

## Fractionnement physique du sol

### Méthode de séparation et étude du comportement d'agrégats de 0,050 à 2 mm

Erik BRAUDEAU

*Pédologue O.R.S.T.O.M., Centre de Brazzaville B.P. 181, Brazzaville, République Populaire du Congo*

#### RÉSUMÉ

*L'objet de cet article est de présenter une méthode simple de séparation, par classes de diamètres, d'agrégats et micro-agrégats résultant du fractionnement quelconque d'un échantillon de sol par l'eau. L'agent utilisé dans ce but est le méthanol, qui joue le rôle d'un agent desséchant. Trois voies d'application sont ensuite présentées, en vue de caractériser la structure du sol en laboratoire au niveau des agrégats fins (0,050-2,000 mm) issus du fractionnement :*

- par les courbes de distribution et les histogrammes de fréquence des agrégats issus du fractionnement ;*
- par l'étude de leur comportement et de leur stabilité structurale dans des conditions hydriques choisies ;*
- par la mesure du pF 4,2 sur les différentes classes de taille de ces mêmes agrégats.*

MOTS-CLÉS : Agrégats — Granulométrie — Structure — Morphologie — Comportement — Fractionnement physique — Stabilité structurale.

#### ABSTRACT

##### SOIL PHYSICAL FRACTIONATION

##### METHOD OF SEPARATION AND STUDY OF THE BEHAVIOUR OF AGGREGATES FROM 0,050 TO 2 mm

*This paper aims at presenting a simple method of separation into different diameters, aggregates and micro-aggregates resulting from any fractionation of a soil sample through water. For this purpose, methanol is used as a desiccant. Then, as far as fine aggregates (0,050-2,000 mm) derived from fractionation are concerned, the soil structure can be characterized under laboratory conditions through :*

- the distribution curves and the frequency histograms concerning the aggregates derived from the fractionation ;*
- the study of their behaviour and their structural stability under determined hydrous conditions ;*
- the measurement of pF 4,2 in the different size grades of these same aggregates.*

KEY WORDS : Aggregates — Grain size distribution — Morphology — Behaviour — Physical fractionation — Structural stability.

#### INTRODUCTION

Le fractionnement physique des agrégats (par l'eau, l'alcool, les ultra-sons ou d'autres agents) est une approche de laboratoire qui subit un renouveau important, car il se révèle nécessaire dans au moins trois domaines d'étude du sol :

*Pour l'étude de la matière organique : le fractionnement chimique étant une méthode trop dénaturante pour permettre une étude approfondie de la matière organique en laboratoire, un fractionnement non destructeur de celle-ci commence à être utilisé avec succès par quelques chercheurs (ANDREUX *et al.*, 1980 ; FELLER, 1979 ; TURCHENECK, OADES, 1979).*

Les publications les plus récentes montrent qu'il y a là une voie de recherche fournissant des résultats nombreux et fructueux, surtout en ce qui concerne l'aspect morphologique de la matière organique en voie d'humidification. D'où l'importance du fractionnement physique visant à *obtenir un matériau de laboratoire propre à l'étude physico-chimique, et surtout morphologique*, des composants du sol.

*Pour l'étude de la stabilité structurale* : on vise depuis très longtemps à définir la stabilité structurale à partir du comportement des agrégats dans l'eau, ou autres solvants (HÉNIN, 1938 ; WILLIAMS *et al.*, 1966 ; NORTH, 1976). Le test Hénin donne une idée de la stabilité structurale par le taux d'agrégats de diamètre supérieur à 200  $\mu\text{m}$ , issus d'une désagrégation dans l'eau. Actuellement, le taux d'agrégats de diamètre supérieur à une taille donnée, après désagrégation dans l'eau, est le principe le plus largement utilisé (DEXTER *in* : Modification of soil structure, 1978 ; RORKE BRYAN, 1971) pour apprécier la stabilité structurale, malgré l'absence d'une définition satisfaisante de celle-ci, carence ressentie par de nombreux auteurs.

*Enfin, pour l'étude du comportement structural des agrégats* : COUGHLAN (1977) a étudié le processus d'agrégation d'une argile gonflante en présence de différents squelettes minéraux à partir de la répartition par taille des particules obtenues après fractionnement de l'agrégat artificiel dans l'eau. Il observe une bonne corrélation entre la taille des agrégats vrais obtenus et la taille du squelette minéral introduit. On pourrait citer d'autres auteurs voulant considérer le sol comme un *assemblage hétérogène de domaines agrégés*. Ceci a évidemment une conséquence sur l'interprétation de la distribution de la porosité, du phénomène de gonflement-retrait et, plus généralement, du comportement du sol en présence de l'eau (COLLIS-GEORGES *et al.*, 1973, 1979 ; EMERSON, 1967 ; QUIRK *et al.*, 1955, 1962 ; JAYAWARDANE *et al.*, 1978, 1979).

Pour résumer, on peut considérer que le fractionnement physique des agrégats est une étape nécessaire à l'étude en laboratoire de certains composés du sol (matière organique), et, d'un point de vue structural, des agrégats eux-mêmes (morphologie, cohésion, comportement). Sa nécessité est ressentie actuellement, au point que diverses méthodes de fractionnement ont été publiées récemment.

Cependant, l'étude du fractionnement en tant que tel et des informations structurales qu'il révèle (courbes de distribution, étude morphologique et de comportement des agrégats résultants) reste en suspens du fait de difficultés qui sont principalement : *le choix des forces de rupture*, facteurs du fraction-

nement. Le sol comportant plusieurs niveaux d'agrégation, et chacun d'eux étant stable sous différentes conditions, il est difficile d'envisager un facteur de fractionnement n'agissant qu'à un niveau de cohésion donné ;

*la séparation sans transformation morphologique du produit issu du fractionnement* : en général, les agrégats obtenus subissent sur le tamis une érosion partielle difficile à évaluer, et une réagrégation lors du séchage. La résolution préalable de cette dernière difficulté permettra l'approche du problème précédent.

C'est pourquoi, dans un premier temps, cet article expose une méthode simple de séparation des agrégats issus d'un fractionnement physique quelconque d'un sol par l'eau, ainsi que les possibilités pratiques d'utilisation de cette méthode en vue de caractériser certains aspects de la structure. Le problème du choix des forces de rupture sera abordé ultérieurement.

## PRINCIPE DE LA MÉTHODE

### I. Mode opératoire

Les différents stades de l'opération sont schématisés sur la figure 1. Il s'agit de remplacer l'eau présente dans l'échantillon fractionné par du méthanol, lequel est ensuite évaporé, laissant un ensemble d'agrégats parfaitement secs et individualisés.

### LE FRACTIONNEMENT

Il a déjà été signalé que le choix des forces de rupture, facteurs de fractionnement, pose des problèmes non encore résolus et qui feront l'objet d'une étude ultérieure plus approfondie.

Actuellement, les forces de rupture traditionnellement utilisées sont : l'humectation plus ou moins rapide à partir d'une faible teneur en eau initiale, l'agitation dans l'eau, les ultra-sons, la pression osmotique (WILLIAMS *et al.*, 1966 ; NORTH, 1976). Pour la présente étude, on a recours au mode de fractionnement le plus simple, qui convient bien à l'échantillon étudié : une unité structurale séchée à l'air, de 50 à 150 g, non perturbée, est humectée lentement pendant deux à trois minutes, puis immergée totalement : le gonflement se traduit par un détachement partiel des agrégats, provoquant l'écroulement de l'ensemble accompagné d'une faible dispersion. Le tout est ensuite transféré sur le tamis de 200  $\mu\text{m}$  pour le lavage au méthanol.

### SÉPARATION DES AGRÉGATS, PRODUITS DU FRACTIONNEMENT

Le remplacement de l'eau par le méthanol se fait sous hotte, sur une colonne de deux tamis (diamètre

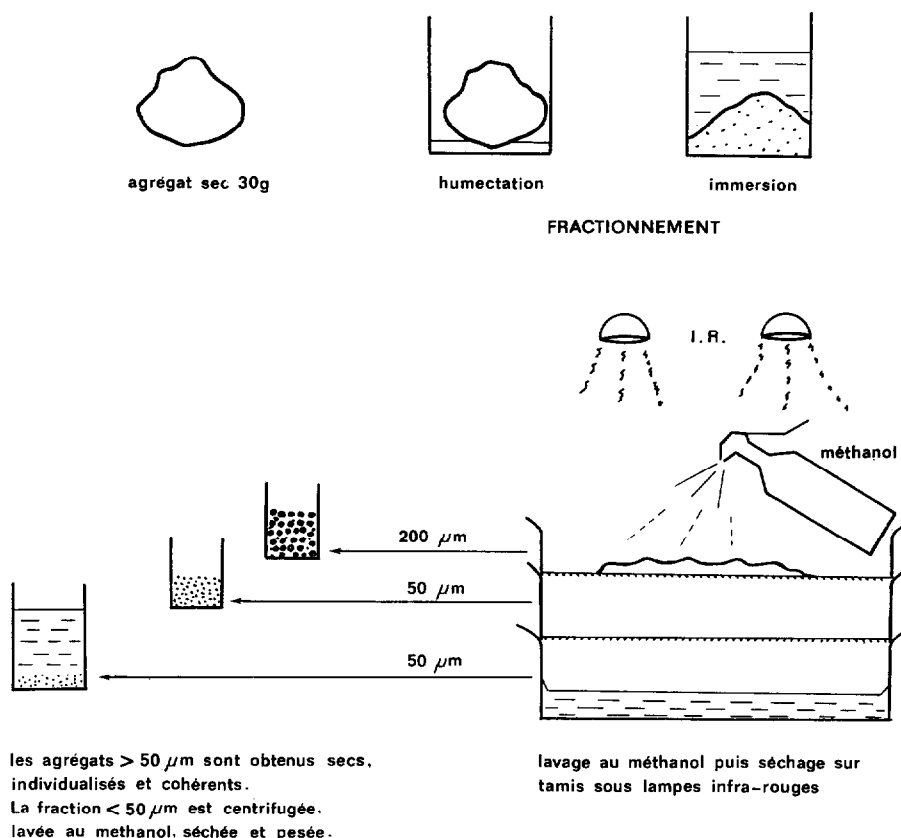


FIG. 1. — Séparation des agrégats du fractionnement. Mode opératoire

30 cm, inox) de 200 µm et 50 µm, par simple lavage au méthanol pur (100 cm<sup>3</sup>), à l'aide d'un pulvérisateur. On effectue cette opération en atmosphère chaude et sèche, créée par les lampes infra-rouges, pour éviter la condensation atmosphérique consécutive au refroidissement lors de l'évaporation du méthanol; les unités structurales restent ainsi individualisées en séchant. Le séchage dure une quinzaine de minutes.

LES AGRÉGATS DE DIAMÈTRE SUPÉRIEUR À 50 µm sont recueillis et mis à l'étuve. Ils sont suffisamment cohérents pour subir un tamisage à sec sur une colonne de 10 tamis sans dommage appréciable; les problèmes éventuels sont ceux inhérents à l'utilisation du tamis comme moyen de séparation par taille (1).

## II. Justifications expérimentales

### EMPLOI DU MÉTHANOL

Dans l'étude du fractionnement des agrégats d'un sol, MONNIER et BUI HUU TRI (1971) ont utilisé l'éthanol plutôt que le méthanol mais ceci plus dans un souci de rechercher les conditions adéquates du fractionnement que d'en séparer les fractions. Mais lorsqu'il s'agit de séparer des agrégats humides afin de les préparer à une étude morphologique, le méthanol a déjà été utilisé avec un succès relatif dans la technique du « critical drying point » (MURRAY, QUIRK, 1980; NEWMAN, THOMASSON, 1979). Le « critical drying point » est un des rares procédés existant permettant d'assécher un agrégat, préalablement en équilibre à un taux d'humidité

(1) La vérification au microscope de la dimension de maille des tamis nous a amené à apporter quelques modifications aux indications données par le constructeur. Ces modifications ont été reportées sur les figures 2, 3, 4 (ex. : 475 µm au lieu de 500 µm).

PLANCHE I

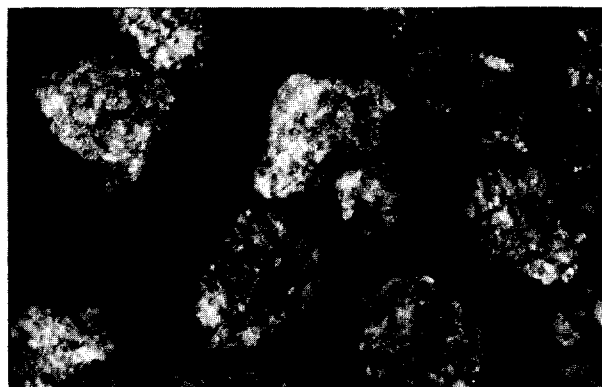


PHOTO 1. — Prélèvement 15-20 cm ; agrégats de 305 à 400  $\mu\text{m}$  ; peu de sable libre (non visible sur la photo)

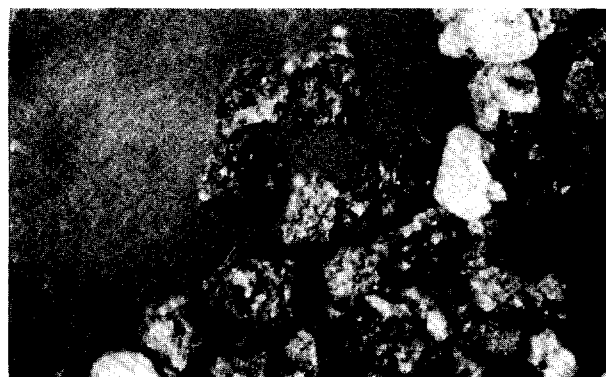


PHOTO 2. — Prélèvement 15-20 cm ; agrégats de 200 à 250  $\mu\text{m}$  ; grains de sable libres de même taille

Sol de Tilène (cf. tableau I), peu évolué d'apport alluvial à argile gonflante des cuvettes de décantation

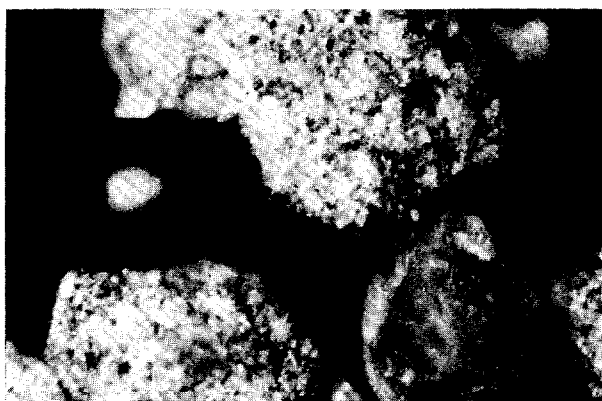


PHOTO 3. — Horizon supérieur (0-10 cm) ; agrégats de 630 à 800  $\mu\text{m}$  ; porosité biologique et texturale importante ; grains de sable libres, ferruginisés

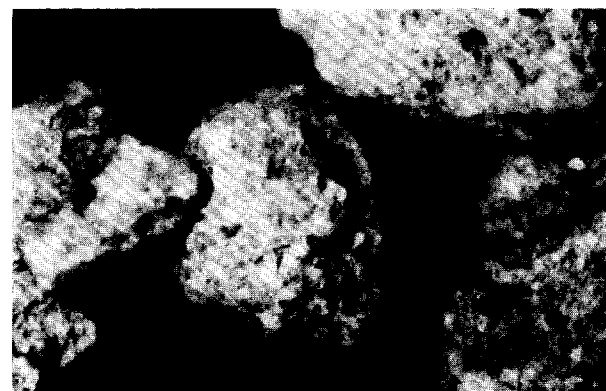


PHOTO 4. — Horizon B compact (60 cm) ; agrégats de 630 à 800  $\mu\text{m}$  ; porosité faible d'origine biologique, grains de sable incrustés dans l'agrégat

Sol ferrugineux tropical, faiblement lessivé, à taches et concrétions, à horizon B compact (forêts classées de Kaffrine au Sénégal)

donné, tout en conservant la structure de l'échantillon (c'est-à-dire en évitant le phénomène de retrait).

D'après R. GREEN KELLY (1973), le méthanol et le dioxane sont, parmi les solvants organiques susceptibles de se substituer à l'eau, ceux qui perturbent le moins la structure de l'agrégat, soit par le gonflement dû aux propriétés du mélange eau-solvant, soit par le retrait occasionné par les forces de tension capillaire pendant l'évaporation.

De plus, le méthanol possède des propriétés qui le rendent facilement utilisable pour l'objectif donné, qui est de sécher l'agrégat rapidement en provoquant le moins de réactions secondaires possibles :

— une viscosité et une chaleur de vaporisation peu élevées ( $\eta = 0,60$  centi-poise,  $\Delta H = 8,98$  Kcal/mole) et par conséquent une diffusion rapide à travers le milieu poreux, supérieure à celle de l'eau, de l'éthanol et de leurs mélanges, comme l'ont montré R. S. MALICK *et al.* (1979) ;

— une tension de surface faible par rapport à celle de l'eau ( $\sigma = 22,0$  dynes/cm contre 72,0 dynes/cm pour l'eau), ce qui fait que la tension effective créée sur la structure lors de l'évaporation du méthanol est pratiquement négligeable en regard de celle créée par l'évaporation de l'eau ;

— une miscibilité totale avec l'eau sans formation d'azéotrope, contrairement à l'éthanol. Par conséquent, le méthanol assure la disparition complète de l'eau par évaporation ;

— une faible réactivité chimique : il a été vérifié que le taux de carbone mesuré sur un échantillon traité au méthanol et un témoin non traité, n'est pas significativement différent.

#### LE TAMISAGE

Le tamisage sous eau est le point faible des techniques traditionnelles de fractionnement par l'eau. En effet, les agrégats humides sont plastiques et peu cohérents, et leur morphologie s'altère au cours de cette opération ce qui oblige à fixer des conditions opératoires empiriquement choisies en vue d'éliminer le paramètre « coup de main de l'opérateur ». Or, un phénomène intéressant, noté par GREEN KELLY (1973) a lieu lorsqu'un agrégat de sol est plongé dans certains solvants organiques : un affermissement (hardening) de la structure y est observé, dû apparemment à un rapprochement des

particules entre elles dans les solvants qui ont une faible affinité pour les surfaces polaires. Cet affermissement, avec diminution notable de la plasticité, a effectivement lieu dans le méthanol et permet la manipulation des agrégats dans un état de cohésion suffisante, ainsi que la stabilisation de la structure lors du séchage. Ces propriétés du méthanol font que le tamisage sous l'eau ne se montre plus indispensable, et qu'il est avantageusement remplacé par un tamisage à sec moins érosif.

### III. Présentation des résultats

On trace la courbe de distribution en poids des agrégats en fonction de leur diamètre. Certains auteurs (relevés par GARDNER (1956)), ont trouvé une loi log-normale de distribution des agrégats ; cette loi n'est pas toujours vérifiée et dépend de toute façon des conditions du fractionnement. Il conviendra de la préciser à partir d'une représentation graphique en échelle gaussio-logarithmique.

Ainsi définis par leur courbe de distribution, les agrégats sont propres à toute étude morphologique (loupe binoculaire ou microscope) ou physico-chimique de leur comportement (planche I).

## APPLICATION

### I. Le matériau

Le sol utilisé pour cette étude (sol de Tilène) provient du delta du fleuve Sénégal : il est représentatif des sols hydromorphes argileux des cuvettes de décantation, aménagées actuellement en rizières par la SAED (1).

Ce sol type fait l'objet d'études en buses par le service de pédologie et le laboratoire de biologie des sols du centre O.R.S.T.O.M. de Dakar dans le cadre d'accords de convention entre la SAED et l'O.R.S.T.O.M. (2).

Après qu'il ait été soumis à quatre mois de submersion et deux semaines de ressuyage (humidité  $H = 32\%$ ), des prélèvements non perturbés ont été effectués en boîtes d'aluminium ( $15 \times 7 \times 5$  cm) à trois niveaux de profondeur : 0-7 cm, 8-15 cm, 15-22 cm.

Les caractéristiques principales du sol « Tilène » sont présentées dans le tableau I.

(1) SAED : Société d'Étude et d'Aménagement du Delta.

(2) Variations physico-chimiques dans un sol de rizière inondée et évolutions de la biomasse algale et des populations microbiennes du cycle du soufre — LOYER (J. Y.), JACQ (V. A.), REYNAUD (P. A.), O.R.S.T.O.M., Dakar, B.P. 1386.

TABLEAU I

Sol peu évolué d'apport alluvial à argile gonflante des cuvettes de décantation. Analyses physico-chimiques

| TEXTURE %   |      | CAPACITE D'ECHANGE            |       | ANALYSES PHYSIQUES       |        |
|---|------|-------------------------------|-------|--------------------------|--------|
| Argile  | 58,8 | Ga <sup>++</sup> meq/100g     | 15,0  | pF 2,5                   | 29,95% |
| Limon fin   | 12,0 | Mg <sup>++</sup> meq/100g     | 8,56  | pF 3                     | 27,1 % |
| Limon grossier  | 7,7  | K <sup>+</sup> meq/100g       | 0,65  | pF 4,2                   | 17,8 % |
| Sable fin   | 12,6 | Na <sup>+</sup> meq/100g      | 0,76  | Is (Hénin)               | 6,5 %  |
| Sable grossier  | 7,2  | Somme des bases éch           | 24,97 | Densité sèche (motte)    | 1,85%  |
| Matière organique   | 1,7  | T Capacité d'échange meq/100g | 23,50 | Porosité à sec sur motte | 22,8 % |
| pH (1/2,5) = 7,3 - Conductivité (1/5) : 160 μmhos/cm 25°C |      |                               |       |                          |        |

## II. Fractionnement et courbes de fractionnement

### CONDITIONS OPÉRATOIRES

Deux types de fractionnement (A) et (B) ont été effectués (cf. fig. 4) :

#### Fractionnement (A)

Les pâtés de prélèvement, après séchage à 105°, ont été sciés en trois morceaux de 110 g environ, pour disposer de trois répétitions. La structure est massive compacte, et les morceaux très cohérents à la suite d'un fort retrait. Chaque morceau est fractionné comme suit : après une humectation lente de 2 à 3 minutes, on immerge rapidement l'échantillon : des agrégats s'en détachent (= slaking) jusqu'au moment où la totalité de l'échantillon s'écroule sous son propre poids. On observe une faible dispersion de l'argile, ce qui permet de classer le sol en classe 2 de la classification d'Emerson (EMERSON, 1967). Le tout est ensuite transféré sur tamis et traité au méthanol comme décrit dans le paragraphe I.

#### Fractionnement (B)

Le prélèvement à 15 cm est conservé humide, et plongé directement dans le méthanol où les unités structurales se séparent avec un affermissement de la structure comme noté plus haut (= diminution de la plasticité). Le tout est ensuite séché sur le tamis sous les lampes infra-rouges.

### RÉSULTATS - COURBES DE DISTRIBUTION

#### Fractionnement (A)

Pour plus de facilité, seuls les agrégats secs de taille supérieure à 50 μ, limite inférieure de la taille des tamis ont été pris en considération. Dans une classe d'agrégats donnée, sont réunis des agrégats vrais et des sables libres de même taille. Pour en connaître les pourcentages respectifs, chaque fraction est soumise aux ultra-sons (1) dans l'eau, afin de détruire les agrégats vrais.

Les courbes de distribution -- agrégats + sables -- des trois niveaux de profondeur sont rassemblées sur le même graphique (fig. 2) : les trois répétitions pour chaque horizon, mettent en évidence des domaines qui ne se recoupent pas entre eux et permettent d'observer une légère diminution avec la profondeur, de la taille des agrégats (dans l'intervalle 0,05-2 mm).

Les histogrammes des figures 3 a et 3 b, dressés à partir des courbes de distribution des agrégats et des sables pour les horizons 0-7 cm et 15-20 cm montrent nettement une augmentation du pourcentage d'agrégats vrais entre 0,500 et 1,000 mm pour l'horizon 0-7 par rapport à l'horizon plus profond. Cette augmentation de la taille des agrégats s'accompagne d'une faible diminution (5 %) des sables entre 0,120 et 0,250 mm. Il conviendra de confirmer ce phénomène par plusieurs prélèvements et au cours de différentes périodes du cycle de culture, mais sa mise en évidence par le fractionnement est significative.

(1) Sonificateur BIOBLOCK 20-200 S muni d'une sonotrode T 20.

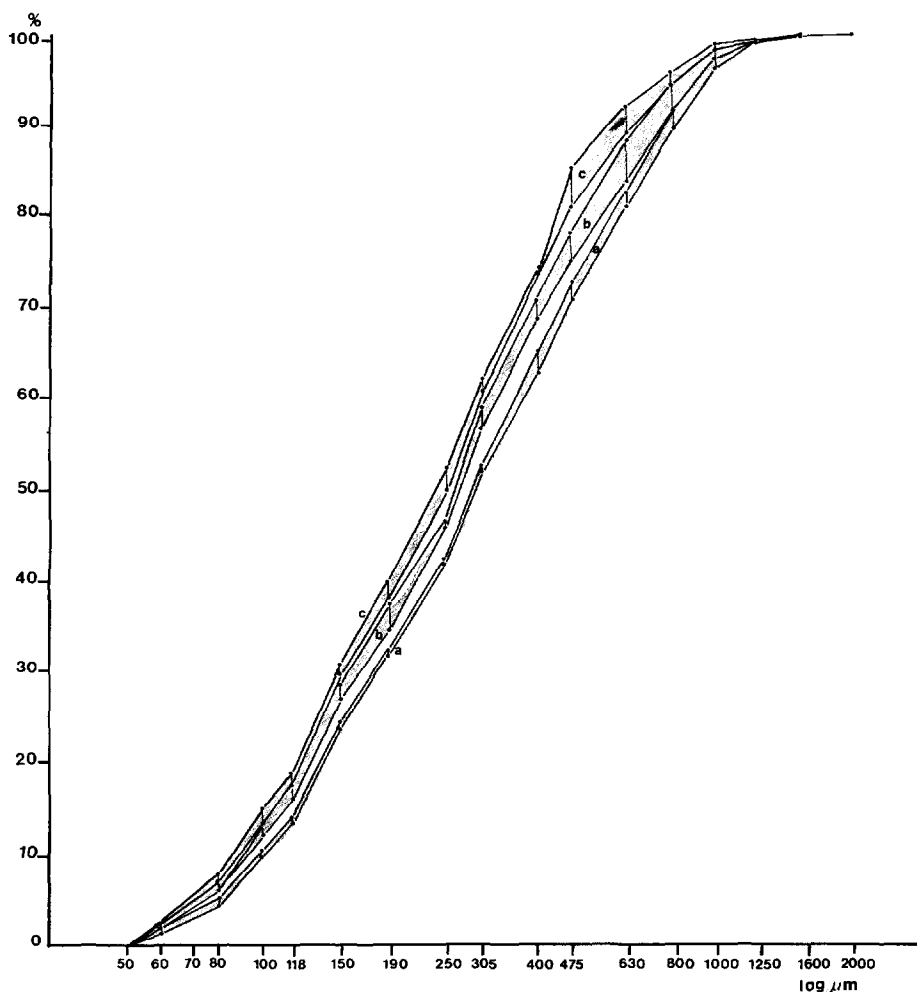


FIG. 2. — Courbes de distribution des agrégats du fractionnement (A) de trois horizons du sol de Tilène. Chaque domaine représente trois répétitions :

a. horizon 0-7 cm ; b. horizon 8-15 cm ; c. horizon 15-22 cm

*Fractionnement (B)*

La figure 4 présente les courbes de distribution obtenues par les deux types de fractionnement sur l'horizon profond, en coordonnées gauusso-logarithmiques. Le fractionnement (B) suit une loi de distribution log-normale de paramètres :  $mg = 270 \mu m$  et  $g = \log 3$  (1). Avec G. MONNIER et BUI HUU TRI (1971), on peut penser que le méthanol sépare les agrégats selon leurs surfaces structurales, alors que le fractionnement par l'eau procède de

plusieurs causes plus ou moins définies. Si tel est le cas, la loi log-normale serait la loi de distribution des surfaces structurales. On se trouverait donc devant une forme d'agrégation d'un type défini par deux paramètres : moyenne et écart type, que l'on pourrait introduire dans les modèles de comportement du sol, comme l'avait envisagé W. R. GARNER (1956).

Ce résultat reste cependant lié à ce type de sol argileux et au système de porosité qu'il présente (porosité représentée en majorité par la juxtaposition des surfaces structurales).

(1)  $mg$  est la moyenne géométrique des diamètres des agrégats et correspond à 50 % des agrégats sur la courbe cumulative (fig. 4).

$$g \text{ est l'écart type} = \log \frac{\text{taille à } 50 \%}{\text{taille à } 15,87 \%}$$

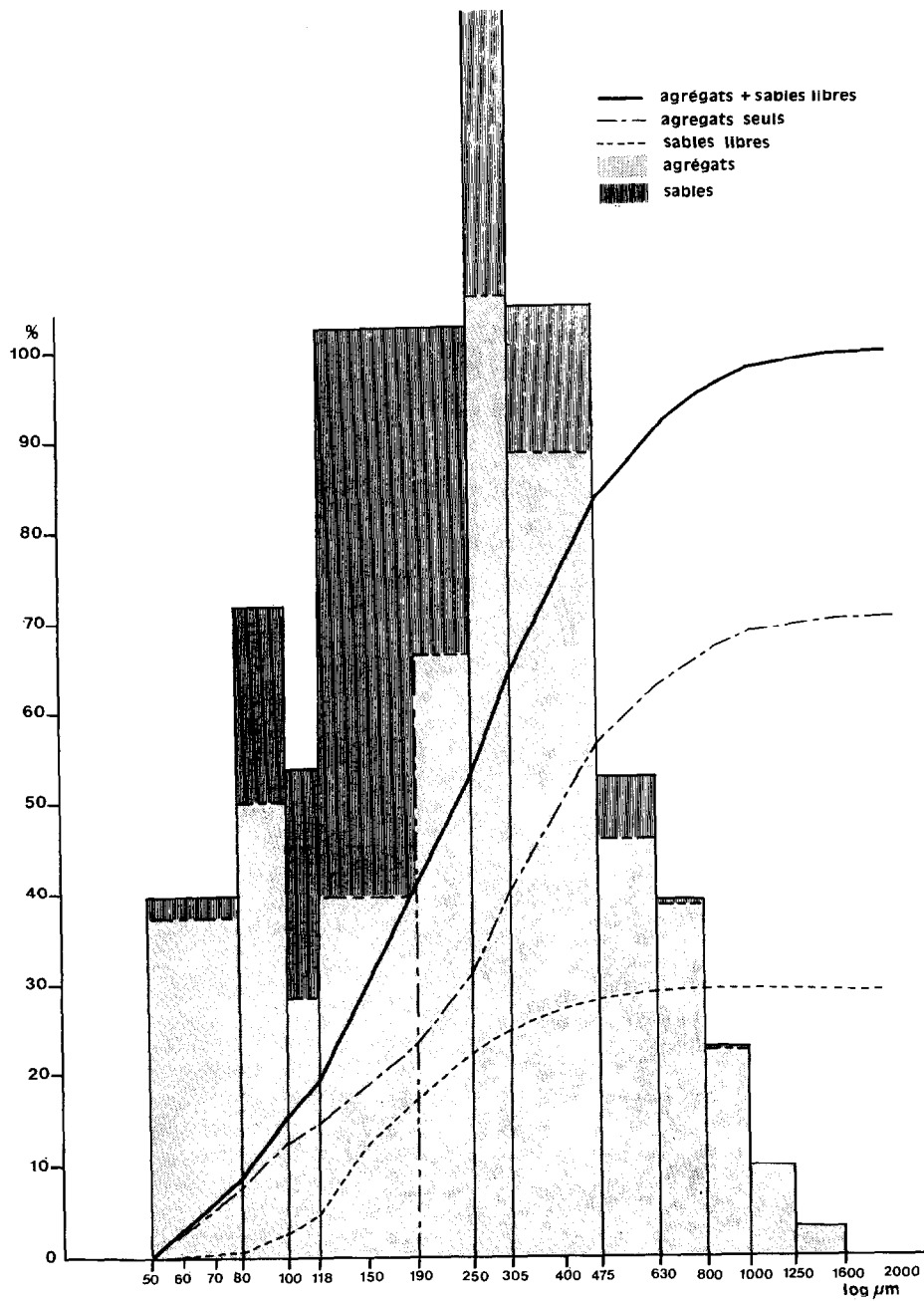


FIG. 3 a. — Courbe de distribution et histogramme des agrégats du fractionnement (A) de l'horizon 15-22 cm du sol de Tilène



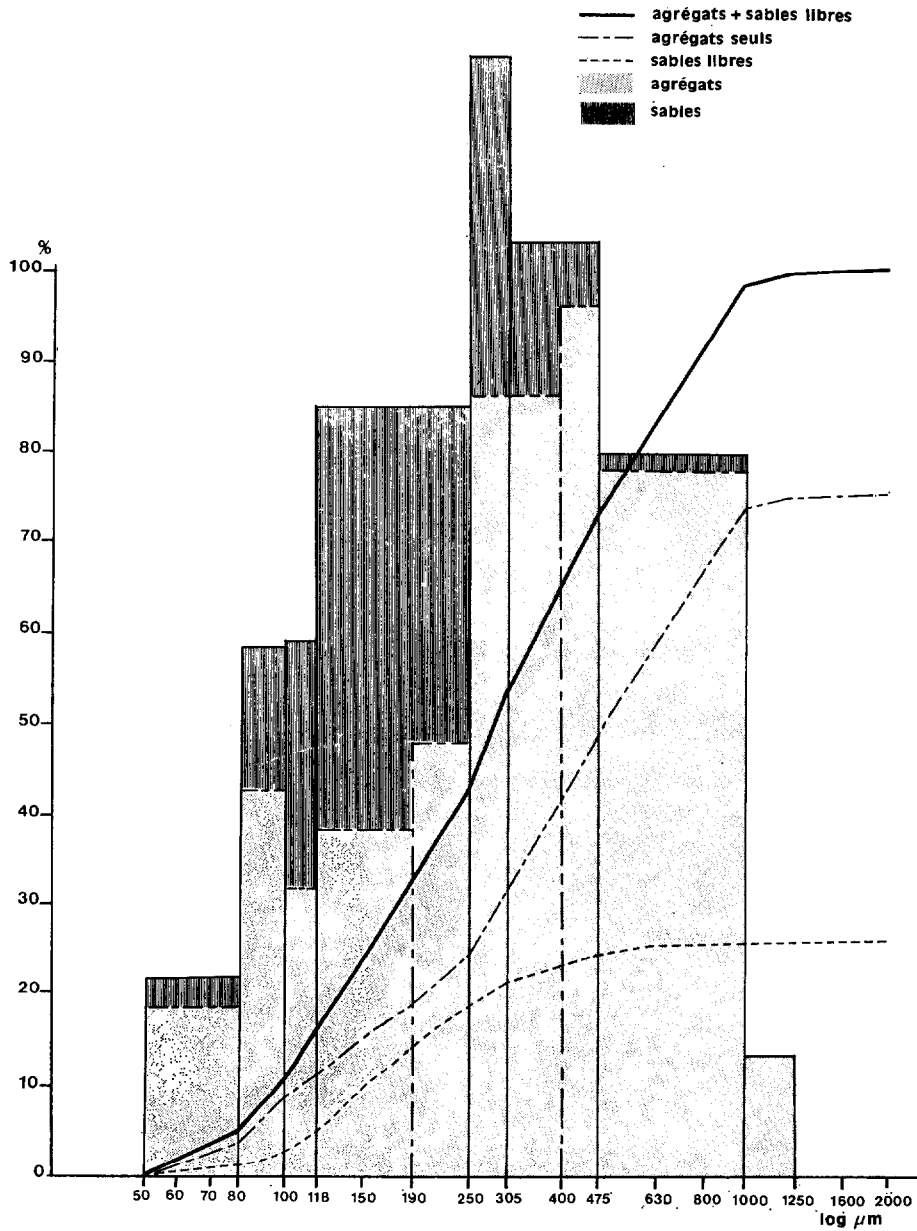


FIG. 3 b. — Courbe de distribution et histogramme des agrégats du fractionnement (A) de l'horizon 0-7 cm du sol de Tilène

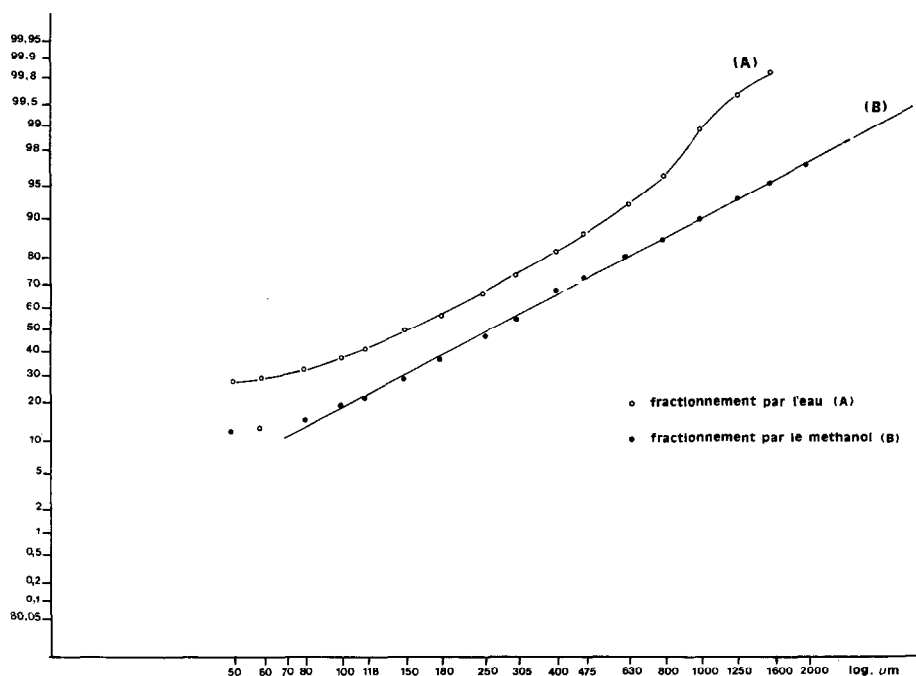


Fig. 4. — Fractionnements (A) et (B) de l'horizon 15-20 cm du sol de Tilène, représentés en coordonnées gauusso-logarithmiques

### III. Comportement et stabilité des agrégats au fractionnement

Pour évaluer la stabilité des agrégats issus du fractionnement, nous avons fait subir à une fraction granulométrique choisie une certaine séquence d'événements hydriques (humectation, drainage, percolation, saturation), pour analyser ensuite par la technique au méthanol les changements granulométriques intervenus.

#### CONDITIONS OPÉRATOIRES

L'appareillage utilisé pour humecter et drainer l'échantillon est celui de Haines, modifié par JAYAWARDANE et BEATIE (1978), dont le principe est largement employé pour l'étude en laboratoire du comportement du sol pris sous forme de « paquets » d'agrégats de taille donnée (fig. 5).

Pour obtenir un système poreux homogène, on a utilisé des agrégats de taille comparable (assurant une porosité d'entassement à peu près équivalente partout, excepté cependant au contact des parois), et évité la présence de sables libres. Pour cela, seules ont été retenues les trois fractions comprises entre

0,475 mm et 1 mm (fig. 3) d'un fractionnement quelconque par l'eau, de l'horizon 15-20 cm du sol de Tilène. La répartition granulométrique de départ est présentée dans le tableau V. 20 g de sol au total sont entassés sur le verre fritté (fig. 5) avec une densité de 1,08 g/cm<sup>3</sup>.

Le volume apparent  $V$  occupé par l'échantillon sec, est maintenu constant par un bouchon troué (fig. 5), placé sur un lit de billes (2,5 mm  $\varnothing$ ) de 0,5 cm d'épaisseur, assurant le libre passage de l'air. Ainsi le volume du gonflement permis est uniquement le volume des macropores d'entassement (COLLIS-GEORGES et BRIDGE, 1973) :  $V_M = 7,8 \text{ cm}^3$  (tabl. II).

Le volume total disponible à l'eau est le volume d'eau à saturation contenu dans la microporosité et la macroporosité inter-agrégats :  $V_s = V_m + V_M = 10,9 \text{ cm}^3$ .

#### HUMECTATION-DRAINAGE-PERCOLATION (1)

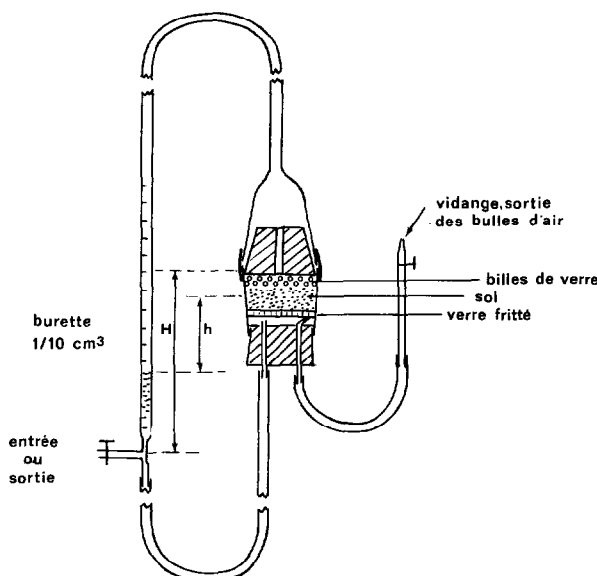
La colonne d'agrégats a été humectée à une suction  $h = 60 \text{ cm}$  ( $pF = 1,8$ ) en 50 heures, puis amenée à  $h = 10 \text{ cm}$  (20 heures) et enfin à saturation. Après une percolation (1) à  $H = 60 \text{ cm}$  (débit

(1) L'expérience de percolation est exécutée en retirant la partie supérieure de l'appareil de Haines, ainsi que le bouchon (fig. 5 b) ; l'eau est ajoutée à la burette au-dessus des billes de façon à obtenir un niveau constant. La suction est alors mesurée par  $H$  (fig. 5).

TABLEAU II

Les paramètres caractéristiques du système formé par l'ensemble des agrégats

| Agrégats individuels secs (105°)                                       |  |  | Ensemble des agrégats secs  |                                    |                   |  |
|--|--|--|---|------------------------------------|-------------------|--|
| Densité (°) apparente  | Porosité (°) (cm <sup>3</sup> /100g sol) | Volume total occupé (cm <sup>3</sup> ) | Poids (g)   | Volume apparent (cm <sup>3</sup> ) | Densité apparente | Porosité d'entassement (cm <sup>3</sup> /100g sol) |
| $d_a = 1,86$   | $P_m = 15,3 \%$                          | $v_a = P/d_a = 10,7$                   | $P=20g$   | $V = 18,5$                         | $D_a = 1,08$      | $P_M = (V - v_a) / P = 39\%$                       |
| Volume de la micro-porosité<br>$V_m = P_m \times P = 3,1 \text{ cm}^3$ |  |  | Volume de la macro-porosité<br>$V_M = V - v_a = 7,8 \text{ cm}^3$ |                                    |                   |  |


 FIG. 5. — Mesure de l'absorption de l'eau par un ensemble d'agrégats de même taille, entassés dans un volume  $V$  constant, et soumis à une succion donnée  $= h$ 

$q_{60} = 12 \text{ cm}^3/\text{mn}$ ), la colonne est remise à  $h = 10 \text{ cm}$  et laissée à cette succion pendant trois jours.

Les expériences suivantes sont ensuite effectuées (tabl. III).

La macroporosité créée par l'entassement des agrégats de taille comprise entre 0,475 et 1 mm est formée de pores de rayon moyen (0,100-0,150 mm), si l'on fait référence aux travaux de GUPTA et LARSON (1979). Or une succion de  $-60 \text{ cm}$  d'eau ( $pF : 1,8$ ) correspond au drainage des pores de rayons supérieurs à 0,030 mm. Par conséquent, à  $pF 1,8$ , la macroporosité est entièrement vidée de son eau et

seule la microporosité  $V_{m60}$  des agrégats eux-mêmes retient les 6,2 cm<sup>3</sup> restants. L'humidité des agrégats de 0,475-1 mm à  $pF 1,8$  est donc de 31 % (tabl. IV).

D'autre part, en régime de percolation, le débit à la succion  $H = 60 \text{ cm}$  est passé de 12 cm<sup>3</sup>/mn à 5 cm<sup>3</sup>/mn après trois jours à  $h = 10 \text{ cm}$ . Cette diminution du débit n'est pas le résultat de la destruction des agrégats, comme on peut le vérifier ci-dessous, mais plutôt celui du gonflement (29 %) qui a continué à s'opérer lentement pendant les trois jours où l'échantillon était soumis à la succion  $h = 10 \text{ cm}$ .

#### STABILITÉ DES AGRÉGATS

A la fin de l'expérience, le méthanol est ajouté de façon à percoler trois à quatre fois le volume des agrégats ( $\sim 50 \text{ cm}^3$ ) afin de le substituer à l'eau. Le tout est ensuite versé sur le tamis, séché comme décrit précédemment et tamisé à sec.

Le résultat du tamisage (tabl. V) montre une variation de 9,8 % au maximum sur la distribution des agrégats, mais 3,5 % seulement des agrégats ont été détruits en particules de tailles inférieures à 0,315 mm. Le gonflement en milieu confiné ( $V = \text{cte}$ ) a produit un léger tassement sur les agrégats, puisqu'on retrouve sur le tamis n° 4 (400-500  $\mu\text{m}$ ) 1,06 g d'agrégats qui n'étaient pas présents au départ. Une très légère agrégation s'est également effectuée (0,4 % > 1 mm).

Cette expérience montre que cette technique donne accès à l'évaluation de la stabilité structurale sous l'influence de facteurs bien définis de l'agrégation/destruction, comme par exemple le gonflement en milieu confiné, la percolation de solutions de forces ioniques ou de SAR différents, etc. Ainsi, il est possible de procéder à une mesure suivie du compor-

(\*) Méthode de MONNIER *et al.* (1973) pour la mesure de la densité apparente et de la porosité de petits agrégats de sol.

TABLEAU III

Variation du volume d'eau dans l'échantillon et débit de percolation en fonction de la succion

| Variation du | Drainage de h =<br>-10 à -30 cm<br>d'eau | Drainage de h =<br>-30 à -60 cm<br>d'eau | Infiltration de<br>-60 à saturation  | Percolation à H =<br>-10 cm et -60 cm |                                  |
|--------------|--|--|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
|              | volume d'eau                             | $V_{10/30} = 1,9$<br>cm <sup>3</sup>     | $V_{30/60} = 0,4$<br>cm <sup>3</sup> | $V_{60/S} = 4,7$ cm <sup>3</sup>      | q-10 =<br>1 cm <sup>3</sup> /min |

TABLEAU IV

Humidité et gonflement des agrégats à pF = 1,8

| Volume d'eau contenu dans<br>la microporosité $V_{m60}$ | Humidité à -60 cm<br>(pF = 1,8) | Gonflement des agrégats<br>cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> |
|---|---------------------------------|---|
| $V_{m60} = V_S - V_{S/60} = 6,2$ cm <sup>3</sup>        | $(V_S - V_{S/60})/P = 31$ %     | $(V_{m60} - V_m)/v_a = 29$ %                                |

tement d'agrégats non perturbés parallèlement à la mesure du changement structural intervenu au cours de l'expérience. Or toutes sortes de mesures des propriétés physiques et du comportement du sol sont accessibles par cet appareillage simple ; elles ont été déjà décrites dans la littérature (COLLIS-GEORGES *et al.* 1973, 1979 ; QUIRK *et al.* 1955, 1962 ; WILLIAMS *et al.* 1966 ; JAYAWARDANE, 1978, 1979) : mesure du gonflement, de l'influence du gypse, du S.A.R., des variations de la porosité, de l'infiltration, de l'activité biologique, etc.

#### IV. Mesure d'une caractéristique physique du sol : L'humidité à pF 4,2

Parmi les mesures courantes effectuées en laboratoire sur les sols pour évaluer leurs propriétés physiques, la mesure de la teneur en eau à pF 4,2 est considérée comme l'une des plus intéressantes, non seulement parce qu'elle est associée à une propriété agronomique importante : le point de flétrissement, mais aussi parce que son domaine de variation sur le même matériau est relativement faible par rapport à celui observé pour des succions moins élevées (pF 3, pF 2). En effet, la microporosité correspondant à pF 4,2 est plus stable (porosité texturale) et moins aléatoire que les porosités de rayon moyen plus grand (STENGEL, 1979).

La teneur en eau à pF 4,2 est donc une mesure considérée comme reproductible et susceptible d'être

mise en relation avec la composition texturale (corrélations avec les taux d'argile, limon, sables). Cependant cette valeur est fonction également de l'aptitude du matériau au gonflement ; aptitude beaucoup plus difficile à évaluer et dépendante non seulement du type d'argile plus ou moins gonflante, mais aussi des éléments structuraux (agrégats) plus ou moins rigides, élastiques, stables.

Nous nous proposons de montrer que le taux d'humidité à pF 4,2 peut être envisagé comme une caractéristique intrinsèque de l'agrégat.

#### MODE OPÉRATOIRE

Le taux d'humidité à pF 4,2 a été déterminé sur diverses fractions granulométriques du sol de Tilène obtenues par fractionnement dans l'eau. (Tabl. VI) : 5 g environ de chaque fraction sont séchés à 105 °C, pesés (= P1) et placés, selon la méthode classique, dans les anneaux posés sur la plaque poreuse de l'appareil à pression. Le remplissage des anneaux se fait sans tassement et l'humidification des agrégats est effectuée lentement par saturation de la plaque poreuse pendant 24 h. Après être restés 48 h soumis à une pression de 16 kg/cm<sup>2</sup>, les agrégats sont récupérés entièrement, séchés à 105° et pesés (P2) (1). Le poids de sables libres (S) contenus dans chaque fraction est mesuré après destruction des agrégats à l'eau oxygénée, ou aux ultra-sons.

(1) Les agrégats sont récupérés intacts et peuvent être utilisés pour une autre mesure de pF de façon à construire la courbe de succion sur le même échantillon.

TABLEAU V

Composition granulométrique de l'échantillon Ti III au départ et à la fin de l'expérimentation d'infiltration-percolation

| N° du tamis | Ouverture mm | Poids initiaux |       | Poids finaux |       | Variation sur la somme |
|-------------|--------------|----------------|-------|--------------|-------|------------------------|
|             |              | grammes        | Somme | grammes      | sonme |                        |
| 0           | 1,00         | 0              | 0     | 0,08         | 0,08  | + 0,4 %                |
| 1           | 0,800        | 6,10           | 6,10  | 5,09         | 5,17  | - 4,6 %                |
| 2           | 0,630        | 5,80           | 11,90 | 5,18         | 10,35 | - 7 %                  |
| 3           | 0,500        | 8,10           | 20,00 | 7,68         | 18,03 | - 9,8 %                |
| 4           | 0,400        | 0              | 20,00 | 1,06         | 19,09 | - 4,4 %                |
| 5           | 0,315        | 0              | 20,00 | 0,21         | 19,30 | - 3,5 %                |
| 6           | 0,250        | 0              | 20,00 | 0,12         | 19,42 |                        |
| 7           | 0,200        | 0              | 20,00 | 0,10         | 19,52 |                        |
| 8           | 0,160        | 0              | 20,00 | 0,18         | 19,70 | - 2 %                  |
| TOTAL       |              | 20,00          |       | 19,70        |       |                        |

TABLEAU VI

Humidité à pF 4,2 de différentes fractions granulométriques d'agrégats et sables du sol de Tilène

| FRACTIONS GRANULOMETRIQUES |                         |                          | HUMIDITE A pF 4,2       |                             |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Taille en mm               | Poids P1 séchés à 105°C | Poids S de sables libres | Agré.+sables (P2-P1)/P1 | Agrégats vrais (P2-P1)/P1-S |
| 1,000-1,250                | 4,59 g                  | 0,80 g                   | 17,2 %                  | 20,7 %                      |
| 0,800-1,000                | 4,72 g                  | 0,74 g                   | 17,9 %                  | 21,2 %                      |
| 0,630-0,800                | 4,71 g                  | 0,75 g                   | 17,5 %                  | 20,8 %                      |
| 0,500-0,630                | 4,72 g                  | 0,83 g                   | 16,8 %                  | 20,4 %                      |
| 0,315-0,400                | 4,71 g                  | 0,84 g                   | 16,2 %                  | 19,7 %                      |
| 0,250-0,315                | 4,75 g                  | 1,18 g                   | 14,9 %                  | 19,7 %                      |
| 0,160-0,200                | 4,82 g                  | 2,39 g                   | 10,4 %                  | 20,6 %                      |
| 0,125-0,160                | 4,82 g                  | 2,34 g                   | 10,2 %                  | 19,8 %                      |
| 0,050-0,125                | 4,74 g                  | 1,36 g.                  | 14,8 %                  | 20,7 %                      |

RÉSULTATS

L'humidité à pF 4,2, rapportée à l'ensemble de la fraction, soit  $(P2-P1)/P1$ , et d'autre part rapportée au poids des agrégats seuls :  $(P2-P1)/(P1-S)$ , est donnée dans le tableau VI, pour chaque fraction granulométrique.

On remarque que, pour ce sol, l'humidité à pF 4,2 varie de façon linéaire avec la teneur en sables libres et est indépendante de la taille des agrégats entre 0,050 et 1,25 mm. En effet, l'humidité rapportée aux agrégats vrais est pratiquement la même pour les différentes fractions :

$$H_{ag} \text{ à pF } 4,2 = (P2-P1)/(P1-S) = 20,4 \pm 0,8 \%$$

Cette donnée (Hag) représente la capacité d'absorption de l'eau d'un élément matriciel structuré, gonflant et stable provenant d'un fractionnement dont la courbe de distribution est connue, et non plus la capacité d'absorption capillaire d'un mélange d'agrégats et de sables de toutes tailles. C'est donc une donnée susceptible de caractériser le comportement structural d'un sol au niveau de ses agrégats fins.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le présent article, il est montré que la séparation et l'étude du résultat d'un fractionnement, rendues possible par l'emploi du méthanol, offrent la possibilité d'évaluer le comportement physique d'un sol

à l'échelle de ses agrégats fins, définis par leur courbe de distribution.

En effet, le travail sur les agrégats fins, de taille donnée, répond à une nécessité, celle de réduire « le remaniement » de l'échantillon de sol à un ou quelques paramètres mesurables, comme il a été remarqué à propos de la macroporosité d'entassement dans l'expérience de percolation ci-dessus. L'étude en laboratoire se porte alors directement sur une microporosité intra-ingrégats qui se trouve être particulièrement stable et caractéristique du sol comme le montrent les résultats de la détermination du taux d'humidité à pF 4,2.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.,  
le 28 mai 1982

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDREUX (F.), BRUCKERT (S.), CORREA (A.), SOUCHIER (B.), 1980. — Sur une méthode de fractionnement physique et chimique des agrégats du sol : origine possible de la matière organique des fractions obtenues. *C. R. Hebd. Séances Acad. Sci.*, 291, n° 4 : 381-384.
- COLLIS-GEORGES (N.) and BRIDGE (B. J.), 1973. — The effect of height of sample and confinement on the moisture characteristics of aggregated swelling clay soils.
- COLLIS-GEORGES (N.) and GREENE (R. S. B.), 1979. — The effect of aggregate size on the infiltration behaviour of a slaking soil and its relevance to pounded irrigation. *Aust. J. Soil Res.*, 17 : 65-74.
- CONCARET (J.), 1967. — Étude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre en contact de solutions aqueuses. *Ann. Agron.* (1) : 67-90.
- COUGHLAN (K. J.) and FOX (W. E.), 1977. — Measurement of aggregate size, *Aust. J. Soil Res.*, 15 : 211-219.
- EMERSON (W. W.), 1954. — The determination of the stability of soil crumbs. *J. Soil Science*, 5 : 233-50.
- EMERSON (W. W.), 1959. — The structure of soil crumbs. *J. Soil Science*, 10 : 227-40.
- EMERSON (W. W.), 1967. — A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Aust. J. Soil Res.*, 5 : 47-57.
- FELLER (C.), 1979. — Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 4 : 339-346.
- GARDNER (W. R.), 1956. — Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. *Soil Sci. Soc. Proc.* : 151-153.
- GREENE-KELLY (R.), 1973. — The preparation of clay soils for determination of structure. *J. Soil Science*, 24 : 277-83.
- GUPTA (S. C.) and LARSON (W. E.), 1979. — A model for predicting packing density of soils using particle-size distribution. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 43 : 758-763.
- HAMBLIN (A. P.), 1980. — Changes in aggregate stability and associated organic matter properties after drilling and ploughing on some Australian Soils. *Aust. J. Soil Res.*, 18 : 27-36.
- HENIN (S.), 1938. — Étude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. Thèse, Univ. Paris.
- HENIN (S.), 1948. — Essai d'une théorie de la stabilité de la structure des sols. *Plant & Soil*, 1 : 167-78.
- JAYAWARDANE (N. S.) and BEATIE (J. A.), 1978. — Effect of salt solution composition on moisture release curves of soil. *Aust. J. Soil Res.*, 17 : 89-99.
- JAYAWARDANE (N. S.), 1979. — An equivalent salt solutions method for predicting hydraulic conductivities of soil for different salt solutions. *Aust. J. Soil Res.*, 17 : 423-8.
- LAWRENCE (G. P.), 1977. — Measurement of pore sizes in fine-textured soils : review of existing techniques. *J. Soil Sci.*, 28 : 527-40.
- LAWRENCE (G. P.), PAYNE (D.), GREENLAND (D. J.), 1979. — Pore size distribution in critical point and freeze dried aggregates from clay subsoil. *J. Soil Sci.*, 30, (3) : 499-516.
- MALICK (R. S.), LAROSSI (Ch.), DE BAKER (L. W.), 1979. — Physical components of the diffusivity coefficient. *Soil Sci. Soc. of Amer. J.*, 43, (4) : 633-637.

- Modification of soil structure, 1978. — Edited by Emerson (W. W.), Bond (R. D.), Dexter (A. R.) (John Wiley and Sons).
- MONNIER (G.) et BUI HUU TRI, 1971. — Une méthode d'évaluation de la taille des éléments structuraux du sol. *Sc. du sol*, n° 2 : 17-27.
- MONNIER (G.), STENGEL (P.), FIES (J. C.), 1973. — Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. *Ann. Agro.*, 24, (5) : 533-546.
- MURRAY (R. S.) and QUIRK (J. P.), 1980. — Comments on recent work critical point dried soil. Replies by Newman (A. C. D.) and Lawrence (G. P.), Payne (D.) and Greenland (D. J.). *J. Soil. Sci.*, 32 : 161-163.
- NEWMAN (A. C. D.) and THOMASSON (A. J.), 1979. — Rothamsted studies of soil structure III Pore size distributions and shrinkage processus. *J. Soil. Sci.*, 30 : 415-440.
- NORTH (P. F.), 1976. — Toward an absolute measurement of soil structural stability using ultra sound. *J. Soil. Sci.*, 27, (4) : 451.
- QUIRK (J. P.) and SCHOFIELD (R. K.), 1955. — The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil. Sci.*, 6 : 163-178.
- QUIRK (J. P.) and PANABOKKE (C. R.), 1962. — Pore volume-Size distribution and swelling of natural soil aggregates. *J. Soil. Sci.*, 13 : 71-81.
- QUIRK (J. P.) and PANABOKKE (C. R.), 1962. — Incipient failure of soil aggregates. *J. Soil. Sci.*, 13 : 60-70.
- RORKE BRYAN (B.), 1971. — The efficiency of aggregation indices in the comparison of some English and Canadian soils. *J. Soil. Sci.*, 22 (2) : 166-178.
- STENGEL (P.), 1979. — Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol « in situ ». *Ann. Agron.*, 1979, 30 (1) : 27-51.
- TURCHENEK (L. W.) and OADES (J. M.), 1979. — Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 21 : 311-343.
- WILLIAMS (B. G.), GREENLAND (D. J.), LINDSTROM (G. R.), QUIRK (J. P.), 1966. — Techniques for the determination of the stability of soil aggregates. *Soil. Sci.*, 101 : 157-163.