
CONSIDÉRATIONS

RELATIVES A

L'ANALYSE DES FONDS MARINS

Les nombreuses analyses de fonds marins que j'ai exécutées depuis plusieurs années et particulièrement des fonds recueillis par S. A. S. le prince de Monaco pendant ses diverses campagnes océanographiques, et dont il a bien voulu me confier l'étude, l'observation des échantillons à laquelle j'ai pu me livrer à la mer, au moment même de leur récolte, m'ont amené à faire quelques expériences dont les résultats offriront, je crois, un certain intérêt aux personnes qui auraient à se livrer à des travaux analogues. Mes considérations porteront sur les trois points suivants :

1. Hygrométrie des échantillons de fonds marins ;
2. Densité des fonds ;
3. Méthode d'analyse rapide des fonds.

HYGROMÉTRICITÉ.

Les fonds marins sont récoltés soit au moyen du tube sondeur qui en découpe dans le sol un boudin, soit avec une drague ou avec un sondeur à cuillers. On sèche l'échantillon en ayant soin de ne perdre aucune de ses parties, afin de n'apporter aucun trouble dans les proportions relatives des divers éléments qui le constituent. Les

boudins sont, en général, enveloppés dans une bande de calicot préalablement lavé pour en enlever l'apprêt et sur laquelle on inscrit au crayon le numéro de la station et la profondeur. On les roule ensuite dans un papier à filtre et l'on introduit le tout dans un tube de verre bouché afin qu'ils ne se brisent pas. On a eu soin de noter par un signe quelconque, sur l'échantillon lui-même, le haut et le bas. Quand l'échantillon a été recueilli dans la drague, le chalut ou les cuillers du plomb de sonde, on se borne, après dessiccation, à l'enfermer dans un petit sac en calicot lavé. Je ne répéterai pas, une fois de plus, que les échantillons souillés de suif, toujours incomplets, ne peuvent servir qu'à donner une grossière notion de la nature du sol sous-marin et qu'en aucun cas, ils ne valent la peine d'une analyse.

C'est dans cet état que les échantillons sont conservés et parviennent à la personne chargée de les analyser. Comme ils sont remplis par les sels de l'eau de mer qui les imbibait et s'est évaporée, ils sont extrêmement hygrométriques et cette propriété possède une grande influence sur l'exactitude des pesées. La puissance avec laquelle est absorbée et fixée l'humidité de l'air varie aussi avec la nature de l'échantillon; assez faible avec les sables purs, elle est très énergique avec les vases calcaires. Afin de l'étudier dans le cas des vases, j'ai exécuté les expériences suivantes :

Une vase très calcaire, résidu de chalut, récoltée St. 821, le 12 juillet 1897, lat. $30^{\circ} 48' N$, long. $27^{\circ} 38' 30'' W$, par 5 440 mètres de profondeur et simplement séchée à bord, a été placée dans un flacon en verre mince, à large ouverture et préalablement taré. L'échantillon abandonné à l'air libre a été pesé au dixième de milligramme, sans jamais être sorti du flacon. Puis il a été placé sous une cloche à côté d'une capsule remplie d'eau et pesé chaque jour pendant vingt-neuf jours. Il a été ensuite desséché au bain de sable. Son poids parfaitement sec était de 5 gr. 9596.

L'échantillon a été lavé à l'eau douce et débarrassé de ses sels; on a laissé déposer, siphonné l'eau limpide surnageante, séché avec précaution et abandonné à l'air libre. Il a été alors pesé, placé sous la cloche humide, pesé de nouveau chaque jour jusqu'à permanence du poids, desséché complètement au bain de sable et pesé une dernière fois.

Enfin, l'échantillon, lavé et parfaitement sec, a été étalé dans un verre de montre, abandonné à l'air et pesé de dix en dix minutes.

Le tableau suivant, où les poids ont été ramenés à 100 d'échantillon sec, indique les résultats obtenus.

TEMPS (jours).	ÉCH. SALÉ.	ÉCHANTILLON LAVÉ.		
	CLOCHE HUMIDE.		AIR LIBRE.	
	Poids.	Poids.	TEMPS (minutes).	Poids.
0	100.0	100.0	0	100.0
1	101.6	102.0	10	100.4
2	103.1	102.7	20	100.8
3	104.8	103.2	30	101.0
4	106.2	"	40	101.0
5	"	103.6	190	101.1
6	108.1	103.7		
7	109.2	103.7		
8	110.1			
9	111.0			
10	111.7			
13	113.0			
14	113.4			
16	114.9			
18	115.9			
27	119.0			
28	119.3			
29	119.6			

Le tableau a servi à dresser un graphique de trois courbes (*fig. 1*) pour chacune desquelles les temps sont comptés en abscisses et les poids en ordonnées.

On voit, sur ce graphique, que :

L'échantillon lavé peut absorber jusqu'à 24 p. 100 environ de son poids d'humidité au bout de quarante à quarante-cinq jours.

L'échantillon salé, après six jours, atteint le maximum de son absorption d'humidité, 4,2 p. 100 de son poids, environ.

L'échantillon lavé, abandonné à l'air libre dans les conditions ordinaires, plutôt cependant défavorables, car on opérait en hiver, par temps humide, arrive à son maximum d'absorption, 1,10 p. 100 au bout de 200 minutes environ, soit trois heures et demie. La courbe montre que le poids n'augmente pas sensiblement après une heure.

Ces expériences indiquent les précautions à prendre quand on effectue l'analyse d'un fond marin. Je n'exécute mes pesées que sur

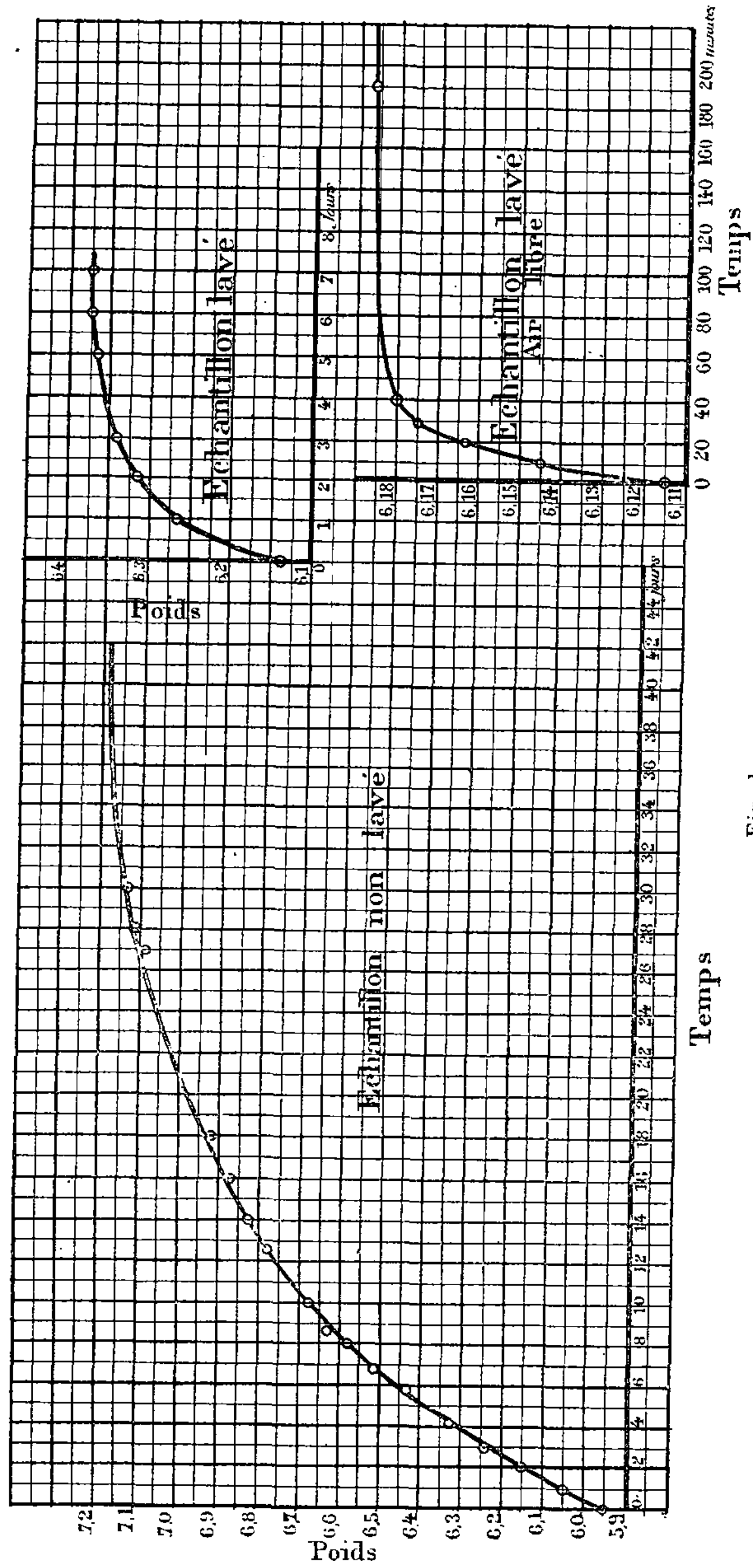


Fig. 1.

des échantillons lavés, complètement desséchés et abandonnés à l'air libre depuis une heure au moins. Je me contente ensuite, dans mes analyses ordinaires, de diminuer chaque pesée de 1 p. 100 de sa valeur.

DENSITÉ.

La densité absolue et la densité relative d'un échantillon de fond constitueraient des caractéristiques intéressantes de la nature de ce fond, si les opérations indispensables pour obtenir ces données n'exigeaient pas un temps aussi considérable. Il ne faudrait pas, cependant, s'exagérer les regrets d'un pareil inconvénient.

La densité apparente d'un fond est le poids de l'unité de volume de cet échantillon plus ou moins pulvérulent, tassé à refus dans l'air. J'ai indiqué ailleurs ¹ la façon d'opérer. On se borne à faire entrer l'échantillon en poudre dans un flacon se terminant par un tube étroit portant un repère et à tasser en frappant à petits coups sur une table jusqu'à ce que le niveau affleure le repère d'une manière permanente. Le flacon ayant été préalablement jaugé, on connaît son volume ; son poids rempli, dont on retranche son poids vide, donne le poids de l'échantillon. Divisant ce dernier poids par le volume, on a la densité apparente.

Le chiffre obtenu est médiocrement précis. Il dépend de la façon dont on a pulvérisé le corps, généralement entre les doigts ; il dépend aussi du tassement, qui varie dans d'assez larges limites. Il est rare qu'on constate une concordance satisfaisante entre les résultats de deux opérations successives faites sur le même échantillon. L'opération exige un temps considérable, d'abord pour remplir le flacon, puis pour le vider. Si le tube étroit est relativement large, le remplissage est plus rapide, mais l'affleurement moins précis ; s'il est réellement étroit, l'affleurement est meilleur, mais le remplissage, le tassement et le nettoyage sont interminables. En outre, l'hygrométrie de l'échantillon, même dessalé, introduit une cause sensible d'erreur pendant une opération aussi prolongée.

La densité absolue se prend dans l'eau avec le même flacon. En supposant celui-ci préalablement cubé et pesé, d'abord vide et ensuite rempli d'eau à 0°, la prise d'une densité comporte les opérations suivantes.

¹ Thoulet, *Océanographie (statique)*, p. 133.

1. Remplissage du flacon. Comme on n'a pas besoin de produire un affleurement exact ni un parfait tassement, l'opération est moins longue que dans le cas précédent. Elle exige néanmoins un certain temps.

2. Pesée de la matière.

3. Introduction de l'eau dans le flacon et expulsion des bulles d'air.

L'opération s'exécute sous une cloche à vide. Le flacon a son ouverture placée exactement au-dessous d'un tube effilé à entonnoir et à robinet qui traverse la tubulure dont la cloche est munie à son sommet. L'entonnoir est rempli d'eau récemment bouillie. On fait le vide et, après un certain temps, en ouvrant doucement le robinet, on laisse descendre goutte à goutte l'eau dans le flacon. En frappant de temps en temps du poing sur la plaque de verre qui supporte le tout, on détache les bulles d'air. L'opération dure au moins une heure ou une heure et demie.

4. On met le flacon dans la glace fondante et on produit l'affleurement en ajoutant de l'eau ou en en retirant à l'aide d'un tortillon de papier à filtre. Cette opération demande près d'une heure.

5. On pèse.

6. On vide le flacon. A cause de l'étroitesse du tube, l'opération est excessivement pénible et longue. On y parvient en donnant des secousses au flacon bien rempli d'eau sans interposition de bulle d'air, l'ouverture tournée en bas et plongée dans l'eau d'une capsule. Elle dure à peu près deux heures en y comprenant le lavage final du flacon avec de l'eau pure et son séchage afin de le préparer pour une nouvelle opération.

J'ai exécuté un certain nombre de ces mesures sur les fonds bruts et sur ces mêmes fonds après qu'ils avaient été passés à l'acide afin d'être débarrassés de leur carbonate de chaux.

STATION.	LATITUDE N.	LONGITUDE W.	PROFON- DEUR m.	DENSITÉ avant acide.	DENSITÉ après acide.	CAL- CAIRE p. 100.	NATURE DU FOND.
629	48° 12'	13° 45' 30"	4150	2.707	2.644	48.5	V. S. calcaire.
647	36 54	23 06 30	4400	2.713	2.566	77.1	V. S. extrêmement cal.
651	36 55	24 43	4261	2.588	2.474	76.2	V. S. extrêmement cal.
662	37 28 30	27 52	1732	2.575	2.526	13.6	V. S. calcaire.
666	37 29 30	27 51 40	1779	2.556	2.521	12.6	V. S. calcaire.
672	37 51	29 14	2252	2.717	2.681	57.6	V. S. très calcaire.
675	37 57	30 08	1748	2.770	2.799	57.2	V. S. très calcaire.
680	38 19 15	30 28 45	1550	2.839	2.869	36.8	V. S. calcaire.
821	30 48	27 38 30	5440	2.712	»	66.0	V. très calcaire

La précision réelle du résultat ne compense pas la longueur de l'opération. Il s'agit, non de la précision de l'opération elle-même qui peut être aussi parfaite que possible, mais de la précision réelle permettant d'affirmer que le chiffre trouvé représente bien la véritable densité d'une masse de quelques kilogrammes, par exemple, du fond. Le quartz, le feldspath, le carbonate de chaux et l'argile, éléments principaux des fonds, ayant à peu près la même densité, le chiffre obtenu ne peut provenir que de la présence, en quantité plus ou moins considérable, de silicates lourds toujours en faible proportion et souvent assez inégalement distribués dans un même fond. Les minéraux volcaniques amorphes si communs dans les fonds des Açores, sont criblés de vacuoles de sorte que la densité après acide est inférieure à la densité de l'échantillon brut, ainsi qu'on le constate sur six des fonds inscrits sur le tableau. Il y a encore à considérer le fait que le carbonate de chaux se trouve en grande partie sous forme de globigérines ou autres foraminifères dont il est véritablement impossible de chasser complètement l'air adhérent. Pour tous ces motifs, à moins de travailler en vue de recherches spéciales, la prise d'une densité apparente et à plus forte raison absolue, en tant qu'il ne s'agit que de caractériser des fonds, ne vaut pas les soins et le temps qu'elle exige.

CLASSEMENT RAPIDE APPROXIMATIF DES FONDS MARINS.

J'ai décrit depuis longtemps¹ dans tous leurs détails, les procédés que j'ai adoptés pour classer et dénommer les fonds marins. J'opère par tamisages à travers des tamis calibrés, en soie et en fils métalli-

¹ Thoulet, *Analyse mécanique des sols sous-marins*, *Annales des mines*, avril 1900.

ques, choisis parmi ceux qui sont en usage courant dans l'industrie. Leur numéro indique le nombre de mailles au pouce (24 mm). Les fonds portent les noms suivants :

Roche.....	Le plomb de soude ne rapporte rien		
Pierres et galets.	Fragments anguleux ou arrondis d'un poids supérieur à 3 grammes.		
Gravier.....	Gros.....	Arrêté par le tamis n° 3	
	Moyen.....	Id.....	6
	Fin.....	Id.....	40
Sable.....	Gros.....	Id.....	30
	Moyen.....	Id.....	60
	Fin.....	Id.....	100
	Très fin.....	Id.....	200
Vase.....	Fin-fin.....	Ayant franchi le tamis 200	
	Argile..	{ calcaire. pure.	

Les sols sous-marins seront alors désignés de la manière suivante :

	Vase.	Minéraux.
Sable.....	moins de 5 p. 100.	plus de 95 p. 100.
Sable vaseux.....	5 à 25	95 à 75
Vase sableuse.....	25 à 90	75 à 10
Vase proprement dite.....	plus de 90	moins de 10

J'ai appliqué cette classification aux fonds les plus variés récoltés aussi bien dans le voisinage immédiat de la côte que dans les portions les plus profondes des océans, et elle m'a toujours donné satisfaction. Le tamisage s'effectue rapidement, même avec quelques grammes de matières, lorsqu'il s'agit d'échantillons homogènes comme la plupart des vases profondes. Le seul inconvénient de ce mode d'analyse est le temps pendant lequel il faut abandonner au repos les vases, dans les verres ou les capsules dans lesquels elles ont été lavées afin de leur permettre de se déposer, et ensuite leur dessiccation avant les pesées. D'autre part, en mer, au moment où on recueille le sondage et où on l'inscrit sur le registre des opérations, il serait avantageux de pouvoir donner rapidement à l'échantillon son nom probable sinon définitif, puisque le dernier mot doit évidemment rester à l'analyse détaillée qu'il n'est guère possible de faire qu'à terre. Il n'y a pas lieu cependant d'exagérer la lenteur de l'opération car, si l'analyse d'un seul fond exige avec les arrêts deux

ou trois jours, le même temps permet d'en exécuter plusieurs ensemble.

J'ai cherché à faire usage, dans ce but, du procédé dont se servent les chimistes, les physiologistes et les ingénieurs pour certains dosages rapides, et dont M. Bouquet de la Grye a autrefois conseillé l'emploi pour l'évaluation approximative de la quantité de vase, en suspension dans les eaux, sous le nom de mesure au pélomètre¹.

L'appareil (*fig. 2*) consiste en un tube ouvert aux deux bouts, long de 230 mm, avec un diamètre de 15 mm dont une extrémité est coupée droite tandis que l'autre, conique, est munie d'une ouverture d'un diamètre de 4 mm environ. Chaque extrémité porte un trait-repère circulaire horizontal. Perpendiculairement à cette circonférence, c'est-à-dire, suivant une génératrice du cylindre, du côté de l'extrémité large, est gravée sur 5 cm de hauteur, une division en millimètres. Un bouchon percé susceptible de glisser le long du tube porte une double ficelle servant à suspendre l'appareil de façon à ce que l'une ou l'autre des extrémités soit à volonté tournée vers le bas.

Un bouchon bien ajusté et plan est enfoncé dans le tube jusqu'à ce que sa base coïncide exactement avec le trait circulaire; son autre base porte un anneau par lequel on suspend, par un crochet, un poids destiné à assurer une parfaite verticalité au tube lorsqu'il est maintenu la pointe en haut. L'extrémité conique, au lieu d'avoir des divisions d'égales longueurs, est graduée à partir du trait-repère en volumes correspondant à la capacité de 1 cm de la portion cylindrique. On remplit de mercure 1 cm de hauteur de la portion cylindrique, on enfonce un petit bouchon jusqu'au repère, on retourne le tube et on marque par un trait le nouvel affleurement du métal. On recommence l'opération, de deux en deux, pour les millimètres composant le centimètre.

Le mode opératoire est très simple. On introduit dans le tube 4 ou 5 grammes du fond et on achève de remplir avec de l'eau. On enfonce



Fig. 2.

¹ Bouquet de la Grye, *Association scientifique de France*, 18 novembre 1877.

le gros bouchon jusqu'à parfait affleurement du trait circulaire, on agite, on retourne le tube et on bouche l'extrémité effilée. Si l'échantillon a été séché, on trouve avantage à le laisser se bien imbiber d'eau en maintenant le tube horizontal pendant un certain temps. Un petit support en bois est commode pour cette opération.

On reprend le tube, on l'agite de manière à mélanger uniformément, on pousse le bouchon de suspension du côté de l'extrémité pointue, on suspend à une potence, on accroche au bouchon le poids destiné à assurer la verticalité et, quand les sédiments sont déposés, on mesure l'épaisseur des diverses tranches de sable, de fin-fin et d'argile. Lorsque le sable et le fin-fin sont en petite quantité, après avoir opéré comme il est dit précédemment, on suspend le tube la pointe en bas; les grains devenus plus visibles, étant tassés sur une plus grande hauteur, se mesurent avec plus de facilité et d'exactitude.

Les expériences suivantes avaient pour but d'étudier le liquide à employer, le mode de tassement et les proportions relatives de chaque portion du sédiment constituant les catégories adoptées pour la classification et la dénomination précise des fonds.

On a préparé trois portions égales d'un même échantillon de vase marine profonde et on a mis successivement chacune d'elles dans le tube, la première avec de l'eau douce, la seconde avec de l'eau de mer, la troisième avec de l'eau tenant en dissolution du sel marin. Afin de bien imbiber l'argile de l'échantillon qui avait été desséché, on l'a laissé pendant vingt-quatre heures en contact avec le liquide dans le tube maintenu horizontalement. Puis on a agité vivement le tube, on l'a suspendu la pointe en haut.

Avec de l'eau de mer, le triage s'effectue convenablement quoique le dépôt ne soit pas aussi net et aussi rapide avec un fond déjà desséché que lorsqu'on opère à bord aussitôt après la récolte de l'échantillon. Il s'agit, bien entendu, des échantillons vaseux car les sables purs tombent immédiatement. Du reste, la reconnaissance de ces derniers et leur dénomination se fait sans qu'il soit besoin d'employer le moindre appareil. On dirait que, de même que les roches au moment où elles sortent de la carrière, l'échantillon possède, lui aussi, une eau de carrière non combinée dont la dessiccation modifie l'état et qu'il lui est bien difficile, sinon impossible, de reprendre ensuite. Il m'est arrivé de conserver pendant plus de huit jours un échantil-

lon dans l'eau sans parvenir à provoquer sa séparation avec la netteté qu'offrait le même fond lorsqu'il venait de sortir de la mer. Ce fait est tout à l'avantage des mesures sur place pour lesquelles, d'ailleurs, le procédé a été institué.

Avec de l'eau douce, le dépôt s'effectue assez bien mais très lentement, surtout lorsque le fond a été préalablement dessalé par un lavage. L'argile, quand elle est abondante reste quelquefois plusieurs jours en suspension. Le procédé est inapplicable à cause de sa lenteur.

L'eau de mer est une matière précieuse dans un laboratoire éloigné des côtes. Dans l'intention de l'économiser, on a employé de l'eau dans laquelle on avait fait dissoudre du sel ordinaire jusqu'à lui donner la densité moyenne de l'eau de mer, 1.0256. Avec ce liquide, la séparation est moins longue qu'avec l'eau douce et plus longue qu'avec l'eau de mer véritable, mais elle est moins nette qu'avec l'un et l'autre de ces liquides.

On a ensuite procédé par comparaison avec des fonds de composition connue. On triait au tamis, par la méthode ordinaire, un échantillon de vase profonde et en même temps on étudiait dans le tube une portion de ce même échantillon, en notant les niveaux à des intervalles de temps déterminés. Ces observations, assez pénibles puisqu'elles ont dû porter sur des échantillons de nature variée, sables vaseux, vases sableuses et vases, peuvent se résumer par l'indication suivante susceptible de servir de guide opératoire. On ne devra pas oublier que la dénomination donnée à un fond par ce procédé n'est qu'approximative et que l'analyse par tamisages est seule décisive.

Au moment où l'échantillon sort de l'eau, on en séparera 2 ou 3 grammes de façon à ce que le niveau qu'il prendra dans le tube ne dépasse jamais 5 ou 6 centimètres de hauteur dans la partie cylindrique. On remplit le tube d'eau de mer, on amène les bouchons au repère, on agite vivement jusqu'à disparition des grumeaux qui pourraient exister. Lorsque ces grumeaux sont particulièrement rebelles, on écrase le fond avec précaution dans une petite capsule contenant de l'eau de mer qui est ensuite reversée dans le tube de manière à ne rien perdre.

Le tube étant complètement rempli, après l'avoir bien agité, on le suspend verticalement, la partie large en bas.

Après 1 minute exactement comptée sur une montre à trotteuse, on mesure le niveau et le chiffre obtenu est dénommé sable : il comprend un peu de fin-fin, ce qui n'offre pas d'importance puisqu'il ne s'agit que d'une expérience approchée et rapide. Soit S le chiffre obtenu.

Sans toucher au tube on attend encore 29 minutes, c'est-à-dire une demi-heure depuis le début de l'opération et l'on mesure ensuite la hauteur totale T. On divise ces chiffres l'un par l'autre. La portion tombée entre la fin de la première minute jusqu'à la fin de la trentième est dénommée vase.

Sable. — La hauteur de vase est nulle ou au plus égale au tiers de la hauteur totale ; $\frac{S}{T} = \frac{1}{4} = 1$ ou $\frac{2}{3} = 0,66$.

Sable vaseux. — La hauteur de vase est plus grande que le tiers et moindre que la moitié de la hauteur totale. $\frac{S}{T}$ est compris entre $\frac{2}{3} = 0,66$ et $\frac{1}{2} = 0,50$.

Vase sableuse. — La hauteur de la vase est comprise entre la moitié et les $\frac{3}{4}$ de la hauteur totale. $\frac{S}{T}$ est compris entre $\frac{1}{2} = 0,50$ et $\frac{1}{4} = 0,25$.

Vase. — La hauteur de la vase dépasse les $\frac{3}{4}$ de la hauteur totale ; $\frac{S}{T}$ est inférieur à 0,25.

Sable.....	{	$\frac{S}{T} = \frac{1}{4} = 1$
Sable vaseux.....		$\frac{S}{T} = \frac{2}{3} = 0,66$
Vase sableuse.....		$\frac{S}{T} = \frac{1}{2} = 0,50$
Vase.....		$\frac{S}{T} = \frac{1}{4} = 0,25$

Lorsqu'on veut examiner au microscope les diverses parties d'un fond, il est commode de mettre celui-ci en suspension dans l'eau, de le laisser s'étagier par ordre de densités en tombant dans le tube suspendu la pointe en bas et de déposer sur des lames de verre des échantillons des tranches successives superposées.

J. THOULET,

Professeur à la Faculté des sciences de Nancy.
