation de l'échantillon est la même que pour l'analyse d'agrégats. La prise d'essai est de 50 g prélevés en une dizaine d'endroits différents de l'échantillon homogénéisé et étalé.
- Les tubes de percolation utilisés sont des tubes de verre de 32 mm de diamètre environ, calibrés, et de 160 mm de hauteur, ourlés aux deux extrémités pour la fixation de la toile filtrante ; cette dernière est découpée dans une étamine de 0,5 mm de maille environ. On peut avantageusement utiliser une toile à bluter en nylon. Pour éviter le colmatage de la toile, on la surmonte d'une colonne de 20 mm de graviers de 3 à 4 mm de diamètre, lavés et conservés dans l'eau pour leur assurer une bonne mouillabilité.
- Les tubes garnis de graviers sont disposés dans des béciers de 250 ml forme haute, et on ajoute de l'eau distillée de façon à ce que le niveau commun dans le bécier et dans le tube s'établisse à 20 mm environ au-dessus de la surface supérieure de la colonne de graviers, elle-même bien horizontale.
- On introduit progressivement 1/5 environ de l'échantillon de terre de façon à ce que les particules tombent au milieu du tube. A la fin de cette addition, une rotation rapide du tube autour de son axe égalise la surface de la colonne de terre, le tube plongeant dans l'eau.
- On ajoute alors 20 mm d'eau dans le tube au-dessus de la surface de terre et on égalise la surface par une rotation après avoir amené l'eau dans le bécier au même niveau.
- Une deuxième fraction de 10 g est alors introduite. On recommence l'opération jusqu'à épuisement de l'échantillon.

Remarque

1°) Les grains de terre doivent toujours tomber dans un excès d'eau. Dans le cas de terre très peu dense (riche en matières organiques), il faut introduire la terre en plus de 5 fois.

2°) De même, certaines terres très organiques à la fois denses et peu mouillables ont tendance à flotter à la surface de l'eau. On attend alors un moment et on introduit la terre très lentement et par très petites fractions (5 g par exemple).

Lorsque le remplissage est terminé, on relie le tube à un bac d'alimentation à niveau constant contenant de l'eau distillée. La percolation se fait donc sous une charge constante.

L'eau de percolation recueillie pendant les 5 premières minutes est éliminée et on mesure le volume percolé pendant 1 heure.

Expression des résultats

On établit pour chaque échantillon le coefficient K :

$$K = \frac{e.V.}{H.S.}$$

e = hauteur en cm de la colonne de terre (non compris évidemment les 20 mm de graviers).

V = Volume en cc recueilli au cours de la première heure de percolation.

H = Hauteur en cm dans le tube entre la toile filtrante (limite inférieure de la colonne d'eau) et la surface libre de l'eau.

S = Section intérieure du tube en cm².

K s'exprime donc en cm d'eau/heure.*

Les résultats obtenus varient de 30 à 60 cm/h dans le cas de rendzine, jusqu'à 0 dans le cas de terres sodiques ou de marnes argileuses par exemple.

* On considère dans le calcul que la perméabilité de la couche de graviers est infinie. Ceci implique que l'on utilise des graviers calibrés dont le diamètre ne soit en aucun cas inférieur à 3 mm.

Exemple de calcul :

$$\begin{array}{l}
 e = 80 \text{ mm} \\
 V = 256 \text{ cc} \\
 H = 145 \text{ mm} \\
 S = 8 \text{ cm}^2
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 K = \frac{6 \times 256}{14,5 \times 8} = 13,2 \text{ cm/h} \\
 \log_{10} K = 2,12
 \end{array}$$

Calcul de l'erreur : e et H sont appréciés à 1 mm près ce qui conduit à une erreur relative moyenne pour l'ensemble de ces deux mesures égale à 2,5%.

Pour V l'erreur relative, que nous avons observé au cours de séries de mesures correctement exécutées, ne dépasse jamais 7 à 8%.

L'erreur relative qui entache l'évaluation de l'indice K est donc de 10% au plus.

N.B. — Seul intervient dans le calcul de K le volume recueilli de 5 min. à 1 h.05, le temps 0 correspondant à l'établissement de la charge.

Il est bon cependant de laisser percoler plusieurs heures de façon à suivre la variation de K en fonction du temps.

Certaines terres riches en sels solubles voient K décroître rapidement lorsqu'elles sont sodiques ou peut-être magnésiennes.

Lorsque la valeur de K diminue de plus de 40% en deux heures, le jugement à porter sur l'échantillon devra être réservé, l'hystérésis pouvant avoir perturbé son comportement.

Valeurs de l'indice K observées pour différents types de sols :

<i>Types de sols</i>	<i>K cm/h</i>
— Rendzine sur calcaire tendre	59,5
— Horizon A ₁ de podzol sur sables	29,5
— Rendzine Afrique du Nord	11
— Sol brun calcaire Afrique du Nord	8,5
— Terre de limon à excellente structure	6,9
— Horizons supérieurs de sols ferrallitiques sous forêt	4 à 10
— Horizons supérieurs de tirs d'Afrique du Nord	4 à 5
— Horizons supérieurs de sols ferrugineux tropicaux sous savane	4 à 5
— Horizons supérieurs de sols ferrugineux tropicaux après culture de 3 ans	2
— Terre de limon chaulée	4
— Terre de limon sodique	1,2
— Sols hydromorphes sur alluvions du Sénégal	0,5 à 1,0
— Horizon A ₂ de podzol (Orne)	0,4
— Horizon superficiel de sols à alcalis du Nord-Cameroun et du Tchad	0,1
— Horizon profond de Solonetz (Marais Rochefortais)	0

Il apparaît que l'amplitude de variation de K (de 0 à 60 cm/h) est tout à fait suffisante pour permettre un classement précis des différentes terres. Même un traitement relativement modéré (chaulage ou apport de nitrate sur une même terre de limon) fait apparaître une différence sans commune mesure avec la marge d'erreur inhérente à la technique utilisée.

Les exemples précédents ont montré le parti que l'on peut tirer de l'indice global et de ses deux composantes I_s et K. Nous avons représenté

graphiquement les résultats obtenus avec des sols provenant d'Europe, d'Afrique du Nord, d'Afrique tropicale et équatoriale et également des Antilles et de Guyane.

On peut remarquer que les différents types ne se répartissent pas indifféremment le long de la droite de régression. Parmi les meilleures stabilités structurales figurent les horizons supérieurs de rendzines, de sols ferrallitiques sous forêt ou sur roches basiques, et quelques sols ferrugineux tropicaux sous savane.

Par contre, nous trouvons vers les très mauvaises stabilités structurales les terres salées et sodiques, pour la plupart d'entre elles en dessous de la droite.

II. APPLICATION DE LA METHODE A L'ETUDE DE QUELQUES PROBLEMES PEDOLOGIQUES

Un nombre élevé d'échantillons, appartenant à des types de sols tempérés et tropicaux variés, ont été soumis systématiquement aux divers tests de l'analyse de structure. Nous tenterons de dégager, brièvement, une synthèse des résultats obtenus, en mettant en relief les parallèles entre les observations de terrain et les résultats d'analyse.

A. — La stabilité structurale est une notion indépendante de celle de la texture

La notion de comportement physique d'un sol a été longtemps considérée comme dépendant directement de la granulométrie. Il est encore assez fréquent de voir assimiler la perméabilité d'un sol en place à son caractère plus ou moins sableux. Les observations sur le terrain ont démontré que la perméabilité du sol dépend en réalité de sa structure, qui est elle-même assez indépendante de la granulométrie. Ce fait est particulièrement visible sur certains sols tropicaux, et les tests en laboratoire, bien que donnant une valeur de la vitesse de filtration différente de celle obtenue par les mesures effectuées sur place, le confirment. A titre d'exemple, on peut comparer les résultats obtenus sur les sols hydromorphes argileux sur alluvions de la vallée de l'Ouémé (Dahomey) et sur les sols ferrugineux tropicaux sableux de Casamance (Sénégal) :

	Profondeur	Argile %	Sables grossiers	M.O. %	K cm/h	I _s
Ouémé . . .	0-5	70	ε	14,5	23,5	0,21
	20-30	84,3	ε	4,8	6,6	0,26
Séfa	0-10	8 à 12	28 à 34	0,8 à 1,9	2,1	0,9

Ces résultats montrent une perméabilité bien plus élevée des sols de l'Ouémé, à teneur en argile particulièrement élevée, mais riches en matière organique, bien structurés et stables, que sur les sols de Casamance pourtant très sableux, mais pauvres en matière organique, et présentant un caractère battant. La valeur de I_s est en accord avec la valeur de la vitesse de filtration.

Les exemples de ce genre sont nombreux : la plupart des échantillons de surface des sols ferrallitiques typiques ont une perméabilité élevée ou moyenne, et un indice d'instabilité généralement inférieur à 1. On constate en particulier que la vitesse de filtration est de l'ordre de 6 à 10 cm/h, même lorsqu'il s'agit de sols ferrallitiques sur basalte ancien (Cameroun) pour lesquels la teneur en éléments fins est le plus souvent comprise entre 60 et 80%.

N° échantil.	Profondeur	A + L	K cm/h	Type de sol
C 51	200	85,0	8,6	} Sols ferrallitiques rouges sur basaltes anciens de l'Adamaoua.
C 61	50	71,0	5,9	
YC 12	110	80,0	6,8	} Sols ferrallitiques rouges sur embréchite de Yaoundé.
YC 21	250	75,0	6,3	

Signalons également le cas des horizons A_2 cendreaux de podzols qui, dans tous les cas, montrent un indice d'instabilité médiocre ou mauvais, une perméabilité réduite, bien qu'ils soient essentiellement sableux et dépourvus d'éléments fins. Ce fait, signalé déjà sur plusieurs profils de podzols de France, a été confirmé sur plusieurs sols du même type en Guyane (K est alors inférieur à 2 cm/h).

Enfin, quelle que soit leur granulométrie, tous les sols riches en sodium ou magnésium sont connus pour être très peu perméables, en particulier s'ils ne contiennent pas de sel libre, et pour avoir une mauvaise stabilité structurale. La méthode proposée traduit particulièrement bien ce fait : tous les sols sodiques ou magnésiens sont caractérisés par une valeur de K très faible (généralement inférieure à 1 cm/h) et un indice I_s élevé. Nous reviendrons ultérieurement sur ce point.

Ces diverses constatations mettent en évidence le fait que la méthode d'étude utilisée rend compte de l'indépendance des deux notions de stabilité structurale et de texture.

B. — Rôle de la matière organique sur la structure

L'un des problèmes fondamentaux posés par les sols tropicaux est celui du maintien de leur fertilité lors de la mise en culture. La diminution de fertilité consécutive au défrichement dépend, pour une part, de la dégradation de la stabilité structurale. Nous avons pu constater que cette

dégradation se traduit, souvent de façon très nette, par une augmentation de l'indice d'instabilité structurale et qu'elle est liée à la diminution de la teneur du sol en matière organique.

Ce fait était prévisible, dans une certaine mesure, compte-tenu de l'allure des courbes représentant I_s en fonction de la profondeur dans un même profil de sol (graph. 2). La valeur de I_s augmente en général avec la profondeur, et cette augmentation est particulièrement nette lorsqu'on passe de l'horizon supérieur organique à l'horizon sous-jacent, les différences observées n'étant pas explicables d'après les seules variations de la granulométrie. Par ailleurs, il se trouve que la variation de I_s dans les profils de podzols est particulièrement caractéristique (graph. 3 et 3 bis). En effet, I_s qui atteint des valeurs élevées dans l'horizon A_2 cendreux ($1 < I_s < 10$) diminue de façon importante dans l'horizon B_1 d'accumulation d'humus ($0,1 < I_s < 0,2$) avant de croître de nouveau dans les horizons inférieurs. Nous avons donc étudié systématiquement dans divers types de sols tropicaux, les variations de I_s en fonction de la teneur en matière organique du sol, donc en comparant les sols sous forêt (ou sous savane) et les sols cultivés.

a) **République Centrafricaine.** Dans une précédente étude ⁴ nous avons montré que l'indice d'instabilité structurale des sols ferrallitiques de la région de Grimari était en corrélation étroite avec le carbone d'une part, la teneur en éléments fins d'autre part. Pour une granulométrie donnée, l'indice d'instabilité s'accroît lorsque la teneur en carbone diminue, la courbe représentative pouvant être assimilée à une hyperbole : la diminution de la stabilité est donc plus rapide que l'abaissement de la teneur en matière organique totale.

Sur une autre série de sols ferrallitiques présentant une gamme de granulométrie plus restreinte, nous avons constaté l'existence d'une corrélation entre I_s et la teneur en carbone, corrélation qui est sensiblement rectilinéaire et s'exprime par l'équation (graph. 4) :

$$I_s = -1,327 C\% + 3,1 \quad P > 0,001, \text{ ceci dans une gamme de teneur en carbone comprise entre } 1,0 \text{ et } 1,7\%.$$

Si l'on compare, parmi les échantillons ci-dessous provenant tous de parcelles contiguës, les sols sous savane ou jachère et ceux sous culture, on obtient, exprimés en Σ^* , les résultats suivants :

- Moyenne de 9 échantillons sous savane ou jachère : $\Sigma = 80$.
- Moyenne de 12 échantillons sous culture : $\Sigma = 66$.

La dégradation de structure consécutive à la culture est donc très sensible. Elle se manifeste d'ailleurs dans divers tests de l'analyse, mais plus particulièrement sur la fraction agrégée stable après prétraitement au benzène, qui rend précisément compte de la teneur du sol en matière

* L'expression des résultats en Σ consiste à rabattre le point représentatif d'un échantillon sur la droite de régression générale graduée de 0 à 100 (voir graphique 1).

organique.⁵ Rappelons que nous avons toujours considéré la teneur en carbone total (méthode WALKLEY et BLACK) et non pas la matière organique humifiée (extraction au pyrophosphate de sodium à pH 10) : les divers corrélations obtenues sont meilleures lorsque l'on tient compte de la fraction (matière organique totale — matières humiques) mais nous n'avons pu encore préciser si ce fait est dû au rôle de la matière organique fraîche, ou simplement à une méthode imparfaite de dosage de l'humus.

b) **Casamance.** Nous avons pu disposer d'un certain nombre d'échantillons prélevés sur la concession de la C.G.O.T. à Séfa, qui nous ont permis de suivre la stabilité structurale des sols à partir du début de leur mise en culture (culture mécanisée d'arachides).

Les résultats obtenus sont les suivants (exprimés en Σ). (Voir graphique 5) :

	Σ	M.O. %
Sols sous forêt	de 68 à 72	1,7 à 1,9
Sols cultivés en arachide depuis un an	de 60 à 64	1,1 à 1,2
Sols cultivés en arachide depuis deux ans	de 55 à 60	0,8 à 1,0
Sols cultivés depuis plus de 2 ans	de 55 à 60	0,8 à 1,0

On constate donc que les sols en question, sols ferrugineux tropicaux très sableux, ont, au départ, une stabilité structurale satisfaisante, et une perméabilité plutôt faible. Mais, dès la première année de culture, une dégradation se manifeste nettement et elle affecte l'indice I_s plus que le coefficient K. Cette dégradation se poursuit lors de la seconde année de culture et paraît atteindre son maximum en 3^e année. Nous avons noté parallèlement une diminution de la teneur du sol en matière organique. Cette diminution du taux de matière organique est déjà nettement visible au simple examen des fractions agrégées stables avec ou sans prétraitement, ainsi que l'indique le graphique 6 représentant les 3 fractions agrégées pour les témoins sous forêt (5 échantillons) et les parcelles cultivées (15 échantillons).

c) **République du Congo.** Une étude analogue a été entreprise sur un certain nombre d'échantillons de sols faiblement ferrallitiques sur argiles de la Vallée du Niari, sols sur lesquels nous disposons d'estimations de la stabilité structurale sur le terrain. Là encore, les résultats obtenus pour I_s sont en accord avec les estimations basées sur l'examen du profil et le comportement du sol en place, les sols considérés comme en bon état coïncidant avec ceux pour lesquels I_s est inférieur à 1. Mais il faut ajouter que le classement obtenu lors du test au benzène est en étroite corrélation avec les observations de terrain d'un part, les teneurs en matière organique d'autre part.

Sur 24 échantillons étudiés, citons les chiffres obtenus aux deux extrémités de la gamme de stabilité structurale qu'ils représentaient :

Echant.	Appréciation sur le terrain	(Ag.B — S.G.) %	C %	I _s
24	Structure particulièrement stable	60	5,2	0,22
5	Structure régénérée par 2 ans de canne	28	3,7	0,49
23	Parcelle à structure très stable	27	3,1	0,69
19	Structure très stable	21	2,9	0,88
12	Structure stable	18	2,0	0,29
9	Structure restaurée par Sesbania	17	2,3	0,72
14	Parcelle récemment défrichée	14	2,4	0,88
22	Parcelle à structure assez stable	12	2,8	0,99
4	} Structure instable	2,8	1,8	1,49
11		3,2	1,8	1,36
21		4,8	2,7	1,35
20		1,0	1,7	1,87
	Structure très instable			

Les divers résultats exposés ci-dessus nous incitent à penser que la méthode utilisée, et plus particulièrement le test au benzène, illustrent de façon démonstrative le rôle de la matière organique sur la stabilité de la structure des sols tropicaux. Nous avons donc été amenés à rechercher **l'effet des pratiques tendant à régénérer la structure** des sols dégradés.

a) **Casamance.** Les essais d'amélioration des sols épuisés par jachère et engrais vert ne se traduisent pas par une amélioration notable de l'indice d'instabilité structurale ou de la perméabilité. La comparaison de divers traitements avec 6 répétitions permet cependant de montrer que le traitement "jachère de 3 ans" se place en tête, devant le traitement "engrais vert 3 ans (sorgho)" mais les différences ne sont pas statistiquement significatives.

b) **République Centrafricaine.** Dans un essai d'épuisement des sols sous culture continue de coton (Station de Bambari), nous avons pu observer que les parcelles recevant régulièrement du fumier de ferme avec ou sans paille ont en moyenne un indice d'instabilité structurale meilleur que le témoin et que les parcelles avec engrais :

Traitement	I _s moyenne de 6 répétitions	C % moyenne de 6 répétitions
— Savane limitrophe	0,77	1,44
— Parcelle avec fumier	1,19	1,42
— Parcelles avec fumier + paille	1,26	1,37
— Parcelles avec engrais	1,46	1,21
— Parcelles sans engrais ni fumier	1,91	1,14

Dans ce cas, l'amélioration consécutive à un apport de matière organique est donc sensible, d'autant plus que l'essai n'est en cours que depuis 3 ans.

c) **Soudan.** Sur quelques profils prélevés, dans la Vallée du Niger, dans des rizières en culture continue depuis 25 ans, nous avons pu observer une amélioration consécutive à un paillage répété : l'indice d'instabilité, très mauvais pour ce type de sol ($I_s \# 3$ à 4) ne varie pratiquement pas, mais le coefficient \bar{K} est sensiblement amélioré, ce qui se traduit, en définitive, par une amélioration de Σ (50 à 53 avec paillage, 45 sans paille) :

Echantillon	Traitement	I_s	\bar{K}	Σ
Kayo 1	} Sans paille . . .	3,2	1,1	46
2		3,8	1,2	45
3	} Avec paille . . .	2,9	1,8	50
4		3,5	2,6	53
5		3,1	2,0	51

C. — Rôle de la salure sur la structure

Parmi les échantillons de sols d'outre-mer que nous avons pu analyser, figuraient des sols salés ou à alcali. Nous avons pu constater que tous ces sols ont un comportement sensiblement constant lors de l'analyse de stabilité structurale : ils sont caractérisés par des fractions agrégées très faibles sans prétraitement ou avec le prétraitement au benzène. Le prétraitement à l'alcool donne des valeurs d'autant plus élevées que la teneur en éléments fins est plus forte, mais ces valeurs restent cependant, à granulométrie voisine, inférieures à celles des sols non salés (graphique 7). La dispersion maximum est forte, et après prétraitement au benzène, correspond pratiquement à la totalité des éléments 0-20 μ obtenus dans l'analyse mécanique. L'indice d'instabilité est donc toujours élevé en règle générale ; les sols salés ou à alcali ont un indice I_s toujours supérieur à 2, très souvent supérieur à 10 et dépassant parfois 100. Par ailleurs, la vitesse de filtration est toujours faible : elle est toujours inférieure à 2 cm/h, et le plus souvent, voisine de 0,5 cm/h. Il en résulte que les sols salés ou à alcali sont invariablement situés dans une même zone du graphique général, zone correspondant à $0 < \Sigma < 50$ (graphique 8). Lorsque salure ou alcalinisation sont fortes, Σ oscille entre 0 et 30. Les sols à alcali proprement dits montrent une tendance nette à se grouper au-dessous de la droite de régression.

On constate que les sols riches en magnésium échangeable se comportent comme les sols à alcali. C'est en particulier le cas de certains sols de l'Ouest du Tchad et du Nord-Cameroun, et également de certains sols hydromorphes légèrement salés de la Vallée du Sénégal. On ne peut toutefois en déduire l'existence d'une relation de cause à effet entre instabilité structurale et teneur en Mg échangeable : nous avons en effet recherché sur d'autres types de sols (sols ferrallitiques et sols noirs tropicaux) le rôle des cations échangeables sur la stabilité structurale et nous avons constaté l'existence d'une corrélation inverse entre I_s et le rapport :

$$\frac{\text{Ca}^{++} \text{ éch.} + \text{Mg}^{++} \text{ éch.}}{\text{Capacité d'échange}}$$

Compte-tenu du fait qu'il n'y a pas de corrélation entre d'une part I_s et d'autre part $\frac{\text{Ca}^{++} \text{ échangeable}}{\text{Capacité d'échange}}$, ou $\frac{\text{Mg}^{++} \text{ échangeable}}{\text{Capacité d'échange}}$ ou encore

$\frac{\text{Mg}^{++} \text{ éch.}}{\text{Ca}^{++} \text{ éch.} + \text{Mg}^{++} \text{ éch.}}$, on peut en déduire que Mg^{++} et Ca^{++} agissent

simultanément dans le même sens, la stabilité structurale s'améliorant lorsque la proportion d'ions bivalents dans le complexe absorbant augmente.

Le comportement à l'analyse des sols salés ou à alcali est illustré par les quelques exemples ci-dessous :

Origine	Type de sol	I_s	K cm/h
Nord-Cameroun	Sol à alcali	3,2	0,1
Tchad	„	2,7	0,3
„	„	4,3	0,3
„	„	4,5	0,2
Sénégal	Sol hydromorphe légèrement salé non inondé	3,8	1,9
„	Inondé et cultivé	4,4 à 6,7 (sur 18 éch.)	0,5 à 1,2
Martinique	Sol argileux à montmorillonite magnésienne	4,0	0,2 à 0,4
Tunisie	Sol salé (chlorures et sulfates)	10 à 100 (sur 10 éch.)	0,4 à 0,6
Irak	Sol salé	> 100	0,1 à 0,2

D. — Dégradation de la structure avec la submersion

Dans un précédent article ⁶ nous avons tenté d'appliquer la méthode proposée à l'étude des conséquences de la submersion sur l'évolution des sols hydromorphes sur alluvions de la Vallée du Sénégal (Guédé). La submersion saisonnière des sols très argileux, entraîne une dégradation de structure qui se traduit par l'apparition en saison sèche d'importantes fentes de retrait. Lorsque les sols ainsi dégradés sont artificiellement soustraits à la submersion, la fissuration disparaît progressivement. La mise en culture de sols de ce type étant étroitement liée à une alimentation en eau convenable, on n'y pratique que des cultures de décrue. La Mission d'Aménagement du Sénégal a entrepris divers essais, en particulier pour étudier le rôle de la durée de la submersion et de la date de décrue des eaux sur les propriétés des sols et les rendements des cultures.

Nous avons pu vérifier grâce à l'étude de l'indice d'instabilité structurale, que les sols argileux type "hollaldé", dont la stabilité structurale est déjà mauvaise au départ, subissent une dégradation consécutive à la submersion. Cette dégradation dépend à la fois de la durée de l'inondation et de la date de retrait des eaux, mais le second facteur paraît jouer un rôle beaucoup plus important que le premier. En effet, si l'on représente par X la date de décrue (unité : la quinzaine de jours — zéro arbitraire le

1^{er} octobre) et par Y la durée de submersion (unité : la quinzaine de jours), l'étude statistique des résultats obtenus sur 90 échantillons conduit à la relation :

$$I_s = 0,162X + 0,094Y + 4,31.$$

Cette observation nous incite à préconiser une submersion relativement courte, mais surtout précoce, ce qui est en accord avec certaines constatations faites sur place sur les rendements des cultures.

E. — Observations diverses

Les quelques observations que nous venons de rapporter illustrent d'une part la nécessité d'une méthode d'étude de la stabilité structurale des sols, d'autre part le bien fondé de la technique que nous avons appliquée à un certain nombre de sols tropicaux ou méditerranéens.

a) Sur de nombreux autres points, qu'il serait trop long de citer ici, nous avons pu faire des remarques intéressantes en ce sens qu'elles tendent à souligner le parallélisme des observations sur le terrain et en laboratoire. Nous donnerons, à titre d'exemple, les conclusions d'une série d'analyses de stabilité structurale sur des sols du Cameroun (sols ferrallitiques sur basalte). Ces sols peuvent être considérés comme présentant des degrés d'évolution plus ou moins poussés d'un même type de sol, les conditions de climat et de nature de la roche-mère demeurant sensiblement comparables, le facteur de variation étant l'âge de la roche-mère (basalte récent sub-actuel, moyen, ou ancien (peut-être crétacé)). Nous avons constaté une évolution de l'indice d'instabilité structurale dans le sens de la dégradation lorsque l'on passe des sols jeunes sur basalte récent, aux sols sur basalte ancien. La vitesse de filtration évolue dans le même sens, mais de façon moins marquée :

Type de sol	Roche-mère	I_s	K
Sols ferrallitiques noirs ou bruns . . .	Basalte récent	0,14	11,9
		0,13	20,8
		0,14	14,6
		0,10	42,0
Sols ferrallitiques brun-rouge . . .	Basalte moyen	0,53	9,3
Sols ferrallitiques rouges . . .	Basalte ancien	1,69	8,6
		2,04	5,9
		1,62	5,8

Un classement comparable avait été déjà observé sur les sols de régions tempérées, classement qui faisait apparaître une diminution de stabilité structurale des horizons superficiels selon une séquence : rendzines, sols bruns calcaires, sols bruns lessivés, avec une diminution progressive de la vitesse de filtration. Ce classement avait été retrouvé sur certains types de sols méditerranéens, mais nous avons constaté un décalage systématique de ces types de sols par rapport à leurs homologues tempérés : c'est ainsi que

les rendzines du Maroc se situent sur le graphique général dans la même zone que les sols bruns calcaires de France, alors que les sols bruns calcaires méditerranéens tendraient à se localiser dans le secteur des sols bruns lessivés tempérés.

D'autres observations ont été faites qui tendent à mettre en évidence l'existence de diverses liaisons entre l'indice d'instabilité et certaines caractéristiques des sols étudiés. Signalons entre autres :

- b) le caractère apparemment assez général de la liaison entre I_s et le pH du sol. L'indice d'instabilité diminue lorsque le pH augmente : des corrélations significatives ont été obtenues sur les sols ferrugineux tropicaux, les sols ferrallitiques et les sols noirs tropicaux.
- c) l'existence de relations entre I_s et les caractéristiques hydriques des sols. Il semble qu'il existe une liaison entre la stabilité structurale et les teneurs en eau du sol aux valeurs faibles du pF (3,0 et 2,5) : en règle générale, le taux d'humidité pour un pF donné tend à diminuer lorsque la stabilité augmente. Cette relation a été vérifiée sur les sols noirs tropicaux, les sols ferrugineux, certains sols hydromorphes du Sénégal et certains sols bruns calcaires de France. Elle existe également sur les sols ferrallitiques, bien que dans ce cas, la liaison soit masquée par suite du rôle de la matière organique.

Signalons enfin que B. DABIN, utilisant les résultats de l'analyse de stabilité structurale, a pu les combiner avec certains autres caractéristiques physiques du sol, en particulier porosité utile et eau utilisable. Il est ainsi parvenu à définir plusieurs indices de structure permettant de juger la qualité structurale relative de divers sols tropicaux.⁷ Il a de plus, réussi à mettre en évidence l'existence de relations entre ces indices de structure et la productivité des sols en culture irriguée.⁸

En conclusion, il semble que l'on dispose d'une méthode permettant une appréciation générale de la stabilité structurale, et, dans une certaine mesure de l'interprétation de ses causes. Il ne faut cependant pas oublier que la stabilité de la structure est une chose et que la structure du sol en place en est une autre. Les techniques culturales, les conditions de travail du sol, l'assainissement permettent de lutter contre la dégradation de la structure et d'obtenir de bonnes récoltes sur des sols présentant une stabilité structurale médiocre. Ceci est particulièrement vrai pour les cultures de faible durée, spécialement les plantes annuelles.

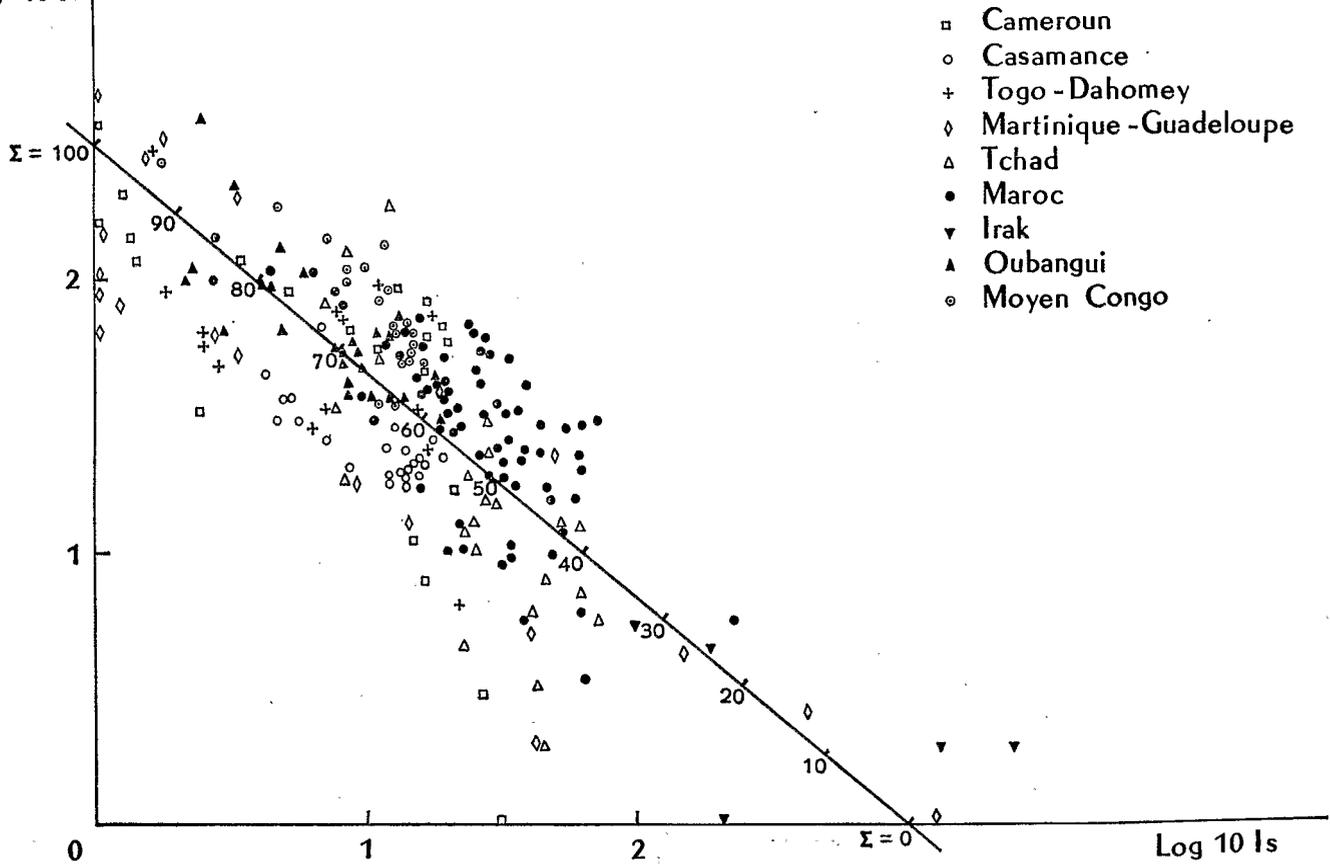
Mais il existe par ailleurs une limite, variable avec les conditions climatiques du lieu, au delà de laquelle l'instabilité ne peut plus être suffisamment compensée par les techniques culturales, même très élaborées. Les inconvénients culturels résultant de cette mauvaise stabilité structurale ne sont d'ailleurs pas constants pour un lieu donné, mais dépendent à la fois de la culture et des conditions climatiques de l'année.

Ces remarques soulignent les difficultés rencontrées dans l'application des principes que nous avons cherché à définir et indiquent la voie dans laquelle il faut chercher à améliorer une stabilité structurale insuffisante ou bien, lorsque c'est encore possible, à pallier les inconvénients qui en découlent.

BIBLIOGRAPHIE/BIBLIOGRAPHY

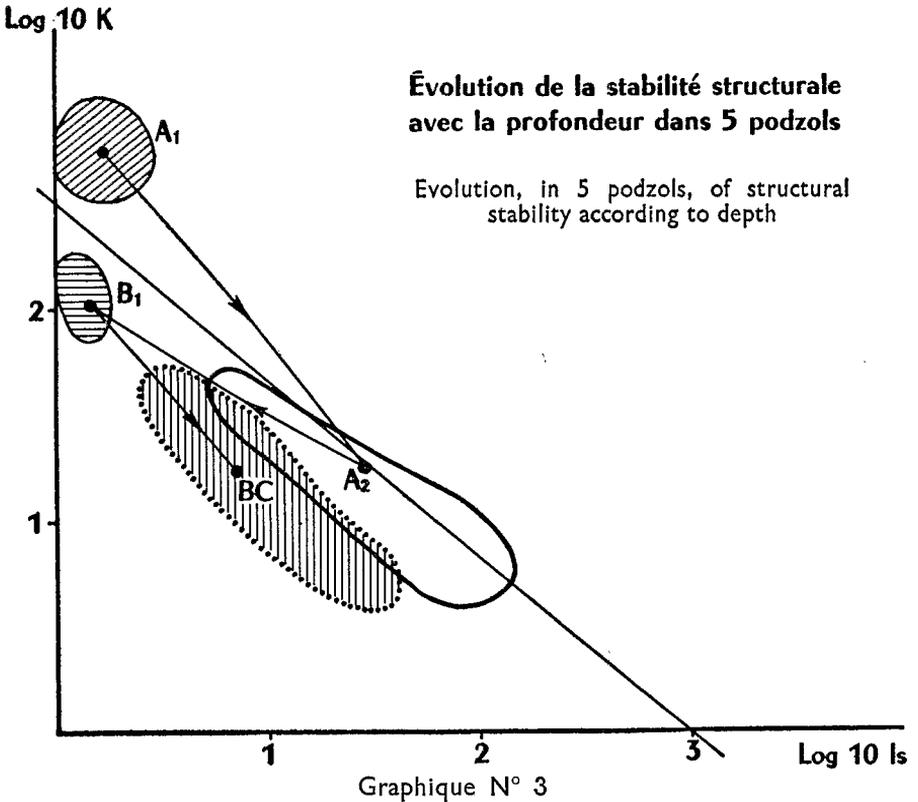
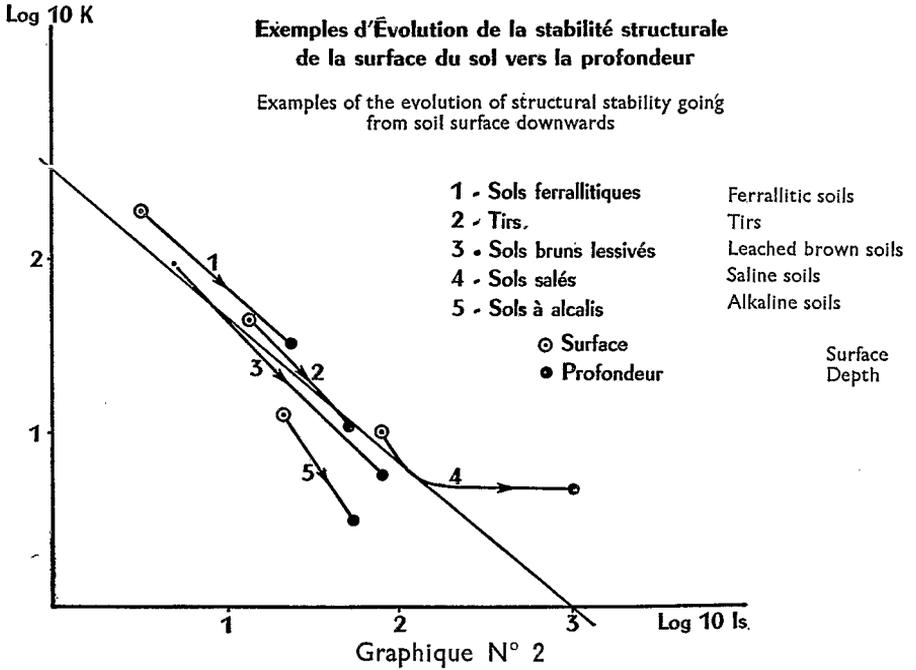
- 1 **Henin, S., Monnier, G., et Combeau, A.** Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. (Method for the study of the structural stability of soils.) *Ann. Agron.*, 1958, **1**, pp. 73-92.
- 2 **Morel, R., et Masson, P.** Étude de la structure du sol des parcelles du champ d'expérience de la Station Agronomique de Grignon. (Study of the structure of soil in experimental plots at Grignon Agronomic Station.) *C.R. Acad. Agric.*, avril 1958, **8**, pp. 406-410.
- 3 **Meriaux, S.** Stabilité structurale et composition des sols. (Structural stability and soil composition.) *C.R. Acad. Agric.*, nov. 1958, **16**, pp. 799-803.
- 3' **Monnier, G.** Influence des prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. (Influence of temporary meadows on the structure of a loam soil.) *C.R. Acad. Agric.*, février 1957.
- 4 **Combeau, A.** Quelques facteurs de la variation de l'indice d'instabilité structurale dans certains sols ferrallitiques. (Some factors in the variation of the index of structural instability in certain ferrallitic soils.) *C.R. Acad. Agric.*, janvier 1960, pp. 103-115.
- 5 **Boyer, J., et Combeau, A.** Étude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de République Centrafricaine. (A study of the structural stability of some ferrallitic soils from the Central African Republic.) *African Soils*, 5 (1): 5-42, janv.-avril 1960 (F — E).
- 6 **Maynard, J., et Combeau, A.** Effet résiduel de la submersion sur la structure du sol (Mise en évidence à l'aide de l'indice d'instabilité structurale de S. Henin). (The residual effect of submersion on soil structure (Demonstrated by applying S. Henin's index of structural stability).) *African Soils*, 5 (2): 123-148, mai-août 1960 (F — E).
- 7 **Dabin, B.** Utilisation d'un indice de structure pour la détermination de la qualité physique des sols tropicaux — Rapport ORSTOM. (Utilisation of an index of structure for determining the physical quality of tropical soils—ORSTOM Report.)
- 8 **Dabin, B.** Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée — Rapport ORSTOM. (The factors of soil fertility under irrigated cropping in tropical regions—ORSTOM Report.)

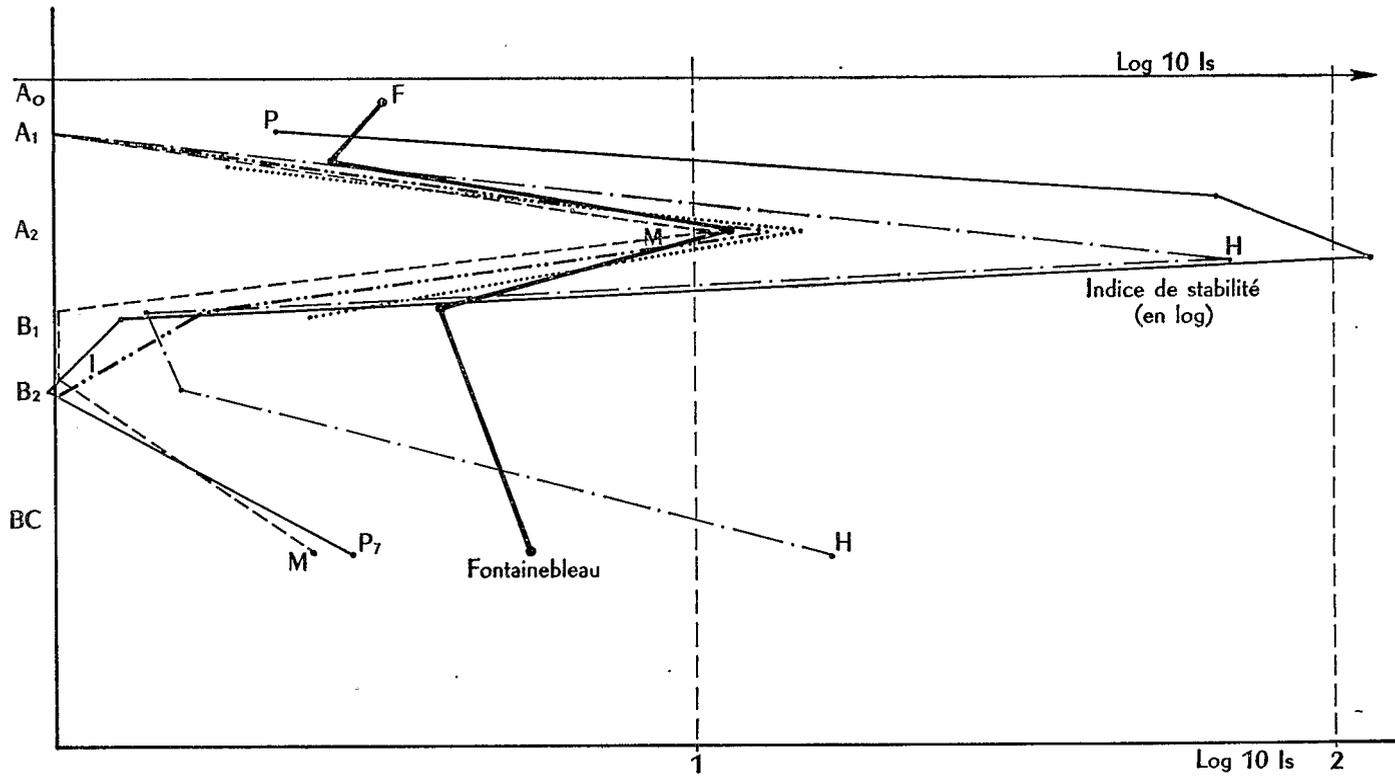
Log 10 K



Graphique N° 1

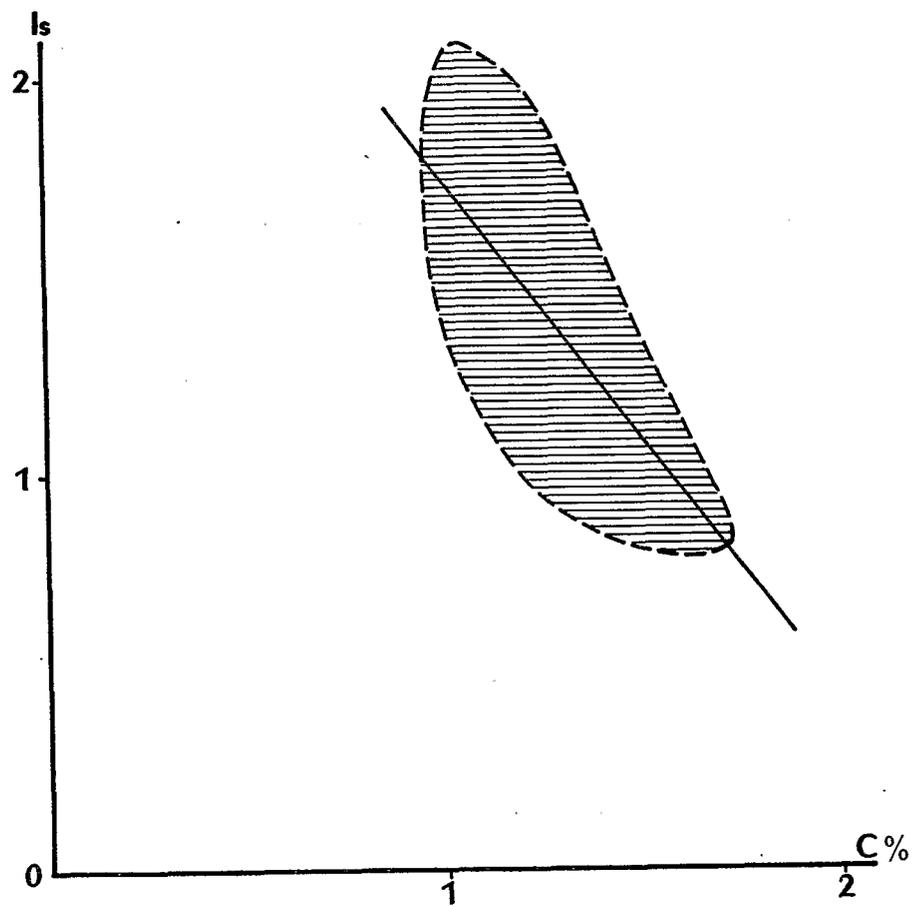
SOLS AFRICAINS



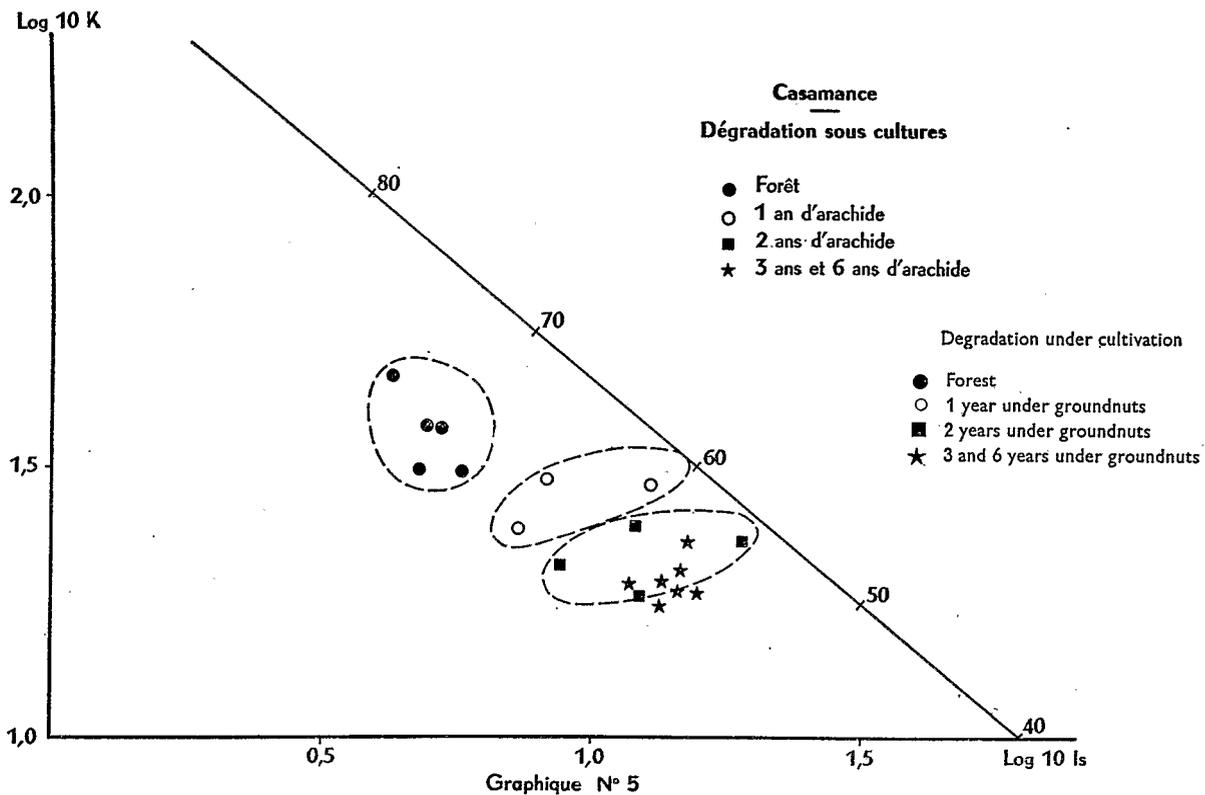


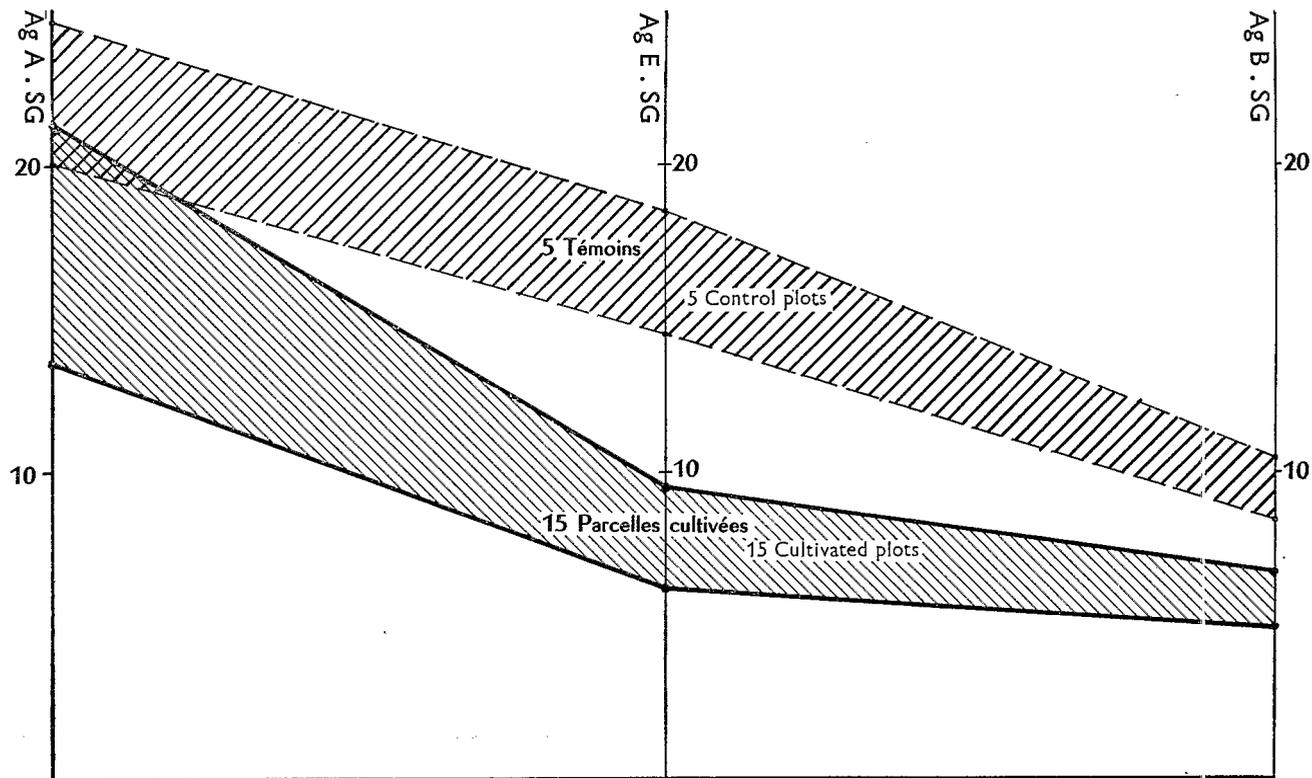
Graphique N° 3 bis

SOLS AFRICAINS

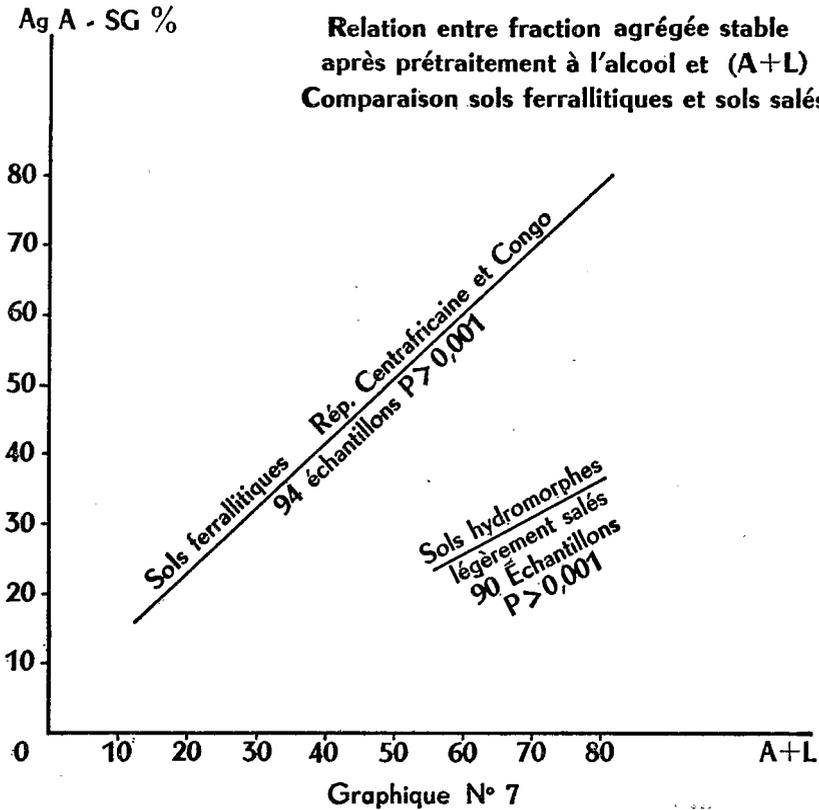


Graphique N° 4





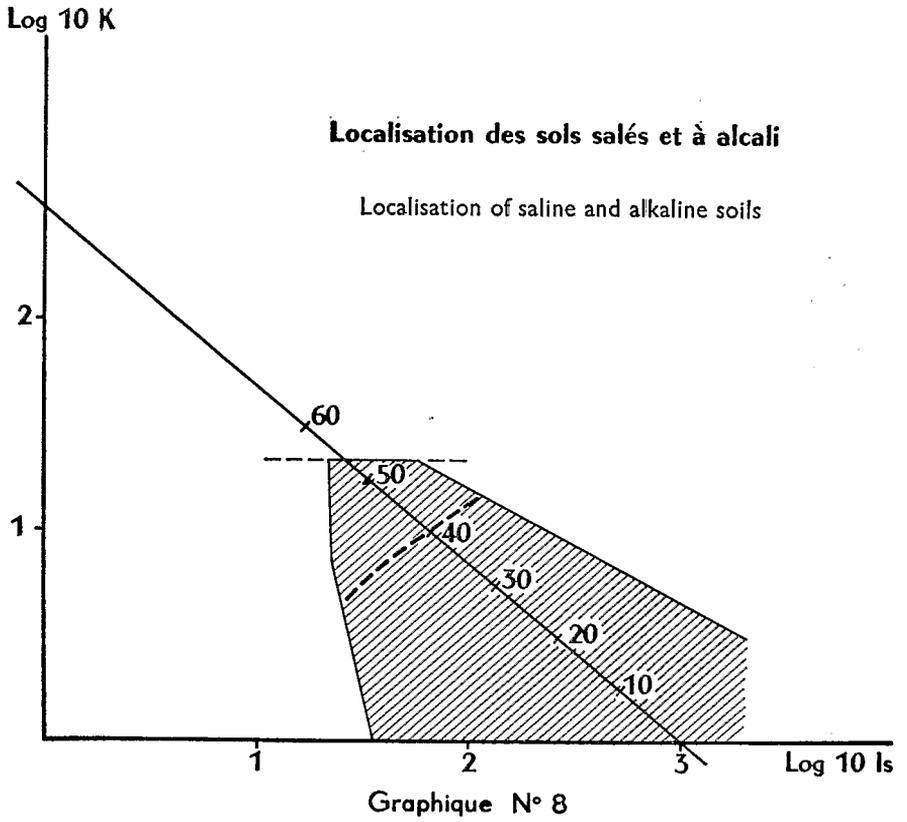
Graphique N° 6



Relation between stable aggregated fraction after pretreatment with alcohol and (C + S)
Comparison of ferrallitic soils and saline soils

Ferrallitic soils Cent.
African Rep. and Congo
94 samples $P > 0.001$

Hydromorphic soils
slightly saline
90 samples
 $P > 0.001$



B. Poin

Méthode d'Etude de la Stabilité Structurale

Application aux Sols Tropicaux

A. COMBEAU et G. MONNIER

Reprinted from :

SOLS AFRICAINS, VOL. VI, No. 1, pp. 5-32



O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire
N° : 11068 ex 1
Cote : B