

ABAQUE SIMPLIFIÉ PERMETTANT DE CALCULER LES  
POURCENTAGES DE FRACTIONS FINES  
DANS LES ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES  
EFFECTUÉES AU DENSIMÈTRE (\*)

par A. LAURANT

(3 figures dans le texte)

RÉSUMÉ

Dans les analyses granulométriques de sédiments fins par méthode densimétrique, si l'on maintient constante la température de la suspension (20° C) et si l'on considère le poids spécifique des sédiments comme étant égal à 2,65 g/cm<sup>3</sup>, les manipulations et les calculs des courbes granulométriques se simplifient et l'on peut faire usage d'un abaque simple qui est proposé. Un examen théorique des groupages de mesures est également présenté.

ABSTRACT

The manipulations and calculations of granulometric curves in the granulometric analysis of fine-grained sediments by densitometry are simplified if the temperature of the suspension is held constant (20° C) and if the specific gravity of the sediments is considered to be 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Under these conditions a simple abacus can be used.

A theoretical examination of the given group of measures is presented.

*Introduction* : éléments essentiels des bases théoriques de l'analyse granulométrique à l'aide du densimètre.

Parmi les nombreuses méthodes permettant de connaître les pourcentages afférents aux fractions fines d'un sédiment, notamment les fractions inférieures à 50  $\mu$ , l'une des plus classiques est sans doute l'essai de sédimentométrie par méthode densimétrique. Les diamètres équivalents  $D$  et les pourcentages  $p$  de grains dont le diamètre équivalent est inférieur à  $D$  sont déduits de formules dans lesquelles les variables principales sont déterminées grâce à des mesures au densimètre.

Celui-ci fournit, en effet, deux séries de renseignements bien distincts. D'une part, il permet de connaître les *pourcentages* en fournissant successivement les valeurs de la *densité* décroissante de la suspension en fonction du temps; d'autre part, il conduit simultanément à la connaissance (grâce à la loi de Stokes) des *diamètres équivalents* respectifs en indiquant indirectement la *profondeur* croissante d'immersion du densimètre.

(\*) Communication présentée le 5 mars 1974, manuscrit déposé le 13 mars 1974.

(\*\*) Université de Liège, Laboratoire de Géologie et de Géographie physique, place du Vingt-Août 7, 4000 Liège.

L'étude théorique du pourcentage  $p$  fournit l'expression suivante :

$$p = \frac{V}{P} \cdot \frac{\delta}{\delta - 1} \cdot \frac{R}{10} \quad (1), \text{ dans laquelle}$$

$V$  = volume de la suspension  
 $P$  = poids sec du sol en suspension  
 $\delta$  = poids spécifique des grains  
 $R$  = lecture (corrigée) au densimètre

L'expression (1) se simplifie en prenant un volume  $V$  de 1000 ml de suspension :

$$p = \frac{100}{P} \cdot \frac{\delta}{\delta - 1} \cdot R \quad (2)$$

La connaissance des diamètres équivalents  $D$  se déduit de la loi de Stokes qui s'écrit :

$$R_e = 3 \pi \eta d v \quad (3)$$

et exprime la résistance  $R_e$  opposée par un liquide, de viscosité  $\eta$ , au mouvement dans le liquide d'une particule sphérique de diamètre  $d$  et animée d'une vitesse  $v$ . Adaptée aux analyses granulométriques, la loi (3) s'exprime en fonction du « diamètre équivalent »  $D$  :

$$D = \sqrt{\frac{30\eta v}{g(\delta - 1)}} \quad (4)$$

(Le poids spécifique du liquide dans lequel baigne le sédiment est ici supposé égal à 1. La vitesse  $v$  est égale à  $\frac{H_r}{t}$ , c'est-à-dire au rapport entre profondeur d'immersion du centre de symétrie au bulbe et le temps écoulé depuis l'agitation initiale).

Dans un premier temps, nous allons montrer qu'en considérant  $\delta$  comme une constante égale à 2,65 gr/cm<sup>3</sup>, on ne commet qu'une erreur faible, du même ordre de grandeur que celles tolérées dans la pratique courante.

Ce fait étant admis, nous présentons, dans un second temps, un abaque permettant la détermination rapide du diamètre équivalent et des pourcentages correspondants.

Nous présentons enfin un graphique précisant les possibilités de groupages des mesures au densimètre dans l'analyse simultanée d'une série d'échantillons.

*La légitimité de considérer  $\delta$  comme une constante égale à 2,65 gr/cm<sup>3</sup>*

La mesure de  $\delta$  à l'aide du pycnomètre reste toujours une opération longue et délicate.

Toutefois, l'expérience apprend que, dans la plupart des dépôts,  $\delta$  varie dans des proportions relativement faibles. La question se pose dès lors de savoir si le fait de considérer  $\delta$  comme une constante affecte gravement la précision des mesures, autrement dit, ne compromet pas la validité de la courbe granulométrique dans la région de moins de 100  $\mu$ . (en pratique moins de 50  $\mu$ ).

Or, une telle hypothèse entraîne le double avantage suivant : d'une part, la connaissance des diamètres équivalents ne requiert plus, si l'on travaille avec de

l'eau distillée à 20° C, que la détermination de la profondeur d'immersion du centre de symétrie du bulbe du densimètre en fonction du temps de sédimentation ( $v = \frac{H_r}{t}$  voir expression 4).

D'autre part, le calcul des pourcentages est, lui aussi, simplifié. Car le densimètre peut être directement gradué en *grammes* de sédiment par *litre* de suspension. Il indiquera alors le poids de la fraction de l'échantillon ayant un diamètre inférieur à D (\*).

Il est certes évident que la meilleure précision sur les pourcentages sera obtenue en ne négligeant la précision sur aucun des termes de l'expression (2). Cependant, dans la pratique, certaines simplifications s'imposent; par exemple pour des raisons d'économie de temps dans ces longues opérations qui, en définitive, n'aboutissent qu'au dessin d'une courbe, laquelle ne constitue jamais qu'un aspect de l'étape descriptive et n'est reproductible qu'à un certain pourcentage près.

Dans l'expression (2), il convient d'examiner si le fait de considérer  $\delta$  comme constant n'est pas une approximation excessive par rapport aux approximations que la pratique impose, tolère ou ignore sur le poids P. Or, les sources d'erreur sur la détermination du poids P de matières minérales décarbonatées sèches qui interviennent dans l'essai de sédimentométrie sont multiples. Contentons-nous d'en évoquer quelques-unes.

Dans la plupart des types d'analyse de sédiments, pour des raisons pratiques évidentes, il est conventionnel et plus commode, voire indispensable, d'exprimer le pourcentage d'eau contenue dans un sol, en fonction du poids sec (ex. : limites d'Atterberg, ...). Ici, cependant, la connaissance du poids sec de l'échantillon, prélevé dans le but de déterminer le poids sec réellement introduit dans l'essai de sédimentométrie, nécessite que la perte en eau soit rapportée au total initial et non au poids sec. Par exemple, sur un échantillon de 50 gr humide, si la perte en eau est de 1 gramme, l'humidité sera de 1/50, soit 2 % et non 1/49, tandis que le poids sec correspondra à 49/50, soit 98 % du poids humide soumis à la sédimentométrie et non à 48/49. Or, les modes opératoires ne mentionnent généralement pas ces nuances dans ces types de calcul. Ceci tient vraisemblablement à la fois au souci d'uniformité des modes opératoires et à la faible incidence du mode de calcul, compte tenu des pourcentages d'eau généralement très faibles (de l'ordre de 2 %) dans les sols convenablement séchés à l'air.

En fait, la façon erronée de calculer ridiculise les pesées au centigramme ou au milligramme que l'on fait classiquement. Pour un échantillon de 50 gr de sédiment, si la perte de poids à la prise d'humidité n'est que de 1,5 gr (c'est-à-dire une valeur non rare), l'erreur absolue sur le poids sec sera de 0,046 gr. Elle deviendrait 1/2 gr et 1 gr respectivement pour les teneurs en eau de 4, 75 gr et 6,59 gr.

Des erreurs de même type, c'est-à-dire affectant la détermination du poids P réel introduit dans l'essai de sédimentométrie, surgissent de même à cause d'élimination incomplète des matières organiques, des liants carbonatés, voire de l'eau, et surtout peut-être à cause de leur mauvais dosage.

Il existe par ailleurs de multiples autres sources d'erreurs que la pratique, la

(\*) Par cm<sup>3</sup> de sédiment substitué à un cm<sup>3</sup> d'eau distillée dans une suspension d'un litre, la densité moyenne de la suspension augmente de 1,65 millièmes, cependant qu'il y a 2,65 gr de sédiment par litre. Le rapport des dimensions des graduations deviendra donc  $\frac{1,65}{2,65} = 0,623$  pour le même densimètre. Cette graduation est la particularité de l'hydromètre de Bouyoucos.

hâte ou l'ignorance introduisent et qui agissent à des titres divers sur l'un ou l'autre facteur des expressions (2) et (4) : élimination partielle de  $H_2O_2$  qui a généralement une densité assez élevée, densité et viscosité de la suspension mal connues, variations de la température de la suspension, ce qui entraîne rapidement des variations très sensibles de la viscosité, donc aussi des erreurs appréciables sur les diamètres équivalents, ...

Comparons à présent ces erreurs avec celles que l'on introduit en considérant  $\delta$  comme constant. L'expérience montre que le poids spécifique  $\delta$  se situe généralement aux environs de 2,65. Les valeurs couramment observées n'approchent que rarement 2,55 ou 2,75, soit une étendue de  $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ . Or si, dans un échantillon brut de 50 gr, il existe 4 % de matières organiques et 2 % d'humidité, la seule erreur admise par les modes de calcul ou opératoires décrits ci-dessus pour le calcul des poids d'échantillon sera de même grandeur que l'erreur introduite en acceptant une densité erronée de 2,65 quand elle est de 2,49  $\text{g/cm}^3$ , ce qui est une valeur plus que rare! L'ensemble des sources d'erreurs justifie donc, d'une certaine manière, l'abandon de la délicate recherche de  $\delta$ .

Enfin, dernier argument qui légitime, d'une certaine manière, le fait de considérer  $\delta$  comme étant égal à 2,65 : certains modes opératoires et certaines techniques d'analyse ne prévoient pas la mesure de  $\delta$  : méthode dite « rapide de Bouyoucos », balance de sédimentation, appareils de lévigation, ...

#### *Abaque permettant la détermination rapide de D et p*

En considérant le poids spécifique des sédiments comme étant égal à 2,65 on simplifie non seulement les manipulations de laboratoire mais également les expressions (2) et (4). C'est pourquoi, à la lumière de la simplification qui vient d'être brièvement défendue ici et tenant compte, de plus, du fait que l'usage d'un bain-marie thermostatique réglé à 20° ne peut plus être considéré comme un luxe, l'utilisation du nomogramme classique de E. M. CROWTHER devient inutilement fastidieux. Nous avons donc créé un nouvel abaque que nous proposons (fig. 1). Pour des raisons de commodité, il est créé en tenant compte directement des caractéristiques de l'hydromètre réellement utilisé. Autrement dit, les nombres inscrits en abscisses correspondent directement aux graduations d'un hydromètre déterminé. Les divisions mises en abscisse sont, comme il se doit pour pouvoir représenter les temps par des droites (\*), obtenues en reportant sur un abaque de base (où figure le logarithme de la hauteur de chute H exprimée en cm) la distance centimétrique entre chaque division et le plan orthogonal à la tige et passant par le centre de symétrie du bulbe.

Après avoir effectué la correction de ménisque (par exemple une division) à la lecture, on reporte en abscisse la valeur obtenue (par exemple 26). On remonte ensuite jusqu'à la droite correspondant au temps de sédimentation voulu (par exemple 1 minute). Partant du point ainsi obtenu, on peut lire ensuite en ordonnées le diamètre équivalent D (dans le cas présent 49  $\mu$ ).

Sur l'abaque, nous avons représenté deux courbes fictives. L'une d'entre elles (courbe 1) donne, après la correction de ménisque, les diamètres équivalents. La courbe 2 donne les poids en grammes lus en abscisses, et son déplacement par rapport à la courbe 1 correspond aux corrections de zéro. Dans l'exemple donné, nous avons

(\* ) A ce moment on a, en effet,  $D = \sqrt{186,26 \frac{H_r}{t}}$ . On voit directement que  $\log D$  est une fonction linéaire de  $\log H_r$  pour des valeurs de  $t$  déterminées. Par exemple, pour  $t = 1$  minute, on aura :  $\log D = 1/2 \log H_r + 1,125059$ .

supposé qu'un intervalle de *trois* divisions séparait la valeur à attribuer à la détermination respectivement du diamètre équivalent et du poids (par exemple 1 division pour la correction de ménisque, applicable à la détermination du diamètre équivalent et 2 divisions pour les corrections de poids : défloculant, zéro...).

Un poids quelconque s'obtient en portant, à partir d'un point choisi sur la courbe 1, une parallèle aux droites représentant les temps de sédimentation; l'intersection de cette section de droite avec la courbe 2 donne un point permettant de lire en abscisse le poids correspondant. Par exemple, pour les courbes fictives proposées ici, il y a 19.2 grammes inférieurs à 40  $\mu$ . Cette facilité est particulièrement appréciable dans le cas où l'on désire faire des interpolations en vue d'obtenir les pourcentages afférents à des diamètres équivalents *déterminés*, par exemple lorsqu'on désire connaître les pourcentages afférents à une série de valeurs de D ayant entre elles un écart logarithmique constant égal à l'écart logarithmique des dimensions des mailles des différents tamis (\*).

La courbe résultante cherchée peut évidemment être tracée. Elle a pour ordonnées les ordonnées de la courbe 1 et pour abscisses les abscisses correspondantes de la courbe 2. En raison de la faible pente des droites représentant les temps, cette courbe résultante sera très proche de la courbe 2.

On obtient cependant une excellente approximation en ne tenant compte que des corrections donnant le poids et en ne reportant, par conséquent, que la courbe numérotée 2 sur la figure 1. Pour un poids déterminé (lu en abscisses), l'erreur sur le diamètre équivalent est faible. On ne surestime le diamètre équivalent, dans le cadre des données présentes, que d'un écart logarithmique voisin de 0,0136, ce qui

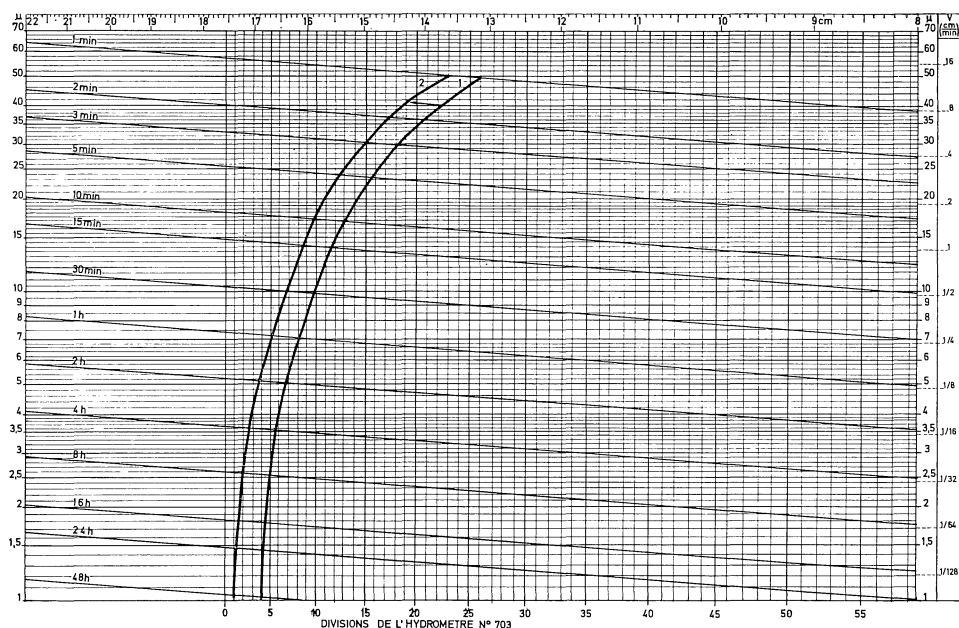


Fig. 1. — Abaque servant à la détermination du poids et du diamètre équivalent dans les analyses granulométriques par méthode densimétrique.

(\*) Les données ainsi obtenues sont alors directement utilisables par l'ordinateur.

revient, par exemple, à accepter un diamètre équivalent de  $2,07 \mu$ , quand il est de  $2,0 \mu$ , ou de  $20,7 \mu$  au lieu de  $20,0 \mu$ .

Bien que moins universelle que l'orthodoxe méthode classique pure, la présente façon de procéder offre, dans les cas les plus fréquents, le grand avantage de la rapidité. Et cet accroissement de rendement n'est, ici, sanctionné par aucune perte de précision, car celle-ci reste à l'intérieur des limites de la reproductibilité que fournit l'orthodoxe méthode classique.

En ce qui concerne l'abaque lui-même, nous lui voyons les avantages suivants :

1) La détermination des diamètres équivalents est très rapide puisqu'elle nécessite seulement la transposition sur l'abaque, des lectures effectuées à l'hydromètre.

2) Pour peu que la quantité de fin résiduel après tamisage soit dans les limites (moins de 50 gr) de ce qu'on peut introduire dans l'essai de sédimentométrie, le calcul des pourcentages, relatifs aux diamètres équivalents déjà connus, est réduit à sa plus simple expression, puisque non seulement les lectures (affectées des corrections d'usage) expriment directement des *grammes de sédiment* (et non plus des densités) *au même titre que les pesées des refus de tamis*, mais, de plus, les valeurs sont directement cumulées.

3) En reportant sur l'abaque la courbe joignant les points obtenus lors des lectures (corrigées) à l'hydromètre, il devient aisé d'interpoler les poids de sédiment qui correspondent aux diamètres équivalents classés dans une série à écart logarithmique constant. En d'autres termes, c'est un réel jeu d'enfant de continuer jusqu'à  $1 \mu$  la série des valeurs de diamètre en progression géométrique (en général, de raison racine carrée de 2 ou racine quatrième de 2). Ceci, d'autre part, accroît grandement la commodité du report des points de la courbe granulométrique sur papier semi-logarithmique ou sur papier gauusso-logarithmique. Cette grande commodité d'interpolation rend désormais très simple le traitement complet des résultats d'analyse par ordinateur à qui l'on ne fournit *que des poids*, charge à lui de calculer la courbe cumulative de pourcentages et tous les indices imaginables. On sait, en effet, qu'il est pratiquement indispensable de fournir à l'ordinateur des classes prédéterminées et constantes d'une analyse à l'autre. Cette possibilité n'est pas immédiate dans l'usage de la méthode classique.

4) En raison de la grande commodité du report des points sur l'abaque, il devient possible et favorable de suivre l'analyse. On peut, par exemple, avec tant soit peu d'habitude, voir quelle va être l'allure de la courbe granulométrique. On peut juger aussi immédiatement si la mesure à 48 heures a, ou non, un sens. De même, on voit directement quel est, dès le départ, le plus grand diamètre équivalent que peut fournir tel hydromètre. Dans le cas présenté sur la figure 1, si l'on admet que la première lecture valable ne peut se faire dans un délai en deçà d'une minute après l'agitation de la suspension, le maximum maximorum est de  $56 \mu$ .

Enfin, lorsque la courbe expérimentale reportée sur l'abaque montre l'existence d'un mode (régions de la courbe plus inclinées), on pourra juger immédiatement de l'opportunité de recommencer les mesures qui concernent cette zone en vérifiant, entre autres, l'exactitude des temps de sédimentation. Sur les courbes de la figure 1, cette vérification pourrait porter, par exemple, sur les mesures effectuées entre 1 et 10 minutes après l'agitation.

5) En cours d'analyse on déduira aisément pour quel diamètre équivalent se

présentent des modes ou la moyenne, la médiane et les quartiles, compte tenu du poids de sédiment fin introduit dans l'essai de sédimentométrie.

#### *Autres abaques de conception similaire*

Tel qu'il est conçu, l'abaque que nous venons de défendre se prête facilement à l'adaptation à des hydromètres différents dans la mesure où l'on a pris soin de confectionner un abaque de base sur lequel on a porté en abscisses les distances centimétriques et millimétriques correspondant au moins à l'étendue de la hauteur d'immersion des hydromètres habituels.

Il n'est toutefois pas difficile de concevoir et de réaliser des abaques similaires présentant des avantages, mais aussi des inconvénients, par rapport à celui qui vient d'être présenté ici (\*).

Par exemple si, en abscisses, on figurait en échelle arithmétique, et non plus logarithmique, les divisions de l'hydromètre, on obtiendrait certes directement la courbe (ou partie de courbe) granulométrique telle qu'on la représente le plus fréquemment, c.-à-d. sur papier semi-logarithmique. Mais le logarithme des diamètres équivalents cesserait d'être une fonction linéaire du logarithme des profondeurs d'immersion de l'hydromètre pour des temps  $t$  égaux après l'agitation initiale. En d'autres termes, les différents temps après l'agitation initiale ne seraient plus représentés par des droites, comme sur la figure 1, mais par des courbes; et ces courbes devraient être recalculées pour chaque hydromètre nouveau (et fragile, lui aussi).

Cet inconvénient est évidemment majeur. Il n'est pas moindre pour l'abaque présenté sur la figure 2. Celui-ci, possédant des coordonnées gaucco-logarithmiques (échelle gaussienne pour les poids), a donc l'ambition de donner directement la courbe ou partie de courbe suivant un mode de représentation que certains auteurs affectionnent, peut-être à juste titre.

Ici, en effet, les lignes de l'abaque représentant les différents temps de sédimentation sont également des courbes. Ces différentes courbes peuvent, assez aisément, être calculées et dessinées, soit par construction graphique, soit par calcul numérique. Sur ce type d'abaque, les distributions log-normales deviennent des droites. Huit exemples sont donnés sur la figure 2 et représentent chaque fois des essais théoriques de sédimentométrie réalisés en prélevant, dans des échantillons divers, 50 gr inférieurs à 63  $\mu$ .

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce point, car nous estimons que l'abaque de la figure 1 est, de loin, plus facilement réalisable.

#### *Exactitude des temps de sédimentation et groupages des mesures*

L'essai de sédimentométrie à l'aide du densimètre se fait généralement par série de plusieurs échantillons. Or si, par exemple, on entreprend l'analyse simultanée de dix échantillons, le respect des temps de sédimentation nécessite, en principe, environ deux heures entre la première mesure du premier échantillon et la première mesure du dixième.

Le même écart de temps devrait théoriquement se retrouver entre la *Nième* mesure du premier échantillon et la *Nième* mesure du dernier, y compris pour la mesure à 24 heures ou même à 48 heures.

Toutefois, ces exigences de temps théoriques de sédimentation contraignent

(\*) Depuis deux ans, cet abaque est utilisé en routine avec satisfaction au Laboratoire de Géologie et Géographie Physique de l'Université de Liège.

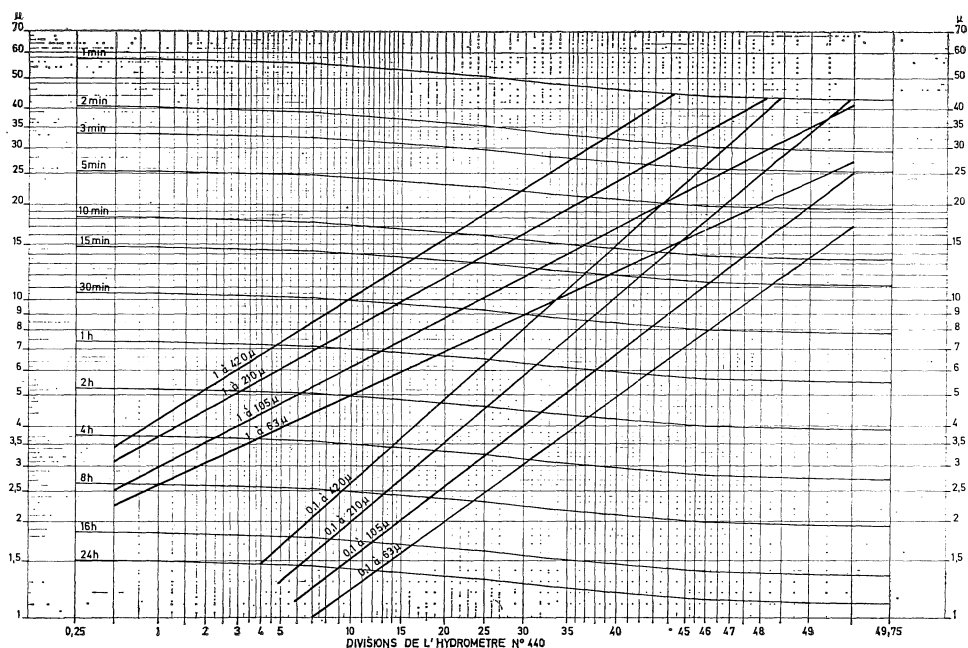


Fig. 2. — Abaque à coordonnées gaucco-logarithmiques, utilisable dans les essais de sédimentométrie. Les droites inclinées vers la gauche représentent des distributions théoriques log-normales pour 50 gr de sédiment inférieur à 63  $\mu$ .

l'opérateur à des prestations dont la longueur serait telle qu'il est légitime de contester qu'elle soit nécessairement la rançon d'une honnête exactitude. C'est ce problème que tentent d'élucider les lignes qui suivent et la figure 3.

Sur les courbes granulométriques, on peut observer qu'une différence de 5 % par excès sur les diamètres obtenus pour un pourcentage déterminé reste assez acceptable, compte tenu, d'une part, du degré de reproductibilité et, d'autre part, du fait qu'une si faible différence pourcentuelle des diamètres ne change en rien la nature des enseignements d'une courbe granulométrique. Un écart de 2 % sur les diamètres, quant à lui, est si modeste qu'il correspond à peine à l'épaisseur du trait ou à la précision du report sur papier à échelle logarithmique.

Ce sont ces écarts de 2 et de 5 % qui ont été calculés et reportés sur la figure 3. Celle-ci porte en abscisses les temps de sédimentation adoptés déjà à la figure 1. En ordonnées se trouvent les écarts de temps (correspondant aux temps théoriques) qu'autorise une approximation de 5 % ou de 2 % sur les diamètres, suivant qu'on lit les valeurs de gauche ou de droite. Par exemple, pour le temps de sédimentation de 1 heure, la lecture peut être faite à 1 h — 2'33" (soit à 57'27") ou à 1 h — 6' (soit à 54'), suivant qu'on tolère une approximation de 2 % ou de 5 % (ce qui pourra donner, par exemple, 6,73  $\mu$  ou 6,93  $\mu$  plutôt que 6,6  $\mu$ ). Cette figure montre notamment qu'on peut, sans scrupule, grouper toutes les mesures de 48 h ainsi que celles de 24 h; ou que la mesure de 8 h peut être faite 19' plus tôt sans s'écarter de plus de 2 % du diamètre obtenu par l'opérateur exact.

Enfin, on voit qu'à partir du temps de sédimentation de 30', on peut résolument prévoir plus d'une mesure par minute. Cette latitude se présente dès le temps de 10' si l'on se contente de la précision de 5 %.



Nous ne doutons pas que ce graphique puisse justifier ou encourager des gains de temps vraiment appréciables.

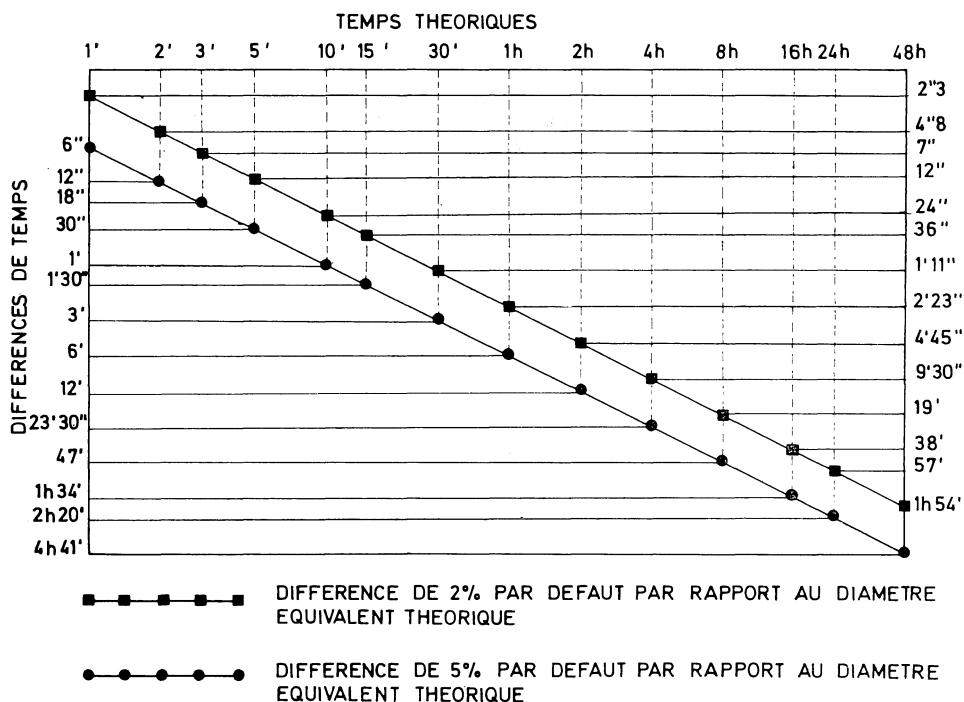


Fig. 3. — Graphique indiquant de quel temps peuvent être différées les mesures à l'hydromètre (en fonction du temps théorique de sédimentation) pour ne pas dépasser des erreurs de 2 et de 5 %.

Il reste cependant que, en différant les temps théoriques de mesure, une erreur de 2 ou 5 % sur les diamètres équivalents puisse être couplée à une erreur beaucoup plus sensible sur les poids. Dans ce cas, les erreurs sur les poids vont dépendre de la granulométrie même du sédiment : la ponctualité restera de mise dans les régions où la courbe expérimentale sera plus inclinée, c'est-à-dire dans les régions où apparaissent des modes.

*Conclusions*

Dans les analyses granulométriques des sédiments fins par méthode densimétrique, si l'on considère comme constant le poids spécifique des sédiments (= 2,65 g/cm<sup>3</sup>), on peut légitimement utiliser un hydromètre indiquant directement des grammes de sédiment par litre de suspension (échelle Bouyoucos) plutôt que des densités. Si, de plus, on travaille en bain thermostatique de 20° C (autrement dit, en transformant techniquement la variable température en constante), on est autorisé à faire usage de l'abaque simplifié dont nous avons fait ressortir quelques avantages et notamment sa simplicité et sa contribution au gain de temps. Enfin nous avons fait rentrer dans des limites plus souples les temps théoriques de sédimentation en montrant de combien ceux-ci peuvent être différés sans affecter de façon

sensible la précision de la courbe granulométrique. Ainsi se trouvent justifiés les groupages de mesures à l'intérieur de limites très confortables.

#### BIBLIOGRAPHIE

- PELTIER, R., 1965. — Manuel du Laboratoire routier. Paris, Dunod, 291 p.
- VERGER, F., 1963. — Les techniques d'analyse granulométrique. Centre de documentation cartographique et géographique. *Mémoires et documents*, T. IX, Fasc. 1, C.N.R.S., 64 p. (On trouvera dans cet ouvrage une abondante liste bibliographique).
- Laboratoire central des Ponts et Chaussées, 1970. — Analyse granulométrique par sédimentométrie. Modes opératoires du Labor. Centr. des Ponts et Ch. Paris, Dunod, 22 p.