

QUELQUES FACTEURS DE LA VARIATION DE L'INDICE D'INSTABILITÉ STRUCTURALE DANS CERTAINS SOLS FERRALLITIQUES

par A. Combeau (O.R.S.T.O.M.)

(Note présentée par M. Hénin)

L'un des éléments essentiels de la fertilité des terres tropicales est la stabilité de leur structure. Cette stabilité dépend de nombreux facteurs agissant en étroite association. Si tous ces facteurs intervenaient de façon identique, il ne serait pas nécessaire de déterminer l'indice d'instabilité structurale défini antérieurement : il suffirait de combiner entre eux les résultats de diverses analyses, par exemple, analyse granulométrique et détermination du taux de matière organique.

Nous nous proposons donc de reprendre, sur des terres tropicales, l'étude du rôle de divers facteurs, étude réalisée déjà sur certains sols de la métropole, afin de déterminer si l'action de ces facteurs est identique.

La détermination de l'indice d'instabilité structurale I_s défini par S. Hénin et G. Monnier comporte, entre autres techniques, la mesure des taux d'agrégats stables à l'eau avec et sans prétraitements. Les prétraitements ont pour but de mettre en évidence l'action des facteurs influant en pratique sur la stabilité structurale.

On considère que, dans le prétraitement à l'alcool éthylique, les facteurs de résistance jouent au maximum, alors que, par le prétraitement au benzène, se manifeste en particulier la résistance des terres riches en matière organique. L'application de cette technique à un certain nombre d'échantillons de sols ferrallitiques de République Centrafricaine nous a permis d'étudier certains des facteurs susceptibles d'influer sur le taux d'agrégats stables à l'eau dans les sols de ce type.

Les échantillons analysés ont été prélevés aux environs de Grimari. L'intérêt de l'étude réside dans le fait que ces échantillons, tout en appartenant à un même type génétique (sols ferrallitiques typiques), montrent cependant d'importantes variations de composition physique. C'est ainsi par exemple que la teneur en éléments fins (0-2 μ) couvre une gamme s'étendant entre 8,5 et 33,5 p. 100.

L'étude statistique des chiffres obtenus a permis de mettre en évidence l'existence de corrélations entre les fractions agrégées obtenues dans les différents cas et certains constituants physiques du sol. Par fraction agrégée, nous entendons la différence entre le taux d'agrégats stables restant sur le tamis après tamisage sous l'eau et les sables grossiers intervenant dans la constitution de ces agrégats.

1° Fraction agrégée stable sans prétraitement (AgE — S.G.).

Il existe une corrélation hautement significative (sur 30 échantillons) entre cette fraction et la teneur en éléments fins. Lorsque l'on ne considère que la fraction A dite « argileuse » 0-2 μ , l'équation de régression obtenue est :

$$(AgE - S.G.) = 0,64 A + 9,8$$

$$r = 0,493 \quad P > 0,99$$

Si l'on tient compte de la fraction (argile + limon) 0-20 μ on obtient l'équation :

$$(AgE - S.G.) = 0,58 (A + L) + 8,2 \quad r = 0,475 \quad P > 0,99$$

Il existe par ailleurs une corrélation très hautement significative entre la fraction agrégée stable à l'eau sans prétraitement et la teneur en carbone (déterminé par la méthode Walkley et Black). L'équation est la suivante :

$$(AgE - S.G.) = 24,29 C - 8,42 \quad r = 0,705 \quad P > 0,999$$

En considérant la fraction (AgE — S.G.) comme une fonction des deux variables (A + L) p. 100 et C p. 100, nous obtenons la relation :

$$(AgE - S.G.) = 0,152 (A + L) + 21,884 C - 9,4$$

Le coefficient 0,152 est significatif ($t = 0,778$, $P > 0,95$) alors que le coefficient 21,884 est très hautement significatif ($t = 3,938$, $P > 0,999$).

2° Fraction agrégée stable après prétraitement à l'alcool (AgA — S.G.) (sur 30 échantillons).

Nous avons pu mettre en évidence l'existence d'une corrélation entre cette fraction et la teneur en éléments fins, mais dans ce cas, la probabilité est très élevée, et nettement supérieure à 0,999 :

$$(AgA - S.G.) = 1,00 A + 10,1 \quad r = 0,790$$

$$(AgA - S.G.) = 0,94 (A + L) + 6,6 \quad r = 0,788$$

Nous avons constaté par ailleurs l'existence d'une corrélation entre cette même fraction et la teneur en carbone. Cette corrélation s'exprime par l'équation :

$$(AgA - S.G.) = 24,63 C - 0,60 \quad r = 0,733 \quad P > 0,999$$

Si l'on considère la fraction agrégée stable après prétraitement à l'alcool comme fonction des deux variables (A + L) p. 100 et C p. 100, on obtient :

$$(AgA - S.G.) = 0,652 (A + L) + 14,46 C - 5,0$$

Le coefficient de la variable (A + L) est très hautement significatif : ($t = 4,358$, $P > 0,999$) alors que le coefficient du carbone est hautement significatif : ($t = 3,410$, $P > 0,99$).

3° Fraction agrégée stable après prétraitement au benzène (AgB — S.G.) (sur 30 échantillons).

Nous avons observé une corrélation très hautement significative ($P > 0,999$) entre cette fraction et la teneur en matière organique. L'équation de régression est la suivante :

$$(AgB - S.G.) = 19,71 C - 16,4 \quad r = 0,747$$

$$\text{ou} \quad = 11,43 \text{ M.O.} - 16,4$$

Il nous paraît important de signaler que la corrélation est encore meilleure lorsque, au lieu de tenir compte de la matière organique totale,

on considère la matière organique non humifiée, définie par la différence (matière organique totale — matières humiques) (matières humiques au pyrophosphate de Na à pH 10). La régression s'exprime alors par :

$$(AgB - S.G.) = 15,78 (\text{M.O.} - \text{M.H.}) - 18,08 \quad r = 0,788$$

Il n'y a par contre pas de relation significative entre la fraction agrégée stable après prétraitement au benzène et la teneur des échantillons en éléments fins (0-20 μ).

L'examen de ces résultats suggère les conclusions suivantes : pour les sols ferrallitiques étudiés, et dans la gamme de texture qu'ils représentent, il semble que deux facteurs jouent un rôle prépondérant : la matière organique d'une part, la fraction 0-20 μ d'autre part. Le premier de ces deux facteurs est le plus important et se manifeste de façon sensiblement constante dans les trois fractions agrégées. Le rôle de la teneur en éléments fins ne se traduit de façon évidente que dans la fraction agrégée stable après prétraitement à l'alcool. Il est moins important dans la fraction agrégée stable sans prétraitement, et négligeable dans le prétraitement au benzène.

Il paraît intéressant de noter que, si la corrélation (AgB — S.G.), (matière organique) a déjà été signalée pour des sols de France, la relation liant ces deux variables, était toute différente. M^{me} Meriaux a obtenu, avec une probabilité comparable, la relation :

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

Compte tenu du fait que M^{me} Meriaux ajoute à la fraction agrégée 1/10 des sables grossiers, la comparaison des deux relations tendrait à montrer que, pour les faibles teneurs en matière organique la fraction agrégée stable après prétraitement au benzène est beaucoup plus faible sur les sols de Grimari que sur les sols de France. Il semblerait par contre que le phénomène soit inversé pour les teneurs en M.O. supérieures à 3 p. 100, cas relativement rare en Afrique.

Une comparaison analogue sur la fraction agrégée stable sans prétraitement suggère la conclusion que l'augmentation de cette fraction consécutive à l'accroissement du taux d'argile est plus marquée pour les sols de France que pour les sols tropicaux. Par contre, cette même fraction est beaucoup plus sensible à la teneur en M.O. dans les sols tropicaux étudiés.

En définitive, la moyenne des trois fractions agrégées, facteur qui intervient au dénominateur de l'expression définissant I_s , peut donc être exprimée par l'équation :

$$\frac{AgA + AgB + AgE - 3 \text{ S.G.}}{3} = 0,268 (A + L) + 18,68 C - 10,3$$

Outre l'analyse d'agrégats par tamisage sous l'eau, la détermination de I_s fait intervenir le taux d'éléments fins (0-20 μ) en suspension dans l'eau sans addition de dispersant (A + L)_{susp.} Il pouvait être intéressant de rechercher les facteurs influant sur ce taux d'éléments fins.

En première lecture, il ne semble pas qu'il existe une corrélation entre le taux d'éléments fins en suspension et la teneur de l'échantillon en matière organique. On constate par contre, qu'il existe une relation, par ailleurs prévisible dans une certaine mesure, entre le taux d'éléments fins 0-20 μ en suspension et le taux d'éléments fins 0-20 μ donné par l'analyse granulométrique de l'échantillon, c'est-à-dire avec l'emploi d'un dispersant. La régression s'exprime par l'équation (établie sur 35 échantillons).

$$(A + L)_{\text{susp.}} = 0,728 (A + L)_{\text{gran.}} - 6,87$$

Mais en établissant le graphique correspondant, représentant les taux d'éléments fins en suspension en fonction des taux d'éléments fins de l'analyse granulométrique, nous avons pu constater que les points obtenus ne se répartissent pas au hasard de part et d'autre de la droite moyenne. On observe en effet une tendance nette à une répartition des sols les plus riches en M.O. dans la partie basse du graphique, alors que les sols pauvres en M.O. se grouperaient dans la partie haute. En d'autres termes, le taux d'éléments fins en suspension (après prétraitement au benzène) s'accroît lorsque la fraction « argile + limon » de l'échantillon augmente, mais ceci d'autant plus vite que les sols sont plus pauvres en matière organique.

C'est pourquoi nous avons repris le calcul en faisant apparaître la teneur en éléments fins de chaque échantillon. On constate alors que la corrélation entre l'intensité de la dispersion et la teneur en matière organique semble exister à l'intérieur d'une même classe granulométrique.

Dans ces conditions, nous avons considéré le taux d'éléments fins en suspension comme une fonction des deux variables : éléments fins (déterminés par analyse granulométrique) et teneur en carbone.

La relation obtenue s'exprime par l'équation :

$$(A + L)_{\text{susp.}} = 1,058 (A + L)_{\text{gran.}} - 15,632 C + 4,0$$

Pour le coefficient 1,058 $t = 14,573$, $P > 0,999$.

Pour le coefficient 15,632 $t = 7,596$, $P > 0,999$.

La corrélation est donc très hautement significative.

Notons également que le rapport $\frac{(A + L)_{\text{susp.}}}{(A + L)_{\text{gran.}}}$ fait apparaître un phénomène analogue, ce qui signifie que, à teneur en carbone égale, la fraction des éléments fins susceptibles de se disperser augmente lorsque la teneur en éléments fins augmente.

Les résultats de ces quelques observations semblent mettre en évidence la prépondérance de deux facteurs dans la valeur de I_s : taux d'éléments fins 0-20 μ et teneur en carbone.

On constate en effet que l'indice d'instabilité peut s'exprimer en fonction de ces deux facteurs :

$$I_s = \frac{1,058 (A + L) - 15,632 C + 4,0}{0,268 (A + L) + 18,68 C - 10,3 + 0,1 \text{ S.G.}}$$

Dans ces conditions et si l'on néglige le facteur (0,1 S.G.), pour une même classe granulométrique, la valeur de l'indice d'instabilité est une fonction hyperbolique de la teneur en carbone.

Quelques points expérimentaux tendent à s'écarter des hyperboles obtenues : nous pensons qu'il faut en chercher la cause dans le fait que nous avons supposé implicitement, lors de l'étude de la dispersion, que la corrélation entre dispersion et teneur en M.O. était linéaire. Si cette hypothèse est valable dans une gamme limitée de teneurs en carbone, il est peu probable qu'elle puisse être généralisée pour une gamme étendue, ce qui expliquerait que certaines valeurs de I_s pour des échantillons riches en éléments fins et pauvres en carbone soient supérieures à la moyenne calculée.

Quoiqu'il en soit, cette étude fait apparaître l'accroissement rapide de l'indice d'instabilité structurale lors de la réduction du taux de matière organique totale. Elle met également en évidence le fait que, à teneur égale en matière organique, les sols les plus riches en éléments fins ont un indice d'instabilité plus élevé que les sols à texture plus grossière.

Ce résultat apparaît peut être plus clairement encore à l'examen du graphique représentant l'indice d'instabilité I_s mesuré en fonction de la teneur en éléments fins 0-20 μ des échantillons. La gamme des valeurs de I_s est nettement plus étalée dans la zone des teneurs élevées en éléments

ÉCHANTILLONS	(A + L) % gr.	A %	AgA — S.G.	AgE — S.G.	AgB — S.G.	(A + L) susp.	C %	I_s
GRI 2	30,5	23,9	36,8	29,7	10,7	9,7	1,80	0,36
GRI 3	30,6	25,3	37,9	29,9	14,0	13,3	1,85	0,47
GRI 4	20,4	15,3	19,0	15,7	7,0	9,3	1,34	0,57
GRI 6	36,4	31,3	33,7	28,1	10,5	25,4	1,26	1,00
GRI 8	20,6	14,7	15,4	10,8	5,1	8,1	1,20	0,63
GRI IV	22,0	18,0	34,8	33,1	19,5	6,2	1,39	0,20
GRI XV	33,9	28,2	31,4	12,8	2,0	23,7	1,22	1,47
GRI XVI	36,3	28,4	47,0	36,6	16,6	15,8	1,64	0,46
GRI XVII	33,2	26,8	31,6	22,2	2,2	25,8	1,06	1,50
GRI XXV	28,4	22,5	34,1	22,7	6,8	13,0	1,40	0,58
GRI XXXI	23,9	17,8	26,0	14,3	3,2	12,4	0,92	0,76
GRI XXXVII	21,4	15,0	26,8	20,8	10,9	4,7	1,36	0,22
GAM 2	13,1	08,4	18,7	16,3	10,0	2,4	1,01	0,12
GOU 1	44,3	34,3	50,9	44,8	26,4	18,3	1,86	0,43
GOU 2	36,5	27,6	48,1	36,3	28,2	9,4	2,08	0,24
OUA 1	26,9	25,1	32,7	25,8	9,3	13,6	1,16	0,51
OUA 2	27,0	25,1	28,4	23,4	7,0	13,9	1,11	0,58
OUA 4	16,7	13,2	21,8	17,8	11,8	2,8	1,29	0,13
EA 1	33,8	27,5	40,7	30,0	8,5	15,6	1,48	0,57
EA 2	31,3	25,6	42,8	32,4	13,1	16,0	1,44	0,51
EA 6	30,8	24,4	29,1	14,3	2,0	19,0	1,11	1,17
EA 8	28,9	23,3	30,5	14,9	3,2	16,0	1,44	0,90
EA 9	34,2	27,4	28,1	13,3	2,2	21,1	1,22	1,33
E 1	28,2	22,3	38,0	34,9	17,8	10,0	1,40	0,51
E 8	17,1	11,9	25,0	21,2	10,2	3,2	1,19	0,15
E 9	19,4	15,5	26,9	21,8	8,6	3,6	1,24	0,17
E 10	19,0	15,0	28,8	22,4	3,0	1,8	1,13	0,08
E 4	29,8	23,5	31,9	22,5	10,9	10,9	1,36	0,37
E 2	29,1	21,7	33,1	22,5	6,2	12,8	1,29	0,57
BAM 2	24,2	20,3	34,3	30,7	13,3	7,5	1,21	0,25

fins. Signalons à titre indicatif que si l'on considère I_s mesuré comme une fonction de (A + L) p. 100 et C p. 100, la relation s'exprime par l'équation :

$$I_s = 0,052 (A + L) - 1,22 C + 0,77$$

Les coefficients affectant (A + L) et C sont tous les deux très hautement significatifs ($P > 0,999$).

L'un et l'autre graphiques permettent, connaissant C p. 100 et (A + L) p. 100, de déterminer I_s à $\pm 0,2$ unité près en moyenne.

Nous constatons donc qu'il existe bien une relation entre certains éléments mesurant la structure et la composition granulométrique, mais cette relation varie suivant le type de sol. Il est donc certain que dans les conditions actuelles une méthode d'étude de la stabilité structurale est justifiée.

M. Aubert. — Je voudrais simplement insister sur l'importance du travail qui vient de vous être présenté.

Cette question de la structure du sol est une de celles auxquelles les pédologues pouvaient le plus difficilement répondre de façon précise jusqu'à ces derniers temps, en particulier dans les régions tropicales, car nous ne savions pas évaluer sa stabilité.

Les méthodes mises au point à partir d'études théoriques très poussées par notre Confrère M. Hénin, avec l'aide de jeunes chercheurs comme MM. Monnier et Combeau, nous donnent maintenant une possibilité de chiffrer ce caractère des sols.

Elles ont pu être testées grâce à des échantillons prélevés dans des champs expérimentaux, mis en place pour des travaux de recherche tout à fait appliquée, apports d'engrais, améliorations diverses, etc.

C'est encore un exemple de plus, s'il en fallait, de la liaison absolue qu'il y a entre les aspects, fondamentaux comme appliqués, de la recherche agronomique.

M. Barbier. — Autrefois, on attachait beaucoup d'importance à l'humus stabilisé, c'est-à-dire à la fraction la plus évoluée, brune ou noire, amorphe, colloïdale, de la matière organique du sol, fraction qui ne se décompose que très lentement. C'est aux humates colloïdaux que l'on attribuait l'essentiel du rôle de la matière organique dans la fertilité. En conséquence, on pensait que les fumures organiques ne peuvent agir qu'à long terme, par variation lente de cet humus stabilisé.

Depuis un certain temps, on assiste à une réaction, d'ailleurs justifiée, contre cette conception, et à une réhabilitation de la fraction jeune de la matière organique, celle qui provient directement des résidus végétaux frais. Les débris de plantes, malaxés avec la terre dans le tube digestif des petits animaux, activement métabolisés dans leurs déjections par les microorganismes, joueraient un rôle essentiel dans la fertilité, notamment dans la formation et la conservation d'une structure poreuse, perméable, aérée.

M. Hénin vient précisément de nous citer des faits tendant à prouver que, dans les sols examinés, les matières à caractère transitoire, qui sont continuellement reformées par la vie organique du sol, ont plus d'action que les matières organiques stables (les acides humiques).

Je voulais demander à M. Hénin, si, en France, tout en reconnaissant le rôle de la matière organique relativement fraîche, il convient cependant de ne pas sous-estimer le rôle des acides humiques, notamment dans la stabilisation de la structure.

M. Hénin. — Je partage tout à fait les préoccupations de notre Confrère et pour répondre à sa question je dirai que, si « l'humus jeune » est très

actif, ses effets paraissent moins stables que ceux de l'humus au sens classique. Ce dernier semble d'ailleurs nécessaire à la fertilité de certaines terres : les sables par exemple.

En ce qui concerne la note de M. Combeau, cet auteur montre simplement par les coefficients de régression de ses droites que les acides humiques proprement dits sont moins efficaces, par unité de poids que les autres formes de matières organiques présentes dans le sol.