Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 69 (1965-1967)
Heft: 319

Artikel: Méthode rapide d'analyse granulométrique des limons
Autor: Burri, Marcel / Brossy, Claude
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-275799

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Méthode rapide d'analyse granulométrique des limons

PAR

MARCEL BURRI, géologue, Lausanne
et CLAUDE BROSSY, ingénieur-physicien, Zurich

I. INTRODUCTION

Au cours des analyses granulométriques, les difficultés surgissent lors de l'étude de la portion de sédiment trop fine pour être tamisée. Il est possible de travailler au tamis jusqu'à 40 μ ; mais, au-dessous de 100 μ, pour peu que la quantité de sédiment soit importante, les tamis s'engorgent rapidement, ce qui complique considérablement les opérations.

De nombreuses méthodes ont été proposées pour résoudre ce problème. Les plus pratiques et les plus utilisées sont les méthodes dites d'élutriage, basées sur la loi de Stokes, qui consistent à faire tomber une certaine quantité de sédiment dans une colonne d'eau. La vitesse de chute des grains dépend de plusieurs facteurs (densité, viscosité de l'eau) dont le plus important est leur taille. Ce sont les grains les plus volumineux qui vont tomber les premiers, suivis de grains de plus en plus petits. Que ces grains soient récupérés dans un récipient à la base de la colonne de chute, qu'ils arrivent sur le plateau d'une balance, que la variation de densité du mélange eau + sédiment soit étudiée à l'aréomètre ou encore que la variation de sa transparence soit mesurée à la cellule photoélectrique, ce ne sont là que des variantes d'une même méthode.

Les méthodes utilisant l'observation microscopique des grains et leur mesure statistique sont moins en faveur. Elles ont la réputation d'être longues et fastidieuses. Nous avons mis au point une méthode extrêmement rapide et ne nécessitant que très peu de calculs. Un observateur moyennement entraîné termine une analyse granulométrique de sédiments fins en quarante minutes. Les résultats sont comparables à ceux qu'on obtient par élutriage, ce qui a été confirmé par cinquante essais menés parallèlement. Comme nous n'avons pas trouvé de description de méthode voisine, il nous a paru bon de la communiquer, espérant ainsi être utile à ceux qui cherchent des résultats d'une précision moyenne.

II. Description de la méthode

La méthode consiste à étudier une portion du sédiment au moyen de grossissements croissants. D'abord avec un faible grossissement, on ne compte que les grains qui apparaissent avec une taille donnée dans le champ du microscope. Puis on passe à un grossissement plus fort : les grains qui apparaissent alors avec la même taille que précédemment sont plus petits ; ils sont recensés à leur tour. Et ainsi de suite, avec des grossissements de plus en plus forts.

Un réticule-grille de 100 mailles (10 mm × 10 mm) est placé au foyer de l'oculaire et conservera une taille apparente constante : les changements de grossissement sont obtenus par changement des objectifs. Mais, suivant l'oculaire utilisé, les mailles de la grille auront des dimensions apparentes variables : des mailles de 1 mm auront 5 mm avec l'oculaire 5, 10 mm avec l'oculaire 10, etc. La figure 1 indique la dimension des particules qui apparaissent de même taille que les mailles de la grille aux différents grossissements et pour cinq oculaires. Les oculaires faibles sont avantageux.

Pour chaque grossissement, on compte le nombre de particules qui apparaissent dans le champ du microscope avec les dimensions d'une maille de la grille. Si la grille était un tamis, ces particules en seraient le refus. Pour comparer ces « refus » à ceux des tamis, il faut faire intervenir la densité des grains puisque toutes les analyses granulométriques sont établies sur des répartitions pondérales des différentes catégories de grains. Il y aura donc lieu de multiplier le nombre de grains comptés par leur densité.

Pour comparer les résultats obtenus à chaque grossissement, il va falloir tenir compte d'un certain coefficient de surface. En effet, plus le grossissement est fort, plus la surface étudiée est faible. Cette surface décroît avec le carré du grossissement. Si, par exemple, j'observe, dans le champ du microscope, 3 grains avec un grossissement de 100 fois, et que j'en compte 2 pour un grossissement de 300 fois, les nombres comparables sont 3 et 18. En effet, au grossissement de 300 fois, j'ai observé une surface qui était 9 fois plus faible puisque le grossissement était 3 fois plus fort.

Compte tenu de tous ces facteurs, on peut calculer le poids réel de chaque catégorie de grains. Posons :

a côté de la maille
n nombre de grains
d densité des grains
S coefficient de surface
P poids des grains

$$P = a^3.n.d.S$$

qui peut également s'écrire :

$$P = a.n.a^2.d.S.$$

Or la deuxième partie de la formule $a^2.d.S$ est une constante, car lorsqu'on change le grossissement, au fur et à mesure que a^2 décroît, S croît dans la même proportion. On peut donc négliger cette partie de la formule. Le résultat ne sera plus le poids réel des sédiments, mais un poids relatif de chaque catégorie, le seul d'ailleurs qui nous intéresse pour obtenir les courbes granulométriques. On aura la formule :

$$P \text{ relatif} = n.a.$$

Il suffit donc de multiplier le nombre de grains par le côté de la maille pour obtenir le résultat recherché : les calculs sont extrêmement simples.

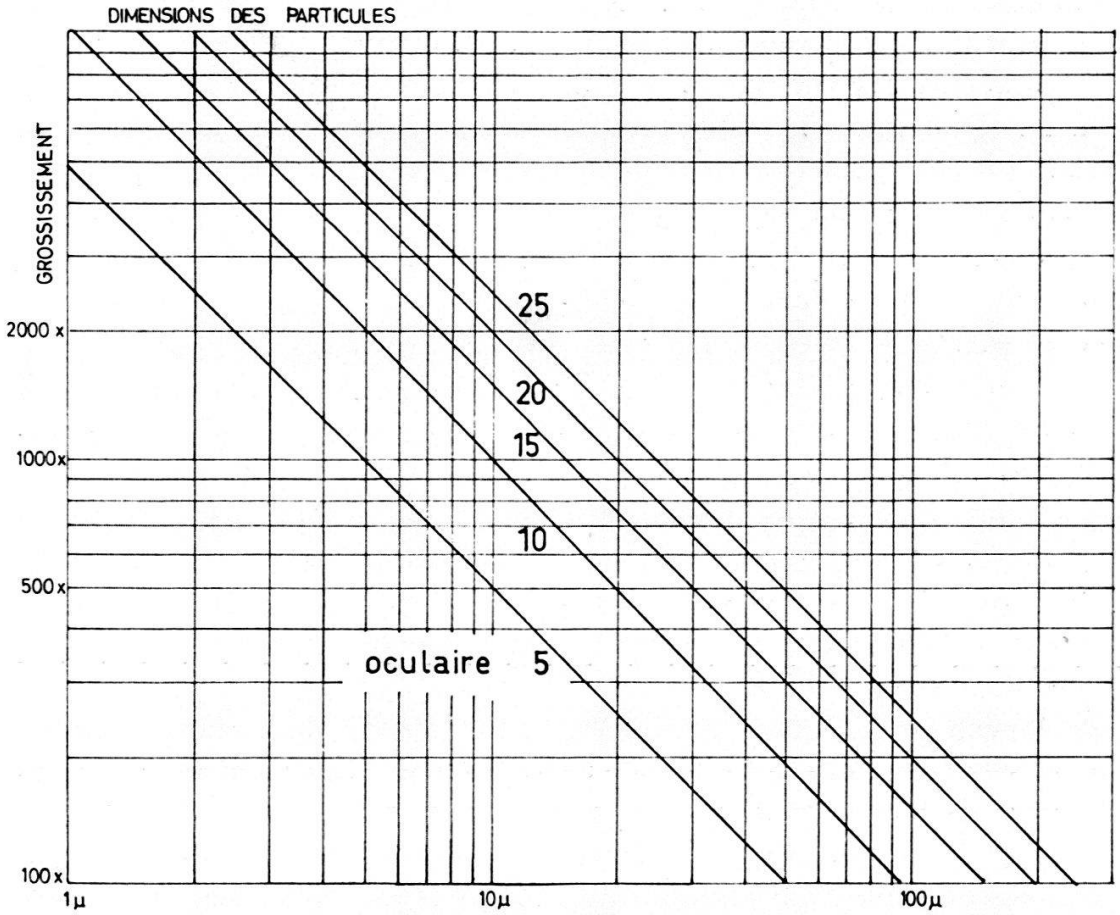

Fig. 1. — Dimensions des particules qui apparaissent de même taille qu'une maille de la grille (1 mm) en fonction du grossissement pour des oculaires de 5, 10, 15, 20 et 25 fois

III. Remarques pratiques

1. *Préparation de la lame*

Il y a quelques précautions à prendre lors de la préparation de la lame à étudier. Nous avons procédé de la manière suivante. Une pointe de couteau de sédiment est placée dans un verre de montre avec 10 gouttes de glycérine. Le tout est mélangé jusqu'à homogénéisation aussi totale que possible. Une demi-goutte du mélange est déposée sur le porte-objet et étalée de telle manière que les grains soient répartis régulièrement sur toute la surface de la préparation. Au moment où l'on pose le couvre-objet, la glycérine ne doit pas dépasser les bords car elle se mélangerait avec l'huile d'immersion et en modifierait les propriétés optiques. Il y a encore un autre inconvénient à avoir une préparation trop riche en glycérine : la préparation est épaisse et les grains peuvent y être sur plusieurs couches, ce qui complique le travail de comptage. De plus, lorsqu'on travaille à l'immersion, il peut y avoir une certaine traction exercée sur le porte-objet qui glisse sur la glycérine. Les grains s'écoulent alors dans la glycérine et tout comptage devient impossible. Une préparation suffisamment mince élimine tous ces défauts.

Il ne doit pas y avoir trop de grains visibles à la fois dans le champ du microscope. La pratique montre que, pour les grains les plus gros, il ne doit pas y en avoir plus de 5 à la fois. C'est dire que la préparation doit être diluée suffisamment.

2. *Correction des mailles du réticule*

Si l'on observe du sédiment qui a passé le tamis de 100 μ, on y aperçoit des grains plus gros que les mailles du réticule calculées et mesurées de 100 μ. Ceci provient du fait que les grains ne sont pas sphériques, mais anguleux et plus ou moins aplatis : ils traversent le tamis en se plaçant en diagonale dans ses mailles. Le tamis de 100 μ peut donc laisser passer des grains qui ont jusqu'à 141,5 μ, valeur de la diagonale. Il faut tenir compte de ce phénomène et corriger la maille du réticule calculée pour comparer les résultats obtenus au microscope à ceux des tamis.

Au cas où l'on aurait affaire à un sédiment fait de particules sphériques, cette correction ne devrait pas intervenir. Inversement, si toutes les particules sont tabulaires, cette correction est maximale. Tous les cas intermédiaires peuvent se présenter. Pour choisir la correction, il suffit de pousser l'étude au tamis jusqu'à 60 μ par exemple, et de reprendre l'analyse au microscope après le tamis de 100 μ, sur une autre portion de sédiment. Lors de l'établissement de la courbe cumulative, on verra quelle valeur choisir pour cette correction.

D'ailleurs, l'observation de la forme des grains indique immédiatement le choix à faire. Pour les sédiments que nous avons étudiés (limons de la vallée du Rhône), la quantité de paillettes de micas et de quartz cassés était telle que la correction maximale a dû être choisie.

3. *Comptage des particules très fines*

S'il devient nécessaire de compter des grains mesurant $^1/_2$, $^1/_4$ et $^1/_8$ de maille, il ne faut pas oublier de réintroduire la valeur $a^2.d.S$, qui était une constante tant que l'on comptait des grains de la dimension d'une maille du réticule.

Prenons le cas d'une particule apparaissant avec la dimension a (côté d'une maille). Le poids total des grains de cette dimension se calcule donc par la formule :

$$P = a.n.a^2.d.S.$$

Pour une particule de $^1/_2$ maille, cette formule devient :

$$P = n.\ \frac{a}{2}\left(\frac{a}{2}\right)^2 .d.S = n.\ \frac{a}{2}\cdot\frac{a^2}{4}\ .d.S$$

or : $a^2.d.S.$ = Constante C qu'on a égalée à 1.
Pour des grains de $^1/_2$ maille, le poids est donné par la formule :

$$P_{½} = n.\ \frac{a}{2}\cdot\frac{1}{4}$$

Avec les grossissements dont nous disposions, ce sont les particules de 6 μ qui apparaissent les dernières avec la taille d'une maille de la grille. Pour les particules de 3 μ, il y a donc lieu de multiplier la formule par $^1/_4$; pour 2 μ, par $^1/_9$ et, pour 1 μ, par $^1/_{36}$.

Nous nous sommes donc servis des valeurs suivantes :

Maille calculée	Nombre de mailles	Maille corrigée	k = c. a
100 μ	1	70 μ	70
35 μ	1	25 μ	25
17,7 μ	1	12 μ	12
8,2 μ	1	6 μ	6
4 μ	$^1/_2$	3 μ	0,75
2 μ	$^1/_4$	2 μ	0,22
1 μ	$^1/_8$	1 μ	0,03

Une erreur est introduite dans ce calcul par le fait que la variation de la surface étudiée est proportionnelle à la variation de la maille calculée, alors que le poids est déterminé par la maille corrigée. Les calculs montrent que cette erreur est très faible. Pour les cas où la correc-

tion de la maille est maximale, cette correction serait la suivante, pour la valeur de k :

70	au lieu de	70
26	au lieu de	25
13	au lieu de	12
6,6	au lieu de	6
0,82	au lieu de	0,75
0,24	au lieu de	0,22
0,03	au lieu de	0,03

Cette correction peut être négligée.

Dernière remarque à propos des particules fines : dans le champ du microscope, plusieurs centaines de particules de 1 μ peuvent apparaître. Il est impossible de les compter toutes : il suffit de dénombrer celles qui se trouvent dans une colonne de la grille, soit sur $^1/_{10}$ de la surface totale. Pour les particules de 2 μ ($^1/_4$ de maille) il arrive souvent que le comptage sur $^1/_4$ de la préparation soit suffisant (fig. 2).

IV. Validité de la méthode

La granulométrie consistant à établir la distribution pondérale des grains des différentes grosseurs du sédiment, la méthode susmentionnée permet de le faire par simple comptage de grains. Faut-il encore, pour des raisons de précision, prendre quelques précautions ? Telle qu'elle est décrite, la méthode est utilisable pratiquement lorsque le poids des différents grains est distribué selon une loi normale (ce qui est en général approximativement le cas) autour d'un grain moyen d'un écart-type d'une cinquantaine de μ. Pour d'autres distributions, il serait nécessaire de modifier la gamme des grossissements.

Ce que l'on désire obtenir par comptage, c'est la densité relative du nombre des grains de diamètres compris entre deux limites, dans la préparation étudiée. Cette densité sera en raison inverse de la dilution. Il faudra choisir celle-ci de façon que le nombre des grains de la petite catégorie ne soit pas trop élevé, afin d'être pratiquement comptable. Le nombre des grains de la plus grosse catégorie devra être suffisamment élevé pour donner une valeur statistique au comptage. Or le rapport entre ces deux nombres, pour une gamme de grossissements donnés, est une caractéristique de la distribution. Pour une distribution uniforme des poids, par exemple, le poids variant avec le cube du diamètre, le nombre des grains variera, lui, comme le cube de l'inverse du diamètre ; ce qui fait que, chaque fois que l'on augmentera le grossissement linéaire d'un facteur f, le nombre des grains à compter, dans une surface égale,

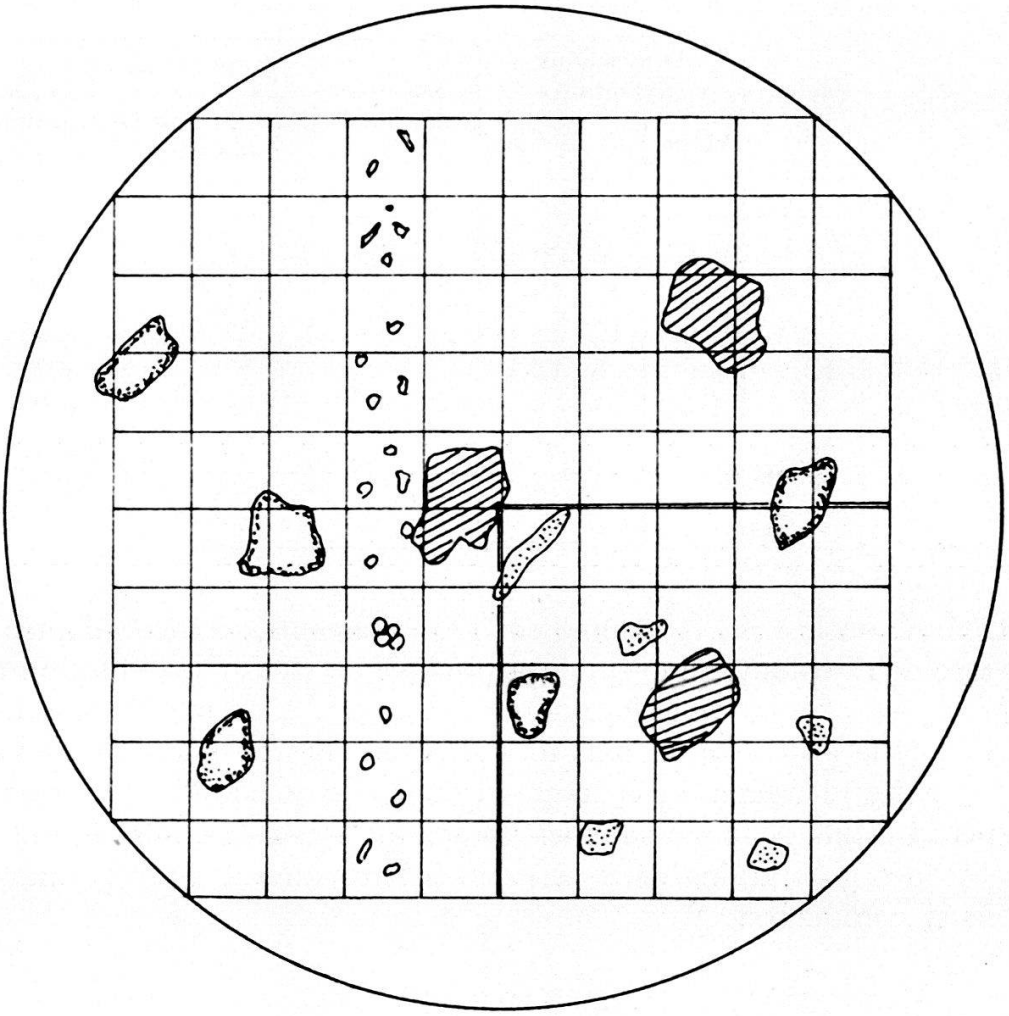

Fig. 2. — Champ du microscope au grossissement de 1910 fois. Les mailles ont un côté de 8 μ. Les grains ont en moyenne 6 μ si on veut les comparer à l'action d'un tamisage. Ici apparaissent :

— 3 grains de 6 μ (hachurés)
— 5 grains de 3 μ de $^1/_2$ maille (bords grisés, centre blanc)
— 5 grains de 2 μ sur $^1/_4$ de la surface, soit 20 grains (grisés)
— 24 grains de 1 μ dans une colonne, soit 240 pour toute la surface.

augmentera de f^3. Mais, comme la surface étudiée diminue de f^2, le nombre des grains augmentera d'un facteur f seulement. Pour la demi-maille, le quart et le huitième de maille, ce facteur sera respectivement de $4f$, $16f$ et $6{,}4f$ (ce dernier dû au fait que l'on ne recense que $^1/_{10}$ de la surface de la grille). Dans le cas d'une distribution normale, ces facteurs seront à pondérer par les valeurs des ordonnées gaussiennes.

Voici, comme exemple, les rapports du nombre des grains des différentes catégories à celui de la plus grosse (70-100 μ) dans le cas d'une distribution normale de moyenne et d'un écart-type de 60 μ. (Voir tableau I, page suivante.)

TABLEAU I

Grossissement	Facteur f	Dimensions des grains		Surface comptée	Rapport des grains	
		Maille	M. corrigée		Distribution uniforme	Distribution normale
157	1	1	70-100 μ	1 grille	1	1
450	2,85	1	25- 70 μ	»	2,85	4,7
900	5,7	1	12- 25 μ	»	5,7	2,05
1910	12	1	6- 12 μ	»	12	1,7
1910 × 2	24	$^1/_2$	3- 6 μ	»	96	6,9
1910 × 4	48	$^1/_4$	2- 3 μ	»	768	18,8
1910 × 3	96	$^1/_8$	1- 2 μ	$^1/_{10}$ »	614	15

Comme on le voit, la gamme des grossissements est bien adaptée à ce genre de distribution puisqu'il est possible de choisir une dilution ne donnant pas plus d'une quinzaine de grains de $^1/_8$ de maille dans une colonne de la grille avec le plus fort grossissement, et une moyenne de 1 grain par grille, dans le cas du grossissement le plus faible. Le nombre des petits grains est donc dans les limites pratiques de comptage, et le nombre des gros grains dans la préparation suffisant pour permettre plusieurs comptages.

V. LIMITES DE CONFIANCE

Pour que notre recensement soit statistiquement valable, il faut que l'homogénéité de la préparation soit suffisante. En effet, l'intervalle de confiance du comptage sera proportionnel à l'écart-type de la distribution des densités d'une catégorie donnée dans l'ensemble de la préparation. Il pourra être réduit par une répétition des comptages selon la formule :

$$n_x = n_c \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \cdot t$$

où n_x = nombre de grains de la catégorie x ;
n_c = nombres de grains comptés ;
σ_x = écart-type de la dilution pour ce type de grains (homogénéité) ;
N = nombre de comptages ;
t = facteur de Student (env. 2 pour un seuil de 95 %).

Des essais ont montré que dans nos dilutions, les différents écarts-types étaient en général proportionnels aux nombres de grains des caté-

gories, avec un facteur de proportionnalité de $^1/_2$ au plus ; ce qui donne, pour un seuil de 95 %, une erreur relative sur le nombre de grains comptés indépendants de la catégorie, de l'ordre de :

$$e_r = \left| \frac{n_x - n_c}{n_x} \right| = \frac{\sigma_x}{n_x} \cdot \frac{t}{\sqrt{N}} \approx \frac{100}{\sqrt{N}} \%$$

Mais, comme ce que l'on cherche finalement, c'est une courbe cumulative, les erreurs des différentes catégories, dans le cas d'une distribution normale, n'ont pas toutes la même importance, les catégories n'apportant pas la même contribution chacune au cumul. Ce sont, en particulier, les catégories proches de la moyenne dont les erreurs auront le plus d'importance et pour lesquelles il faudra augmenter le nombre de comptages. Le programme de comptage utilisé a été le suivant :

Diamètre	70	25	10	6	3	2	1 μ
Comptages	30	20	10	5	5	5	5

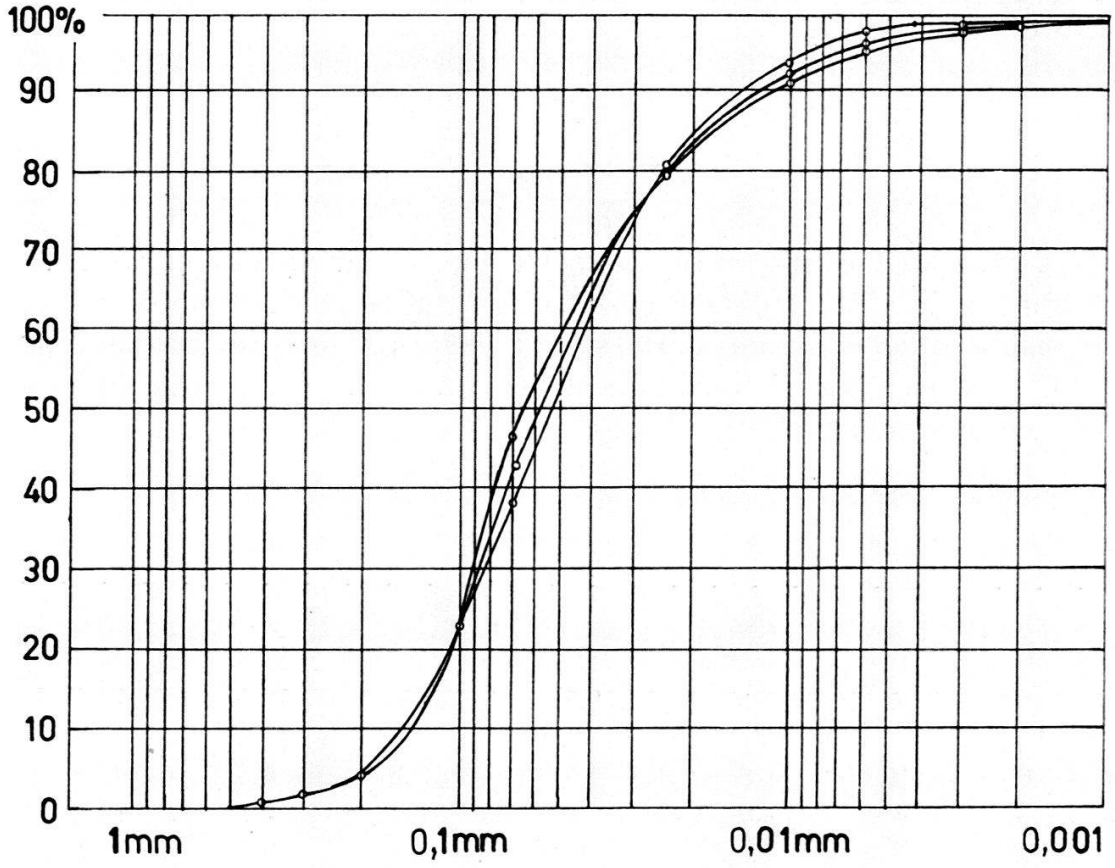

Fig. 3. — Courbes obtenues sur un même sédiment

Le tableau suivant donne les erreurs attendues dans le cas de l'exemple ci-dessous :

Grains	Comptages	Erreur relative de comptage	Participation au poids total	Erreur attendue relative au poids total
		%	%	%
70-100	30	18,3	18,0	3,3
25- 70	20	22,4	29,3	6,6
10- 25	10	31,6	7,13	2,2
6- 10	5	45,0	1,76	0,8
3- 6	5	45,0	1,30	0,6
2- 3	5	45,0	0,44	0,2
1- 2	5	45,0	0,44	0,2

Des essais pratiques ont porté sur 10 prises du même sédiment : les courbes obtenues sont trop semblables pour être toutes reproduites. La figure 3 représente trois de ces courbes : une moyenne et les deux plus aberrantes.

Aux erreurs inhérentes à la méthode statistique s'ajoutent des erreurs dues à la fatigue de l'observateur. Néanmoins ces résultats montrent que pour la recherche du grain moyen, des quartiles et de la pente de la courbe, cette méthode est satisfaisante.

VI. Exemple

L'exemple présenté ici (fig. 4) porte sur des limons de l'alluvion du Rhône ; le 23 % du sédiment est retenu par les tamis en dessus de 100 μ. L'analyse au microscope porte sur le 77 % restant. Les colonnes de chiffres reproduites ici comprennent tous les calculs nécessaires, jusqu'à la courbe cumulative.

Maille corrigée	Nombre de grains	k	$k.n$	%	% de 77	Cumul %
Domaine du tamisage						23,0
70	0,8	70	56,0	27,5	21,3	44,3
25	3,7	25	94,0	46,2	35,5	79,8
12	3,0	12	36,0	17,7	13,6	93,4
6	2,0	6	12,0	5,9	4,5	97,9
3	4,4	0,75	3,5	1,7	1,3	99,2
2	4,0	0,22	0,9	0,4	0,3	99,5
1	40,0	0,03	1,2	0,6	0,5	100,0
			203,6			

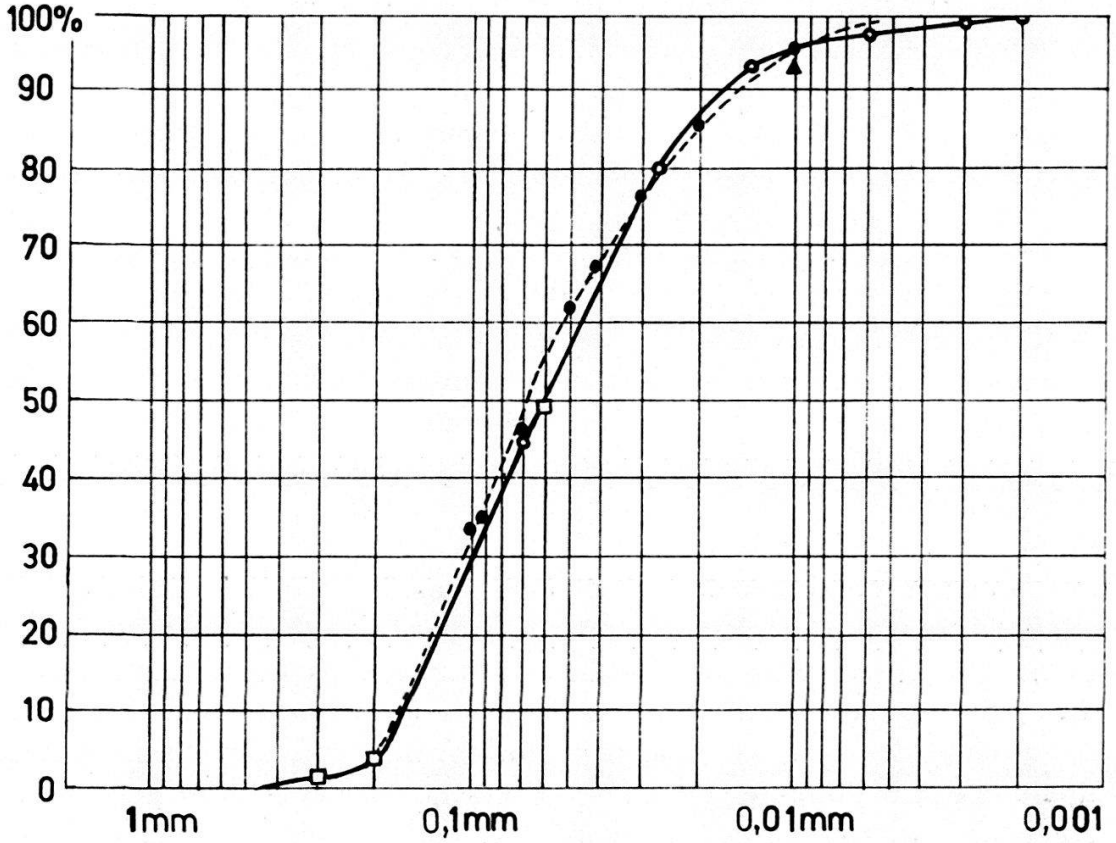

Fig. 4. — Courbe obtenue par l'analyse au microscope (trait plein) comparée à une courbe obtenue par élutriage (trait interrompu)

A titre de comparaison, la valeur obtenue au tamis de 60 μ est représentée par un carré blanc sur la même figure : elle est très proche de la courbe dressée par analyse au microscope. Le triangle noir figure le point obtenu par décantation en suivant la méthode de SABANINE (STRAKHOV 1957) ; ce point n'est distant de la courbe que de quelques pour-cent. Enfin, en pointillé, est figurée la courbe obtenue par élutriage dans une colonne d'eau de 1 m, et réception du sédiment à la base de la colonne sur un plateau immergé et suspendu à une balance automatique. Cette dernière méthode donne des résultats voisins de ceux obtenus au microscope, mais elle est extrêmement lente.

VII. CONCLUSIONS

La littérature concernant les méthodes d'analyse granulométrique est surabondante. Il existe heureusement de bons traités faisant périodiquement le point de la question. Signalons particulièrement les travaux de A. ROSFELDER (1961) et de W. BATEL (1964) qui tous deux présentent une critique mathématique poussée des différentes méthodes.

ROSFELDER (p. 83) définit et discute la notion d'encombrement d'une particule avec beaucoup de clarté. Si l'on considère que la particule est inscrite dans un parallélipipède, on observe, au microscope, le plus grand côté de ce volume et son côté moyen, mais rarement son côté le plus petit. Est-il légitime d'établir une courbe granulométrique au moyen de ces deux seules données généralement observables ? Il existe de nombreuses méthodes pour calculer le diamètre moyen d'une particule et chaque méthode donne des analyses légèrement différentes (BATEL, p. 107 et sq.). Le moyen idéal (KRUMBEIN et PETTITJOHN 1939) consiste à planimétrer la surface des grains et à comparer les diamètres des cercles de même surface : c'est dire que la méthode n'est ni simple, ni rapide.

Des recherches entreprises ces dernières années, il ressort qu'il n'y a pas de méthode parfaite pour établir une courbe granulométrique. Il nous a semblé que certains spécialistes poussent très loin l'expérimentation et la critique des différentes méthodes, en oubliant le but de ces analyses, but dont il n'est que rarement question. Il s'agit, pour nous, de décrire un sédiment, une couche de sédiments qui peuvent être variables ; puis de comparer diverses couches entre elles pour tenter de comprendre leur origine ou leur évolution. Souvent nous ne disposons que d'une faible quantité de sédiment ramené par des sondages et il n'est pas certain que l'échantillon soit représentatif de toute la couche. C'est la raison pour laquelle une méthode comme celle que nous venons de présenter nous semble utile : elle donne rapidement un résultat moyen permettant de localiser certains problèmes. Elle pourra rendre service à ceux qui n'ont qu'occasionnellement affaire à ce genre d'analyse et ne disposent pas de laboratoires bien équipés.

Qu'il nous soit permis d'exprimer notre reconnaissance à ceux qui ont accepté de discuter avec nous cette méthode hérétique et dont les critiques nous furent précieuses, MM. les professeurs H. BADOUX et A. BERSIER, de Lausanne, W. NABHOLZ, de Berne, et M. WEIDMANN, assistant de recherche.

OUVRAGES CITÉS

BATEL, W. 1964. — Einführung in die Korngrössenmesstechnik. Springer Verlag.

KRUMBEIN, W. et PETTITJOHN, F. 1939. — Manual of sedimentary petrography. Appleton-Century-Crofts, inc.

ROSFELDER, A. 1961. — Contributions à l'analyse texturale des sédiments. *Bull. serv. carte géol. d'Algérie, nouv. sér. 29.*

STRAKHOV, N. 1957. — Méthodes d'étude des roches sédimentaires. *Ann. serv. inform. Bur. rech. Géol. Géoph. Min. 35.*

Manuscrit reçu le 12 juillet 1965.