

Note Technique

L'analyse granulométrique de sols et sédiments à l'aide du microgranulomètre « Sedigraph 5000 ET » Comparaison avec la méthode « pipette Robinson »

Mireille DELAUNE (1), Martine REIFFSTECK (1) et Christian FELLER (2)

(1) Laboratoire des formations superficielles, Orstom, 70-74 route d'Aulnay 93143 Bondy cedex, France

(2) Laboratoire du comportement des sols cultivés, Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France

RÉSUMÉ

Les granulométries d'échantillons de sols et de sédiments tropicaux déterminées selon une méthode mettant en œuvre un appareil automatique de type « Sedigraph » sont comparées à celles obtenues par la méthode conventionnelle à la « pipette Robinson ». Nous avons montré que la méthode « Sedigraph » peut être utilisée en routine, même si elle sous-estime sensiblement les teneurs en limons grossiers. Cet effet n'a d'importance que pour des échantillons aux teneurs en limons grossiers inférieures à 20 %.

MOTS CLÉS : Fractionnement granulométrique - Sedigraph - Sols - Sédiments.

ABSTRACT

PARTICLE SIZE ANALYSIS OF SOILS AND SEDIMENT BY « SEDIGRAPH 5000 ET » COMPARISON WITH « PIPET » METHOD

Particle size analysis of tropical soils and sediments by a « Sedigraph » method and a « Pipet » method were compared. The results show that the « Sedigraph » method can be used for routine analysis although coarse silt content (50-20 μ m) is underestimated. This effect is negligible when the coarse silt content of the sample is lower than 20 %.

KEY WORDS : Particle size analysis - « Sedigraph » method - Soils - Sediments.

INTRODUCTION

Les analyses granulométriques font de plus en plus appel à des appareils de mesure automatiques. Les plus couramment utilisés sont : le Counter Coulter, le Sedigraph et les granulomètres à rayon laser.

Par rapport aux méthodes classiques telles que la méthode « pipette Robinson », ces méthodes

offrent une facilité d'emploi supérieure et permettent l'obtention de courbes granulométriques en continu dans un domaine donné (50 - 0,2 μ m pour le Sedigraph) alors que la méthode « pipette » ne donne généralement, en routine, que quelques valeurs caractéristiques (50, 20 et 2 μ m). Les comparaisons publiées à ce jour entre les méthodes « pipette » et « Sedigraph » font apparaître de sensibles différences entre ces deux types de mesure (HENDRIX et ORR, 1972 ; LE DOUSSAL et MARTIN,

1974; VITTURI et RABITTI, 1980; BEREZIN et VORONIN, 1982; JONES *et al.*, 1988), bien que les déterminations au « Sedigraph » soient basées également sur l'application de la loi de Stokes. Il en est de même pour les intercomparaisons entre granulomètre laser - Sedigraph - pipette (STEIN, 1985; LEVANT *et al.*, 1985, 1987; SINGER *et al.*, 1988).

Les laboratoires de l'Orstom s'étant équipés récemment d'un appareil Sedigraph il apparaissait essentiel, pour son utilisation en routine, en pédologie et sédimentologie, de comparer les résultats obtenus par cette nouvelle méthode avec ceux de la méthode traditionnelle à la « pipette Robinson ». C'est l'objet de cette note.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Échantillons analysés

Les caractéristiques et l'origine des échantillons de sols (classification française, CPCS 1967) et sédiments sont présentées dans le tableau I. Les critères de choix ont été les suivants :

- couvrir une large gamme de texture ;
 - en ce qui concerne les sols, choisir des situations très représentatives de la zone intertropicale.
- Il n'y a pas, toutefois, d'échantillons de sols carbonatés.

Préparation des échantillons

Les échantillons de sols et sédiments sont séchés à l'air et tamisés à 2 mm. Les prises d'échantillon (0-2 mm) sont de 30 gr.

La matière organique est détruite pour l'analyse granulométrique par attaque à l'eau oxygénée à 30 volumes, d'abord à froid, puis en chauffant à 40° C.

Le sol est ensuite dispersé par agitation rotative dans des flacons de 300 cc après adjonction d'hexamétaphosphate de sodium (1 g/litre de suspension).

La suspension est alors tamisée à 200 µm et 50 µm pour récupérer les sables grossiers (2 000 - 200 µm) et les sables fins (200-50 µm). Ces derniers sont abondamment lavés à l'eau distillée, séchés à l'étuve à 105° C pendant 24 h puis pesés. Les eaux de lavage sont ajoutées à la suspension 50 - 0 µm qui est alors transférée en allonges et amenée à un volume de 1 000 cc. La même suspension (50 - 0 µm) est utilisée pour déterminer les teneurs en limons grossiers, limons fins et argiles selon les deux méthodes « pipette » et « Sedigraph ».

Granulométrie selon la méthode « pipette »

L'analyse est effectuée selon la technique en cours à l'Orstom (SSC - Orstom, s. d.) : des fractions aliquotes de 20 cc de suspension 50 - 0 µm sont prélevées à 10 cm au bout de 4 minutes environ (le temps est fonction de la température au moment de l'analyse), puis au bout de 8 heures pour estimer les teneurs des fractions : argiles + limons fins (20 - 0 µm) et argiles (2 - 0 µm). Les prélèvements sont séchés à 105° C puis pesés. En ramenant ces poids à un volume de 1 000 cc et en tenant compte de la quantité d'hexamétaphosphate ajoutée on détermine les poids des fractions 2 - 0 µm et 20 - 2 µm, le poids de cette dernière étant calculé par différence entre les quantités de fraction 20 - 0 µm et 2 - 0 µm.

La totalité de la suspension restante est ensuite épuisée par siphonnages successifs de la fraction 20 - 0 µm et le culot représente la fraction 50 - 20 µm.

Tous les résultats sont exprimés en pourcentages du poids de l'échantillon initial sec à l'air (tabl. II).

L'humidité de l'échantillon est déterminée par séchage à l'étuve à 105° C jusqu'à poids constant. La teneur en matière organique (% MO) est calculée à partir de la teneur en carbone (C %) selon la formule $MO \% = C \% * 1,72$. Le carbone est dosé par voie sèche à l'aide d'un analyseur automatique CHN Carlo Erba.

Le Sedigraph : principe de la mesure

Le Sedigraph détermine la granulométrie de particules dispersées dans un liquide selon l'application de la loi de Stokes. Les résultats sont obtenus sous la forme d'une distribution en « pourcentages cumulatifs plus fins que » exprimée en diamètres sphériques équivalents. Un mince faisceau de rayons X mesure la concentration des particules en suspension à une hauteur de sédimentation diminuant en fonction du temps. Le mouvement de la cellule contenant la suspension à analyser est synchronisé avec le déplacement de l'enregistreur sur l'axe des X ; on obtient ainsi la valeur instantanée du diamètre correspondant au temps écoulé et à la hauteur de sédimentation (Micromeritics, 1978).

Le temps d'enregistrement de 50 à 1 µm est de 15 à 20 minutes ; il est nettement plus long (45 à 50 minutes) pour atteindre la limite de détection de l'appareil (0,16 à 0,18 µm). On obtient directement par enregistrement graphique une courbe

TABLEAU I
Minéralogie et origine des échantillons étudiés
Minerology and origin of the studied samples

Symbole Echantillon	Type de sol ou de sédiment	Minéralogie des argiles	Roche - mère	Référence de l'étude
Echantillons de sols				
Sol Dior	FT pl	k (III)	"	Feller (1979)
J DAV	FR fd	K	Grès	Poss (1991)
D 000A1	FR fd	K	"	"
DF 1	FR fd	K	"	"
A 1523	FR fd	K - H - Go	Alluvions	CEE (1988)
T 85 a	FR fd	K - H - Go	Brèche andésitique	"
T 85 b	FR fd	K - H - Go	"	"
A 1100	FR fd	H - K - Go	Brèche andésito-	"
A 2193	FR fd	H - K - Go	"	"
Abr - 1	FR fd	K - H	"	"
A 2136	FR md	K - H	"	"
V 3	FR md	K	Gneiss - Migmatite	Fritsch et al. (1989)
MS P4	FRFd	K - Hm	Basalte	Cerri et al; (1991)
MS P6	FRFd	K - Hm	"	"
I 56	FRFd	K - Hm	"	"
SF - 2	FRFd	Hm (K)	"	Jamet
323	PEA	K - S (III)	sédiment	Aubrun (1988)
343	PEA	K (III)	"	"
378	PEA	K-III (S)	"	"
394	PEA	K - III	"	"
A 1705	A ph	All	Tuf ponceux	CEE (1988)
A 3770	V I	S (K)	Brèche andésitique	"
A 3775	V I	S (K)	"	"
A 3104	V I	S (K)	"	"
TTM 12	nd	S-III (K)	nd	
1352 A	nd	K - III	nd	
1352 B	nd	K - III	nd	
Grignon A	SB I	III-K (S)	Loess	
Grignon B	SB I	III-K (S)	Loess	
Echantillons de sédiments				
Am - 1	Fluviatile	Ch - III	Limons	
Am - 2	Fluviatile	Ch - III	"	
Am - 3	Fluviatile	Ch - III	"	
GUY 210A	Vase littorale	K (III - S)	Argiles	Duwansah (1990)
GUY 48A	Cordon littoral	K - III	Sables	"

FTpl : ferrugineux tropical peu lessivé
FR (fd, md, Fd) : ferrallitique (faiblement, moyennement, fortement désaturé)
PEA : peu évolué d'apport
Aph : andosol perhydraté
VI : vertisol lithomorphe
SBI : sol brun lessivé
nd : sol et roche mère inconnus
K : Kaolinite ; III : illite ; H : halloysite ;
Go : goethite ; Hm : hématite ; S : smectite ;
All : allophane ; Ch : chlorite.

TABLEAU II
 Analyses mécaniques selon les méthodes « Pipette » (P) et « Sedigraph » (S)
 Résultats exprimés en g*100g⁻¹ d'échantillon séché à l'air ; nd = non déterminé
Mechanical analysis according to « Pipet » (P) or « Sedigraph » (S) methods
*Results expressed in g*100g⁻¹ air dried sample ; nd = undetermined*

Symbole échantillon	H2O	MO	2000-50µm	50 - 20µm		20 - 2µm		2 - 0µm	
				P	S	P	S	P	S
"Dior"	0.38	0.35	88.47	0.65	1.67	1.09	1.78	7.91	5.83
J DAV	0.7	2.15	80.76	3.0	0.85	2.8	2.03	9.5	14.07
D 000A1	0.5	0.9	81.0	3.53	0.82	2.53	1.81	9.65	13.86
DF 1	1.5	3.36	69.4	4.8	1.51	4.1	3.01	16.23	20.6
A 1523	5.65	6.21	9.75	2.55	3.37	18.61	26.77	56.79	48.02
T 85a	4.4	3.8	19.24	4.48	5.17	16.92	16.40	50.18	49.55
T 85b	3.7	3.77	18.92	4.5	3.05	17.56	21.87	51.71	51.05
A 1100	2.40	4.38	26.82	3.75	3.92	13.71	20.29	48.67	46.28
A 2193	3.75	2.93	21.44	2.05	1.5	17.01	22.06	53.19	49.98
ABR 1	5.5	0.92	2.35	11.88	6.19	38.47	37.31	39.95	46.76
A 2136	5.7	3.47	7.6	3.69	2.72	28.03	30.34	50.36	50.38
V 3	1.2	1.7	66.56	2.28	2.06	0.48	6.01	26.72	23.16
MSP 4	2.0	4.6	27.33	2.77	3.94	6.32	7.21	54.38	54.77
MSP 6	2.2	2.4	26.63	4.66	4.69	10.06	10.06	54.44	57.13
T 56	3.2	2.82	22.56	1.46	1.46	12.5	15.98	57.49	54.23
SF 2	nd.	nd.	2.27	1.5	1.96	27.8	28.24	67.43	67.2
323	2.7	nd.	25.97	16.67	14.39	15.5	16.9	37.33	39.92
343	0.15	nd.	95.06	1.16	0.54	0.5	0.5	2.67	3.51
378	2.24	nd.	51.7	15.0	10.84	8.8	4.0	21.83	28.28
394	5.21	nd.	1.74	8.0	5.58	40.5	36.02	43.67	49.49
A 1705	14.45	15.5	22.27	0.7	0.66	18.96	16.61	27.22	29.47
A 3770	10.1	2.3	15.50	3.27	1.5	11.92	9.47	55.13	61.91
A 3775	9.2	6.2	15.4	4.42	3.46	14.92	13.43	49.85	52.30
A 3104	3.82	5.1	29.98	2.75	2.54	20.16	22.16	37.76	36.79
TTM 12	nd.	nd.	4.7	6.5	7.62	17.7	16.68	71.70	71.00
1352 A	nd.	nd.	71.13	2.03	1.71	3.40	2.74	23.0	26.64
1352 B	nd.	nd.	80.8	2.72	1.81	2.82	4.16	13.71	16.13
Grignon A	2.24	nd.	7.17	44.33	41.41	20.87	26.28	23.83	22.20
Grignon B	1.8	nd.	9.73	32.16	30.43	20.67	19.82	34.5	38.74
Am 1	17.96	nd.	1.13	20.66	14.56	23.63	32.07	33.67	32.65
Am 2	7.96	nd.	0.37	2.83	3.21	51.37	44.92	36.17	43.08
Am 3	15.46	nd.	18.43	19.83	18.97	26.0	26.17	19.17	20.28
Guy 210A	nd.	nd.	1.0	6.43	7.0	31.05	28.0	61.07	64.4
Guy 48A	nd.	nd.	58.8	6.9	5.75	8.8	8.25	25.05	30.5

cumulative des poids des particules comprises entre 50 et 0,16 µm.

Les travaux de STEIN (1985) et de KUNST (1973) ont montré que les erreurs inhérentes à l'appareil (effets de parois dans la cellule et variations de température au cours de l'analyse) ne dépassent pas 1,1 %.

On utilise une fraction aliquote (50 cc) de la suspension 0 - 50 µm ayant servi à l'analyse par la méthode « pipette ». Une calibration du Sedigraph doit être faite selon la densité moyenne des particules. On choisit généralement la densité du quartz ($d = 2,65$) ou celle des minéraux argileux (2,4 à 2,5) selon que la texture est sableuse ou argileuse, dominée par des phyllites. Pour les sols argileux très riches en oxydes métalliques (par exemple l'échantillon SF2 riche en hématite) d'autres calibrations doivent être envisagées ($d = 3,5$ à 4).

À partir de la courbe cumulative on calcule les pourcentages des fractions 50 - 20, 20 - 2 et 2 - 0 µm par rapport à la fraction 50 - 0 µm, puis par rapport à l'échantillon total, séché à l'air, en tenant compte des pourcentages en sables fins et grossiers, en matière organique et de l'humidité.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Comparaison globale à l'aide du diagramme de texture

Avant de détailler les comparaisons par classes de particules (limons grossiers, limons fins, argiles) une première comparaison des deux méthodes peut être faite en utilisant le diagramme de texture (fig. 1). On note, globalement, une bonne concordance entre les deux techniques, et la méthode « Sedigraph » peut donc être utilisée en routine pour un simple classement textural des sols et sédiments.

Comparaison par classes de particules

La comparaison entre les deux méthodes pour les limons grossiers, limons fins et argiles est présentée sur la figure 2.

Les équations des droites de régression sont :

Limons grossiers : $y = 0,905 x - 0,384$; $r^2 = 0,968$

Limons fins : $y = 0,934 x + 1,775$; $r^2 = 0,917$

Argiles : $y = 0,947 x + 3,412$; $r^2 = 0,962$

On notera que :

- les coefficients de corrélation sont très proches de 1 pour les limons grossiers et les argiles ; ils sont plus faibles pour les limons fins ;

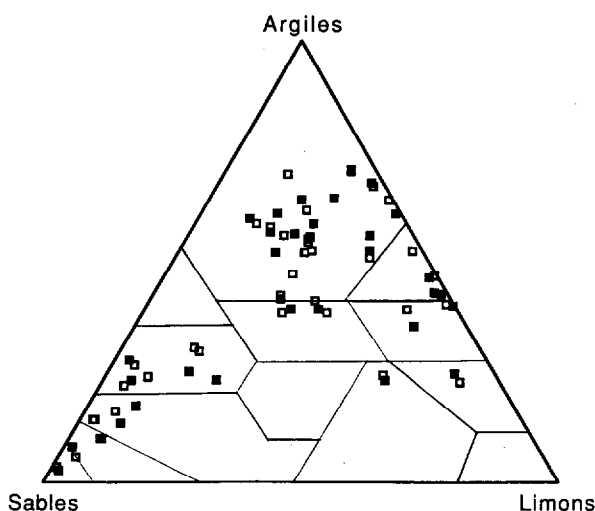


FIG. 1. - Comparaison des résultats obtenus par les méthodes « pipette » et « Sedigraph » à l'aide des diagrammes de texture. Carrés noirs = « pipette » ; Carrés blancs = « Sedigraph ». Comparison of the results obtained by the « Pipet » and Sedigraph methods using a textural diagram. Black square = « Pipet » ; White square = « Sedigraph ».

- la pente des droites est pratiquement égal à 1 pour les limons fins et les argiles, mais plus faible pour les limons grossiers.

Les différences entre méthodes « pipette » et « Sedigraph » concernent donc essentiellement la fraction limon et, plus particulièrement, les limons grossiers. Par rapport à la méthode « pipette », la méthode « Sedigraph » sous-estime les teneurs en limons grossiers (fig. 2a) et les différences moyennes apparaissent d'autant plus importantes que les échantillons sont riches en cette classe granulométrique. L'écart entre les deux droites ($y = x$ et $y = 0,90 x - 0,38$) est d'environ 2 % pour des échantillons contenant 20 % de limons grossiers.

CONCLUSION

La méthode « Sedigraph » conduit à des résultats très proches de ceux obtenus à la méthode « pipette ». En analyses de routine, l'une ou l'autre des deux méthodes peut être indifféremment utilisée. Sur un plan pratique, on peut donc comparer les résultats obtenus antérieurement à l'Orstom par la méthode « pipette » à ceux, plus récents, obtenus par la méthode « Sedigraph », sous réserve que les échantillons comportent plus de 20 % de limons grossiers. En effet, pour cette limite la méthode « Sedigraph » conduit à une sous-estimation de 2 % de cette fraction.

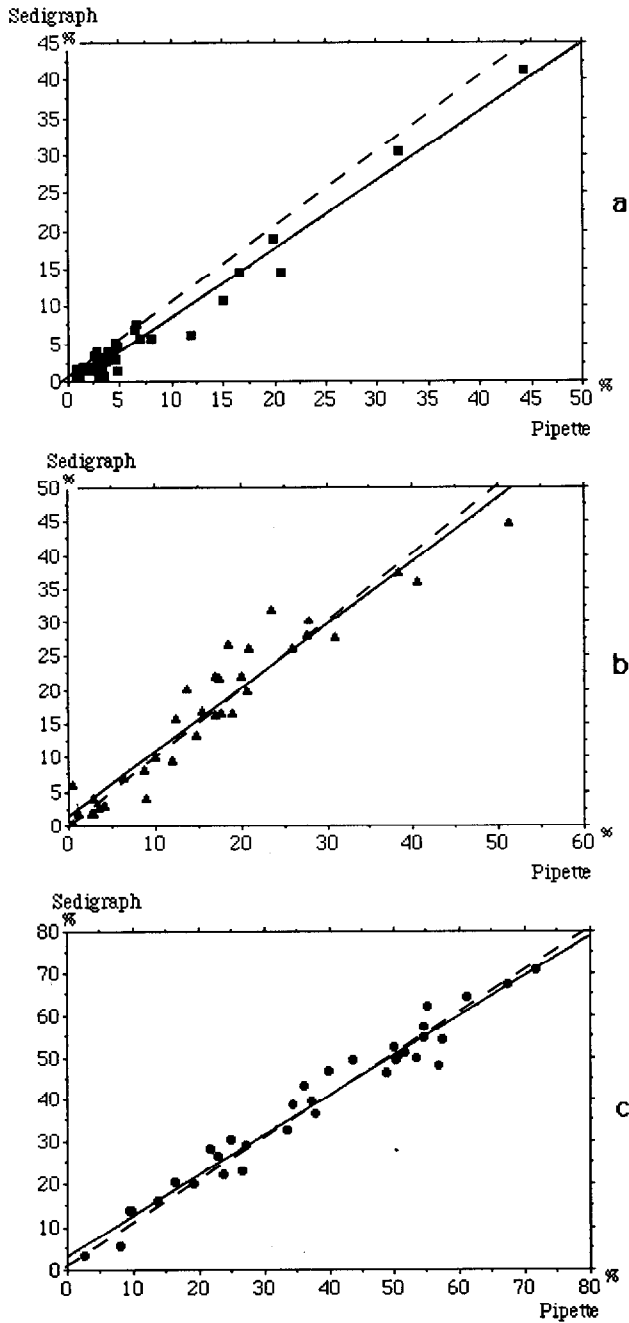


FIG. 2. - Comparaison entre les poids obtenus par les deux méthodes, « pipette » et « Sedigraph ».
 (a) pour les limons grossiers (50-20 μm),
 (b) les limons fins (20-2 μm), (c) les argiles (2-0 μm);
 résultats exprimés en $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ d'échantillon.
 Droite en pointillé : équation $y = x$.
 Droite en trait plein : droite de régression $y = ax + b$.
 Correlation between the weights obtained by « Pipet »
 and « Sedigraph » methods for coarse silts (a) (50-20 μm),
 (b) silts (20-2 μm), (c) clays (2-0 μm).
 Dotted line : equation $y = x$.
 Solid line : regressive line, $y = ax + b$.

Par ailleurs, les avantages de la méthode Sedigraph sont évident. Parmi eux :

- gain de temps et manipulation plus agréable ;
- enregistrement d'une courbe granulométrique continue entre 50 et 0,18 μm , et, en particulier, possibilité d'obtenir facilement les teneurs en argiles grossières (2 - 0,2 μm) et argiles fines (0,2 - 0 μm), données quasiment inaccessibles par la seule méthode « pipette ».

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 10 mars 1992

BIBLIOGRAPHIE

- AUBRUN (A.), 1988. - Étude pédologique dans le delta du fleuve Sénégal. *multigr.*, 84 p.
- BEREZIN (P.N.), VORONIN (A.D.), 1982. - Use of a sedigraph for the particle-size analysis of soils. *Soviet Soil Sci. J.*, 5 : 56-63. Translated from *Pochvovedeniye*.
- CEE, 1988. - Étude de la fertilité des sols dans les agricultures paysannes caribéennes. Effet des restitutions organiques. Rapport final, projet TSDA 0178 F. *Rapp. multigr.* Orstom-Martinique, 127 p. + annexes.
- CERRI (C. C.), FELLER (C.), CHAUVEL (A.), 1991. - Evaluacao dos principais propriedades de um latossolo vermelho escuro apos desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açucar. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*
- CPCS, 1967. - Classification des sols. Travaux CPCS 1963-1967. *Rapp. multigr.*, 96 p.
- DIJWANSAH (M.), 1990. - Mangroves de la zone équatoriale. Étude sédimentologique, minéralogique et géochimique. Thèse, Univ. L. Pasteur, Strasbourg, 126 p.
- FELLER (C.), 1979. - Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières, très pauvres en humus. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 17 : 339-346.
- FRITSCH (E.), HERBILLON (A.), JEANROY (E.), PILLON (P.), BARRES, (O.) 1989 - Variations minéralogiques et structurales accompagnant le passage « sols rouges - sols jaunes » dans un bassin versant caractéristique de la zone de contact forêt-savane de l'Afrique occidentale (Booro Borotou, Côte d'Ivoire). *Sci. Géol. Bull.*, 42 : 65-89.
- HENDRIX (W.P.), ORR (C.), 1972. - Automatic sedimentation size analysis instrument. In : Particle Size Analysis, M.J. Graves and S.L. Wyatt-Sargent Eds. London.
- JONES (K.P.), MAC CAVE (I.N.), PATEL (D.), 1988. - A computer-interfaced Sedigraph for modal size analysis of fine-grained sediments. *Sedimentology*, 35 : 163-172.
- KUNST (F.D.), 1973. - Particle size analysis of clays using the Micromeritics 5000 Sedigraph. Coulter Users Conference : 184-193.
- LE DOUSSAL (H.), MARTIN (D.), 1974. - Analyse granulométrique : étude comparative des résultats obtenus par l'hydromètre de Bouyoucos et le Sedigraph 5000. *L'Industrie Céramique*, 674 : 449-453.
- JAMET (R.). - Notice de la carte pédologique de Moréa (Polynésie Française). *Sous presse*.
- LEVANT (M.), LEVASSEUR (R.), WALKER (P.), 1985. - Étude comparative de deux appareils d'analyse microgranulométrique automatiques. *Bull. Centre Géomorphologie Caen*, 30 : 23-45.
- LEVANT (M.), ANTHORE (R.), DUPONT (J.P.), HALLEGOUET (B.), ROBBE (D.), 1987. - Intercomparaison de méthodes granulométriques appliquées à des loess. *Symposium of INQUA, Commission on Loess*, Jersey, Caen, August 1986 ; Ed. M. Pecci, Budapest : 11-27.
- Micromeritics, 1978. - Instruction manual : Sedigraph particle size analyzer, 122 p.
- POSS (R.), 1991. - Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse Univ. Paris VI, *multigr.*
- SINGER (J.K.), ANDERSON (J.B.), LEDBETTER (M.T.), McCAVE (I.N.), JONES (K.P.N.), WRIGHT (R.), 1988. - An assessment of analytical techniques for the size analysis of fine-grained sediments. *Journ. Sedim. Petrol.*, 58 : 534-543.
- SSC-Orstom, sd. - Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de Physique des Sols, SSC-Bondy, 30 p., *rapport multigr.*
- STEIN (R.), 1985. - Rapid grain-size analyses of clay and silt fraction by Sedigraph 5000 D : comparison with Coulter Counter and Atterberg methods. *Journ. sedim. Petrol.*, 55, 4 : 590-615.
- VITTURI (L.M.), RABITTI (S.), 1980. - Automatic particle-size analysis of sediment fine fraction by Sedigraph 5000D. *Geol. Appli. Idrogeol.*, 15 : 101-108.