



**HAL**  
open science

## Densité texturale de sols naturels II. - Eléments d'interprétation

Jean-Claude Fies, Pierre Stengel, Michel Bourlet, Jacques Horoyan, Claude Jeandet

► **To cite this version:**

Jean-Claude Fies, Pierre Stengel, Michel Bourlet, Jacques Horoyan, Claude Jeandet. Densité texturale de sols naturels II. - Eléments d'interprétation. *Agronomie*, 1981, 1 (8), pp.659-666. hal-00884308

**HAL Id: hal-00884308**

**<https://hal.science/hal-00884308>**

Submitted on 11 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Densité texturale de sols naturels

## II. - Eléments d'interprétation

Jean-Claude FIES & Pierre STENGEL

avec la collaboration technique de Michel BOURLET, Jacques HOROYAN & Claude JEANDET

I.N.R.A., Station de Science du Sol, Centre de recherches d'Avignon, F 84140 Montfavet

### RÉSUMÉ

*Densité texturale,  
Texture sol,  
Structure sol,  
Porosité sol,  
Granulométrie,  
Assemblage sol.*

La recherche de relations entre la densité texturale des sols et leur composition granulométrique est réalisée sur des échantillons de sols naturels considérés à l'état sec.

Il apparaît que la densité texturale croît avec la teneur en argile 0-2  $\mu\text{m}$ , quand cette teneur est comprise entre 10 et 50 p. 100. L'analyse de ce résultat, par comparaison à ceux obtenus sur mélanges artificiels, montre que c'est avec les sols à squelette très limoneux que l'influence de la teneur en argile sur la densité texturale est la plus marquée.

Dans les sols à teneur en argile inférieure à 20 p. 100, le rôle de la fraction squelette 2-2 000  $\mu\text{m}$  peut être interprété en termes de mélange de petites et grosses particules, respectivement 2-20  $\mu\text{m}$  et 200-2 000  $\mu\text{m}$ . La comparaison des valeurs de densité texturale de sols remaniés et non remaniés confirme l'influence de la composition granulométrique sur la densité texturale.

Il semble possible d'utiliser les valeurs obtenues sur échantillons remaniés pour juger de l'influence de facteurs proprement pédologiques sur la densité texturale des sols.

### SUMMARY

*Textural bulk density,  
Soil texture,  
Soil structure,  
Soil porosity,  
Particle size distribution,  
Soil fabric.*

*Textural soil bulk density. II. - Result and discussion.*

Relationships between textural bulk density and particle size distribution have been investigated on undisturbed soil samples, in a dry state.

Within a clay content ranging from 10 to 50 p. 100, the textural bulk density value increases along with clay content.

This result is compared to those obtained on artificial samples. It appears that the higher the silt content of skeleton particle is, the stronger is the clay content effect.

When the clay content is less than 20 p. 100, textural bulk density can be related to a binary packing of fine (2-20  $\mu\text{m}$ ) and coarse (200-2 000  $\mu\text{m}$ ) components.

The effect of particle size distribution on the textural bulk density value is made evident when comparing undisturbed and remoulded samples.

Implications of the use of remoulded samples for pedological studies are discussed.

### I. INTRODUCTION

La densité texturale du sol est une conséquence du mode d'arrangement de ses constituants.

Au niveau opérationnel, il a été montré que la caractérisation de l'espace poral structural du sol, résultant d'actions climatique, anthropique ou biologique, nécessitait la mesure de sa densité texturale (STENGEL, 1979).

Ayant défini le domaine d'application d'une méthode de mesure par imprégnation au pétrole (FIES & STENGEL, 1981), nous allons envisager maintenant dans quelle mesure la densité texturale de sols naturels pouvait dépendre de la distribution dimensionnelle des particules du sol, telle qu'elle est fournie par une analyse granulométrique.

Cette étude portera d'une part sur la recherche de relations entre une ou plusieurs fractions granulométriques

et les valeurs de densité texturale de sols à l'état naturel, d'autre part sur des comparaisons entre valeurs de densité texturale obtenues sur échantillons naturels et remaniés.

### II. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le choix des échantillons de sol, les méthodes de préparation d'échantillons remaniés et la méthode de mesure de densité ont été présentés dans l'article précédent (FIES & STENGEL, 1981).

Rappelons que 2 modes de préparation ont été retenus, correspondant l'un à une histoire hydrique standard, l'autre à une histoire hydrique modulée. Par convention, la densité texturale mesurée sur échantillon remanié est notée  $\gamma_{\text{rd}}$ . Dans le cas d'échantillon naturel, elle est notée  $\gamma_{\text{nd}}$ . Dans

tout ce qui suit, il s'agira d'échantillons considérés à l'état sec.

### III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### A. Présentation des valeurs obtenues sur échantillons naturels.

Les valeurs de densité texturale mesurées sur les échantillons naturels sont indiquées sur le tableau 1. Les mesures ont été généralement effectuées sur des prises d'agglom-

rats tamisés entre 2 et 3 mm. Dans le cas de matériaux argileux, la dimension des agglomérats a été abaissée à 1,25-2 mm, à condition toutefois que la granulométrie indique une faible teneur en sable grossier. Pour les matériaux sableux et sablo-argileux, la mesure a porté sur des volumes d'environ 15 cm<sup>3</sup>. Un exemple des écarts-types obtenus est présenté au tableau 2.

On constate qu'ils peuvent atteindre une valeur élevée dans le cas de certains matériaux à constituants grossiers.

Il apparaît aussi que la gamme des densités est assez étalée puisqu'elles se situent entre les valeurs de 1,59 à 2,00.

TABLEAU 1

*Granulométrie des matériaux prélevés et densités texturales mesurées sur échantillons naturels après séchage*  
*Particle size distribution and textural dry bulk densities of natural soils*

A 0-2	Granulométrie p. 100 Classes de taille en $\mu\text{m}$				M.O.	CO <sub>3</sub> Ca total	Référence	$\gamma_{\text{od}}$
	1 2-20	L 20-50	s 50-200	S 200-2 000				
8,0	16,9	40,0	30,2	4,9	$\epsilon$	0	11	1,677
41,3	15,6	13,1	13,6	15,1	1,27	0	16	1,941
12,8	16,5	41,2	17,8	11,4	0,74	$\epsilon$	55 <sub>1</sub>	1,689
24,8	19,9	35,5	14,0	5,8	$\epsilon$	$\epsilon$	55 <sub>2</sub>	1,810
31,5	15,5	33,5	7,0	12,5	$\epsilon$	0	55 <sub>3</sub>	1,793
27,4	24,6	34,5	11,7	1,8	$\epsilon$	0	75	1,734
50,0	16,5	25,9	5,5	2,1	$\epsilon$	0	116	2,007**
16,7	10,9	38,3	30,0	2,9	1,00	11	118	1,593
11,5	21,5	43,7	16,1	7,2	0,64	0	128	1,741
17,3	6,8	35,7	22,4	16,9	0,95	2,5	129 <sub>1</sub>	1,756
33,0	24,4	24,5	11,0	7,1	$\epsilon$	0	129 <sub>2</sub>	1,864
12,8	0,3	16,0	3,0	67,2	0,74	0	131 <sub>1</sub>	1,664*
5,4	2,8	3,0	12,8	76,0	$\epsilon$	0	131 <sub>2</sub>	1,695*
8,6	4,7	10,5	28,2	46,3	0,53	0	145 <sub>1</sub>	1,711*
10,3	9,5	6,9	18,0	55,4	$\epsilon$	0	145 <sub>2</sub>	1,735*
51,2	29,2	6,9	10,6	2,1	1,25	26,9	Vign.	2,002**
20,6	38,3	33,3	5,0	2,8	2,1	$\epsilon$	St. Aub.	1,719
13,0	28,0	43,4	11,4	4,2	1,3	$\epsilon$	Sar.	1,670
28,0	31,0	33,0	6,0	1,5	1,8	0	Boi.	1,853
28,5	24,0	45,0	1,5	0,5	0,5	0	HB	1,792
22,5	25,6	42,9	6,1	3,1	0,1	0	Rh.	1,740

\*\* mesuré au niveau agglomérat 1,25-2 mm.

\* mesuré au niveau motte de 15 cm<sup>3</sup>.



TABLEAU 3

Densité texturale sèche de mélanges réalisés au laboratoire, d'une pâte phylliteuse calcique inférieure à 2 µm (argile HB) et différents squelettes, puis soumis à une histoire standard  
 Textural dry bulk density of remoulded samples (standard desiccation). The same clay material (Ca<sup>++</sup>, 0-2 µm) is used with several skeletons

Argiles p. 100 pondéraux	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Squelette en µm 2-50	1.715	1.712	1.729	1.768	1.847	1.888	1.936	1.980	—	1.990	1.976	1.929
20-50	1.538	1.588	1.594	1.626	1.685	1.804	1.878	1.923	1.949	1.943	1.930	1.929
100-200	1.620	1.587	1.572	1.591	1.614	1.706	1.761	1.817	1.852	1.876	1.903	1.929
200-500 2 ± 10	1.864	1.838	1.830	1.825	1.836	1.862	1.853	1.859	1.872	1.877	1.905	1.929

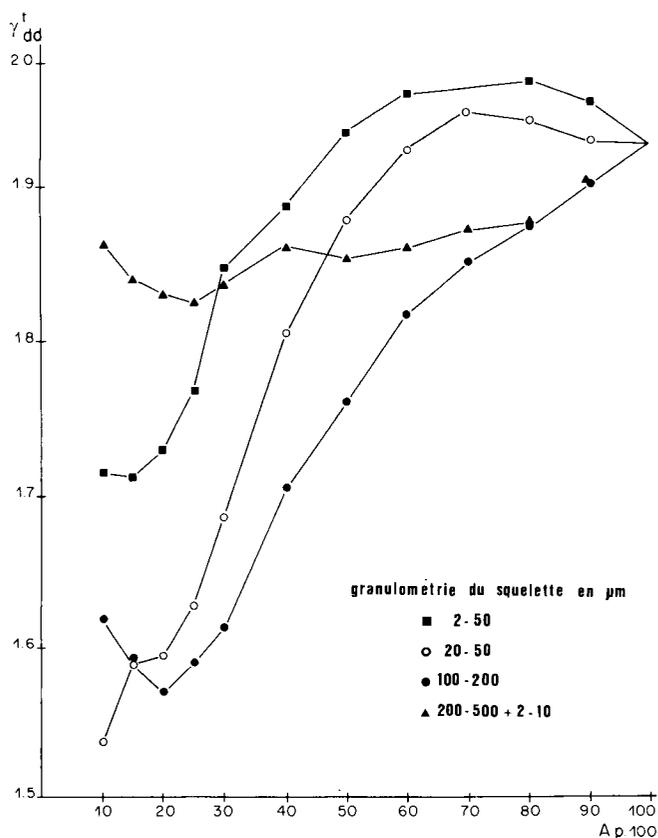


Figure 2  
 Variation de la densité texturale en fonction de la teneur en phyllite de mélanges artificiels, pour différents squelettes (A p. 100 = teneur en 0-2 µm).  
 Variation of textural dry bulk density with clay content, for remoulded samples, using several skeleton diameters and the same clay material (A = clay 0-2 µm content, p. 100).

avec : l = p. 100 limon 2-20 µm  
 L = p. 100 limon 20-50 µm  
 A = p. 100 d'argile 0-2 µm

Un ajustement linéaire (13 < A < 50) conduit au résultat suivant :

$$\gamma_{dd}^r = 0,0094 A + 1,5336$$

$$n = 7 ; r = 0,954^{***}$$

TABLEAU 4

Equation des ajustements linéaires  $\gamma_{dd}^l$  et A, pour différents mélanges réalisés au laboratoire  
 Linear regression formulae between  $\gamma_{dd}^l$  and A, for remoulded samples. (A = 0-2 µm content, p. cent)

Squelette en µm	Estimation de $\gamma_{dd}^l$	r
2-50	0.0064 A + 1.6265	0,976
20-50	0.0091 A + 1.4417	0,989
100-200	0.0043 A + 1.5189	0,857
200-500 2 ± 10	0.002 A + 1.8375	0,2

avec : 10 p. 100 ≤ A ≤ 50 p. 100

On peut constater que la pente et le coefficient de corrélation sont, en effet, plus élevés que ceux de la corrélation générale (1). La figure 3 montre que les densités texturales des échantillons naturels à dominante limoneuse ont, en fonction de la teneur en argile, une distribution proche de celle observée au laboratoire sur les mélanges d'argile HB et de limon 2-50 µm.

Par ailleurs, dans une étude des relations entre la teneur en argile (< 2 µm) et l'indice des vides e ( $e = \frac{\gamma_s}{\gamma_{dd}} - 1$ ) d'agglomérats naturels, la relation suivante a été proposée (transposée ici en terme de  $\gamma_{dd}^r$ , la valeur de densité de solide  $\gamma_s$  étant supposée égale à 2,70) :

$$\gamma_{dd} = 0,0028 A + 1,759 \quad (\text{d'après SMITH et al., 1978})$$

avec :

$$10 \text{ p. } 100 < A < 54 \text{ p. } 100 ; n = 30 ; r = 0,36^*$$

Les auteurs annonçant que dans les matériaux étudiés la teneur en limons totaux est inférieure à 20 p. 100, on peut noter ici une convergence entre les valeurs du coefficient de corrélation et de la pente obtenues sur mélanges artificiels à

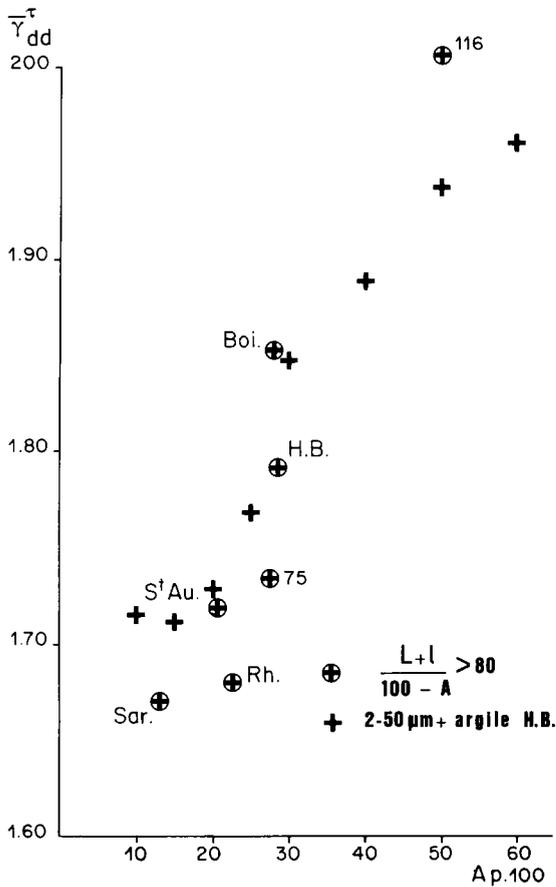


Figure 3  
Influence de la teneur en argile sur la densité texturale de sols à squelette riche en limon 2-50  $\mu\text{m}$ .  
—  $\oplus$  = échantillons naturels,  
— + = mélanges d'une fraction phylliteuse 0-2  $\mu\text{m}$  et d'un limon 2-50  $\mu\text{m}$ , réalisés au laboratoire.  
Textural dry bulk density in relation to clay content for silty skeleton soils.  
—  $\oplus$  = natural samples,  
— + = binary mixtures of a clay mineral and silt 2-50  $\mu\text{m}$ .

squelette riche en sable (tabl. 4) et celles de la régression ci-dessus.

D'autre part, les mêmes auteurs proposent pour les échantillons à teneur en argile supérieure à 54 p. 100, non rencontrée dans notre échantillonnage, la relation suivante :

$$\gamma_{dd} = -0,00174 A + 2,017$$

avec :

$$54 \text{ p. } 100 < A < 90 \text{ p. } 100 ; n = 34 ; r = 0,30$$

Cette relation n'est significative qu'à un seuil de valeur supérieure à 0,1.

La tendance observée ici d'une décroissance de  $\gamma_{dd}^{\tau}$  quand augmente la teneur en argile apparaît comme intermédiaire entre les comportements observés sur mélanges (fig. 2) où, quand la teneur en argile augmente,  $\gamma_{dd}^{\tau}$  tend à décroître dans le cas de mélange à squelette limoneux et tend à croître dans le cas de squelette sableux, quand A est supérieur à 70 p. 100.

Il apparaît maintenant, à l'issue de cette étude des relations entre  $\gamma_{dd}^{\tau}$  et A, que la teneur en argile n'est pas la seule variable explicative de la valeur de  $\gamma_{dd}^{\tau}$ .

On peut constater (fig. 2) que, dans le cas précis où le même matériau phylliteux est utilisé, les caractéristiques du squelette modulent profondément la densité texturale

mesurée pour une même teneur en phyllite. Nous allons maintenant chercher à analyser cette influence en considérant l'effet de la distribution granulométrique du squelette. Ce point de vue est suggéré par l'effet marqué du squelette à densité texturale élevée sur la densité texturale obtenue à la suite du mélange de ce squelette et d'une phase argileuse.

2. Influence de la distribution granulométrique du squelette sur la densité texturale des échantillons naturels

Ainsi que nous l'avons indiqué en introduction, de nombreuses études ont montré l'influence de la distribution granulométrique sur la densité de mélange de matériaux meubles. Dans le cas de mélanges binaires, on a pu montrer que la valeur de la densité de mélange était d'autant plus élevée que la différence de taille entre les particules des 2 classes utilisées était plus grande, toutes choses égales par ailleurs (FIES, 1978).

Pour analyser un tel effet, nous avons retenu les échantillons dont la teneur en argile était inférieure à 20 p. 100 afin de minimiser l'effet propre à ce constituant. Pour ces échantillons, nous avons cherché alors à tester l'influence d'un mélange de grosses et de petites particules en utilisant les données relatives aux teneurs en limon fin 2-20  $\mu\text{m}$  et en sable grossier 200-2 000  $\mu\text{m}$ . On a ainsi calculé pour chaque échantillon concerné la teneur relative en limon fin, selon l'expression suivante :

$$100 \cdot \frac{l}{l+s} \quad \text{avec : } l = \text{p. } 100 \text{ de limon } 2-20 \mu\text{m}$$

$$S = \text{p. } 100 \text{ de sable } 200-2\,000 \mu\text{m}$$

La distribution des valeurs de  $\gamma_{dd}^{\tau}$  en fonction de cette teneur relative en limon fin peut être observée sur la figure 4. Dans cette représentation, la disposition des points évoque bien un effet de mélange, les valeurs de densité texturale les plus élevées se situant dans le domaine de teneur relative en limon situé entre 0 et 50 p. 100.

A titre d'exemple, on a porté sur le même graphique la courbe représentative d'une loi de mélange calculée avec un modèle numérique (FIES *et al.*, 1972). Les points de passage obligé ont été fixés à 1,65 pour les teneurs relatives en limon

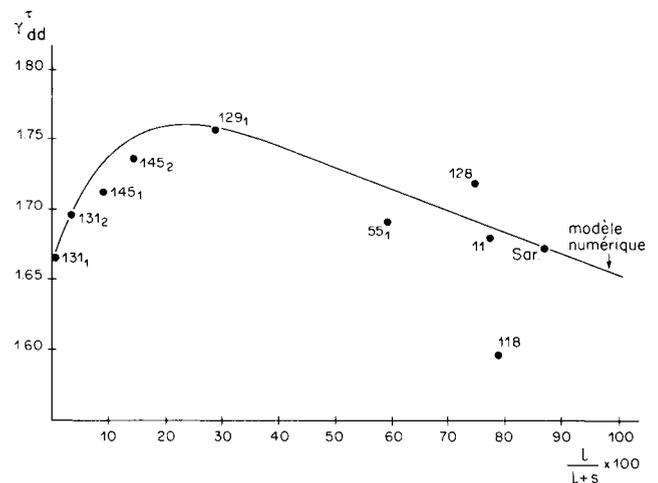


Figure 4  
Influence des proportions relatives de limon 2-20  $\mu\text{m}$  (l) et de sable 200-2 000  $\mu\text{m}$  (s) sur la densité texturale de sols naturels.  $A < 20 \text{ p. } 100$ .  
Textural dry bulk density in relation to relative contents of silt ( $l = 2-20 \mu\text{m}$ ) and sand ( $s = 200-2\,000 \mu\text{m}$ ). Clay content.  $A < 20 \text{ p. } 100$ .

de 0 et de 100 p. 100, et à 1,76 pour le maximum de teneur relative fixée à 22,5 p. 100.

Le seul intérêt de cette construction « *a posteriori* » est de montrer que l'on peut rendre compte de la disposition des valeurs de  $\gamma_{dd}^r$  à l'aide d'un modèle de mélange. Il faut noter cependant qu'il ne s'agit ainsi que de mettre en évidence une tendance générale liée à l'influence, reconnue par ailleurs, des proportions de mélange d'éléments fins et grossiers.

Nous avons jusqu'à présent cherché à montrer que les valeurs de  $\gamma_{dd}^r$  observées n'étaient pas indépendantes des caractéristiques granulométriques des échantillons étudiés, en nous appuyant d'une part, sur des similitudes reconnues avec des mélanges préparés en laboratoire, d'autre part, sur un mécanisme d'interaction entre particules du squelette.

Cette démarche est rendue cependant difficile au moins par l'hétérogénéité certaine de la nature minéralogique de la fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$  ainsi que par les grandes différences de distribution dimensionnelles présentées par les squelettes des échantillons.

Nous allons maintenant considérer le résultat d'un malaxage humide de chaque échantillon suivi d'une histoire hydrique donnée. La comparaison entre les valeurs de densité texturale alors obtenues et celles observées sur les échantillons d'origine naturelle va ainsi porter sur des couples de constitution (nature, granulométrie et charge ionique) pratiquement identique.

## B. Comparaison des valeurs de densité texturale mesurée sur échantillons remaniés et naturels

### 1. Relations globales $\gamma_{dd}^r$ ; $\gamma_{dd}^l$ remanié

Le tableau 5 présente les valeurs de densité texturale obtenues sur échantillons remaniés soumis à une histoire

hydrique standard d'une part, à une histoire hydrique modulée d'autre part. On a également rappelé les valeurs obtenues sur échantillons naturels.

La recherche d'une corrélation entre  $\gamma_{dd}^r$  et  $\gamma_{dd}^l$  remanié a donné les résultats suivants :

— dans le cas d'échantillons soumis à l'histoire hydrique standard la valeur estimée de  $\gamma_{dd}^r = 0,9590 \cdot \gamma_{dd}^l + 0,0066$  avec :  $r = 0,812^{***}$  ;  $n = 21$

— dans le cas d'échantillons soumis à l'histoire hydrique modulée la valeur estimée de  $\gamma_{dd}^r = 0,8630 \cdot \gamma_{dd}^l + 0,1989$  avec :  $r = 0,883^{***}$  ;  $n = 18$

On peut donc conclure à une dépendance certaine entre couples de valeurs  $\gamma_{dd}^r$ ;  $\gamma_{dd}^l$  remanié pour les 2 histoires hydriques mises en œuvre.

Ceci confirme encore l'hypothèse d'une relation entre  $\gamma_{dd}^r$  et la constitution des sols étudiés.

On peut d'autre part s'interroger sur la disposition des points représentatifs des couples de valeur (fig. 5) relativement à la 1<sup>re</sup> bissectrice. Quelle signification peut-on donner au fait qu'il y ait ou non concordance entre valeurs de  $\gamma_{dd}^r$  et valeurs de  $\gamma_{dd}^l$  remanié ?

### 2. Discussion sur l'interprétation des valeurs $\gamma_{dd}^l$ (naturels), $\gamma_{dd}^l$ (remaniés)

On peut constater (fig. 5) que la moitié environ des points représentatifs des couples  $\gamma_{dd}^r$ ;  $\gamma_{dd}^l$  remanié se situe au voisinage de la 1<sup>re</sup> bissectrice, dans une zone équivalant à un écart de porosité inférieure à 2 p. 100 en valeur absolue. Le restant des points correspond au cas où  $\gamma_{dd}^l$  remanié est significativement supérieur à  $\gamma_{dd}^r$ . Par ailleurs, en fonction de l'histoire hydrique, il apparaît pour certains échantillons

TABLEAU 5

Densités texturales des échantillons naturels et remaniés (histoire hydrique standard, histoire hydrique modulée)  
Textural dry bulk densities values obtained on natural and remoulded samples (standard and modulated desiccation)

Granulométrie p. 100 Classes de taille en $\mu\text{m}$					Référence	$\gamma_{dd}$ naturel	$\gamma_{dd}$ remanié	
A 0-2	1 2-20	L 20-50	s 50-200	S 200-2 000			standard	modulé
8,0	16,9	40,0	30,2	4,9	11	1.677	1.795	1.696
41,3	15,6	13,1	13,6	15,1	16	1.941	1.992	—*
12,8	16,5	41,2	17,8	11,4	55 <sub>1</sub>	1.689	1.809	1.760
24,8	19,9	35,5	14,0	5,8	55 <sub>2</sub>	1.810	1.884	1.882
31,5	15,5	33,5	7,0	12,5	55 <sub>3</sub>	1.793	1.919	1.918
27,4	24,6	34,5	11,7	1,8	75	1.734	1.845	1.827
50,0	16,5	25,9	5,5	2,1	116	2.007	1.992	2.042
16,7	10,9	38,3	30,0	2,9	118	1.593	1.755	1.707
11,5	21,5	43,7	16,1	7,2	128	1.741	1.831	1.755
17,3	6,8	35,7	22,4	16,9	129 <sub>1</sub>	1.756	1.859	1.787
33,0	24,4	24,5	11,0	7,1	129 <sub>2</sub>	1.864	1.873	1.912
12,8	0,3	16,0	3,0	67,2	131 <sub>1</sub>	1.664	1.808	1.740
5,4	2,8	3,0	12,8	76,0	131 <sub>2</sub>	1.695	1.860	1.825
8,6	4,7	10,5	28,2	46,3	145 <sub>1</sub>	1.711	1.800	—
10,3	9,5	6,9	18,0	55,4	145 <sub>2</sub>	1.735	1.817	1.825
51,2	29,2	6,9	10,6	2,1	Vig.	2.002	2.006	2.014
20,6	38,3	33,3	5,0	2,8	St. Au.	1.719	1.728	1.717
13,0	28,0	43,4	11,4	4,2	Sar.	1.670	1.644	1.626
28,0	31,0	33,0	6,0	1,5	Boi.	1.853	1.835	1.808
28,5	24,0	45,0	1,5	0,5	HB.	1.792	1.811	1.808
22,5	25,6	42,9	6,1	3,1	Rh.	1.740	1.727	—

\* mesure non réalisée faute d'un échantillon suffisant.

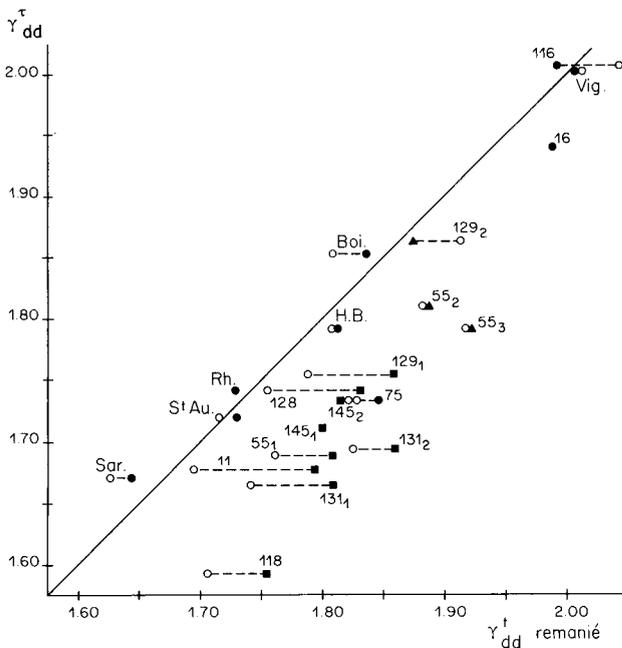


Figure 5  
Relation entre densité texturale d'échantillons naturels et remaniés.  
Influence de l'histoire hydrique.

○ = valeurs de  $\gamma_{dd}^t$  modulé.

Les signes noirs se rapportent aux valeurs de  $\gamma_{dd}^t$  standard :

● = A p. 100 > 40 ou  $\frac{L+1}{100-A} \cdot 100 > 60$ .

■ = A p. 100 < 20.

▲ = divers.

Relationship between textural dry bulk density of natural and remoulded soil samples. Hydric conditions influence on remoulded samples.

○ =  $\gamma_{dd}^t$  after modulated desiccation.

Black signs =  $\gamma_{dd}^t$  after standard desiccation.

● = A p. 100 > 40 or  $\frac{L+1}{100-A} \cdot 100 > 60$ .

■ = A p. 100 < 20.

▲ = other cases.

des différences importantes entre valeurs de  $\gamma_{dd}^t$ , obtenues respectivement après une histoire hydrique standard ou modulée.

Plusieurs arguments peuvent être avancés pour chercher à rendre compte de l'effet de l'histoire hydrique et interpréter les différences entre  $\gamma_{dd}^t$  et  $\gamma_{dd}^r$ .

a) En ce qui concerne l'effet de l'histoire hydrique, il semble que ce soit avec les échantillons dont la constitution est telle que  $A < 20$  p. 100 que cet effet soit le plus marqué. Alors que dans tous les autres cas, les écarts entre  $\gamma_{dd}^t$  standard et  $\gamma_{dd}^t$  modulé sont inférieurs à 2 p. 100 de porosité en valeur absolue, pour cette famille granulométrique, les variations se situent dans une gamme allant de 0 à 6 p. 100 de porosité. Compte tenu du fait que ces matériaux appartiennent à un ensemble granulométrique reconnu comme sensible à un tassement (FAURE & FIES, 1972), il apparaît plausible que l'application de contraintes hydriques différentes puisse entraîner des variations de  $\gamma_{dd}^t$ .

Mais il est alors difficile, dans ces conditions, d'interpréter les accords ou désaccords observés entre valeurs de  $\gamma_{dd}^t$  et celles de  $\gamma_{dd}^r$  à la suite de l'un ou de l'autre des processus mis en jeu, au moins tant que l'on ne connaît pas les gradients de potentiels imposés par ces processus et ceux auxquels sont soumis les échantillons dans le milieu naturel. Il semble par ailleurs que, dans le cas de matériaux à dominante sableuse mis en place par alluvionnement

(131<sub>1-2</sub>, 145<sub>1-2</sub>), le processus de malaxage favorise *a priori* un arrangement plus dense des constituants.

b) En ce qui concerne maintenant les échantillons riches en argile ( $A > 40$  p. 100) et sous réserve qu'il s'agisse de phyllites, on peut admettre que l'essentiel de l'histoire de ces matériaux a porté sur les modalités d'associations entre cristallites ou ensemble de cristallites. Ces associations ont peu de chance d'être affectées par le malaxage lui-même (QUIRK, comm. pers.). Par ailleurs, les contraintes développées dans ces matériaux lors du séchage sont généralement très élevées. On peut donc s'attendre dans ces conditions à trouver un bon accord entre valeurs de  $\gamma_{dd}^t$  et valeurs de  $\gamma_{dd}^r$  remanié.

c) Un troisième ensemble de matériaux paraît pouvoir être défini par le caractère limoneux du squelette, c'est-à-dire  $100 \cdot \frac{L+1}{100-A} > 80$  p. 100. Ces matériaux paraissent peu sensibles à un effet de l'histoire hydrique et 6 sur 7 correspondent à des couples situés près de la 1<sup>re</sup> bissectrice. On peut avancer que cette fréquence élevée d'accord entre valeurs de densités texturales est liée au fait qu'il s'agit souvent d'échantillons prélevés dans des zones encore récemment travaillées (Sar. ; Rh. ; Boi. ; St. Aub.) (cf. FIES & STENGEL, 1981, tabl. 1). Dans ces conditions, le mode de préparation au laboratoire conférerait à ces matériaux un assemblage proche de celui conféré au matériau naturel par les effets conjugués du travail du sol et du climat.

Le seul écart important est marqué par l'échantillon 75 (sous-sol). Mais il apparaît ici que la valeur de  $\gamma_{dd}^t$  observée après remaniement est proche de celles observées sur des échantillons remaniés appartenant à la même famille granulométrique, ainsi que de celle estimée sur un mélange argile HB-limon 2-50  $\mu\text{m}$  (tabl. 6).

TABLEAU 6

Valeurs de  $\gamma_{dd}^t$  standard de l'échantillon 75 et d'échantillons de la même famille granulométrique

Standard  $\gamma_{dd}^t$  value for sample 75 compared to values obtained on samples with similar particle size distribution

Echantillon 75 A = 27,4 p. 100	Mélange 2-50 $\mu\text{m}$ argile HB.	Echantillon HB. A = 28,5 p. 100	Echantillon Boi. A = 28 p. 100
1.845	1.810*	1.811	1.835

\* valeur estimée par intrapolation pour A = 27 p. 100.

On peut donc conclure que la valeur de  $\gamma_{dd}^t$  de l'échantillon 75 n'est pas liée à une composition particulière du squelette ou de la fraction argileuse mais dépend vraisemblablement de l'histoire propre au sol dont il provient.

Enfin, en l'absence de données de référence sur les échantillons 129<sub>1</sub>, 55<sub>2-3</sub>, (texture d'argile limono-sableuse à limono argilo-sableuse), il n'est pas possible de juger de l'accord ou de la différence observés entre valeurs de  $\gamma_{dd}^t$  remanié et valeurs de  $\gamma_{dd}^r$ .

#### IV. CONCLUSIONS

Dans cette seconde partie d'une étude de la densité texturale de sols, nous avons mis en évidence l'influence de la composition granulométrique sur la densité texturale d'échantillons naturels, à l'état sec.

En ce qui concerne tout d'abord la fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$  (argile), il apparaît que la densité texturale croît avec

la teneur pondérale en argile, l'intervalle étudié représentant une variation de 10 à 50 p. 100 d'argile. L'observation des données recueillies sur des mélanges expérimentaux suggère que, dans cet intervalle, l'effet propre à une teneur en argile donnée est d'autant plus marquée sur la valeur de la densité texturale que le squelette (particules 2-2 000  $\mu\text{m}$ ) est plus fin. Ceci a pu être vérifié sur les échantillons naturels à squelette riche en limon 2-50  $\mu\text{m}$ .

Les données obtenues par ailleurs dans la littérature semblent corroborer le fait que l'augmentation de la densité texturale d'échantillons naturels avec la teneur en argile est beaucoup moins marquée dans le cas de matériaux à squelette grossier. On trouve donc bien au niveau des échantillons naturels un effet d'interaction, phase argileuse-squelette, mis en évidence par l'étude de mélanges expérimentaux.

En ce qui concerne l'effet propre à la composition granulométrique du squelette, nous avons pu montrer que la densité texturale présentée par les échantillons à moyenne et faible teneurs en argile pouvait être interprétée en terme de mélange de particules grossières (sable 50-2 000  $\mu\text{m}$ ) et de particules fines (limon 2-20  $\mu\text{m}$ ).

Enfin, les confrontations des valeurs de densité texturales

observées sur échantillons naturels à celles mesurées après remaniement des échantillons ont permis de confirmer que la constitution du matériau est un facteur explicatif important de la densité texturale *in situ* des sols. Les résultats obtenus par ailleurs sur une collection de sols calcaires (SOUTY, 1978) suggèrent le caractère général de relations constitution-densité texturale.

Il faut cependant souligner que d'autres facteurs appartenant à « l'histoire du sol » peuvent agir conjointement sur le mode d'organisation des constituants, qu'il s'agisse d'une action anthropique ou d'un phénomène lié à la pédogenèse. Une analyse basée sur la comparaison entre valeur de densité texturale *in situ* et observée après remaniement semble devoir permettre de juger de leur importance relative. Le développement d'une telle approche reposera sur la pertinence des valeurs de référence que l'on aura pu réaliser. Ceci suppose au moins la connaissance d'une part des phénomènes d'organisation au sein de la phase argileuse elle-même, d'autre part l'explicitation des interactions phase argileuse-squelette.

Reçu le 22 décembre 1980.

Accepté le 2 mai 1981.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Faure A., Fies J. C., 1972. Etude expérimentale de la sensibilité à la compaction de matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique. *Ann. agron.*, **23** (3), 317-332.
- Fies J. C., 1978. *Porosité du sol : étude de son origine texturale*. Thèse U.L.P., Strasbourg.
- Fies J. C., Henin S., Monnier G., 1972. Etude de quelques lois régissant la porosité de matériaux meubles. *Ann. agron.*, **23** (6), 621-653.
- Fies J. C., Stengel P., 1981. Densité texturale de sols naturels. I - Méthode de mesure. *Agronomie*, **1** (8).
- Smith G. D., Coughlan K. J., Fox W. E., 1978. The role of texture in soil structure, in EMERSON ed. *Modification of Soil Structure*, J. WILEY, Chichester, p. 79-86.
- Souty N., 1978. Première contribution à l'étude des propriétés physiques et mécaniques particulières de sols calcaires. *Ann. agron.*, **29** (5), 421-438.
- Stengel P., 1979. Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol *in situ*. *Ann. agron.*, **30** (1), 27-51.