INSTRUMENTS
ET
OPÉRATIONS
D'Océanographie Pratique

PAR

J. THOULET

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

MBL/WHOI

0 0301 0001090 6

PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE R. CHAPELOT ET C^{ie}
IMPRIMEURS-ÉDITEURS
30, Rue et Passage Dauphine, 30

—
1908

Tous droits réservés.

~~d~~
9/6/31

INSTRUMENTS
ET
OPÉRATIONS
D'OCÉANOGRAPHIE PRATIQUE

PARIS. — IMPRIMERIE R. CHAPELOT ET C^e, 2, RUE CHRISTINE.

41
T 38

INSTRUMENTS ET OPÉRATIONS D'Océanographie Pratique

PAR

J. THOULET

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE R. CHAPELOT ET C^{ie}
IMPRIMEURS-ÉDITEURS
30, Rue et Passage Dauphine, 30

—
1908

Tous droits réservés.

PRÉFACE

Il y a un peu plus d'un demi-siècle, beaucoup de mémoires et ouvrages scientifiques, surtout en Allemagne, étaient résumés par leur auteur même en quelques phrases appelées thèses, souvent exprimées en latin, ce qui offrait le double avantage de les rendre plus concises et par conséquent plus faciles à retenir de mémoire, et en outre d'en permettre la lecture aux savants de toutes les nationalités. On citerait à ce propos les thèses si suggestives de la *Geschichte der Erde*, de Mohr. J'imiterai cet exemple et je résumerai en quatre thèses les idées qui m'ont guidé pendant que j'écrivais ce livre.

1. L'océanographie est une science complètement de chiffres, de mesures précises, uniquement inorganique, absolument distincte de toutes les sciences biologiques et en particulier de la zoologie. Ces sciences ont besoin d'elle, elle n'a pas un besoin indispensable de ces sciences.

2. L'océanographie, loin d'être une science coûteuse, à l'usage exclusif de riches amateurs, est bien plutôt une science de pauvres, car aucune n'exige un matériel

plus simple et à plus bas prix; elle demande surtout des travailleurs, des hommes sérieux, de bonne volonté et de bonne foi.

3. A l'exclusion des belles cartes topographiques dressées par le Service hydrographique de la marine, tout est à faire, au point de vue de l'océanographie, le long de nos côtes de France, pour le plus grand profit de la science pure, des pêcheurs et des marins.

4. A l'étranger l'océanographie, cultivée par un grand nombre de savants, d'ingénieurs et de marins, accomplit des progrès considérables. J'allais dire effrayants. En France on se borne, jusqu'à présent, à en parler beaucoup.

Je sais qu'aucune de ces thèses, admises dans le monde entier, ne l'est malheureusement encore parmi nous. L'océanographie, cette admirable, indispensable étude de la mer ne réussira-t-elle jamais à s'implanter dans le pays où a travaillé Marsigli, dans la patrie de Pythéas, de Chappe, de Bouguer, d'Aimé, de Roujoux, de Delesse et de tant d'autres qui l'ont créée et qui, vainement pour eux-mêmes et pour leurs compatriotes, sont morts pour elle à la peine?

J. THOULET.

INSTRUMENTS ET OPÉRATIONS

D'OCÉANOGRAPHIE PRATIQUE

L'océanographie est l'étude de la masse des eaux océaniques; elle comprend la recherche et la découverte des lois s'appliquant au relief du sol que recouvrent ces eaux, à la nature et au mode de sédimentation des sédiments qu'elles y déposent en l'exhaussant sans cesse, à leurs propriétés chimiques et physiques, aux glaces qui en certaines régions modifient ces propriétés diverses et provoquent des changements locaux qui, par contre-coup, réagissent sur l'économie de l'Océan tout entier; elle comprend enfin la dynamique des eaux marines, l'étude des vagues qui les agitent, des marées qui en font périodiquement varier le niveau, des courants qui tendent continuellement à y rétablir un équilibre que mille causes tendent continuellement à détruire.

L'océanographie jette une lumière inattendue sur une foule de sciences théoriques et pratiques : sur la météorologie, la géologie, la zoologie parmi les premières; sur la navigation, la télégraphie sous-marine, l'industrie rationnelle des pêches parmi les secondes. Elle-même est une science précise, de chiffres et de mesures, application de sciences précises et de mesures rigoureuses : topographie, lithologie, chimie et physique. Elle embrasse une telle multiplicité de faits

que des spécialisations y sont indispensables. Ainsi, l'hydrographie est une branche de la topographie sous-marine s'appliquant particulièrement à la sécurité de la navigation près des côtes; et maintenant, à mesure que plus de savants s'occupent de ces questions d'un si haut intérêt théorique et pratique, parmi les océanographes, certains deviennent lithologistes, d'autres chimistes, d'autres physiciens et volontiers, chacune de ces spécialités se subdiviserait encore.

L'océanographie en soi n'a que des rapports éloignés avec les sciences naturelles et c'est à tort qu'en France, on la confond souvent avec la zoologie. Toutes les connaissances humaines s'entr'aident et s'éclairent les unes les autres, mais, si la zoologie marine a infiniment besoin de l'océanographie, celle-ci n'a réellement nul besoin de celle-là. Comme l'a dit d'une façon aussi juste que piquante le professeur Marini, le naturaliste qui récoltant des êtres marins, les collectionnant, les étudiant à un point de vue autre que celui de leur habitat prétendrait faire de l'océanographie, ressemblerait à celui qui ramassant et collectionnant des oiseaux, des insectes ou des papillons, sous le prétexte que ces animaux volent et vivent dans l'air, affirmerait qu'il s'occupe de météorologie. Il serait absurde de chercher à établir entre la zoologie et l'océanographie, comme d'ailleurs entre deux branches quelconques du savoir humain, une prééminence, un ordre d'importance et tout aussi absurde de confondre entre elles des sciences totalement différentes par le but qu'elles se proposent, leurs méthodes d'investigation, l'ensemble de leur discipline, la mécanique avec la géologie, la médecine avec la géographie, l'ornithologie avec la météorologie, la zoologie avec l'océanographie.

Cette méprise a lourdement pesé sur les progrès de l'océanographie en France. La zoologie marine des grands fonds est une science coûteuse; elle exige des bâtiments

de fort tonnage, des installations compliquées et d'un prix élevé, de la vapeur ou de l'électricité, un personnel considérable pour la manœuvre de pesants engins de pêche. Elle est une science de riches. L'océanographie, au contraire, est une science de pauvres : son matériel est simple et bon marché : avec un millier de francs, au grand maximum, on se procurera tout ce qui est nécessaire ; on le transporte à peu de frais, on l'installe n'importe où et, quant aux navires, tous sont excellents, depuis l'embarcation jusqu'au cuirassé en passant par la série entière des bateaux de pêche, yachts, voiliers et paquebots pourvu qu'ils aillent sur l'eau et qu'ils aient à leur bord un océanographe sérieux. Là est la condition essentielle et peut-être la plus difficile à trouver. Prenez un travailleur instruit, dévoué à son œuvre, sincèrement décidé à servir la science de la mer et non à être servi par elle, donnez-lui quelques appareils, embarquez-le sur n'importe quel bateau, grand ou petit, et vous transformerez immédiatement celui-ci en bâtiment océanographique complètement et admirablement outillé. On peut même, à la grande rigueur, faire de l'océanographie sans bateau. Donner la preuve de cette vérité est le but que je me suis proposé en écrivant le présent volume.

Nous supposerons l'observateur installé à une station dans l'intention d'y exécuter toutes les observations d'ordre général se rapportant à l'océanographie et nous décrirons successivement les instruments à employer et la façon de s'en servir.

L'opérateur, sa position étant fixée, devra d'abord déterminer et mesurer les conditions météorologiques si liées aux conditions océanographiques ; il s'occupera ensuite successivement de ce qui concerne la topographie sous-marine, la lithologie, les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques de la mer. Il ne lui restera plus alors, une fois revenu à terre, qu'à compléter ses recherches par

des analyses et à résumer, à synoptiser ses résultats sous forme de cartes ou de graphiques.

L'exposé des méthodes d'observation comprendra cinq parties :

- I. *Météorologie;*
 - II. *Instruments divers;*
 - III. *Observations océanographiques proprement dites comprenant les observations de topographie, de lithologie, de chimie et de physique;*
 - IV. *Observations relatives aux phénomènes dynamiques de la mer;*
 - V. *Étude des rivages.*
-

I

MÉTÉOROLOGIE

Considérations générales. — L'économie de l'océan liquide est étroitement rattachée à celle de l'océan aérien. Il n'est point d'action de la mer qui ne provoque une réaction équivalente dans l'air et, inversement, toute modification survenue au sein de l'atmosphère donne lieu à une modification correspondante des eaux océaniques. Il est évident, toutefois, que d'une manière générale, à cause de l'énorme différence de mobilité des particules qui les composent respectivement, l'influence de la mer sur l'atmosphère l'emporte presque toujours sur celle de l'atmosphère sur la mer ; mais s'il existe une différence dans l'intensité, l'influence n'en est pas moins réelle et comme elle s'exerce avec son maximum de puissance dans les deux zones immédiatement contiguës, c'est-à-dire dans la couche la plus supérieure des eaux et la couche la plus inférieure de l'air, l'océanographe devra d'autant plus se préoccuper d'établir la corrélation des phénomènes par ses observations et ses mesures directes que l'objet principal de ses recherches se rapportera davantage à des propriétés relatives à des eaux plus superficielles. Le calme et l'immobilité croissent en sens inverse à mesure qu'on s'enfonce dans la mer et qu'on s'élève dans l'atmosphère.

Les exemples ne manquent pas pour appuyer ces considérations.

L'influence du vent sur l'agitation de la mer, la direction et la force de ses courants est évidente. A son tour la circulation marine agit sur d'autres phénomènes dont, à première vue, on n'aurait pas soupçonné la dépendance. Plus le vent frappera obliquement un rivage, moins seront usés, pour un même parcours longitudinal le long des côtes, les grains de sable des plages riveraines et, par conséquent, plus un même grain s'éloignera de son lieu d'origine avant d'être, toutes choses égales d'ailleurs, assez usé pour cesser d'exister en tant que grain de sable. C'est pourquoi, en étudiant le régime d'une plage et ses conditions lithologiques, il conviendra de noter les caractéristiques du vent et, si possible, connaître la durée annuelle pendant laquelle se fait sentir l'action du vent dominant.

L'influence de la température de la mer sur celle de l'air et l'influence inverse sont trop évidentes pour qu'il ne suffise pas de les mentionner : elles constituent la régularisation des climats et toute l'économie des glaces polaires. La cause principale des seiches est une brusque dépression barométrique voisine ou lointaine.

Les conditions de sécheresse ou d'humidité des grands courants atmosphériques activent ou ralentissent l'évaporation sur les espaces de mer qu'ils balaient et créent ainsi une série de phénomènes océanographiques : augmentation de la densité qui fait descendre les eaux superficielles et enlèvement de vapeurs aqueuses provoquant un abaissement de niveau qui devra être comblé par un apport d'eau voisine soit superficiellement, soit de bas en haut, s'il s'agit d'eaux profondes. Telle est l'explication à donner d'un phénomène en apparence paradoxal, car à l'inverse des courants d'eaux continentales, fleuves, rivières et ruisseaux qui tous descendent de leur source vers leur embouchure, les courants profonds de la mer remontent leur cours du fond où est le plus souvent leur source vers la surface où

se trouve leur embouchure. Si donc on avait, pour le globe entier, dressé des cartes de l'état hygrométrique de l'air en chaque lieu, on posséderait l'élément le plus important pour l'évaluation de la mesure de l'ascension générale des courants sous-marins.

Ces exemples et tant d'autres, qu'il serait facile de citer, montrent que l'océanographe ne saurait, dans ses observations relatives à la mer, se désintéresser complètement des conditions météorologiques ambiantes et, par conséquent, ne pas les noter et les mesurer.

Date et heure. — Le premier soin, au début de toute observation, doit être de noter la date et l'heure. On indiquera l'heure particulière choisie : en temps local, ce qui est le cas le plus ordinaire, ou en heure nationale, c'est-à-dire, par exemple, l'heure de Paris, pour une localité française, quelle que soit d'ailleurs sa position en France, ou enfin l'heure universelle. On pourra aussi compter les heures en deux séries de minuit à midi et de midi à minuit, de 0 à 12, ou bien en une seule, de 0 à 24, depuis minuit jusqu'à minuit. Dans ce cas, 2 heures de l'après-midi, par exemple, seront notées 14 heures, et on supprimera évidemment alors les désignations *matin* et *soir*. Quel que soit le système adopté, il est indispensable de s'y tenir dans la série entière des observations, et si une circonstance spéciale mettait dans l'obligation absolue d'y déroger, on ne devrait pas manquer de signaler très exactement chacune des observations faites dans le nouveau système, ainsi que celles où, l'obligation momentanée cessant, on en revient au système général adopté. L'opérateur se rendant au travail doit donc tout d'abord régler sa montre.

Nébulosité; Forme des nuages. — La couleur de la mer est due à diverses causes dont les plus importantes sont certainement la couleur propre de l'eau et les matières qu'elle tient en dissolution ou en suspension ; elle doit, par

conséquent, être en relation avec le plankton végétal ou animal qui y flotte et y sert de nourriture aux poissons. Pour cette raison, les pêcheurs ont tout intérêt à la mesurer, mais il y a aussi lieu de savoir si la couleur ne dépend pas aussi de certaines circonstances extérieures. C'est à ce point de vue qu'il convient d'évaluer la nébulosité.

On appelle *nébulosité* la fraction du ciel qui est occupée par les nuages, quelle que soit leur nature. Cette fraction s'évalue à l'estime et est exprimée en chiffres, de 0 à 10. Chaque unité correspond ainsi à un dixième de ciel couvert par les nuages, de sorte que 0 représente un ciel libre de tout nuage, 5 un ciel à moitié couvert et 10 un ciel entièrement couvert (1).

M. Angot fait remarquer que malgré l'imprécision apparente de cette observation faite sans instrument et uniquement à l'estime, il est rare que deux observateurs, pour peu qu'ils aient d'habitude, ne soient pas d'accord sur le chiffre à donner à la nébulosité au seul aspect du ciel.

Il pourra être intéressant dans certains cas, afin de compléter des observations optiques, transparence ou coloration de la mer, luminosité ou autres avec des observations de nébulosité, de noter la nature particulière des nuages couvrant le ciel. On emploiera la classification internationale dont se sert par conséquent le Bureau central météorologique de France. Sans entrer dans le détail de cette classification que l'on trouvera d'ailleurs dans les *Instructions météorologiques* (2), nous nous bornerons à dire qu'elle est basée sur les quatre variétés principales de nuages qui peuvent d'ailleurs se combiner deux à deux, auquel cas leur désignation s'obtient par la juxtaposition des noms de l'une et l'autre variété.

(1) A. Angot, *Instructions météorologiques*, p. 81. Gauthier-Villars, Paris, 1903.

(2) A. Angot, *loc. cit.*, p. 82.

Cirrus, nuages en filaments.

Cumulus, nuages arrondis ou amoncelés.

Stratus, nuages en couches uniformes, étalées.

Nimbus, nuages noirs confus, d'où tombe la pluie.

Par combinaison, on a des cirro-stratus, des strato-cumulus, des cumulo-nimbus, etc.

Vent. — Les deux caractéristiques du vent sont sa direction, c'est-à-dire celle d'où il souffle et sa vitesse ou force. On évalue également sa pression mesurée en kilogrammes par mètre carré de l'obstacle contre lequel il souffle normalement.

La direction d'où vient le vent est notée en divisant la circonférence de l'horizon en 16 rhumbs; les vents sont donc N., N.-N.-E., N.-E., E.-N.-E., E., E.-S.-E., etc., on aura soin de désigner l'Ouest par la lettre W. Au cas où il ne ferait absolument aucun vent, on noterait cet état de l'atmosphère par le mot *calme*.

Pour découvrir la direction d'où vient le vent, si l'on est immobile, on se sert de l'impression de fraîcheur ressentie sur le visage ou sur la main élevée en l'air, ou encore sur l'observation des étoffes légères exposées au souffle du vent, girouettes fixées au mât, flammes, banderoles ou pavillons.

Quand on est en marche, la direction et la vitesse du vent sont représentées en grandeur et en direction par l'un des côtés d'un parallélogramme dont l'autre côté est la direction et la vitesse du navire tandis que la diagonale est la direction et la vitesse du vent apparent marquées par les girouettes, flammes ou pavillons ou mieux encore par la fumée à bord d'un bâtiment à vapeur. Connaissant ces données, il est facile de construire le graphique mais on est obligé de reconnaître que l'évaluation de la diagonale, faute d'instruments pratiques et précis, laisse beaucoup à désirer. On fait donc l'évaluation à l'estime.

Les marins évaluent la vitesse ou la force du vent à l'aide de l'échelle de Beaufort. Des expériences ont permis de mesurer à combien de mètres par seconde correspond chacun des 13 degrés de l'échelle. On sait qu'une vitesse de 1 mètre par seconde correspond à 3.6 kilomètres par heure.

0 — calme.....	de 0 à 1 m par sec.
1 — presque calme.....	1 à 2
2 — légère brise.....	2 à 4
3 — petite brise.....	4 à 6
4 — jolie brise.....	6 à 8
5 — bonne brise.....	8 à 10
6 — bon frais.....	10 à 12
7 — grand frais.....	12 à 14
8 — petit coup de vent.....	14 à 16
9 — gros coup de vent.....	16 à 20
10 — fort coup de vent.....	20 à 25
11 — tempête.....	25 à 30
12 — ouragan.....	plus de 30 m

État de la mer. — L'état de la mer s'indique sans difficulté : on dira, par exemple, que celle-ci est calme, légèrement agitée, avec petite ou forte houle, vagues, etc. Dans le cas de houle, il sera bon d'indiquer la direction d'où elle vient; dans celui de vagues, on cherchera à découvrir si elles arrivent toutes d'un même point de l'horizon ou de points différents. Les marins ont une remarquable habileté à disséquer, en quelque sorte, en ses éléments, le mouvement en apparence désordonné de la mer.

Baromètre. — Le baromètre anéroïde consiste essentiellement en une boîte métallique dans laquelle on a fait le vide et dont les parois très élastiques sont maintenues écartées au moyen d'un ressort. La pression de l'atmosphère s'exerçant sur la boîte produit un fléchissement des parois mesuré par une aiguille se déplaçant sur un cadran partagé en divisions dont chacune correspond à une augmentation ou diminution de pression de 1 mm de mercure.

Souvent une seconde aiguille, susceptible de se mouvoir à la main, se place exactement au-dessus de la première afin de permettre de constater, au moment d'une observation, la variation éprouvée par la pression depuis la précédente observation. Cette aiguille est parfois remplacée par un index soudé à la monture du verre recouvrant le cadran, qui est mobile et qu'on peut ainsi faire tourner sur elle-même de manière à amener l'index dans n'importe quelle position.

Les baromètres anéroïdes (*fig. 1*) sont gradués par comparaison avec un baromètre à mercure. On ne saurait les considérer comme des instruments absolument exacts mais ils sont de beaucoup les plus commodes à la mer et il suffit, pour obtenir avec eux une précision suffisante, de les vérifier souvent par comparaison et de les corriger s'il y a lieu. L'opération s'exécute en tournant une vis dont la tête apparaît à travers une ouverture pratiquée dans la partie postérieure de l'instrument.

Fig. 1.

On déplace ainsi l'aiguille indicatrice de manière à ce qu'elle accuse la même pression que celle du baromètre à mercure placé à côté et dans les mêmes conditions.

Avant de faire une lecture, on a soin de donner avec le doigt une ou deux petites secousses au baromètre afin de vaincre l'inertie de l'aiguille.

Il est à remarquer qu'un anéroïde ayant pendant longtemps séjourné dans une localité d'altitude élevée et dont par conséquent la boîte est habituée à éprouver des dilatactions et des compressions entre certaines limites déterminées, étant brusquement transporté à la mer, met quelque temps à s'habituer à varier entre d'autres limites. On prendra, autant que possible, en considération cet effet qui se traduit par une irrégularité temporaire de marche et l'on ne se livrera à la comparaison de l'anéroïde qu'après quelques journées de séjour au bord de la mer.

On peut être amené, dans des opérations à terre se rapportant à l'océanographie, à mesurer, au moins approximativement, des altitudes de montagnes ou de collines. On exécutera cette opération avec un baromètre anéroïde en suivant les indications données dans les *Instructions météorologiques* (1). Le plus simple est encore, puisqu'il est entendu qu'on se contentera d'une mesure approximative, d'étalonner son baromètre en cherchant, près de la côte où l'on travaille, l'indication de deux altitudes dignes de confiance. On en trouve de nombreuses sur les cartes françaises, hauteurs de falaises ou de sémaphores. On transporte l'instrument en chacun des deux points aussi rapidement que possible, on revient de la seconde station à la première, on note chaque fois la position de l'aiguille, on prend la moyenne et l'on calcule ensuite aisément à quelle dénivellation correspond une division du baromètre.

On a modifié le baromètre à mercure de manière à le faire servir à bord d'un navire où, avec un instrument ordinaire, la colonne mercurielle, presque toujours en mouvement par l'effet du tangage et du roulis, rendrait toute observation impossible. Dans le but d'éviter cet inconvénient, on rétrécit considérablement le tube sur une certaine partie de sa longueur et on installe l'instrument sur une suspension à la Cardan qui le maintient toujours vertical. Ce baromètre est paresseux. Il serait plus pratique d'avoir un baromètre Fortin porté dans une suspension à la Cardan en temps ordinaire. On le rend inerte en faisant remonter le mercure jusqu'au sommet du tube par un mouvement de la vis située au-dessous du réservoir et on ne s'en sert que lorsque le bâtiment est dans un port parfaitement immobile, ce qui

(1) A. Angot; *loc. cit.*, p. 31.

arrive encore assez fréquemment. On lui compare alors les anéroïdes dont on se sert continuellement. Si l'on avait à exécuter des observations à terre, on l'y transporterait sans difficulté.

Un baromètre enregistreur Richard, donnant des indications continues, à condition d'être corrigé, offre l'avantage de fournir automatiquement des documents se rapportant à une campagne entière (1).

Température de l'air. — La température de l'air, à la mer, se mesure au moyen d'un thermomètre fronde. L'instrument, que l'on conserve dans un étui en fer-blanc, est gradué sur tige, de degré en degré, depuis -25° jusqu'à $+60^{\circ}$; sa longueur étant de 15 cm environ donne 1,3 mm environ pour la longueur du degré, de sorte qu'avec un peu d'habitude, on apprécie sans peine le dixième de degré. On enfle à travers l'anneau de verre qui le termine un solide cordonnet de soie long de 70 à 80 cm de façon à ce que l'anneau soit pendant la rotation à 35 ou 40 cm de la main. L'opérateur se place à l'ombre, face au vent et aussi loin que possible, à bord d'un bâtiment à vapeur, de la machine, en dehors de la colonne de fumée sortant de la cheminée et hors de la portée de tout rayonnement qui proviendrait de la réflexion de la chaleur sur une surface quelconque, surtout de couleur noire. On tourne en fronde très rapidement pendant environ une minute, on arrête le mouvement, on se hâte de lire, au dixième de degré, la hauteur de la colonne mercurielle en regardant bien en face afin d'éviter la parallaxe mais cependant pas de trop près de crainte de l'échauffer; on tourne de nouveau pendant une minute, on fait une seconde lecture et l'on recom-

(1) Voir pour les détails de construction de l'instrument, ses corrections et son mode d'emploi, Guyou, *Manuel des instruments nautiques*, p. 1 et suiv.

mence jusqu'à ce que l'on ait obtenu deux lectures consécutives sensiblement identiques.

On a imaginé un dispositif très simple et assez commode pour éviter l'emploi de la ficelle qui parfois se brise, ce qui occasionne la rupture du thermomètre. Il consiste en

Fig. 2.

un cadre formé d'un gros fil de cuivre (*fig. 2*) deux fois contourné sur lui-même afin que son plan ne repose jamais à plat. Des ficelles tendues fixent et soutiennent le thermomètre dont le réservoir est évidemment placé en dehors; ce cadre tourne autour d'un manche et l'instrument se manœuvre comme une crécelle. Le seul inconvénient de ce dispositif qui peut servir de psychromètre, est qu'il empêche d'employer le même thermomètre à prendre la température de la mer car il faudrait alors le défi-

celer et le reficeler plusieurs fois par jour sur son cadre, opération longue, car elle doit être soigneusement faite si l'on ne veut pas courir le risque de briser l'instrument.

D'après les *Instructions météorologiques*, aussitôt que deux lectures consécutives ne diffèrent pas de plus de $0^{\circ}.1$ ou $0^{\circ}.2$, on en considère la moyenne comme exacte. Elles font également remarquer que « tourné au plein soleil, le thermomètre fronde donne une température trop élevée de quelques dixièmes de degré seulement, alors que l'écart serait beaucoup plus grand avec un thermomètre fixe ». Aussi n'observera-t-on au soleil que s'il est impossible de faire autrement. On s'assurera, en outre, que le réservoir du thermomètre est parfaitement sec, car s'il était mouillé,

la température indiquée risquerait d'être sensiblement trop basse.

Même plusieurs années après sa construction, un thermomètre, par suite d'une modification moléculaire du verre qui le constitue, subit un retrait qui a pour effet de diminuer le volume du réservoir, de faire remonter le zéro et par conséquent de fournir des indications trop fortes. C'est pourquoi il convient de vérifier au moins une fois par an la position du zéro.

L'opération ne présente pas de difficulté. Il suffit de prendre un vase muni d'un trou à sa partie inférieure, un gros entonnoir, par exemple. On opère dans une chambre dont la température dépasse notablement celle de la fusion de la glace ; on remplit le vase de glace pilée en petits morceaux ou de neige ; on y introduit le thermomètre en l'enfonçant jusqu'au-dessus du zéro et on laisse l'instrument se mettre en équilibre de température. L'eau de fusion s'écoule par le trou. De temps en temps on le soulève afin de lire la hauteur de la colonne. Dès quelle est devenue stationnaire, on note sa position. Si, par exemple, elle indiquait $0^{\circ}.4$, on serait averti que le thermomètre marque trop haut de $0^{\circ}.4$ aux environs de zéro ; il faudrait donc retrancher $0^{\circ}.4$ aux lectures. Si une lecture faite avec ce thermomètre est de $15^{\circ}.5$ par exemple, elle devra être ramenée à $15^{\circ}.5 - 0^{\circ}.4 = 15^{\circ}.1$.

Il se peut que la correction ne soit pas la même aux environs du zéro et à des températures correspondant au milieu de l'échelle. L'évaluation de la correction exige alors des bains à température constante, des thermomètres étalons, c'est-à-dire une installation et une pratique que ne possèdent pas tous les océanographes. Il vaut mieux dans ce cas charger un spécialiste de l'étalonnage. Un service à cet effet fonctionne au Bureau central météorologique de Paris.

Il arrive souvent qu'après un long usage, la couleur qui

rend visibles les traits gravés le long de la tige disparaît en partie et que, par suite, les lectures deviennent pénibles. Pour remédier à cet inconvénient, on lave l'instrument avec de la benzine qui enlève toute la couleur, on l'essuie et on le frotte avec un peu de couleur à l'huile, en tube, rouge ou noire, étalée sur du papier de journal ou du papier buvard. Celle-ci pénètre dans les traits en creux et l'on n'a plus qu'à essuyer la tige avec un peu de papier propre afin d'enlever la couleur en excès et à laisser sécher.

Il existe trois échelles thermométriques.

1. L'échelle centigrade marque 0 dans la glace fondante et 100 dans la vapeur d'eau bouillante au niveau de la mer, l'intervalle étant partagé en 100 parties égales. Cette échelle est employée en France et par les savants du monde entier.

2. L'échelle Fahrenheit dont on se sert en Angleterre et aux États-Unis, marque 32 dans la glace fondante et 212 dans la vapeur d'eau bouillante au niveau de la mer.

3. L'échelle Réaumur, quelque peu usitée en Allemagne, indique 0 dans la glace fondante et 80 dans la vapeur d'eau bouillante au niveau de la mer.

On a donc :

$$100C = (212 - 32)F \quad \text{ou} \quad 180F = 80R$$

Cette égalité a permis de dresser les tables de comparaison des trois échelles thermométriques.

Hygrométrie (1). — La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air peut se représenter :

1° Par la tension ou force élastique de la vapeur ;

2° Par l'état hygrométrique, humidité relative, fraction

(1) J. Thoulet, *Guide d'océanographie pratique*, p. 108. Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire Léauté, Masson-Gauthier-Villars, Paris.

COMPARAISON DES THERMOMÈTRES
centigrade, Fahrenheit, Réaumur.

C	F	R	C	F	R	F	R	C
—11	12.2	—8.8	20	68.0	16.0	10	—9.78	—12.22
—10	14.0	—8.0	21	69.8	16.8	11	—9.33	—11.67
— 9	15.8	—7.2	22	71.6	17.6	12	—8.89	—11.11
— 8	17.6	—6.4	23	73.4	18.4	13	—8.44	—10.56
— 7	19.4	—5.6	24	75.2	19.2	14	—8.00	—10.00
— 6	21.2	—4.8	25	77.0	20.0	15	—7.55	— 9.44
— 5	23.0	—4.6	26	78.8	20.8	16	—7.11	— 8.89
— 4	24.8	—3.2	27	80.6	21.6	17	—6.66	— 8.33
— 3	26.6	—2.4	28	82.4	22.4	18	—6.22	— 7.78
— 2	28.4	—1.6	29	84.2	23.2	19	—5.78	— 7.22
— 1	30.2	—0.8	30	86.0	24.0	20	—5.33	— 6.67
0	32.0	0.0	31	87.8	24.8	21	—4.89	— 6.11
1	33.8	0.8	32	89.6	25.6	22	—4.44	— 5.56
2	35.6	1.6	33	91.4	26.4	23	—4.00	— 5.00
3	37.4	2.4	34	93.2	27.2	24	—3.55	— 4.44
4	39.2	3.2	35	95.0	28.0	25	—3.11	— 3.89
5	41.0	4.0	36	96.8	28.8	26	—2.66	— 3.33
6	42.8	4.8	37	98.6	29.6	27	—2.22	— 2.78
7	44.6	5.6	38	100.4	30.4	28	—1.78	— 2.22
8	46.4	6.4	39	102.2	31.2	29	—1.33	— 1.67
9	48.2	7.2	40	104.0	32.0	30	—0.89	— 1.11
10	50.0	8.0	41	105.8	32.8	31	—0.44	— 0.56
11	51.8	8.8	42	107.6	33.6	32	0.00	0.00
12	53.6	9.6	43	109.4	34.4	33	0.44	0.56
13	55.4	10.4	44	111.2	35.2	34	0.80	1.11
14	57.2	11.2	45	113.0	36.0	35	1.33	1.67
15	59.0	12.0	46	114.8	36.8	36	1.78	2.22
16	60.8	12.8	47	116.6	37.6	37	2.22	2.78
17	62.6	13.6	48	118.4	38.4	38	2.66	3.33
18	64.4	14.4	49	120.2	39.2	39	3.11	3.89
19	66.2	15.2	50	122.0	40.0	40	3.55	4.44

COMPARAISON DES THERMOMÈTRES

centigrade, Fahrenheit, Réaumur (*suite*).

F	R	C	F	R	C	R	C	F
41	4.00	5.00	72	17.78	22.22	-5	-6.25	20.75
42	4.44	5.56	73	18.22	22.78	-4	-5.00	23.00
43	4.89	6.11	74	18.66	23.33	-3	-3.75	25.25
44	5.33	6.67	75	19.11	23.89	-2	-2.50	27.50
45	5.78	7.22	76	19.55	24.44	-1	-1.25	29.75
46	6.22	7.78	77	20.00	25.00	0	0.00	32.00
47	6.66	8.33	78	20.44	25.56	1	1.25	34.25
48	7.11	8.89	79	20.89	26.11	2	2.50	36.50
49	7.55	9.44	80	21.33	26.67	3	3.75	38.75
50	8.00	10.00	81	21.78	27.22	4	5.00	41.00
51	8.44	10.56	82	22.22	27.78	5	6.25	43.25
52	8.89	11.11	83	22.66	28.33	6	7.50	45.50
53	9.33	11.67	84	23.11	28.89	7	8.75	47.75
54	9.78	12.22	85	23.55	29.44	8	10.00	50.00
55	10.22	12.78	86	24.00	30.00	9	11.25	52.25
56	10.66	13.33	87	24.44	30.56	10	12.50	54.50
57	11.11	13.89	88	24.89	31.11	11	13.75	56.75
58	11.55	14.44	89	25.33	31.67	12	15.00	59.00
59	12.00	15.00	90	25.78	32.22	13	16.25	61.25
60	12.44	15.56	91	26.22	32.78	14	17.50	63.50
61	12.89	16.11	92	26.66	33.33	15	18.75	65.75
62	13.33	16.67	93	27.11	33.89	16	20.00	68.00
63	13.78	17.22	94	27.55	34.44	17	21.25	70.25
64	14.22	17.78	95	28.00	35.00	18	22.50	72.50
65	14.66	18.33	96	28.44	35.56	19	23.75	74.75
66	15.11	18.89	97	28.89	36.11	20	25.00	77.00
67	15.55	19.44	98	29.33	36.67	21	26.25	79.25
68	16.00	20.00	99	29.78	37.22	22	27.50	81.50
69	16.64	20.56	100	30.22	37.78	23	28.75	83.75
70	16.89	21.11	101	30.66	38.33	24	30.00	86.00
71	17.33	21.67	102	31.11	38.89	25	31.25	88.25

COMPARAISON DES THERMOMÈTRES

centigrade, Fahrenheit, Réaumur

(en dixièmes de degré).

C	F	R	F	R	C	R	C	F
0.1	0.18	0.08	0.1	0.04	0.05	0.1	0.12	0.22
0.2	0.36	0.16	0.2	0.09	0.11	0.2	0.25	0.45
0.3	0.54	0.24	0.3	0.13	0.17	0.3	0.37	0.67
0.4	0.72	0.32	0.4	0.18	0.22	0.4	0.50	0.90
0.5	0.90	0.40	0.5	0.22	0.28	0.5	0.62	1.12
0.6	1.08	0.48	0.6	0.27	0.33	0.6	0.75	1.35
0.7	1.26	0.56	0.7	0.31	0.39	0.7	0.87	1.57
0.8	1.44	0.64	0.8	0.35	0.44	0.8	1.00	1.80
0.9	1.62	0.72	0.9	0.40	0.50	0.9	1.12	2.02
1.0	1.80	0.80	1.0	0.44	0.55	1.0	1.25	2.25

de saturation ou degré de saturation, rapport entre le poids de vapeur d'eau existant dans l'air au moment de l'expérience et celle qui serait nécessaire pour saturer complètement cet air dans les mêmes conditions de température et de pression atmosphérique. Cette dernière quantité se nomme humidité absolue.

Dire par exemple qu'à un certain moment, l'état hygrométrique est de 56, signifie que le poids ou la tension de la vapeur d'eau actuellement contenue dans un volume quelconque d'air est les 56 centièmes du poids ou de la tension maxima de la vapeur que pourrait contenir ce volume d'air s'il en était saturé dans les mêmes conditions de température et de pression.

On a vu que l'état hygrométrique de l'air est en relation avec l'évaporation qui s'accomplit à la surface de la mer et par conséquent avec la température de cette surface et avec la circulation océanique.

L'état hygrométrique est fonction de la rapidité d'évaporation d'une certaine quantité d'eau et par suite de l'abaissement de température produit par cette évaporation; il dépend aussi de la pression barométrique.

Les conditions ordinaires dans lesquelles opère un océanographe font que la plus simple manière d'obtenir ces données consiste à se servir de la méthode dite psychrométrique. On prend la température de l'air avec un thermomètre sec; on mesure ensuite le refroidissement résultant de l'évaporation de l'eau et ces deux valeurs, connaissant la hauteur barométrique au moment de l'expérience, suffisent pour calculer soit la tension de la vapeur, soit l'état hygrométrique.

Les formules employées sont

$$f = F' - 0.00079(t - t')h$$

si la température t' du thermomètre mouillé est au-dessus de zéro et

$$f = F' - 0.00069(t - t')h$$

si t' est au-dessous de zéro.

L'état hygrométrique de l'air est représenté par

$$E = \frac{f}{F}$$

formule dans laquelle on représente par

f	la tension de la vapeur d'eau.
t	la température du thermomètre sec.
t'	la température du thermomètre mouillé.
F	la tension maximum de la vapeur d'eau à la température t .
F'	la tension maximum de la vapeur d'eau à la température t' .
h	la hauteur barométrique.

Les valeurs t , t' et h sont mesurées directement. Une première table donne les tensions maxima F et F' de la vapeur d'eau; une seconde contient les valeurs des produits $0.00079(t - t')$ et $0.00069(t - t')$ pour les valeurs les plus ordinaires de $t - t'$.

L'expérience s'exécute avec le thermomètre fronde, généralement après avoir mesuré la température de l'air dont il a été parlé précédemment.

On introduit le réservoir du thermomètre (*fig. 2*), dans un petit étui en batiste, ayant la forme d'un doigt de gant, et on l'y maintient par une bague élastique qu'on fabrique en coupant un tube en caoutchouc. On trempe alors le réservoir dans un petit flacon contenant de l'eau douce, on tourne en fronde, on mesure la température qui est presque toujours inférieure à celle qui a été observée au thermomètre sec. Après deux ou trois essais exécutés en mouillant de nouveau la batiste, s'il est nécessaire, on obtient la température cherchée. On mesure directement la hauteur barométrique h .

Si la température est au-dessous de zéro, on mouille de même la batiste et le réservoir du thermomètre et l'on attend que la glace soit bien formée pour tourner en fronde et mesurer la température. Du reste, la détermination de l'état hygrométrique de l'air au-dessous de zéro par la méthode psychrométrique est bien approximative et ne mérite qu'une assez médiocre confiance.

Exemple I.

$$t = 18^{\circ}.4 \quad t' = 9^{\circ}.6 \quad h = 620 \text{ mm}$$

$$f = F' - 0.00079(t - t')h$$

$$t - t' = 8.8$$

$$f = 8.90 - 0.0006952 \times 620$$

$$= 4.59 \text{ ou } 4.6$$

$$E = \frac{f}{F} = \frac{4.6}{15.72} = 0.29$$

Exemple II (au-dessous de zéro).

$$t = -2^{\circ}.5 \quad t' = -3.8 \quad h = 570$$

$$f = F' - 0.00069(t - t')h$$

$$t - t' = 1.3$$

$$f = 3.45 - 0.000897 \times 570$$

$$= 2.95 \text{ ou } 2.9$$

$$E = \frac{f}{F} = \frac{2.9}{3.81} = 0.76$$

TENSIONS MAXIMA DE LA VAPEUR D'EAU.

(A. ANGOT, *Instructions météorologiques*, p. 149.)

DEGRÉS.	DIXIÈMES DE DEGRÉ.									
	0° 0	0° 1	0° 2	0° 3	0° 4	0° 5	0° 6	0° 7	0° 8	0° 9
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
—29°	0.42	0.44	0.44	0.44	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38
—28	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42
—27	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46
—26	0.55	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51
—25	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56
—24	0.66	0.66	0.65	0.65	0.64	0.63	0.63	0.62	0.62	0.61
—23	0.73	0.72	0.71	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.67
—22	0.79	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.73
—21	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80
—20	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89	0.88	0.87
—19	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
—18	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04
—17	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13
—16	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23
—15	1.44	1.43	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34
—14	1.56	1.55	1.54	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45
—13	1.69	1.68	1.67	1.65	1.64	1.63	1.61	1.60	1.59	1.57
—12	1.84	1.82	1.81	1.79	1.78	1.76	1.75	1.74	1.72	1.71
—11	1.99	1.97	1.96	1.94	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.85
—10	2.15	2.13	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.02	2.00
— 9	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.22	2.20	2.19	2.17
— 8	2.51	2.50	2.48	2.46	2.44	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34
— 7	2.72	2.69	2.67	2.65	2.63	2.61	2.59	2.57	2.55	2.53
— 6	2.93	2.91	2.89	2.86	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74
— 5	3.16	3.14	3.11	3.09	3.07	3.04	3.02	3.00	2.98	2.95
— 4	3.41	3.38	3.36	3.33	3.31	3.28	3.26	3.23	3.21	3.18
— 3	3.67	3.64	3.62	3.59	3.56	3.54	3.51	3.48	3.46	3.43
— 2	3.95	3.92	3.89	3.86	3.84	3.81	3.78	3.75	3.72	3.70
— 1	4.25	4.22	4.19	4.16	4.13	4.10	4.07	4.04	4.01	3.98
0	4.57	4.54	4.50	4.47	4.44	4.41	4.37	4.34	4.31	4.28

TENSIONS MAXIMA DE LA VAPEUR D'EAU

(Suite).

DEGRÉS.	DIXIÈMES DE DEGRÉ.									
	0°0	0°1	0°2	0°3	0°4	0°5	0°6	0°7	0°8	0°9
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
+ 0°	4.57	4.60	4.64	4.67	4.70	4.74	4.77	4.80	4.84	4.87
1	4.91	4.94	4.98	5.02	5.05	5.09	5.12	5.16	5.20	5.23
2	5.27	5.31	5.35	5.39	5.42	5.46	5.50	5.54	5.58	5.62
3	5.66	5.70	5.74	5.78	5.82	5.86	5.90	5.94	5.99	6.03
4	6.07	6.11	6.15	6.20	6.24	6.28	6.33	6.37	6.42	6.46
5	6.51	6.55	6.60	6.64	6.69	6.74	6.78	6.83	6.88	6.92
6	6.97	7.02	7.07	7.12	7.17	7.22	7.26	7.31	7.36	7.42
7	7.47	7.52	7.57	7.62	7.67	7.72	7.78	7.83	7.88	7.94
8	7.99	8.05	8.10	8.15	8.21	8.27	8.32	8.38	8.43	8.49
9	8.55	8.61	8.66	8.72	8.78	8.84	8.90	8.96	9.02	9.08
10	9.14	9.20	9.26	9.32	9.39	9.45	9.51	9.58	9.64	9.70
11	9.77	9.83	9.90	9.96	10.03	10.09	10.16	10.23	10.30	10.36
12	10.43	10.50	10.57	10.64	10.71	10.78	10.85	10.92	10.99	11.07
13	11.14	11.21	11.28	11.36	11.43	11.50	11.58	11.66	11.75	11.81
14	11.88	11.96	12.04	12.12	12.19	12.27	12.35	12.43	12.51	12.59
15	12.67	12.76	12.84	12.92	13.00	13.09	13.17	13.25	13.34	13.42
16	13.51	13.60	13.68	13.77	13.86	13.95	14.04	14.12	14.21	14.30
17	14.40	14.49	14.58	14.67	14.76	14.86	14.95	15.04	15.14	15.23
18	15.33	15.43	15.52	15.62	15.72	15.82	15.92	16.02	16.12	16.22
19	16.52	16.42	16.52	16.63	16.73	16.83	16.94	17.04	17.15	17.26
20	17.36	17.47	17.58	17.69	17.80	17.91	18.02	18.13	18.24	18.35
21	18.47	18.58	18.69	18.81	18.92	19.04	19.16	19.27	19.39	19.51
22	19.63	19.75	19.87	19.99	20.11	20.24	20.36	20.48	20.61	20.73
23	20.86	20.98	21.11	21.24	21.37	21.50	21.63	21.76	21.89	22.02
24	22.15	22.29	22.42	22.55	22.69	22.83	22.96	23.10	23.24	23.38
25	23.52	23.66	23.80	23.94	24.08	24.23	24.37	24.52	24.66	24.81
26	24.96	25.10	25.25	25.40	25.55	25.70	25.86	26.01	26.16	26.32
27	26.47	26.63	26.78	26.94	27.10	27.26	27.42	27.58	27.74	27.90
28	28.07	28.23	28.39	28.56	28.73	28.89	29.06	29.23	29.40	29.57
29	29.74	29.92	30.09	30.26	30.44	30.62	30.79	30.97	31.15	31.33

TENSIONS MAXIMA DE LA VAPEUR D'EAU

(Suite).

DEGRÉS.	DIXIÈMES DE DEGRÉ.									
	0°0	0°1	0°2	0°3	0°4	0°5	0°6	0°7	0°8	0°9
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
30°	31.51	31.69	31.87	32.06	32.24	32.43	32.61	32.80	32.99	33.18
31	33.37	33.56	33.75	33.94	34.14	34.33	34.53	34.72	34.92	35.12
32	35.32	35.52	35.72	35.92	36.13	36.33	36.54	36.74	36.95	37.16
33	37.37	37.58	37.79	38.00	38.22	38.43	38.65	38.87	39.08	39.30
34	39.52	39.74	39.97	40.19	40.41	40.64	40.87	41.09	41.32	41.55
35	41.78	42.02	42.25	42.48	42.72	42.96	43.19	43.43	43.67	43.92
36	44.16	44.40	44.65	44.89	45.14	45.39	45.64	45.89	46.14	46.39
37	46.65	46.90	47.16	47.42	47.68	47.94	48.20	48.46	48.73	48.99
38	49.26	49.53	49.80	50.07	50.34	50.61	50.89	51.16	51.44	51.72
39	52.00	52.28	52.56	52.84	53.13	53.41	53.70	53.99	54.28	54.57
40	54.87	55.16	55.46	55.75	56.05	56.35	56.65	56.95	57.26	57.56
41	57.87	58.18	58.49	58.80	59.11	59.43	59.74	60.06	60.38	60.70
42	61.02	61.34	61.66	61.99	62.32	62.65	62.98	63.31	63.64	63.97
43	64.31	64.65	64.99	62.33	65.67	61.01	66.36	66.71	67.05	67.41
44	67.76	68.11	68.47	68.82	69.18	69.54	69.90	70.26	70.63	70.99
45	71.36	71.73	72.10	72.48	72.85	73.23	73.60	73.98	74.36	74.75
46	75.13	75.52	75.91	76.30	76.69	77.08	77.47	77.87	78.27	78.67
47	79.07	79.47	79.88	80.29	80.70	81.11	81.52	81.93	82.35	82.77
48	83.19	83.61	84.03	84.46	84.89	85.32	85.75	86.18	86.61	87.05
49	87.49	87.93	88.37	88.83	89.26	89.71	90.16	90.61	91.06	91.52

PSYCHROMÈTRE.

Table des produits 0,00079 ($t - t'$) et 0,00069 ($t - t'$).

$t - t'$	0,00079 ($t - t'$)	0,00069 ($t - t'$)	$t - t'$	0,00079 ($t - t'$)	0,00069 ($t - t'$)
	au-dessus de zéro.	au-dessous de zéro.		au-dessus de zéro.	au-dessous de zéro.
0.0	0.000000	0.000000	2.8	0.002212	0.001932
0.1	0.000079	0.000069	2.9	0.002291	0.002001
0.2	0.000158	0.000138	3.0	0.002370	0.002070
0.3	0.000237	0.000207	3.1	0.002449	0.002139
0.4	0.000316	0.000276	3.2	0.002528	0.002208
0.5	0.000395	0.000345	3.3	0.002607	0.002277
0.6	0.000474	0.000414	3.4	0.002686	0.002346
0.7	0.000553	0.000483	3.5	0.002765	0.002415
0.8	0.000632	0.000552	3.6	0.002844	0.002484
0.9	0.000711	0.000621	3.7	0.002923	0.002553
1.0	0.000790	0.000690	3.8	0.003002	0.002622
1.1	0.000869	0.000759	3.9	0.003081	0.002691
1.2	0.000948	0.000828	4.0	0.003160	0.002760
1.3	0.001027	0.000897	4.1	0.003239	0.002829
1.4	0.001106	0.000966	4.2	0.003318	0.002898
1.5	0.001185	0.001035	4.3	0.003397	0.002967
1.6	0.001264	0.001104	4.4	0.003476	0.003036
1.7	0.001343	0.001173	4.5	0.003555	0.003105
1.8	0.001422	0.001242	4.6	0.003634	0.003174
1.9	0.001501	0.001311	4.7	0.003713	0.003243
2.0	0.001580	0.001380	4.8	0.003792	0.003312
2.1	0.001659	0.001449	4.9	0.003871	0.003381
2.2	0.001738	0.001518	5.0	0.003950	0.003450
2.3	0.001817	0.001587	5.1	0.004029	0.003519
2.4	0.001896	0.001656	5.2	0.004108	0.003588
2.5	0.001975	0.001725	5.3	0.004187	0.003657
2.6	0.002054	0.001794	5.4	0.004266	0.003726
2.7	0.002133	0.001863	5.5	0.004345	0.003795

PSYCHROMÈTRE (*suite*).Table des produits 0,00079 ($t - t'$) et 0,00069 ($t - t'$).

$t - t'$	0,00079 ($t - t'$)	0,00069 ($t - t'$)	$t - t'$	0,00079 ($t - t'$)	0,00069 ($t - t'$)
	au-dessus de zéro.	au-dessous de zéro.		au-dessus de zéro.	au-dessous de zéro.
5.6	0.004424	0.003864	8.4	0.006636	0.005796
5.7	0.004503	0.003933	8.5	0.006715	0.005865
5.8	0.004582	0.004002	8.6	0.006794	0.005934
5.9	0.004661	0.004071	8.7	0.006873	0.006003
6.0	0.004740	0.004140	8.8	0.006952	0.006072
6.1	0.004819	0.004209	8.9	0.007031	0.006141
6.2	0.004893	0.004278	9.0	0.007110	0.006210
6.3	0.004977	0.004347	9.1	0.007189	0.006279
6.4	0.005056	0.004416	9.2	0.007268	0.006348
6.5	0.005135	0.004485	9.3	0.007347	0.006417
6.6	0.005214	0.004554	9.4	0.007426	0.006486
6.7	0.005293	0.004623	9.5	0.007505	0.006555
6.8	0.005372	0.004692	9.6	0.007584	0.006624
6.9	0.005451	0.004761	9.7	0.007663	0.006693
7.0	0.005530	0.004830	9.8	0.007742	0.006762
7.1	0.005609	0.004899	9.9	0.007821	0.006831
7.2	0.005688	0.004968	10.0	0.007900	0.006900
7.3	0.005767	0.005037	10.5	0.008295	0.007245
7.4	0.005846	0.005106	11.0	0.008690	0.007590
7.5	0.005925	0.005175	11.5	0.009085	0.007935
7.6	0.006004	0.005244	12.0	0.009480	0.008280
7.7	0.006083	0.005313	13.0	0.010270	0.008970
7.8	0.006162	0.005382	14.0	0.011060	0.009660
7.9	0.006241	0.005451	15.0	0.011850	0.010350
8.0	0.006320	0.005520	16.0	0.012640	0.011040
8.1	0.006399	0.005589	17.0	0.013430	0.011730
8.2	0.006478	0.005658	18.0	0.014220	0.012420
8.3	0.006557	0.005727	19.0	0.015010	0.013110

II

INSTRUMENTS DIVERS

Quand on s'est installé à l'endroit que l'on se propose d'étudier, le premier soin doit être de fixer la position de la station. Un océanographe n'est pas forcément un marin : s'il fait de l'océanographie en haute mer, le commandant du bâtiment à bord duquel il se trouve se chargera d'exécuter cette opération d'après les coordonnées géographiques, latitude et longitude. Il n'y a donc pas lieu de se préoccuper ici de la question. Si un marin se livrait à l'océanographie, il connaîtrait mieux que personne les procédés à employer pour déterminer sa position.

En vue des côtes, au contraire, l'océanographe travaillant seul doit s'acquitter lui-même de cette tâche, d'ailleurs assez simplifiée à cause de son but spécial. Il se bornera à opérer par relèvements au moyen du compas, de la boussole, du sextant ou du cercle hydrographique.

Jumelles, compas, boussole, théodolite, tachéographe de Schrader, sextant, cercle hydrographique. — *a)* Pour mieux distinguer les points situés à terre qui serviront de repères, il faut posséder une jumelle. Certaines portent dans l'intérieur de l'un de leurs deux tubes un micromètre gradué sur verre divisé en dixièmes de millimètre, qu'il

est possible de mettre au point en même temps que les objets éloignés et qui remplit l'office de stadia pour estimer rapidement, quoique seulement approximativement, la distance à laquelle on se trouve d'un objet de hauteur connue. Le dispositif ne peut pas être installé dans une jumelle de théâtre, qui est une lunette de Galilée, et il ne s'adapte qu'aux lunettes ou jumelles à prismes. Il rend alors de réels services, car il permet de prendre, en guise de mire graduée, des hommes passant sur le rivage si l'on est très près de terre, des maisons si l'on est plus éloigné ou encore des phares. Lorsqu'on doit travailler pendant un certain temps en vue d'un même phare, il est facile d'établir à l'avance, fût-ce empiriquement, une table de concordance entre la hauteur toujours facile à connaître de la tour et les divisions du micromètre. Le micromètre introduit dans une longue-vue est moins commode parce que, à cause de sa longueur, l'instrument est difficile à maintenir immobile, surtout à bord d'une embarcation, et il n'offre pas les avantages d'une jumelle. Quoi qu'il en soit, on regarde combien de divisions du micromètre couvrent la hauteur de l'objet quel qu'il soit, on calcule la distance correspondante et, en visant successivement deux objets différemment éloignés, on a deux distances qui suffisent pour repérer grossièrement sa position sur une carte.

b) Le compas de relèvements (1) est un instrument de service courant en navigation. Un océanographe monté sur un petit bateau peut le remplacer par un simple compas

(1) On consultera avec grand profit, pour tout ce qui concerne la topographie pratique, l'excellent ouvrage de M. E. de Larminat, intitulé : *Topographie pratique de reconnaissance et d'exploration, suivie de notions élémentaires pratiques de géodésie et d'astronomie de campagne*, avec 149 figures dans le texte. 2^e édition. H.-Charles Lavauzelle, éditeur, Paris, 1907.

d'embarcation et même, pour établir grossièrement sa position, par une boussole de géologue qui est aussi utile pour faire de la topographie à terre. Celle dont je me sers (*fig. 3*) a son cadran de 7 cm de diamètre divisé en 360 degrés numérotés dans le sens des aiguilles d'une montre depuis 0°, sur la ligne N.-S. au Nord, jusqu'à 360° en passant par l'Est marqué 90°, le Sud 180°, l'Ouest 270° et, enfin, le Nord à 360°. On déclanche l'aiguille, on tient la boussole par son bouton correspondant à la ligne N.-S. avec le Nord droit en avant et on se tourne bien en face du point dont on désire prendre le relèvement. On note alors la direction sur laquelle s'arrête la pointe bleue de l'aiguille. Si, par exemple, elle indique 147° pour un certain point, on sera averti que celui-ci se trouve par S.

Fig. 3.

(180 — 147°) W, ou S. 33° W. Si, pour un second repère visé, l'aiguille marque, par exemple, 118°, l'angle formé par ces deux points et ayant pour sommet l'embarcation est de $147 - 118 = 29^\circ$.

Toutes les fois qu'on emploie une aiguille aimantée, il est indispensable de tenir compte de la déclinaison, angle que fait cette aiguille avec la méridienne du lieu ou, en d'autres termes, avec le Nord du monde ou Nord vrai. La déclinaison est N.-E. ou orientale quand l'aiguille se dirige à l'Est du Nord vrai et N.-W. ou occidentale dans le cas inverse. Les indications de la boussole ou du compas devront être corrigées par addition ou soustraction, selon le sens de la déclinaison qui est actuellement en France, occidentale, de 15° environ à Paris. On se rappellera qu'elle varie selon la localité et que, pour une même localité, sa valeur se modifie continuellement quoique d'une manière régulière. Pour une année et un lieu déterminés, elle est indiquée dans diverses publications et, en particulier, dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*.

c) On se sert aussi, à la condition de travailler à deux, d'un théodolite ou du tachéographe de Schrader (1). L'instrument est une sorte de théodolite donnant et laissant enregistrer, pour tout point visé, l'angle horizontal séparant celui-ci d'un point quelconque fixe adopté pour origine, ainsi que l'angle vertical au-dessus ou au-dessous de l'horizon de la station. Si donc l'océanographe se livre à des sondages en vue d'une hauteur où est installé l'opérateur au tachéographe, il suffira qu'au moment du coup de sonde, le premier hisse un pavillon ; le second averti vise aussitôt l'embarcation et d'un seul coup, il obtient la position par la distance angulaire au point origine ainsi que par la distance à la terre, laquelle est le côté de l'angle droit d'un triangle rectangle dont l'autre côté est l'altitude connue constante de la station terrestre fixe au-dessus du niveau de la mer et dont l'angle opposé au premier côté est l'angle mesuré sur l'instrument. Cette distance est susceptible d'être fournie immédiatement si le tachéographe, fonctionnant comme stadia, est installé sur le rivage et si le mât de l'embarcation est divisé de manière à servir de mire.

Pour le levé des lacs suisses et en particulier du lac de Constance, le Bureau topographique fédéral a adopté, pour déterminer la position de l'embarcation donnant le coup de sonde, la visée simultanée, au signal d'un pavillon, de deux observateurs éloignés à terre d'une distance connue et munis l'un et l'autre d'une lunette stadia. Le mât de l'embarcation, peint en noir et en blanc par intervalles alternés de 50 cm, servait de mire.

d) Le procédé le plus ordinaire consiste à faire usage d'un sextant ou d'un cercle hydrographique. De l'embar-

(1) C. R. A. S. 1^{er} juillet 1893 et Schrader et Sauerwein, *Sur l'emploi du tachéographe Schrader pour les travaux d'hydrographie*, Bulletin du Musée océanographique de Monaco, n° 3, 5 janvier 1904.

cation elle-même, au moment du coup de sonde, on détermine les angles que font deux à deux avec l'embarcation, au moins trois points repères situés à terre et dont la position est marquée sur la carte. On établit ensuite graphiquement la position à l'aide de la construction du segment capable.

Supposons que de l'embarcation on ait mesuré au cercle hydrographique les angles $\alpha = 96^\circ$ et $\beta = 130^\circ$ relatifs

Fig. 4.

aux trois points A, B, C situés à terre (*fig. 4*). Sur la carte où sont figurés ces trois points dans leur position respective, on joint A à B; en B, on trace un angle $ABK = \frac{\alpha}{2} = 48^\circ$; on élève les perpendiculaires BO sur BK et IO sur le milieu de AB; leur rencontre en O donne le centre d'un cercle à décrire avec OA ou OB pour rayon. On répète en C, sur BC, la même construction en faisant $BCL = \frac{\beta}{2} = 65^\circ$. La position du sondage sera en M, intersection des deux cercles O et O'.

Il faut avoir soin de choisir les points repères de telle sorte qu'ils ne comprennent pas entre eux d'angle trop petit et, autant que possible, d'en prendre plus que les trois

rigoureusement indispensables, afin d'avoir des vérifications.

Je fais usage d'un petit cercle hydrographique portatif (*fig. 5*) qui est léger, commode à transporter et à manier et qui m'a rendu d'excellents services. Son diamètre est de 105 mm seulement et, installé dans son étui qui se porte en bandoulière, il ne pèse que 975 g. Il fournit les angles avec une approximation de 1 minute, ce qui est amplement suffisant (1).

Fig. 5.

Le réglage du cercle est une opération délicate. Mon instrument, depuis plusieurs années, n'est pas déréglé. Chaque fois que je travaille avec lui, je commence par mesurer son erreur en visant le point directement et par réflexion ou, en d'autres termes, en faisant coïncider les deux images de ce point. Le vernier doit alors indiquer un angle nul, soit 0° . En réalité, mon cercle, dans ces conditions, marque $5'$; je retranche donc cette quantité constante de tous les angles mesurés en opérant toujours de la même façon, c'est-à-dire le point à gauche visé directement et le point à droite ramené en coïncidence par le mouvement de l'alidade.

Miroir d'alignement. — Ayant entrepris d'exécuter sans aide le levé et l'étude des lacs de Gérardmer, Longemer et Retournemer, dans les Vosges et ayant dû, par conséquent, établir à moi seul mes stations en ligne droite, j'ai éprouvé une réelle difficulté à me placer en aligne-

(1) Chez Ponthus et Terrode, instruments de précision, 6, rue Victor-Considérant, à Paris.

ment avec deux points fixés situés sur les rives. J'ai, à cette occasion, imaginé le dispositif suivant qui servira dans certaines circonstances.

Deux miroirs rectangulaires égaux mesurant environ 145×43 mm sont reliés l'un à l'autre par une charnière adaptée à leur côté le plus petit. Tous deux portent suivant leur médiane (*fig. 6*) une ligne gravée et peinte en rouge afin d'être plus visible et l'un des miroirs à sa partie inférieure, sur un espace rectangulaire mesurant 40×25 mm, est débarrassé de son tain et par conséquent transparent.

Fig. 6.

On se met à peu près en ligne avec les deux points repères ; alors, faisant face à l'un des points et par conséquent tournant le dos à l'autre, on tient l'instrument de la main gauche et l'on porte sa fenêtre transparente en bas, à la hauteur de l'œil, on incline ensuite le miroir supérieur de manière à ce que l'image de la ligne réfléchie du miroir supérieur sur l'inférieur vienne coïncider avec cette ligne elle-même ; à ce moment, l'œil se trouve dans le plan perpendiculaire à celui de l'appareil et marqué par les deux droites. On se déplace légèrement de droite à gauche ou de gauche à droite de façon à apercevoir directement le premier repère situé en avant, à travers la fenêtre sans tain et, dans le prolongement de la ligne tracée sur le verre et, en haut du miroir inférieur par réflexion, la ligne rouge réfléchie coïncidant avec celle aperçue directement, le second repère auquel on tourne le dos. Lorsqu'il aura trouvé par tâtonnements une position telle que cette coïncidence ait lieu, l'observateur est assuré que son œil et les deux points repères sont dans le même plan et par conséquent qu'il se trouve exactement sur la ligne droite joignant ces points.

Quand l'instrument qui pèse 120 g avec son étui en drap, ne sert pas, la fenêtre sans tain qui seule n'est pas pro-

tégée par une lame de bois, est bouchée par un obturateur garni de velours.

Messageur Rung; déclanchement à verrou et déclanchement à hélice. — La plupart des opérations océanographiques, mesures de températures profondes, prises d'échantillons d'eaux et autres à exécuter au sein même des eaux, sont le résultat du retournement d'un appareil approprié au but spécial qu'on a en vue. Pour produire ce mouvement sur un appareil suspendu à un fil de sonde ou à une corde de chanvre, le procédé consiste à enfiler sur le fil un poids ou messageur qui abandonné à lui-même glisse verticalement, parvient sur l'appareil et, par son choc sur un verrou qui se soulève, provoque le mouvement de bascule.

Si l'on considère que le fil de sonde est toujours enroulé sur le tambour d'un treuil et qu'il est impossible d'en saisir l'extrémité à moins de le dérouler en totalité, on comprend qu'il est indispensable d'être en état d'enfiler le messageur en n'importe quel point du fil.

Fig. 7.

Le messageur de Rung est le dispositif le plus en usage. Il consiste (*fig. 7*) en un cylindre de laiton percé de part en part suivant son axe et séparable en deux parties s'emboîtant mutuellement. Cependant, l'emboîtement se fait de telle façon que chaque partie isolée présente longitudinalement une moitié complète de cylindre vide intérieur, ce qui permet de la placer en un point quelconque du fil tendu. On en fait autant

pour la seconde moitié, on rentre les deux pièces l'une dans l'autre et on les empêche de se séparer en disposant

transversalement la clef. L'opération achevée et le messenger étant remonté avec l'appareil qu'il a fait retourner, on le détache du fil en opérant la manœuvre inverse de celle qui vient d'être décrite.

Le gros messenger de Rung pèse 385 g avec un diamètre extérieur de 33 mm et intérieur vide de 16 mm ; on en fabrique de plus petits pesant 260 g avec un diamètre extérieur de 30 mm et intérieur vide de 11 mm. Ce dernier modèle ne semble pas très utile, il serait préférable d'en avoir un autre plus lourd que le gros, c'est-à-dire pesant de 550 à 600 g et d'un diamètre intérieur de 18 mm.

L'amiral italien Magnaghi a imaginé de produire le retournement au moyen d'une hélice à deux branches orientées de façon à ce qu'en descendant, pendant l'immersion du système, elle fasse enfoncer une tige lui servant d'axe dans une cavité pratiquée dans l'étui de l'instrument destiné à se renverser et disposé pour tourner autour d'un axe transversal (*fig.* 32 et 33). Dès que la tige a suffisamment pénétré dans la cavité, l'hélice bloquée est immobilisée. Si on la remonte d'une certaine hauteur, elle se débloque, tourne en sens inverse entraînant avec elle sa tige. Celle-ci sort de sa cavité, cesse de retenir l'appareil qui, excentré, se renverse aussitôt. Chaque système possède ses avantages et ses inconvénients dont il sera parlé à propos des instruments auxquels l'un et l'autre sont appliqués.

Serre-joints. — Les serre-joints sont indispensables en océanographie ; ils servent à faire toutes sortes d'installations de fortune à bord d'une embarcation ou même d'un bâtiment, à immobiliser et à fixer d'une façon très solide, horizontalement ou verticalement, les divers instruments et appareils.

Les serre-joints (*fig.* 8), pèsent environ 1200 g ; ils doivent être en fer forgé car, soumis à un effort un peu considérable, ceux en fonte qu'on trouve communément dans le

commerce sont beaucoup trop fragiles. On leur donne un écartement d'au moins 10 cm entre les parties serrantes.

Il est facile de leur faire serrer des surfaces inclinées en intercalant des coins en bois taillés plus ou moins obliquement. En campagne, il faut en avoir au moins six qu'on range dans la caisse contenant la sonde.

Fig. 8.

Indicateur à huile. — Dans les études auxquelles on se livre en océanographie, on a quelquefois besoin, lorsqu'on abandonne dans une intention quelconque un objet flottant et que l'on craint de le voir s'enfoncer, disparaître et être perdu, de se servir d'un dispositif destiné à indiquer exactement la position occupée par l'objet sur le fond et à permettre de repêcher celui-ci par un dragage.

On emploie un récipient de forme quelconque, d'un volume approprié aux conditions spéciales dans lesquelles il doit fonctionner, mis en communication avec l'extérieur par deux tubes d'inégale longueur dont les ouvertures inférieures, ramenées au même niveau, plongent dans de l'huile tandis que leurs ouvertures supérieures sont évidemment à des niveaux différents. Ceux dont je me suis servi ont une différence de longueur de 40 mm et un diamètre intérieur de 2.5 mm environ. Ils sont constitués par un tube fin en verre, disposé suivant l'axe d'un tube en cuivre de 13 mm de diamètre et entouré d'alliage fusible, les deux bases inférieure et supérieure étant d'ailleurs planes. Quand ils sont en place, on en obture l'ouverture supérieure, pour l'un et pour l'autre, au moyen d'une rondelle en papier collé avec de la gomme arabique et l'on évite ainsi que l'huile ne se répande lorsque l'appareil ne fonctionne pas.

Supposons le système immergé. Les deux rondelles se décolle dans l'eau et après 4 à 5 minutes, plus longtemps

si on le désire, elles tombent ensemble en laissant libres les ouvertures des deux tubes. L'air contenu dans l'intérieur de ceux-ci se dégage en bulles et est remplacé par l'eau qui descend par le tube court, à cause de la différence de pression, parvient au contact de l'huile et comme la densité de ce dernier liquide est plus faible, elle tombe goutte à goutte au travers jusqu'au fond du vase en prenant la place d'une goutte d'huile qu'elle oblige à remonter, à traverser le tube le plus long et ensuite toute la couche d'eau sus-jacente jusqu'à la surface où elle s'épanouit en une nappe infiniment mince quoique parfaitement visible. Une seconde goutte succède à la première, descend par le tube court, force une autre goutte d'huile à remonter par le tube long et à apparaître à son tour à la surface et ainsi de suite jusqu'à ce que toute l'huile du récipient soit partie goutte à goutte d'une façon régulière et continue et ait été remplacée par de l'eau. La vitesse d'écoulement se règle à volonté, car elle ne dépend que du diamètre des tubes et de leur différence de longueur. Avec les dimensions indiquées précédemment, le débit est d'environ 1 litre en vingt-quatre heures.

Si le courant donnait lieu à une légère déviation des gouttes d'huile, rien ne serait plus aisé que d'en tenir compte.

Photographie. — Il est fréquemment nécessaire d'obtenir un dessin très exact d'un détail quelconque se rapportant à l'océanographie, vue de côte, plage, groupe de rochers, phare ou autre. Rien ne vaut la photographie qui est un document d'une véracité indiscutable sans compter que tous les observateurs ne savent pas dessiner. Comme les vues sont le plus souvent prises à bord d'un bâtiment ou d'une embarcation, on est forcé de ne se servir que de jumelles photographiques et de ne faire que des instantanés.

Les jumelles donnent ordinairement des clichés de dimensions 8×9 cm. La prise des vues ne présente aucune difficulté. Dans le cas où l'on voudrait plus tard employer les épreuves à dresser des plans d'après les principes de la photogrammétrie, on ne manquera pas d'indiquer la distance focale de l'instrument. On s'arrange en outre de façon, toutes les fois que cela est possible, à y introduire un objet de longueur connue, par exemple un mètre étendu sur le sol perpendiculairement à la ligne de visée ou tout au moins un personnage. L'échelle est ainsi fixée et l'image fournit immédiatement une notion beaucoup plus juste de la réalité.

Le procédé de développement des clichés le plus simple et le plus pratique, car il exige le moins de matériel et point de pesées, est celui au chlorhydrate de diamidophénol.

On mesure dans un verre gradué 90 cmcb d'eau douce bien pure et on la verse dans la cuvette à développement en porcelaine. Avec une cuillère à moutarde en bois dont la cavité est d'environ 2 cmcb, on mesure deux bonnes cuillerées (45 g) de sulfite de soude anhydre qu'on jette dans l'eau de la cuvette; on agite, et dès que la dissolution est effectuée, on ajoute une cuillerée (0.5 g) de diamidophénol. Cette quantité de bain peut développer au moins une douzaine de clichés 8×9 . L'opération doit évidemment se faire en lumière rouge. On lave ensuite à grande eau.

On fixe le cliché en l'immergeant dans un bain d'hypo-sulfite de soude à 20 pour cent environ; la quantité du sel n'a pas besoin d'être mesurée avec précision. On sort le cliché du bain aussitôt que la teinte d'un blanc laiteux qu'il présente à l'envers a disparu. On lave à grande eau pendant au moins deux heures; on laisse sécher sur l'égouttoir.

On tire les épreuves sur papier au gélatino-bromure ou

sur papier à la celloïdine. Le premier possède l'avantage d'être très rapidement impressionné car il suffit de l'exposer dans le châssis, derrière le cliché, dans la chambre noire, à la simple lumière d'une lampe pendant une douzaine de secondes. On le développe avec le bain même qui a servi à développer le cliché et qu'on se borne à additionner de 15 gouttes d'une solution à 10 pour cent de bromure de potassium. On fixe au bain d'hyposulfite pendant dix minutes, on lave à grande eau et on sèche. Étant recouvert d'une couche de gélatine, ce papier a l'inconvénient de se recroqueviller s'il n'est pas collé sur carton.

Avec le papier à la celloïdine, les épreuves sont souples et peuvent être envoyées dans une lettre sans être collées sur carton, mais elles exigent, pour être en même temps virées et fixées, un bain spécial composé de la façon suivante :

2 litres	eau de pluie.
500 g.....	hyposulfite de soude.
55 g.....	sulfocyanure d'ammonium sec.
20 g.....	acétate de plomb pur.
20 g.....	nitrate de plomb pur.
25 g.....	alun en poudre.
15 g.....	acide citrique.

Après dissolution complète, on ajoute 75 g de solution de chlorure d'or au 1/100 ; on laisse déposer pendant deux ou trois jours et on filtre ; le bain se conserve indéfiniment.

On laisse les épreuves dans le bain pendant cinq à huit minutes en agitant ; on les retire et on les lave à grande eau.

Si l'on sait dessiner, on peut obtenir rapidement des vues très exactes en copiant les photographies à la chambre claire agrandissante.

On rassemble tous les produits et instruments servant à la confection des photographies dans une boîte contenant les objets suivants :

- Un verre gradué de 100 cmch.
 - Une lanterne rouge.
 - Une cuvette en porcelaine à développer les clichés.
 - Une cuvette pour l'hyposulfite.
 - Une cuvette pour le fixo-virage des épreuves.
 - Une cuillère à moutarde (petit modèle).
 - Un châssis.
 - Un égouttoir.
 - Un paquet de papier au gélatino-bromure.
 - Un paquet de papier à la celloïdine.
 - Un flacon de sulfite de soude anhydre solide.
 - Un flacon de chlorhydrate de diamidophénol solide.
 - Un flacon d'hyposulfite de soude solide.
 - Un flacon de fixo-virage pour papier à la celloïdine.
 - Un flacon de bromure de potassium.
-

III

OBSERVATIONS STATIQUES

A. — Topographie.

a) CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — Le soin d'établir le relief du sol sous-marin, d'en fixer la topographie, ne concerne réellement l'océanographe que loin des côtes. Au voisinage de la terre, sauf de rares exceptions, cette tâche appartient à l'ingénieur hydrographe, dont la science, l'hydrographie, est une spécialité de l'océanographie s'appliquant particulièrement à la navigation dans les parages où celle-ci est surtout dangereuse pour un navire, c'est-à-dire par petits fonds atteignant au maximum une centaine de mètres de profondeur. Loin de terre, l'océanographe, pour placer ses sondages, se bornera à accepter les données géographiques, latitude et longitude, telles qu'elles auront été observées et calculées pour lui par les officiers du bâtiment à bord duquel il navigue. En vue du rivage, il profite des plans levés par les hydrographes qu'il se borne moins à vérifier qu'à compléter et à mettre sous la forme de cartes isobathes qui se prêtent mieux que les cartes marines ordinaires aux travaux océanographiques. Aussi appuierons-nous peu sur les opérations réellement géodésiques et n'en dirons-nous que ce qui sera indispensable,

sauf pour le levé des lacs dont les hydrographes ne s'occupent guère, à moins qu'ils n'atteignent les dimensions de véritables mers, comme les grands lacs américains, par exemple.

Pour dresser la carte isobathe d'un espace recouvert par les eaux, on en crible la surface de coups de sonde dont la position est reportée sur le papier avec inscription des cotes de profondeur. Depuis la surface jusqu'à la profondeur maximum reconnue, on entoure l'ensemble des points, par tranches comprises entre deux limites déterminées de profondeur, 0 et 10 m, par exemple, ou 100 et 200 m, ou 1 000 et 2 000 m, de courbes dites isobathes qui en limitent les aires respectives et marquent en quelque sorte les niveaux successifs de plus en plus bas qu'occuperait le rivage si l'eau s'abaissait de hauteurs égales à celles qui ont été choisies.

Une carte bathymétrique, en outre des informations qu'elle apporte par elle-même, est la base indispensable de toute étude d'un espace de mer donné. Aucun phénomène dans la nature n'est indépendant; chacun d'eux est influencé par tous les phénomènes qui s'effectuent en même temps que lui et, à son tour, il les influence tous. L'action est tantôt forte, directe, immédiate, tantôt faible et indirecte, mais elle existe toujours, et le but de la science considéré d'un point de vue élevé et général, est précisément de découvrir les lois de ces influences réciproques. A la surface des continents tout est en rapport avec la configuration de la contrée, aussi bien les phénomènes que l'on pourrait appeler matériels, climat, productions, industrie que les phénomènes immatériels, mœurs et histoire; de même toutes les propriétés de la masse des eaux dépendent directement ou indirectement de la forme et de la profondeur du lit sur lequel elle repose : circulation générale, distribution des températures et des densités, composition chimique, constitution des sédiments et le reste.

Aussi quelle que soit la recherche à laquelle on se livre, quelle que soit l'interrogation que le savant pose à la nature, il se rappellera que la forme la plus nette des réponses qu'il s'efforce d'arracher à celle-ci est celle du graphique et c'est pourquoi, dans ses investigations, il suivra, sans en dévier jamais, la même infallible méthode : constater et mesurer sur le terrain les phénomènes et en reporter à la place convenable la valeur représentative sur une carte bathymétrique, en établissant leur continuité et en exagérant leurs différences par un artifice quelconque tel que des teintes différentes ou graduées. Il ne lui restera plus alors qu'à lire ce qui est écrit.

L'espacement des isobathes varie évidemment avec le but que l'on se propose. Pour certains lacs, les courbes seront tracées de mètre en mètre, tandis qu'en plein océan, on les écartera de 500 ou 1 000 mètres. Il y a là une question de tact scientifique livrée à l'appréciation de l'opérateur. Il ne faut pas oublier que l'évaluation de la position d'un navire en pleine mer comporte une erreur, à l'extrême minimum, d'au moins 1 mille. En d'autres termes, la position à marquer sur la carte se trouvera quelque part dans l'intérieur d'un cercle de 1 mille qui, à l'échelle de $1/10\,000\,000$, sera figuré par un cercle de 0.2 mm de diamètre environ, ce qui est peu, tandis qu'à l'échelle de $1/100\,000$, l'indécision de la position réelle est un cercle de 18.52 mm, ce qui est considérable. Il faut donc équilibrer le degré de précision des isobathes, c'est-à-dire leur écartement, et la précision du dessin qui dépend de l'échelle adoptée. En exagérant, afin d'être plus clair, le tracé d'aires isobathes de 10 en 10 m, ou même de 50 en 50 m serait d'une exactitude absolument illusoire sur la carte au $1/100\,000\,000$ d'un fond irrégulier où les positions sont pointées avec une erreur inévitable, quel que soit le soin mis à les relever, d'au moins 2 mm.

Les isobathes seront toujours espacées par nombres

ronds de mètres en se conformant aux recommandations du Congrès de Stockholm qui prescrit de les tracer par intervalles de 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 mètres et ainsi de suite, chaque position critique d'une isobathe, quelle que soit sa profondeur, devant d'ailleurs être l'objet d'une détermination précise (1).

Au large, les sondages seront distribués autant que possible également serrés sur la surface entière de la carte. Par petits fonds, ils seront cependant plus rapprochés suivant les lignes de plus grande pente du sol immergé que dans la direction des lignes du niveau. Il faudra donc les disposer alors dans des directions à peu près normales aux courbes d'égale profondeur, c'est-à-dire dans la plupart des cas, perpendiculairement au rivage.

L'espacement des lignes de sonde varie aussi avec la régularité du fond. Dans une localité totalement inconnue, on les espacera au début afin de se renseigner approximativement sur le relief du fond et on en ajoutera ensuite de nouvelles si l'on en reconnaît la nécessité (2). S'il existe d'anciens levés, même incomplets, leur examen préalable fournira d'utiles renseignements. En général, pour un plan de baie, les hydrographes admettent que l'écartement des lignes de sonde varie entre 150 et 400 m, mais il peut devenir indispensable de les serrer beaucoup plus, au moins dans certaines parties. Dans les lacs, on les espace souvent d'une dizaine de mètres et parfois même de moins encore. De quelque manière que l'on procède, on sondera en ligne

(1) *Programme des travaux hydrographiques et biologiques à exécuter dans les portions septentrionales de l'océan Atlantique, la mer du Nord, la mer Baltique et les mers avoisinantes.* Conférence internationale pour l'étude de la mer. Stockholm, 1899. Traduction française par J. Thoulet, dans le Bulletin de la Société de géographie commerciale de Bordeaux. Janvier-février 1901.

(2) *Notions d'hydrographie expéditive à l'usage des officiers de marine*, par A. Germain, revu par Hanusse, p. 17. Paris, 1904, Imprimerie nationale.

droite et suivant un alignement pris sur deux repères situés à terre. Dans le cas où ces points manqueraient sur le terrain, on en créerait d'artificiels au moyen de signaux ou en élevant des tas de pierres blanchis à la chaux pour être plus visibles et surmontés d'un bâton portant un drapeau blanc cloué. Par décision internationale, les profondeurs seront évaluées en mètres, les distances horizontales sur les lacs en mètres, sur mer en milles marins de 1852 mètres, longueur d'un arc terrestre de 1 minute à l'équateur.

Les profondeurs observées sont corrigées de la marée dont il sera parlé ailleurs et rapportées à un niveau normal qui, pour les cartes hydrographiques françaises, est celui des plus basses mers de la localité, tandis que les cartes anglaises ont adopté celui des basses mers moyennes de syzygies. Pour les lacs, on prend comme niveau initial un repère artificiel quelconque. Celui du Léman, par exemple, et même de la Suisse entière, est une marque faite dans un énorme bloc erratique situé dans le port de Genève et appelé Pierre du Niton. D'autres fois, on fait, au point de vue topographique, abstraction de l'eau du lac et on se borne à continuer les courbes d'égal niveau du pays environnant sans se préoccuper si elles sont inondées ou exondées.

Lorsque les isobathes sont indiquées, on en rend l'aspect plus frappant aux yeux et on fait mieux apparaître le relief en passant sur chaque aire isobathe une teinte plate de bleu de Prusse d'autant plus foncée que la profondeur est plus considérable. Une excellente méthode de rendu consiste à marquer d'un point sur la carte chacune des sondes qui ont servi à établir les courbes. A l'aspect plus ou moins chargé du dessin, on se rend compte immédiatement du degré de précision ainsi que du poids, de la confiance, à accorder aux courbes en chacun de leurs points et en même temps, on juge de l'intérêt qu'il y aurait à compléter par

de nouveaux travaux telle ou telle portion de leur tracé.

On divise le lit marin en cinq zones ou régions distinctes :

1. Zone côtière de plus grande activité mécanique due à l'action des vagues sur le fond qui se fait sentir avec son maximum de puissance depuis le zéro des cartes marines jusqu'à 20 m de profondeur.

2. Plateau continental jusqu'à 200 m de profondeur.

3. Zone de transition entre 200 et 500 m.

4. Mer improfonde entre 500 et 1 000 m (1).

5. Mer profonde ou abyssale au-dessous de 1 000 m.

Pour la représentation du modelé du fond, on se servira comme document initial des cartes marines des diverses nations, presque toujours très soigneusement exécutées et dont il sera d'ailleurs facile de mesurer le degré de précision en se livrant soi-même, sur le terrain, à quelques vérifications. Pour les portions profondes de l'Océan, on aura avantage à se reporter au grand atlas bathymétrique en 24 feuilles de la Commission internationale de Wiesbaden, dont la première édition a été exécutée aux frais du prince de Monaco. Cette carte est à l'échelle de 1/10 000 000. Sauf les régions polaires et subpolaires dont on ignore à peu près tout, les portions centrales des océans sont en général suffisamment connues dans leurs traits les plus importants. Aussi serait-il désirable que des cartes plus complètes de régions particulières, portions aliquotes des feuilles du grand atlas, soit dressées à des échelles plus considérables, en particulier au 1/1 000 000. Pour la confection de ces documents, on s'appuiera sur le mémoire de M. Thoulet (2), adopté par la Commission internationale de

(1) La langue française manque malheureusement de terme spécial synonyme des mots anglais *shallow* et allemand *seicht*, d'un usage si pratique et si commode. J'essaie de les remplacer par le mot *improfond*.

(2) J. Thoulet, *Carte bathymétrique générale de l'Océan*, Bulletin du musée

Wiesbaden et dont il est regrettable que la carte du prince se soit, en divers points, écartée sans raisons. Le mémoire qui a reçu l'assentiment international fixe en détail les règles à suivre pour le tracé du canevas, l'établissement et la désignation méthodique des feuilles décimultiples, la terminologie sous-marine, les noms propres à attribuer aux divers accidents du sol sous-marin, le mode de rendu et plusieurs autres données.

b) APPAREILS DE SONDAGE. — Perche. — Le long du bord, jusqu'à 4 ou 5 mètres au plus de profondeur, la manière la plus simple d'étudier le fond consiste à employer une perche en bois de 5 m de longueur divisée en décimètres par des espaces peints alternativement en blanc et en rouge ou en noir. On s'aide souvent d'une lunette d'eau qui permet de distinguer le sol, d'en observer la nature lithologique, de voir s'il est herbeux, vaseux, sableux ou pierreux. Ce procédé de sondage ne sert guère que sur des lacs ou des étangs.

Treuil. — Pour les profondeurs faibles ne dépassant pas une cinquantaine de mètres, l'appareil le plus commode et le plus léger est le treuil à corde de chanvre muni d'un frein à corde pour la descente et d'un encliquetage qui, pendant la remontée, laquelle s'opère à la main avec une manivelle, garantit contre une brusque descente accidentelle de la corde. Avant la descente, on a toujours la précaution de retourner le cliquet afin d'empêcher son fonctionnement qui n'est nécessaire que pendant la remontée.

Le treuil que j'emploie (*fig. 9*) est en bois, long de 40 cm, haut de 35 cm. Il est supporté par une planchette rectan-

gulaire en chêne de 40×20 cm, percée de deux mortaises, où pénètrent les deux montants qui, pour assurer leur complète rigidité, sont traversés de bas en haut par deux vis qu'on peut, si l'on veut, retirer pour transporter l'instrument afin de superposer dans l'emballage la planchette et les deux montants. Le tambour est un cylindre de bois de 86 mm de diamètre, long de 20 cm, supporté par un axe en fer. L'une de ses extrémités, sur une largeur de 25 mm, est la surface sur laquelle frotte la corde du frein dont un bout, terminé par un gros nœud, est arrêté par un anneau

Fig. 9.

porté par la planchette. On enroule sur le tambour la corde dont l'autre extrémité est tenue à la main pendant la descente et ce frein si simple est d'une extrême délicatesse, car avec lui on ralentit à volonté et sans effort le déroulement de la corde ou bien on l'arrête instantanément. La

corde est maintenue entre deux rangées de quatre manettes en bois qui permettent en outre d'aider l'effort exercé sur la manivelle lorsque le plomb de sonde, engagé dans la vase est, au moment de la remontée, un peu plus lourd à mettre en mouvement. Enfin, à l'autre extrémité de l'axe du tambour, se trouve la manivelle avec l'encliquetage. Le treuil est installé sur un banc de l'embarcation au moyen de deux serre-joints et, avant d'entrer dans l'eau, la corde passe sur une poulie folle tenue contre le bordage par un ou deux autres serre-joints, ou attachée un peu au-dessus, entre deux supports inclinés. Cette dernière installation facilite la manœuvre surtout lorsque la ligne de sonde porte des instruments tels que le ramasseur, des thermomètres ou des bouteilles à eau.

Le treuil est garni d'une corde en chanvre graduée ;

celle que j'emploie le plus a 4 mm de diamètre et supporte parfaitement le poids du ramasseur même surchargé. Si l'on éprouvait des craintes, on prendrait une corde de 5 mm et même, si l'on devait y suspendre une bouteille de Mill, une corde de 10 mm de diamètre. Mais dans ce dernier cas, il serait avantageux de faire traverser la bouteille par un bout de corde de 10 mm qui la dépasserait d'une longueur de 3 ou 4 mètres et on continuerait par une corde de 5 mm suffisante tant que la bouteille étant immergée perd une notable portion de son poids, de sorte que la grosse corde n'est saisie qu'au moment de la sortie de l'eau et ne sert qu'à la manœuvre dans l'air lorsque le poids est très augmenté.

Le treuil s'emballé aisément soit tout monté en se bornant à déboulonner la manivelle, soit en détachant le tambour de ses montants et en rabattant ceux-ci sur la planchette. Son poids total est de 5 kilogr. environ.

Sondeur Belloc simplifié. — M. Belloc a imaginé un petit appareil portatif à fil métallique dont il a fait usage dans ses explorations limnologiques. Le prix en est assez élevé et c'est pourquoi je l'ai beaucoup simplifié sans diminuer, je crois, ses qualités, car le docteur Neveu-Lemaire s'en est servi dans son exploration du lac Titicaca et a été très satisfait de son fonctionnement.

Je reprends la description de cet appareil que j'ai déjà donnée ailleurs (1).

« Deux flasques verticales (*fig. 10*) en fonte malléable
« solidement reliées l'une à l'autre et dont les pieds
« sont fixés par des vis à une planchette de chêne, sup-
« portent un treuil métallique sur lequel est enroulé le fil

(1) Thoulet, *Guide d'océanographie pratique*. Encyclopédie scientifique des aide-mémoire, publiée sous la direction de M. Léauté, membre de l'Institut, p. 55. Masson, Gauthier-Villars, Paris.

« métallique. Le treuil actionné par une ou deux manivelles, porte en outre un encliquetage et, de l'autre côté, une sorte de canal entouré d'une corde. Cette corde, plus ou moins serrée à l'aide d'une manette, fait l'office de frein et lorsqu'elle vient à s'user, son remplacement est facile. Le fil en partant du treuil passe sur une

Fig. 10.

« première poulie puis sur une seconde poulie et de là sur la poulie compteuse dont le nombre de tours, chacun d'eux étant exactement de 1 décimètre, est enregistré par un compteur différentiel mû par une vis sans fin. Le fil se rend ensuite sur une poulie coupée folle installée dans une position convenable à une distance quelconque de l'instrument et au-dessus de l'eau. La pièce portant déjà le frein et la seconde poulie de renvoi, est maintenue à son extrémité par un ressort à boudin. On laisse descendre le fil entraîné par le poids du plomb en régularisant la descente avec le frein. Aussitôt que le plomb touche le fond, l'effort exercé sur la poulie et par conséquent sur le ressort à boudin cesse de se faire sentir; le ressort rappelle, le fil se détend de sorte que l'on est immédiatement averti de l'arrivée du plomb sur

« le sol et qu'on n'a plus qu'à lire sur le compteur le
« nombre de tours de la poulie, c'est-à-dire la profon-
« deur. Pour relever le fil, on agit avec les manivelles qui
« font tourner le treuil. Mais quand on exécute une série
« de sondages en ligne, il est inutile de remonter tout le fil
« immergé pour le laisser ensuite redescendre. On se
« borne à le soulever de quelques mètres, le compteur
« décompte et quand on est arrivé au point suivant où l'on
« veut donner un nouveau coup de sonde, on lâche le frein,
« le fil redescend et trouve promptement le fond dont la
« profondeur est lue sur le compteur qui a cessé de
« décompter pour recompter de nouveau lorsque le fil,
« cessant lui-même de remonter pour redescendre, a
« changé le sens du roulement de la poulie. Les coups
« de sonde se succèdent avec rapidité sans qu'il soit néces-
« saire d'arrêter le bâtiment pendant plus de quelques
« instants. La planche supportant l'appareil sert de cou-
« vercle à la caisse qui le contient et dans laquelle on le
« transporte. »

Sonde portable. — J'ai pensé qu'il n'était pas impossible de transformer cette sonde de manière à la rendre encore plus aisément transportable et à abaisser son prix d'achat et j'ai disposé l'appareil de la manière suivante.

Le treuil (*fig. 11 et 12*), d'un diamètre de 190 mm et d'une longueur de 85 mm, est soutenu par deux supports en fer; il est muni d'un côté d'un prolongement large de 25 mm, sur lequel s'enroule la corde du frein arrêtée à son extrémité inférieure par un anneau vissé dans la plaque de tôle servant de support général. De l'autre côté se trouve un encliquetage. Deux manivelles permettent de faire tourner le treuil. Le petit câble métallique sondeur, galvanisé, est enroulé sur le treuil et maintenu de chaque côté par deux disques en tôle de 31 cm de diamètre; en sortant du treuil, il passe sur la poulie de renvoi B, re-

monte, entoure la poulie compteuse C, dont la circonférence est exactement de 1 décimètre et dont chaque tour est enregistré sur le compteur différentiel D, mis en mou-

Fig. 11.

vement par une vis sans fin. Le fil redescend, passe sur la poulie E, est renvoyé sur la poulie folle d'où il descend verticalement dans l'eau.

La poulie E est oblique, maintenue par une tige entourée par un ressort à boudin et sa gorge est embrassée par deux freins en bois dur. Lorsqu'en descente le fil est entraîné

Fig. 12.

par le poids qu'il supporte, il tend le ressort à boudin et éloigne la gorge de la poulie qui est mobile, du frein en bois qui reste fixe. Aussitôt que le plomb touche le fond, il se produit une détente brusque, le ressort à boudin rap-

pelle et la gorge de la poulie vient automatiquement serrer le fil contre le double frein avant et arrière, de sorte que celui-ci reste tendu et que tout danger de coque est évité.

On lit la profondeur sur le compteur dont les aiguilles sont ramenées au zéro, par le fait même qu'on remonte le fil en tournant le tambour du treuil en sens inverse.

Tout l'appareil, susceptible d'être démonté pour être plus facilement transportable, se boulonne pour l'usage sur une plaque de tôle où il demeure parfaitement rigide. La sonde peut fonctionner à la main jusqu'à deux ou trois cents mètres. A la rigueur, si l'on avait à faire de grands sondages abyssaux, rien ne serait plus facile que d'actionner, à la remontée, les deux manivelles par un moteur. Le frein à corde, malgré sa simplicité suffit parfaitement pour régler la descente.

c) FILS ET LIGNES DE SONDE; MÉTRAGE ET PARAFFINAGE. — On ne se servait autrefois dans les sondages, même profonds, que de cordes de chanvre qui, à cause de leur surface rugueuse et du frottement exercé contre l'eau se brisaient sous la traction du plomb ou, ce qui arrivait plus souvent, étaient arrêtées dans leur mouvement de descente et se pelotonnaient sur elles-mêmes à une certaine profondeur, sans jamais pouvoir atteindre le fond. Ainsi s'expliquent les prétendus abîmes sans fond des océans. On employa ensuite des fils métalliques de cuivre, assez peu résistants, de bronze phosphoreux qui possédaient l'inconvénient de s'allonger, d'acier qui, pour éviter l'oxydation, devaient être conservés dans un lait de chaux ou dans un bain d'huile. Aujourd'hui, on prend du câble métallique de 2.5 mm de diamètre, formé de 3 torons de 3 fils d'acier chacun et galvanisé, avec lequel on exécute les sondages quelle que soit la profondeur. Après le travail, on se contente de l'essuyer avec un chiffon.

Les lignes en chanvre ont un diamètre de 4.5 et de

10 mm. Il y a tout avantage, comme elles ne servent que pour de faibles profondeurs, à les graduer directement.

On enroule la ligne sur le treuil, dans une chambre; on en fait passer l'extrémité sur une poulie folle et on y suspend un poids de 7 ou 8 kilogr.; on mesure et, après chaque mètre, on détord légèrement la corde et on introduit entre les brins un bout de lanière en cuir que l'on noue solidement; on retord la corde, on mesure un autre mètre et on continue. Quand la longueur de la chambre est atteinte, on détache le poids tenseur, on enroule la corde métrée, on attache le poids un peu plus loin et l'on continue l'opération. Chaque 5 mètres, on remplace la lanière de cuir par un ruban de couleur blanche, chaque 10 mètres par un ruban rouge et à 50 mètres par un ruban bleu. Si la corde est paraffinée, sa longueur mouillée ne change pas; si elle n'est pas paraffinée, avant de s'en servir, on l'envoie à la mer, on la laisse tremper et en la remontant on la mètre directement en différents endroits. Si chaque intervalle primitivement de 1 mètre mesure maintenant 97 cm, par exemple, toute lecture directe ultérieure devra être multipliée par 0.97 pour fournir la profondeur exacte. Une profondeur lue de 127.3 m, par exemple, sera en réalité $127.3 \times 0.97 = 123.5$ m.

On peut encore indiquer le métrage des cordes, surtout si elles sont fines et doivent être paraffinées, avec de la couleur à l'huile qu'on a soin de bien laisser sécher. Les cordes destinées au disque de Secchi, à la boule blanche et aux bouteilles accouplées de Hauteux pour la mesure des courants sont métrées de cette façon.

Le paraffinage n'offre aucune difficulté. On commence par laisser parfaitement sécher la corde à l'air dans un endroit sec et, avant l'opération, pour achever la dessiccation, on la maintient pendant quelques heures dans une étuve dont la température ne dépasse pas une cinquantaine de degrés.

On place dans une marmite en tôle émaillée à large ouverture, un mélange de paraffine et d'huile de vaseline dont le point de fusion est de 50° environ, à 2 ou 3° près, et on chauffe au bain-marie dans l'eau contenue dans une seconde marmite de même forme que la première. La quantité de paraffine doit être suffisante pour baigner complètement la corde qu'on y introduit chaude et qu'on laisse tremper pendant une dizaine de minutes, l'eau du bain-marie étant presque en ébullition. On sort l'extrémité de cette corde, un aide s'en empare, la tire doucement, un second aide la retient près de la marmite et, pendant qu'elle est ainsi maintenue tendue, une troisième personne la frotte vivement avec un chiffon plié en plusieurs doubles, afin d'enlever l'excès de paraffine. Je me suis bien trouvé après refroidissement complet de la corde, c'est-à-dire plusieurs heures après la première opération, de la faire passer tendue au-dessus d'un fourneau à gaz, juste assez loin pour fondre de nouveau la paraffine et de frotter encore vigoureusement pour essuyer et se bien débarrasser de tout excès de matière grasse.

L'opération n'altère pas les marques de métrage faites sur la corde avec de la couleur à l'huile. Ainsi préparées, les cordes ont l'avantage de ne plus se contracter lorsqu'elles sont mouillées et lorsqu'on les enroule sur le treuil, après un coup de sonde, elles ne ramènent plus à bord une quantité d'eau considérable qui mouille tous les appareils et ne s'évapore plus qu'à grand'peine une fois la corde serrée sur le tambour. La conservation de la ligne est donc assurée sans que sa solidité ait subi aucune atteinte.

d) PLOMBES DE SONDE, SAC, MOULE A POIDS SURCHARGE. — Le plus simple de tous les poids à attacher au fil de sonde pour l'entraîner est un sac de grosse toile à voile (*fig. 13*) de forme cylindrique, c'est-à-dire avec un fond circulaire

renforcé par un double de toile qui s'étend en outre sur le tiers environ de la hauteur du cylindre. On le remplit de sable ou de pierres. Le sable, dont les grains se tassent et laissent entre eux peu de vides, est préférable aux pierres qui risquent de déchirer, ou même aux galets. On se rappellera que le sable ou les pierres, sans interstices, ne possèdent que la densité de 2.6 et perdent encore une unité lorsqu'elles sont dans l'eau, de sorte qu'en comptant les interstices inévitables, même avec du sable aussi tassé que possible, on n'est guère en droit de compter plus de 1 kilogr. de poids effectif par décimètre cube de volume du sac immergé. Cette considération guidera pour les dimensions à adopter.

Lorsqu'on a terminé, on vide le sac qu'on fait sécher et, dans ces conditions, son transport devient facile, car son poids est nul et il sert même à emballer certaines pièces de la sonde. Son remplissage n'est pas plus difficile : quel-

Fig. 13.

que part que l'on se trouve, il est rare qu'au bord de l'eau, sur le rivage de la mer aussi bien que d'un lac, on ne rencontre pas en abondance du sable, des galets ou des pierres.

A bord des bâtiments on emploie des plombs de sonde en plomb ayant la forme de pyramides très allongées (*fig. 13*), percées à leur sommet d'un trou dans lequel passe la ligne de sonde et creusées à leur base d'une cavité qu'on remplit de suif où se collent les débris du fond, sable, vase ou coquilles dont on peut reconnaître ainsi grossièrement la nature. Ces poids sont plus coûteux et moins commodes à transporter que les sacs mais, en service, ils ont l'avantage d'être beaucoup plus pesants à égalité de volume. Le petit poids avec lequel on leste le disque de Secchi est toujours en plomb.

Quand on devait adapter au tube sondeur Buchanan ou même au ramasseur des poids en surcharge, on prenait d'habitude des séries de cylindres surbaissés en fonte, percés d'un trou suivant leur axe qu'on enfilait sur le tube sondeur ou sur la tige du ramasseur. Sur un grand bâtiment, rien n'empêche d'avoir et de conserver une collection de ces poids dont le prix est moindre que s'ils étaient en plomb et qu'on hésite moins à abandonner sur le fond, mais pour l'océanographe, obligé de faire voyager souvent ses instruments, leur poids considérable rend leur transport coûteux. La disposition suivante m'a paru avantageuse.

J'emploie des poids surcharge en plomb. Arrivé dans l'endroit où doit se faire le travail, on se procure du plomb chez un quincaillier et, en l'achetant, on convient de le revendre à son vendeur à la fin de la campagne. Puis on donne le métal à fondre et à couler dans un moule en fer (*fig. 13*) que l'on apporte avec soi et on le rend après l'opération ; on n'a donc plus de transport à payer.

Ce moule est un cylindre creux de 30 mm de haut, d'un diamètre de 85 mm, muni, suivant son axe, d'une tige pleine cylindrique de 32 mm de haut sur 26 mm de diamètre ; la base inférieure est un peu plus petite que la base supérieure, de sorte qu'en réalité le moule est légèrement conique, ce qui facilite le démoulage du plomb. Mon

moule pèse 1 kilogr. et fournit des plombs pesant environ 1700 g.

e) **POULIES FOLLES ET SUPPORTS DE POULIES FOLLES.** — Le fil de sonde, quel qu'il soit, en chanvre ou métallique, en sortant du treuil ou de la poulie compteuse et de la dernière poulie de renvoi de la sonde, se rend sur une poulie folle placée directement au-dessus de l'eau, de sorte que lui-même y descend verticalement. Ces poulies folles sont de deux genres.

A bord d'un bâtiment, on peut toujours accrocher la poulie folle et coupée (*fig. 14*) à une hauteur suffisante et en dehors, à l'extrémité d'une vergue, d'un portemanteau d'embarcation, à un espars quelconque installé passagèrement de manière à jouer cet office.

Fig. 14.

Sur une embarcation, cette même poulie en bronze et à large gorge est montée sur un support en fer garni à sa partie inférieure d'une pièce plate horizontale (*fig. 14*) qu'on serre contre le bordage avec un ou deux serre-joints et, comme elle est inclinée, elle conduit le fil verticalement dans l'eau.

Cependant, dans certains cas, le système présente le désavantage d'être un peu bas, et avec lui il n'est pas toujours commode de détacher les bouteilles suspendues pour les vider ou de faire la lecture des thermomètres. On remédie à cet inconvénient avec un support de poulie folle qui se compose (*fig. 15*) de deux forts serre-joints portant latéralement une portion cylindrique creuse inclinée dans laquelle on insère un bâton de bois solide long de 60 ou 80 cm. A l'autre extrémité on adapte un bout en fer ter-

miné transversalement par un tube horizontal de même diamètre. Deux de ces serre-joints étant fixés au bordage de l'embarcation l'un à côté de l'autre et à une distance convenable variable à volonté selon les circonstances, puisqu'ils sont indépendants l'un de l'autre, on enfle horizontalement dans les deux cylindres supérieurs un troi-

Fig. 15.

sième bâton de même diamètre mais plus court que les autres. On l'attache solidement à chaque montant et, en son milieu, on fixe par son crochet passé dans un bout de corde, la poulie folle qui, ainsi disposée, surplombe l'eau et est plus élevée, ce qui facilite grandement les opérations. On soutient le tout par deux haubans.

f) PRÉCISION D'UNE MESURE DE PROFONDEUR. — On est tenté de s'exagérer la précision d'une mesure de profondeur et de prétendre à des évaluations au centimètre ou au décimètre. Plusieurs causes empêchent de croire plus au centimètre ou au décimètre pour les petits fonds qu'au mètre ou au décimètre pour les grands fonds. Quelques précautions que l'on prenne à la mer pour maintenir le bâtiment de

manière à ce que le fil s'enfonce bien verticalement dans l'eau — et cette verticalité est absolument indispensable (1) — on n'y parvient jamais complètement et la moindre courbure se continuant pendant plusieurs centaines de mètres modifie singulièrement la longueur totale, c'est-à-dire la profondeur. En outre, le fil fût-il vertical le long des quelques mètres qu'on en aperçoit à travers l'eau, rien n'assure qu'il en est de même plus bas alors que suivant la verticale, les courants marins superposés présentent des différences considérables en direction et en intensité. Le fond lui-même aussi bien dans la mer que dans les lacs, est couvert d'une vase molle dans laquelle, si elle était subitement exondée, un promeneur enfoncerait plus ou moins, selon le poids du corps. Il en est de même sous l'eau, et un plomb lourd, à la même place, pénétrera plus qu'un plomb léger. Il faut se garder des illusions, et l'on aurait tort de rêver d'une précision qu'on sait devoir varier selon des circonstances dont les conditions elles-mêmes sont impossibles à apprécier. A même profondeur, un sondage dans un lac tranquille est évidemment plus près de la vérité qu'un sondage dans la mer, et dans celle-ci, au même endroit, le même opérateur travaillant par beau temps ou par mauvais temps, trouvera sans aucun doute des profondeurs quelque peu différentes. Ces prétentions exagérées à une haute rigueur font sourire ceux qui ont la pratique du terrain et songer à des géographes qui prétendraient mesurer au centimètre la distance de Paris à Lyon. Où commence une ville au centimètre près? L'abus des décimales n'est qu'un trompe-l'œil.

(1) Le soin de la maintenir pendant toute la durée du sondage incombe à l'officier chargé de la manœuvre; il y procède en donnant simultanément les ordres convenables à l'homme de barre et à la machine.

g) FLOTTEUR-JALON. — Il arrive fréquemment qu'à la mer on ait à exécuter à la même place un certain nombre d'opérations dont il n'est pas possible d'achever la série en une seule journée. Il devient donc nécessaire de marquer la station par une sorte de jalon qui en fixe la position et auquel on reviendra le lendemain pour y continuer les expériences ou mesures de la veille. J'ai combiné dans ce but le dispositif suivant.

Un sac d'assez grandes dimensions, en forte toile à voile et dont le fond est renforcé par un double de toile, est percé en son fond par un trou à travers lequel passe un bout de corde solide long de 3 ou 4 m et retenu à l'intérieur du sac par un nœud. Le sac est rempli de sable fin. Son ouverture est alors fermée par une sorte d'ajutage en zinc ayant la forme d'un entonnoir évasé et terminé par une portion cylindrique de 3 cm environ de diamètre sur 6 ou 7 cm de longueur, dans laquelle on introduit une cartouche soluble (1). On donne ce nom à un mélange de sable très fin aggloméré par un ciment de gomme arabique et de sucre pulvérisé bien trituré avec un peu d'eau et moulé en cylindre de 2 cm environ de diamètre sur 4 ou 5 cm de longueur qu'on a laissé ensuite se dessécher très lentement afin qu'il ne se fendille pas. L'ajutage étant muni de sa cartouche, on l'enveloppe avec les bords de l'ouverture du sac convenablement repliés et serrés avec une forte ficelle. On met à la mer, l'ouverture portant la cartouche étant tournée vers le bas; à l'extrémité de la grosse corde on attache une corde plus fine ou un bout de câble métallique à sonder et on termine par un flotteur aussi léger que possible, quatre planchettes clouées ensemble et portant un pavillon. La grosse corde permet

(1) J. Thoulet, *Sur l'emploi de cartouches solubles dans les mesures et expériences océanographiques*. C. R. A. S., t. CXVI, p. 539, 6 mars 1893.

Table de réduction de brasses anglaises (fathoms) en mètres (1).

CENTAINES.											
FATHOMS.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	mètres
mille	0.00	182.88	365.75	548.63	731.51	914.38	1 097.26	1 280.14	1 463.01	1 645.89	mètres
0	0.00	182.88	365.75	548.63	731.51	914.38	1 097.26	1 280.14	1 463.01	1 645.89	mètres
1000	1 828.77	2 011.65	2 194.52	2 377.40	2 560.28	2 743.15	2 926.03	3 108.91	3 291.78	3 474.66	mètres
2000	3 657.53	3 840.41	4 023.28	4 206.16	4 389.04	4 571.91	4 754.79	4 937.67	5 120.54	5 303.42	mètres
3000	5 186.30	5 369.18	5 552.05	5 734.93	5 917.81	6 100.68	6 283.56	6 466.44	6 649.31	6 832.19	mètres
4000	7 315.07	7 497.95	7 680.82	7 863.70	8 046.58	8 229.45	8 412.33	8 595.21	8 778.08	8 960.96	mètres
5000	9 443.83	9 626.71	9 809.58	9 992.46	10 175.34	10 358.21	10 541.09	10 723.97	10 906.84	11 089.72	mètres
6000	10 972.60	11 155.48	11 338.35	11 521.23	11 704.11	11 886.98	12 069.86	12 252.73	12 435.61	12 618.49	mètres
7000	12 801.37	12 984.25	13 167.12	13 350.00	13 532.88	13 715.75	13 898.63	14 081.51	14 264.38	14 447.26	mètres
8000	14 630.14	14 813.02	14 995.89	15 178.77	15 361.65	15 544.52	15 727.40	15 910.27	16 093.15	16 276.03	mètres
9000	16 458.90	16 641.78	16 824.65	17 007.53	17 190.41	17 373.28	17 556.16	17 739.04	17 921.92	18 104.80	mètres

UNITÉS.											
FATHOMS.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	mètres
dizaines	0.00	4.83	9.66	14.49	19.32	24.15	28.98	33.81	38.64	43.47	mètres
0	0.00	4.83	9.66	14.49	19.32	24.15	28.98	33.81	38.64	43.47	mètres
10	48.29	53.12	57.95	62.78	67.61	72.44	77.27	82.10	86.93	91.76	mètres
20	96.58	101.41	106.24	111.07	115.90	120.73	125.56	130.39	135.22	140.05	mètres
30	144.87	149.70	154.53	159.36	164.19	169.02	173.85	178.68	183.51	188.34	mètres
40	193.16	197.99	202.82	207.65	212.48	217.31	222.14	226.97	231.80	236.63	mètres
50	241.45	246.28	251.11	255.94	260.77	265.60	270.43	275.26	280.09	284.92	mètres
60	289.74	294.57	299.40	304.23	309.06	313.89	318.72	323.55	328.38	333.21	mètres
70	338.03	342.86	347.69	352.52	357.35	362.18	367.01	371.84	376.67	381.50	mètres
80	386.32	391.15	395.98	400.81	405.64	410.47	415.30	420.13	424.96	429.79	mètres
90	434.61	439.44	444.27	449.10	453.93	458.76	463.59	468.42	473.25	478.08	mètres

(1) *Geographisches Jahrbuch*, VII, 1878 : art. Tiefseeforschungen.

Table de réduction des mètres en brasses anglaises (fathoms) (1).

CENTAINES.										
MÈTRES.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
mille	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms
0	0.00	54.68	109.36	164.04	218.73	273.41	328.09	382.77	437.45	492.13
1000	546.82	601.50	656.18	710.86	765.54	820.22	874.91	929.59	984.27	1038.95
2000	1093.63	1445.32	1203.00	1257.68	1312.36	1367.04	1421.72	1476.41	1531.09	1585.77
3000	1640.45	1695.13	1749.81	1804.50	1859.18	1913.85	1968.54	2023.22	2077.90	2132.59
4000	2487.27	2441.95	2296.63	2351.35	2405.99	2460.68	2515.36	2570.04	2624.72	2679.40
5000	2734.08	2788.77	2843.45	2898.13	2952.81	3007.49	3062.17	3116.86	3171.54	3226.22
6000	3280.90	3335.58	3390.26	3444.93	3499.63	3554.31	3608.99	3663.67	3718.35	3773.04
7000	3827.72	3882.40	3937.08	3991.76	4046.44	4101.13	4155.81	4210.49	4265.17	4319.85
8000	4374.53	4429.22	4483.90	4538.58	4593.26	4647.94	4702.62	4757.31	4811.99	4866.67
9000	4921.35	4976.03	5030.71	5085.40	5140.08	5194.76	5249.44	5304.12	5358.80	5413.49

UNITÉS.										
MÈTRES.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
claires	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms	fathoms
0	0.00	0.55	1.09	1.64	2.19	2.73	3.28	3.83	4.37	4.92
10	5.47	6.02	6.56	7.11	7.66	8.20	8.75	9.30	9.84	10.39
20	10.94	11.48	12.03	12.58	13.12	13.67	14.22	14.76	15.31	15.86
30	16.40	16.95	17.50	18.04	18.59	19.14	19.69	20.23	20.78	21.33
40	21.87	22.42	22.97	23.51	24.06	24.61	25.15	25.70	26.25	26.79
50	27.34	27.89	28.43	28.98	29.53	30.07	30.62	31.17	31.72	32.26
60	32.81	33.36	33.90	34.45	35.00	35.54	36.09	36.64	37.18	37.73
70	38.28	38.82	39.37	39.92	40.46	41.01	41.56	42.10	42.65	43.20
80	43.75	44.29	44.84	45.39	45.93	46.48	47.03	47.57	48.12	48.67
90	49.21	49.76	50.31	50.85	51.40	51.95	52.49	53.04	53.59	54.13

(1) *Geographisches Jahrbuch*, VII, 1878 : art. Tiefseeforschungen.

de soulever le sac plein avant son immersion et, quand il est dans l'eau, comme il perd alors une notable portion de son poids, il suffit, pour le soutenir, du fil de chanvre fin ou du fil métallique. Le sac arrive ainsi au fond et on règle la longueur du fil qui le supporte de façon à ce que, selon la profondeur de l'eau, le flotteur flotte librement à la surface. Après quelques heures d'immersion, la cartouche soluble est dissoute et l'intérieur du sac est en libre communication avec l'extérieur, mais le sac reposant au fond sur son ouverture, le sable ne s'en écoule pas. Il n'en est plus de même lorsque, les opérations terminées, on le redresse en exerçant un effort sur la corde. L'ouverture se découvre, le sable sort, le sac se vide et rien n'est alors plus facile que de le ramener à bord. Il suffira de le remplir de nouveau et de remettre une nouvelle cartouche dans l'ajutage pour être en état de recommencer l'opération et de fixer une nouvelle station temporaire.

B. — Lithologie.

a) CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — La lithologie océanique a pour objet principal d'où découle tout le reste, la confection de la carte lithologique du lit de l'Océan. Ces documents sont, pour la mer, l'équivalent des cartes géologiques continentales : en outre de l'intérêt qu'ils présentent au point de vue actuel, ils offrent l'explication la plus claire de la genèse des anciennes couches marines aujourd'hui exondées et qui furent, il y a des milliers de siècles, les lits d'océans disparus. Ils ne sont pas moins utiles aux sciences appliquées. Le commandant de Roujoux a montré les services qu'ils pouvaient rendre à la navigation à la surface ; la navigation sous-marine en a encore plus besoin et, quant aux pêches, une des causes les plus évidentes de leur état de malaise est certainement l'ignorance regrettable dans laquelle se trouvent les pêcheurs français de la

constitution lithologique des terrains où s'exerce leur industrie.

La lithologie sous-marine s'appuie sur l'analyse de fonds dont il faut d'abord recueillir des échantillons, et comme les instruments servant à ces investigations ne pénètrent que de quelques décimètres dans le sol immergé, on est forcé de se borner à étudier des dépôts tout à fait superficiels et, par conséquent, de formation actuelle dans le sens géologique du mot. L'échantillon est classé d'après son analyse, de sorte que le nom qu'il porte en établit à lui seul la nature.

On trouvera énoncés ailleurs (1) les principes et les détails des procédés de l'analyse des fonds. Il suffira de mentionner ici qu'une classification lithologique, devant être générale et s'appliquer aux fonds de l'Océan tout entier quelle que soit leur situation géographique, est forcée d'être indépendante de toute considération locale, de rejeter tout caractère provenant de la présence ou de l'absence d'êtres vivants et, par conséquent, de rester purement lithologique et telle que tous les caractères distinctifs soient trouvés dans l'échantillon lui-même.

Le nom d'un fond est la conséquence de son analyse mécanique consistant en une suite de tamisages à travers des tamis à mailles de plus en plus fines et qu'on désigne par leur numéro qui est le nombre de mailles de leur tissu par pouce (27 mm) de longueur à sec. Ces opérations sont d'abord effectuées dans l'eau et recommencées à sec afin de donner des indications définitives. On isole les diverses grosseurs de grains dans des capsules de porcelaine, on les sèche et on les pèse chacune séparément. On les observe à la loupe et au microscope et même, bien qu'elles ne soient

(1) J. Thoulet, *Précis d'analyse des fonds sous-marins*. Chapelot, éditeur, Paris, 1908.

pour l'océanographe que du carbonate de chaux, on recueille les petites coquilles contenues et qui sont susceptibles de rendre service aux naturalistes et de les aider dans leurs travaux.

Les sédiments marins sont classés de la façon suivante :

Roches.

Pierres — fragments anguleux pesant plus de 5 g.

Galets — fragments arrondis pesant plus de 5 g.

Gravier..	{ gros, arrêté par tamis n° 3, diam. moyen des grains. 14.16 mm	
	{ moyen..... 6.....	6.55
	{ fin..... 10.....	3.85
Sable...	{ gros..... 30.....	1.50
	{ moyen..... 60.....	0.61
	{ fin..... 100.....	0.34
	{ très-fin..... 200.....	0.13
Vase....	{ fins-fins ayant franchi 200	inférieur à 0.04
	{ argile { calcaire.	
	{ pure.	

Un échantillon est dénommé d'après la proportion relative de sable et de vase qu'il contient.

Sable.....	Vase : moins de 5 %	Sable : plus de 95 %
Sable vaseux.....	5 à 25	95 à 75
Vase très sableuse..	25 à 50	75 à 50
Vase sableuse.....	50 à 90	50 à 10
Vase proprement dite	plus de 90	moins de 10

Ces diverses natures de sédiments sont indiquées sur les cartes par les couleurs et signes conventionnels suivants (1) :

Roche.....	Teinte plate bleu de Prusse.
Pierres.....	Triangles pleins rouge carmin.
Galets.....	Cercles rouge carmin.
Gravier.....	Gros ou petits points rouge carmin.
Sable.....	Teinte plate rouge carmin.
Sable vaseux.....	Rouge un peu jaune : teinte de terre de Sienne brûlée.

(1) J. Thoulet, *Atlas lithologique des côtes de France*, 22 feuilles grand-aigle. A. Challamel, Paris.

Vase très sableuse...	Jaune rouge : teinte de terre de Sienne naturelle.
Vase sableuse.....	Jaune un peu rouge : teinte d'ocre jaune.
Vase proprement dite.	Jaune gomme gutte.
Coquilles entières...	Croix bleu clair (cendre bleue).
— brisées....	Bâtonnets irréguliers (cendre bleue).
— moulues ..	Points fins (cendre bleue).
Madrépores, maërl...	Points verts.
Herbiers.....	Traits courts horizontaux verts.

Les vases étant de beaucoup les sédiments les plus communs du lit océanique dont elles occupent plus de 9/10 de la superficie, on a établi entre elles une classification secondaire portant sur un caractère spécial, la proportion de calcaire, d'où résulte une foule de conséquences et de considérations d'ordre à la fois théorique et pratique. Le dosage du carbonate de chaux s'effectue avec beaucoup de rapidité et de précision.

Au point de vue de la teneur en calcaire, un fond est dit :

I. Faiblement calcaire quand il renferme au plus 5 % de calcaire.	
II. Médiocrement calcaire.....	de 5 à 25 % —
III. Calcaire.....	de 25 à 50 % —
IV. Très calcaire	de 50 à 75 % —
V. Extrêmement calcaire.....	plus de 75 % —

Les cartes par aires isocalcaires se teintent en couleur sépia d'autant plus foncée que la teneur en carbonate de chaux est plus considérable.

6) INSTRUMENTS COLLECTEURS DE FONDS. — Un échantillon destiné à l'analyse, afin de permettre de garantir les conclusions si importantes, tant pour l'océanographie actuelle que pour l'océanographie du passé qui est la géologie, auxquelles on est amené par les détails souvent en apparence les moins frappants de sa constitution, doit être absolument complet, tel que s'il avait été ramassé avec la main, en une seule poignée, sur le sol. C'est pourquoi tout échantillon récolté au suif, souillé, délavé, incomplet, doit être impitoyablement rejeté. A peine conviendrait-il dans

un examen préparatoire rapide du terrain pour fournir une notion vague de la nature du sol et jamais il ne méritera le temps et la peine d'une analyse, même la plus sommaire.

Ramasseur. — L'instrument (*fig. 16*), excellent pour recueillir aussi bien la vase que le sable, a été imaginé par l'ingénieur Léger, de Monaco. Il se compose de deux lourdes écopés en bronze, placées à l'extrémité d'une tige de 45 cm et qui sont maintenues écartées au moyen d'un

Fig. 16.

loquet. En touchant le fond, le loquet est soulevé, retombe en laissant libres les deux écopés qui se referment brusquement à cause de leur poids et emprisonnent ainsi une certaine quantité de matière. Même dans le cas le plus défavorable, si on suppose que l'interposition d'un caillou entre les deux mâchoires les empêche de se refermer complètement, la concavité de chaque écope retient encore, malgré le délavage pendant la montée, une quantité de sédiment assez considérable

pour être recueillie et analysée. L'instrument est assez pesant (7.5 kg); si néanmoins on le juge insuffisamment lourd pour entraîner la ligne de sonde, on enfile sur sa tige un, deux ou trois poids en fonte ou en plomb cylindriques, supportés en équilibre par la petite rondelle placée à la base de la tige.

Tube Buchanan. — Le tube Buchanan (*fig. 17*), sert pour

la vase dans laquelle il découpe comme à l'emporte-pièce un cylindre ou boudin qui offre l'avantage de présenter, sur une épaisseur qui peut atteindre avec certains instruments spécialement confectionnés dans ce but et très lourdement chargés, jusqu'à 60 ou 75 cm, une coupe verticale du sol sous-marin. C'est ainsi, par exemple, que l'on reconnaît la présence dans les vases profondes de ces couches plus ou moins épaisses de sable fin qui démontrent l'existence de vagues sous-marines, de tremblements de mer, et permettent même, par la dimension et la nature des grains d'en évaluer la vitesse et la direction. Le ramasseur ne rapporte que des échantillons brouillés. En revanche, le tube Buchanan tombant sur des fonds purement sableux, c'est-à-dire incapables de résister par leur agglutination au délavage de la montée, revient toujours vide. L'opérateur aura donc à choisir, selon la nature du sol, l'instrument le plus convenable à la récolte.

Le tube Buchanan qui pèse 6 kg se compose d'abord d'une bouteille à recueillir l'eau, cylindre en bronze de 55 mm de diamètre intérieur et long de 50 cm fermé en haut et en bas par une soupape qui, à la descente, laisse passer d'une façon continue l'eau de bout en bout, mais qui, l'appareil étant immobilisé par le contact avec le fond ou simplement par arrêt de descente, retombe sur son siège et emprisonne ainsi environ 1 litre d'eau provenant exactement de la couche au sein de laquelle a eu lieu l'immobilisation.

A la partie inférieure de la bouteille est vissé un tube de laiton de 25 mm de diamètre sur une longueur de 50 cm.

Fig. 17.

L'instrument d'une longueur totale de 135 cm, muni d'un déclancheur Brooke, supportant une série de poids cylindriques en fonte destinés à être perdus sur le fond ou à être à volonté conservés — et dans ce cas il suffit de condamner le déclic en passant une cordelette de retenue dans un trou pratiqué dans le crochet supérieur — tombe sur le sol avec une grande vitesse; le tube s'y enfonce, découpe un boudin de vase de sorte qu'après l'avoir remonté on possède à la fois un échantillon d'eau et un échantillon de sol. On dévisse le tube, on recueille l'eau de la bouteille en soulevant la soupape inférieure avec le

Fig. 18.

doigt, on chasse avec un mandrin en bois le boudin hors du tube sur une feuille de papier buvard étendue sur un morceau de calicot. On marque immé-

diatement d'une manière indélébile en les gravant dans la matière molle, avec la pointe d'un crayon, les lettres H et B indiquant le haut et le bas du boudin; on laisse celui-ci se sécher pendant un certain temps, on inscrit sur l'enveloppe de papier à filtre le numéro de la station et la profondeur, on l'enroule autour du boudin ainsi que le calicot et on dépose dans une boîte en zinc (*fig. 18*) qui permet de le conserver sans risquer qu'il se brise.

Tube Buchanan simplifié. — Il m'a semblé que l'on n'avait pas toujours besoin d'un échantillon d'eau en même temps que d'un échantillon de fond; que d'ailleurs si l'on désirait un échantillon d'eau, rien n'empêchait, en donnant le coup de sonde, d'envoyer une bouteille et qu'il était par conséquent possible de simplifier et de diminuer sensiblement le prix de revient assez élevé de l'appareil Buchanan.

Un tube de même diamètre que celui de Buchanan

(fig. 19) et long de 35 cm est simplement vissé sur un déclancheur Brooke réduit à sa plus simple expression, c'est-à-dire à un crochet trébuchant auquel est accroché le fil métallique soutenant les poids surcharge qui sont destinés à être abandonnés sur le fond. Si on veut les conserver, ce qui a lieu le plus souvent, on se borne à les retenir par une forte ficelle passée et arrêtée dans le trou percé dans le déclancheur. L'instrument qui ne pèse que 700 g fonctionne absolument comme celui de Buchanan.

Travaillant avec ce tube dans le lac de Gérardmer dont le fond est formé par une vase uniquement composée de diatomées et sans la moindre consistance, l'instrument est revenu vide, son contenu ayant été délavé pendant la remontée. Il est facile de remédier à cet inconvénient en introduisant dans l'intérieur de la tête à déclanchement soutenant le tube et au sommet même de celui-ci un obturateur en bois légèrement tronconique lesté d'une lame de plomb à sa partie inférieure plus étroite. A la descente et au moment du choc, elle est soulevée et n'oppose aucun obstacle à l'entrée du sédiment, mais aussitôt après elle retombe et empêche l'entrée par le haut du tube pendant la remontée, de l'eau qui ne manquerait pas de désagréger et d'entraîner une vase très peu cohérente.

Fig. 19.

Drague. — La drague la plus simple et la moins coûteuse est celle qui sert aux ramasseurs de goémon aux environs de Brest (fig. 20) et que n'importe quel forgeron de village est capable de construire. On l'emploie toutes les fois qu'on veut récolter une grande quantité de fond où bien que le fond est semé de pierres et de galets trop volumineux pour être ramassés par le ramasseur, ou enfin

lorsqu'un naturaliste profite du travail de l'océanographe pour se procurer des animaux vivant sur le fond.

Fig. 20.

La drague a une ouverture de 30×10 cm et pèse 8 kg ; elle sert d'entrée à un sac en forte toile à voile dont l'orifice est solidement ficelé sur l'armature en fer forgé dans des trous pratiqués à cet effet ; son fond ouvert est fermé par une corde pendant le traînage. On amarre à la suite du sac avec une courte corde une petite gueuse de fonte et on en attache une autre à une distance de 5 ou 6 m en avant de la drague sur le câble de traînage. On descend sur le sol, on traîne lentement sur le moindre espace possible afin de ne pas trop mêler les fonds qui pourraient avoir varié de nature si l'on avait effectué un long parcours. On relève ; quand la drague est sortie de l'eau, on la maintient suspendue, on détache les gueuses, on amène le sac au-dessus d'un récipient quelconque, on détache la corde qui ferme le fond, celui-ci s'ouvre et laisse le chargement se déverser. On recueille l'échantillon destiné à l'analyse dans le centre de la masse afin qu'il soit aussi peu remanié que possible. Les animaux sont ramassés à la main avec ou sans tamisage.

c) CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS. — Les échantillons en boudins, enveloppés dans leur feuille de papier à filtre puis dans leur morceau de calicot lavé, sont déposés,

entourés d'étoupe où ils achèvent de se dessécher, dans une boîte parallélipipédique en zinc (*fig. 18*) fabriquée de la manière la plus simple et dont le couvercle est maintenu avec une ficelle. On a enfermé avec l'échantillon une fiche en papier renseignant sur sa provenance et portant les observations auxquelles il aura pu donner lieu au moment de sa récolte. La boîte est en outre munie d'une étiquette en papier collée où est répété le numéro de la station. On ne saurait trop multiplier les précautions pour être certain de l'identification de documents aussi précieux car ils ont été fort pénibles à récolter et le moindre doute à leur égard leur enlève toute valeur et fait qu'ils ne sont plus bons qu'à jeter.

Le mode de conservation dans des boîtes est bien préférable à celui dans des tubes de verre où on les gardait autrefois. Elles sont d'abord un peu moins coûteuses et beaucoup moins fragiles et elles offrent ce précieux avantage que le boudin devenu très fragile quand il est complètement sec peut, avec de simples précautions, être sorti de son étui et de ses enveloppes, examiné à loisir; on en détache des échantillons pour l'analyse et on le replace ensuite sans qu'il courre aucun risque de se briser. Le fait a beaucoup d'importance surtout lorsque le boudin est hétérogène et quand il contient des bandes sableuses.

Lorsque l'échantillon est brouillé, ce qui est le cas s'il a été récolté avec le ramasseur ou avec la drague, on le sèche le plus possible en l'étalant à l'air dans des assiettes qu'on a avantage, si l'on est à bord d'un grand bâtiment, à passer à l'étuve ou à déposer au chaud dans la machine, puis on les conserve dans des sacs en calicot accompagnés d'une étiquette volante sur papier, le sac lui-même portant une étiquette en parchemin enfilée dans la ficelle qui sert à le fermer.

Une fois dans le laboratoire, les échantillons sont versés dans des flacons en verre à large ouverture, ce qui permet

de les voir, condition indispensable au moment de la confection de la carte lithologique.

Il peut être nécessaire de conserver des échantillons mouillés afin de servir de types faciles à comparer à des échantillons qu'on vient de retirer de l'eau. Tel sera le cas, par exemple, pour indiquer les natures de fonds d'un atterrage dans une rade ou un port dont on veut faciliter la

Fig. 21.

sortie ou l'entrée par l'emploi de la méthode par sondes et natures de fonds du commandant Trudelle ou du commandant de Roujoux (1). J'enferme alors les échantillons dans des tubes (fig. 21) en verre blanc, plats, afin d'économiser

(1) H. de Roujoux, *Essai sur l'atterrage et l'entrée de la rade de Brest par temps brumeux*, etc. Dépôt des cartes et plans de la marine, n° 448, 1868. Trudelle, *Atterrissage à la sonde pour les bâtiments à vapeur*, 1882, et *Navigation des bâtiments à vapeur entre la Manche et les États-Unis*, 1882.

la matière et de l'étaler sur la plus grande surface possible. Ces tubes forment un rectangle de 2×8 cm ; ils sont terminés par une boule creuse qui donne à sa réunion avec le tube un étranglement qu'on entoure d'un fil métallique servant à fixer les tubes sur une tablette en bois afin de les apercevoir tous d'un seul coup d'œil. On introduit l'échantillon dans le tube mélangé à quelques fragments de sublimé destiné à empêcher les végétations microscopiques de s'y développer, on y verse de l'eau récemment bouillie, on fait le vide afin d'enlever le plus d'air possible, on ferme avec un bouchon recouvert de cire et on colle l'étiquette. Dans ces conditions, les échantillons se conservent indéfiniment soit fixés sur une tablette, soit dans une boîte à compartiments.

Analyse des fonds. — L'exposé des méthodes d'analyse des fonds marins a fait l'objet d'une étude spéciale (1). Il ne sera donné ici que les informations strictement indispensables pour permettre de nommer le fond d'une manière précise.

On prend environ 50 g de fond sec, on le dépose dans une capsule de porcelaine, on recouvre d'eau, on agite, on verse le dessus de la liqueur trouble sur un tamis 200, on agite avec un agitateur mou et on renouvelle l'opération, en employant le moins d'eau possible jusqu'à ce qu'il ne reste plus dans la capsule que du sable, dans le tamis que du sable très fin qu'on met d'ailleurs à part à chaque opération et un liquide boueux qu'on laisse se déposer, qu'on décante et qu'on sèche ainsi que le sable. La portion restée sur le tamis est tamisée au tamis 200 sec, ce qui traverse est réuni à la vase, ce qui est arrêté ainsi que

(1) J. Thoulet, *Précis d'analyse des fonds sous-marins*. Chapelot, éditeur, Paris, 1908.

le reste du sable est tamisé à travers les autres tamis et chaque portion isolée est pesée séparément et ramenée par le calcul à 100 de matière totale. En se reportant aux tableaux donnés précédemment, on possède tous les éléments nécessaires pour nommer le fond et le représenter

Fig. 22.

avec sa couleur ou son signe caractéristique sur la carte lithologique. On se rappellera que le gravier est évalué à part et que le chiffre qui le représente et ne peut être, on le comprend, que très approximatif, est le poids qu'il faut mettre de côté dans l'échantillon brut pour recueillir 100 de sable plus ou moins vaseux.

L'opération ainsi réduite s'exécute rapidement sans qu'il soit besoin d'un laboratoire et avec un très petit nombre d'instruments : un jeu de tamis, une balance trébuchet pesant 100 g, un agitateur mou que l'on fabrique soi-même et quelques capsules en porcelaine susceptibles d'être, à la rigueur, remplacées par des assiettes creuses, des bols ou de grands verres.

La proportion de calcaire est très importante à connaître. On y parvient d'une manière approximative suffisante dans bien des cas en pesant la matière sèche, en la traitant par de l'acide chlorhydrique étendu de moitié

d'eau, jusqu'à ce que toute effervescence ait cessé. On lave à plusieurs reprises en faisant passer comme précédemment au tamis 200; on sépare et on recueille à part la vase et le sable, on sèche, on pèse et on retranche la somme des deux poids trouvés du poids initial de la matière. On a ainsi le poids et, par conséquent, le pourcentage du calcaire. Le sable, débarrassé du calcaire, est dans d'excellentes conditions pour être examiné à la loupe ou au microscope.

On obtient un résultat encore plus rapide en plaçant dans un verre un mélange par moitié d'eau et d'acide chlorhydrique. On pèse, on ajoute un poids connu de matière sèche qu'on juge, à l'estime, contenir une quantité de calcaire inférieure à celle que peut décomposer l'acide. On garde un petit fragment de coquille; on verse par petites portions dans l'acide et, chaque fois, après que toute effervescence a cessé, pour bien s'assurer que tout le calcaire a disparu, on ajoute en dernier le petit fragment conservé qui, lui aussi, doit se dissoudre entièrement avec effervescence, prouvant ainsi qu'il reste encore de l'acide chlorhydrique libre. On pèse; la perte de poids multipliée par le nombre constant 2.21 représente le poids du carbonate de chaux; on ramène par le calcul à 100 de matière d'essai.

Quand on trouve des coquilles entières dans un fond recueilli, il est bon de les conserver et de les déterminer ou de les faire déterminer par un spécialiste.

Confection d'une carte lithologique. — On a pointé sur la carte bathymétrique les différents sondages. A partir de l'un d'eux dont on a sous les yeux l'échantillon dans son bocal en verre, on dispose sur une table ou sur le plancher les bocaux contenant les échantillons voisins dans une relation de position avec le premier sensiblement semblable à celles qu'ils occupaient sur le terrain. On note ainsi

aisément, à l'échelle, les points intermédiaires où le sol change de nature et on les indique sur la carte. S'il y avait de l'incertitude, il deviendrait nécessaire de retourner sur le terrain et d'exécuter un nouveau sondage intermédiaire. Les aires d'égale nature de sol étant établies, il ne reste plus qu'à passer les teintes et marquer par les signes caractéristiques les zones de pierres, galets, gravier, coquilles et autres détails du sol.

Parmi les diverses cartes relatives à la lithologie sous-marine, on citerait celles relatives à la distribution du calcaire sur le lit marin par courbes et aires isocalcaires teintées en nuance sépia d'autant plus foncée que le pourcentage de carbonate de chaux est plus élevé. J'ai dressé ainsi les cartes isocalcaires des quatre feuilles au 1/1 000 000 comprenant la région des Açores, décuplons de la feuille correspondante au 1/10 000 000 de l'atlas de la commission de Wiesbaden. M. Boëggild (1) a établi pour l'océan Glacial arctique les cartes des dépôts marins, du calcaire des fonds, de la distribution des grains d'après leurs dimensions. On pourrait encore en dresser d'autres montrant la répartition de tel ou tel minéral ou roche, les matériaux volcaniques, les ponces ou les obsidiennes par exemple, comme l'a fait encore M. Boëggild.

C. — Chimie.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — L'analyse des eaux de mer constitue une branche spéciale de l'océanographie qui, pour être exécutée avec précision, exige un spécialiste chimiste exercé, muni de toutes les ressources d'un labo-

(1) O.-B. Boëggild : *The deposits of the sea-bottom*, The danish Ingolf-Expedition, vol. I, part. II, published at the cost of the Government by the direction of the zoological Museum of the University. Copenhagen, 1900.

ratoire. Il ne saurait donc être question ici d'aborder l'exposé d'une étude chimique complète de l'eau de mer. De très nombreux travaux ont été exécutés à ce sujet en Allemagne, en Angleterre, en Suède, en Norvège et même en France. Il serait à désirer qu'un chimiste entreprît l'étude critique des divers éléments importants à doser dans l'eau de mer, solides et gazeux, sels divers et particulièrement sulfates, halogènes, ammoniacque et autres ainsi que des gaz contenus, avec des procédés aussi simples que possible et acceptés d'un accord commun, afin qu'au moins pour les éléments les plus ordinaires, ils puissent être les mêmes pour les divers opérateurs. Ainsi seraient unifiées les recherches relatives à ce qui est l'unité par excellence, l'Océan qui ne connaît pas les divisions politiques. Cette unification ne semble devoir résulter que d'un Congrès international; rien ne serait plus propre à en hâter la réunion que la publication d'un ouvrage d'ensemble sur le sujet. L'application des propriétés chimiques et physiques des eaux à la résolution du problème si grave de la circulation océanique profonde donne une haute importance à la question. Il est établi que l'eau de mer ne peut à aucun titre être considérée comme de l'eau distillée contenant en dissolution une quantité plus ou moins considérable d'un mélange unique de divers sels y entrant toujours dans les mêmes proportions, de telle sorte qu'on est en droit d'affirmer que dans l'Océan tout entier il n'existe pas deux gouttes d'eau rigoureusement identiques. Dans ces conditions, une goutte d'eau étant connue, on sera en mesure de la suivre chimiquement et physiquement, en quelque sorte à la piste dans ses diverses modifications successives au sein de la masse des eaux ambiantes. De quelle utilité serait à l'océanographie aussi bien qu'à la zoologie et aux pêches de posséder sur des cartes l'indication exacte des lois de la distribution de la matière organique dissoute qui doit avoir une influence prépondé-

rante sur la répartition du plankton comme sur les transformations chimiques qui s'accomplissent par l'intermédiaire de la matière vivante ou venant à peine de cesser de vivre et constituent la transition s'effectuant sous nos yeux sans interruption entre le règne organique et le règne inorganique et réciproquement. N'est-ce pas là une des questions capitales de la science? J'ai tenté de montrer que l'œuvre pouvait être entreprise en dressant des cartes de la distribution dans la région des Açores de l'ammoniaque au sein des eaux, mais les documents font défaut et un homme seul, quel que soit son dévouement, est hors d'état d'aller récolter lui-même les échantillons d'eau, les analyser, mettre en ordre les résultats obtenus et en établir les lois, travail facile et à la portée de tous si les efforts étaient coordonnés.

Quels que soient les corps dissous à étudier et les procédés d'analyse à employer à bord immédiatement au moment de la récolte des échantillons ou dans le laboratoire longtemps après, il convient d'abord de récolter l'eau et de la rapporter. Cette tâche concerne essentiellement l'océanographe opérant sur le terrain et la seule dont il sera parlé ici.

INSTRUMENTS ET APPAREILS. — *Bouteille de surface.* — Quand on ne désire que prendre un échantillon d'eau de surface, on se sert d'une bouteille ordinaire en verre (*fig. 23*), qu'on entoure vers le bas d'une cordelette serrée destinée à soutenir une autre cordelette à laquelle est suspendu un poids. Au goulot est fixée une seconde corde longue de 30 cm environ se rattachant à la corde de suspension, laquelle se termine par un bouchon entrant à frottement assez dur dans la bouteille.

On bouche pas trop fortement la bouteille vide avec le bouchon juste suffisamment pour que celui-ci soutienne à la fois la bouteille et le poids produisant l'immersion.

On immerge. Quand on est arrivé à la profondeur voulue qui ne devra jamais dépasser dix mètres, on donne une secousse brusque qui détache le bouchon; la bouteille se remplit et comme elle est restée suspendue à la ficelle latérale qui s'est simplement tendue, on la ramène à bord sans que l'eau qu'elle contient soit sensiblement mêlée à l'eau des couches sus-jacentes traversées en remontant.

Ce procédé est commode, facile et peu coûteux, mais il ne saurait convenir que dans le cas d'eaux très superficielles.

Fig. 23.

Bouteille de Mill. — La bouteille de Mill (*fig. 24*) est lourde, car elle pèse 7 kg, et coûteuse, mais elle offre l'avantage de ne pas exiger de retournement. Elle est indispensable par conséquent dans certains cas, comme par exemple lorsqu'il s'agit de recueillir, sur le fond, de l'eau sortant d'une source sous-marine comme il en existe fréquemment près des côtes. On introduit l'instrument dans le canal même d'arrivée de la source en général trop étroit pour qu'on y puisse faire chavirer une bouteille à retournement. Le difficile est de trouver l'ouverture du trou, mais il n'est pas impossible d'y parvenir.

La bouteille se compose de deux plateaux garnis de caoutchouc réunis par une tige creuse où passe la corde de sonde et sur lesquels retombe, au moment convenable, un cylindre de laiton ouvert à ses deux extrémités qui emprisonne

Fig. 24.

ainsi 1800 cmcb d'eau qu'on peut remonter sans risque de mélange avec les eaux sus-jacentes. La chute du cylindre maintenu suspendu par quatre crochets métalliques élastiques faisant fonction de ressort, est provoquée par le choc d'un messenger Rung envoyé de la surface. Pour la vider, on ouvre successivement deux robinets traversant le plateau inférieur, l'un destiné à la rentrée de l'air, l'autre à la sortie de l'eau.

Bouteille Buchanan. — A propos du sondeur Buchanan, il a été parlé de la bouteille (*fig. 17*) qui fait partie de l'appareil. Elle ne cesse d'être parcourue, de bas en haut, à la descente, par l'eau ambiante; dès qu'on arrête le mouvement de descente et, à plus forte raison, quand on remonte l'appareil, les soupapes de fermeture retombent sur leur siège et l'eau qui en ce moment occupait le cylindre y demeure emprisonnée.

Cette bouteille n'est employée que pour récolter des eaux reposant immédiatement sur le fond; elle rapporte environ 950 cmcb d'eau.

Bouteille Richard. — La bouteille du Dr Richard a rendu d'excellents services : comme elle est assez légère, on peut en suspendre plusieurs au même fil de sonde, avantage précieux lorsqu'on désire récolter des échantillons d'eau destinés à servir à l'étude de la circulation marine dans les profondeurs. Elle pèse 2 kg et rapporte environ 350 cmcb d'eau.

Elle se compose (*fig. 25*) d'un cylindre en laiton fermé en haut et en bas par un robinet dont le boisseau, en tournant, s'ouvre en même temps pour le robinet du haut et pour celui du bas ce qui permet à l'eau, en descente, de parcourir le cylindre de bas en haut et, par une rotation en sens inverse, se ferme aux deux extrémités en emprisonnant le volume d'eau contenu au moment de la rota-

tion. Ce double mouvement est déterminé, sous l'eau, par le retournement d'un thermomètre qu'un système spécial rattache à l'instrument et qui est indispensable pour cette double raison qu'un échantillon d'eau dont on ignore la température *in situ* est sans valeur et parce que son poids provoque son propre retournement — ce qui marque la température — et le retournement de la bouteille — ce qui emprisonne l'eau. Le tout est entouré d'un cadre métallique avec ressort d'arrêt et est surmonté d'un système déclancheur qui peut être à volonté à verrou ou à hélice Magnaghi. Comme l'hélice, pour produire le retournement, exige une remontée de 5 à 6 mètres, on préférera le système à verrou chaque fois que l'échantillon devra appartenir rigoureusement à une couche d'eau bien déterminée et épaisse seulement de la hauteur de l'instrument. Pour des récoltes d'eaux très profondes, l'hélice Magnaghi, qui ne demande pas l'envoi d'un messenger, sera très suffisante, car à plusieurs centaines ou milliers de mètres de profondeur, il est évident que quelques mètres de plus ou de moins sont sans importance.

Fig. 25.

Bouteille Thoulet. — J'ai pensé que l'on pouvait alléger et simplifier encore la bouteille du Dr Richard.

L'instrument (*fig. 26*), qui pèse seulement 1 kg, consiste

en un cylindre susceptible de contenir environ 180 cmcb d'eau, quantité suffisante pour en prendre la densité, y doser les halogènes et les sulfates caractéristiques les plus importantes de l'échantillon recueilli devant servir à la découverte et au tracé des courants profonds sous-marins.

Le cylindre est traversé de part en part par une tige passant, en haut et en bas, dans deux ouvertures étroites et garnie, à une extrémité, d'un poids en plomb, près de ses deux extrémités de deux petits plateaux formant sou-

Fig. 26.

papes. Une vis filetée laisse régler l'écartement avec beaucoup de précision. Deux pattes latérales fixent la bouteille à un thermomètre dans sa monture quel que soit d'ailleurs le déclenchement à verrou ou à hélice employé pour celui-ci. La bouteille ne fonctionne donc pas sans thermomètre, tandis que le thermomètre fonctionne à volonté avec ou sans bouteille.

En descente, le thermomètre est relevé et comme dans la bouteille, le poids surcharge est en haut, les deux soupapes sont ouvertes et l'eau traverse librement. Quand le retournement du thermomètre se produit, le poids tombe, les deux disques qui sont recouverts d'une rondelle de feutre retombent sur leur siège et emprisonnent l'eau qui pendant la remontée demeure soustraite à tout mélange avec les eaux sus-jacentes. A l'arrivée sur le pont, on lit la température du thermomètre, puis tirant sur le poids, on retourne la bouteille; lorsqu'elle est verticale, en abandonnant quelque peu le poids, on entr'ouvre à la fois les deux ouvertures, celle du haut par où rentre l'air et celle du bas par où coule l'eau sans s'éparpiller sur le poids comme cela aurait

en lieu si l'on n'avait pas relevé le système. On recueille le liquide dans un flacon en verre qu'on surmonte d'un entonnoir.

Conservation des échantillons. — Les échantillons d'eau se conservent dans de petits flacons en verre parfaitement lavés à l'eau distillée et séchés avant usage, portant une étiquette en papier collée ou un parchemin attaché au col par une ficelle pour recevoir les indications relatives à la localité et à la température *in situ* et bouchés avec un bouchon paraffiné que pour plus de sûreté on attache avec une ficelle après que le flacon a été rempli. Tous ces flacons sont disposés, pour être conservés et transportés, dans une caisse (*fig. 27*) capitonnée de feutre qui en contient un plus ou moins grand nombre selon la capacité dépendant elle-même de celle de la bouteille adoptée pour effectuer la récolte et qui, pleine de flacons, ne doit, autant que possible, pas peser plus de 10 kg afin d'être susceptible d'être expédiée comme colis postal.

Fig. 27.

D. — Température.

Considérations générales. — La température joue un grand rôle dans l'économie de l'Océan et doit par suite être mesurée avec beaucoup de précision. Au point de vue scientifique pur, il est d'un intérêt extrême de comparer les températures de l'air et de l'eau au même lieu et au même moment, car on est ainsi informé de l'influence réciproque

du climat sur l'Océan et de l'Océan sur le climat et averti de la présence de courants superficiels ou profonds. Dans les raz de marée et les différentes formes de tremblements de mer, il faudra donc prendre immédiatement la température de l'eau afin de constater le passage de l'onde sismique caractérisée par sa température plus élevée et l'on parviendra même, si l'on a la bonne fortune de pouvoir comparer entre elles des observations sensiblement simultanées, à découvrir approximativement la direction et peut-être la distance, c'est-à-dire la situation sous-marine de l'orifice volcanique d'où provenait la secousse. On sera même en mesure d'établir la loi du refroidissement de l'onde s'éloignant de son lieu d'origine.

S'il s'agit de l'étude de la circulation sous-marine profonde par échantillons d'eau en série, on se rappellera encore qu'un échantillon dont on ignore la température *in situ* est sans aucune valeur, car seule cette donnée, après mesure directe de la densité de l'eau à zéro et correction de compressibilité, fonction de la profondeur, permet de calculer la densité *in situ* qui, à son tour, par comparaison avec la même donnée sur d'autres échantillons voisins, laisse fixer le niveau des plans d'équilibre topographique et d'équilibre physique dont la comparaison mutuelle conduit à la découverte de la direction, de la vitesse et de l'angle de remontée du courant sous-marin entraînant les échantillons d'eau considérés.

Au point de vue pratique, la connaissance des températures sous-marines n'est pas moins indispensable pour se rendre compte de la répartition des animaux au sein des eaux et particulièrement des poissons comestibles. L'animal n'a point de caprices; sa présence rare ou abondante, son absence et par conséquent ses migrations, dont les lois importent tellement aux pêcheurs, se trouvent sous la dépendance des conditions ambiantes du milieu dont la principale est certainement la température. Les travaux

des Norvégiens ont montré que sur un espace de mer déterminé où les recherches avaient été exécutées avec soin et méthode, les données thermométriques faisaient non seulement connaître la profondeur où se tenait le poisson et où, par conséquent, il convenait de le pêcher mais encore, d'après le mode de distribution des couches isothermes et l'évaluation de leur épaisseur relative, de prévoir les endroits où le poisson devait se rencontrer en plus ou moins grande abondance. Grâce à ces recherches, le thermomètre est devenu un véritable outil de pêche à mettre entre les mains de tous les pêcheurs. Au nord de l'Écosse, la crête Wyville-Thomson, large à peine de quelques milles, donne lieu à une distribution profonde des couches isothermes telle que, de part et d'autre de cet obstacle invisible à la surface, d'un côté la faune est nettement atlantique et de l'autre non moins nettement glaciale.

D'une façon générale, la température de la mer décroît à mesure que la profondeur augmente, mais à la surface surtout, la marche du décroissement n'est pas partout la même. Chaque fois qu'une exception se produit, on est averti de l'intervention de causes étrangères.

Les données recueillies sur le terrain se représentent graphiquement. Les températures en série sont figurées (*fig. 28*) par une courbe tracée en prenant pour ordonnées la profondeur et pour abscisses la température ou inversement, les profondeurs en abscisses et les températures en ordonnées. Souvent sur le même schéma, lorsqu'une portion de la courbe est particulièrement intéressante, ce qui a lieu d'ordinaire vers la surface, on décuple graphiquement l'échelle des profondeurs, celle des températures, par dixièmes de degré étant ordinairement suffisante, de sorte que pour cette portion seulement de la courbe, les profondeurs de 100, 200..... 500 m deviennent 10, 20..... 50 m, par exemple. On trace d'après ces données nouvelles la portion de la courbe ainsi décuplée sur le même gra-

phique où les variations de la température sont devenues beaucoup plus apparentes.

Fig. 28.

On trace aussi des cartes par isothermes en entourant les aires contenant tous les points à la même température ou aires isothermes, par des courbes continues, dites courbes isothermes. On emploie pour ces cartes le canevas des cartes isobathes dont on a laissé subsister les courbes quoique sans en teinter les aires. On leur superpose les courbes et aires isothermes qu'on lave d'une teinte carmin d'autant plus foncée que la température est plus élevée. On en dresse pour les températures mesurées tout contre le sol immergé et ce document est particulièrement utile aux ingénieurs télégraphistes qui ont intérêt à savoir la température à laquelle sont soumis leurs câbles étendus sur le fond dans tels ou tels parages.

D'autres cartes montrent la répartition thermique à la surface de la mer, mais comme en un même lieu, la température est variable avec la saison, il importe que pour la même région, on établisse plusieurs cartes se rapportant chacune à une période de temps déterminée, saison par saison ou mieux mois par mois. Enfin d'autres cartes indiquent la répartition de la température dans les eaux intermédiaires au moyen de l'intersection des masses d'eau

isothermes par des séries de plans parallèles horizontaux menés à des profondeurs ou distances connues depuis la surface. Ces plans seront d'autant plus rapprochés les uns des autres qu'ils seront plus près de la surface où ont lieu les plus grandes variations de température. Dans les abîmes, la température ne subit point de variations; si l'on possédait pour l'Océan entier une suite de ces cartes passant par 500, 1 000, 1 500 et 2 000 m de profondeur, il est probable qu'on aurait sous les yeux le schéma de la circulation sous-marine et des plans analogues plus resserrés de 100 en 100 m et même moins entre la surface et 500 m expliqueraient les migrations des poissons et la répartition dans l'Océan des espèces animales les plus importantes. C'est par le concours de tous les travailleurs et par l'uniformisation des méthodes de recherche et de figuration que s'obtiendra cette connaissance d'un intérêt théorique et pratique si considérable.

INSTRUMENTS DE MESURE. — *Thermomètre de surface et thermomètre plongeur Chabaud.* — On laisse à la traîne le long du bord pendant dix ou quinze minutes au moins avant l'observation, un seau en bois ou mieux en toile afin qu'il se mette en équilibre de température avec la mer. Au moment de l'observation, on le vide et on le remplit à plusieurs reprises, on l'amène plein d'eau sur le pont et on y plonge immédiatement un thermomètre divisé en demi-degrés sur lequel il est facile d'évaluer le dixième de degré, bien que cette précision soit rarement nécessaire. On l'agite dans l'eau du seau et dès que la colonne mercurielle est devenue stationnaire, on fait la lecture. Le même thermomètre dont on s'est servi en fronde pour prendre immédiatement avant la température de l'air est employé pour prendre la température de l'eau.

On se sert aussi du thermomètre plongeur en usage dans la marine et qui a été notablement simplifié et amé-

lioré par M. Chabaud. Il consiste (*fig. 29 et 30*) en un thermomètre gradué sur tige et enfermé dans un cylindre en verre où deux étranglements, en haut et en bas, sont respectivement munis d'une boule en verre faisant fonction

Fig. 29.

Fig. 30.

de soupape et bien préférable à une soupape en cuir telle qu'on les fabrique ordinairement et qui, malgré tout le soin possible, ne tarde pas à se racornir et à ne plus fonctionner. Pour le protéger contre les chocs, le système est enfermé dans une gaine en cuivre perforée et terminée par deux anneaux, l'un pour la sonde de suspension, l'autre, en bas, pour y attacher un poids.

On envoie le thermomètre à la mer, il se remplit d'eau, on le laisse pendant deux ou trois minutes se mettre en équilibre de température, on le remonte. L'eau dont le tube en verre est rempli ralentit beaucoup la nouvelle mise en équilibre de température avec l'air, de sorte qu'on a tout le temps de faire une lecture précise. On laisse

égoutter le thermomètre qui est aussitôt prêt à fonctionner.

Cet instrument peut servir pour de faibles profondeurs ne dépassant pas une dizaine de mètres au grand maximum. Il faut alors le remonter vivement. Il est particulièrement utile quand on récolte des échantillons d'eau avec la bouteille de surface, à 5 m de profondeur. On prend d'abord la température et aussitôt après on envoie la bouteille.

Thermomètre à retournement. — L'instrument imaginé par les constructeurs anglais Negretti et Zambra, est à retournement. Seul il peut être employé à la détermination

des températures profondes. Il marque la température en un point quelconque au sein de l'Océan sans être ensuite influencé par la température quelle qu'elle soit, plus haute ou plus basse, des couches d'eau sus-jacentes traversées pendant la remontée.

Il consiste essentiellement en un tube thermométrique coudé (*fig. 31*), portant à son extrémité supérieure un petit réservoir; puis, après une certaine longueur de tube, alors qu'il revient sur lui-même en formant un coude, un second réservoir vide en forme de cornemuse; plus loin il se continue pour se replier de nouveau et communiquer par un étranglement avec le réservoir principal rempli de mercure. Le thermomètre étant ainsi disposé, se met en équilibre de température avec le milieu ambiant et, tout le mercure qu'il contient se contractant ou se dilatant en conséquence, la colonne devient stationnaire.

Si alors on retourne l'instrument bout pour bout, la colonne mercurielle se brise à l'étranglement, descend en masse jusqu'à l'autre bout du thermomètre, remplit le petit réservoir, le tube droit qui lui fait suite où sont gravés les numéros de degrés. Dès ce moment, la colonne mercurielle est sensiblement soustraite à l'influence non seulement d'une diminution de température, ce qui est évident, mais d'une élévation de cette température. En effet, dans ce dernier cas, la faible quantité de mercure correspondant au petit réservoir subit une dilatation insignifiante tandis que la grosse masse restée dans l'autre réservoir franchit l'étranglement, remplit à la rigueur la portion suivante du tube mais, arrivée dans le réservoir intermédiaire en cornemuse, elle se sé-

Fig. 31.

pare en gouttelettes qui s'isolent et sont incapables de rejoindre, pour en fausser l'indication, la colonne isolée au début et qui seule marque la température ambiante à l'instant du retournement.

Rien n'empêche d'ailleurs de tenir compte de la faible dilatation causée par une élévation de température à la petite colonne mercurielle. J'ai trouvé par expérience directe qu'elle était de 0.4° pour une différence de 30° entre les températures au sein de l'eau et dans l'air pendant la lecture, soit environ 0.01° par degré de différence, ce qui est insignifiant.

Il suffit de renverser l'instrument dans le sens primitif pour que la colonne isolée descende, rejoigne la masse principale du mercure et que le thermomètre soit prêt à fonctionner de nouveau.

Afin de résister aux énormes pressions des abîmes, le thermomètre est enfermé dans un tube de cristal épais, scellé et disposé de façon qu'une masse de mercure comprise entre le tube extérieur et le gros réservoir protège particulièrement celui-ci. Malgré cette précaution, il n'est pas rare que les thermomètres envoyés très profondément soient brisés et réduits à l'état d'une pincée de cristal en poudre fine.

Les thermomètres sont insérés dans une monture à verrou ou à hélice (*fig. 32*). La dernière est excellente dans les grands fonds, alors que la remontée de quelques mètres, indispensable pour provoquer le retournement n'a pas

Fig. 32.

d'importance, ou bien pour être mise entre les mains de

pêcheurs qui n'ont pas besoin, pour le but qu'ils se proposent, d'une extrême précision, sont dispensés de se servir d'un messenger-outil de petite dimension sujet à s'égarer aisément à bord d'un bateau de pêche et peuvent au contraire employer des cordes de chanvre sans s'inquiéter des nœuds qui arrêteraient des messagers. La monture à verrou, en permettant de retourner le thermomètre à la place même où il est descendu, se prête mieux à des observations de grande précision. De quelque façon que l'on opère, on ne retournera le thermomètre qu'après l'avoir laissé pendant cinq minutes immobile pour lui permettre de se mettre en équilibre de température.

On vend en Norvège une monture spéciale destinée aux pêcheurs (*fig. 33*) ; elle est à hélice et d'un extrême bon marché. Je l'ai adoptée en y faisant de légères modifications : elle est à verrou ; le tube de cuivre destiné à renfermer le thermomètre est ouvert longitudinalement sur deux côtés opposés, ce qui laisse mieux lire la graduation et permet de la rendre visible en la remettant en place, du bout des doigts, lorsque le thermomètre ayant un peu tourné sur lui-même l'a cachée ; ses deux extrémités se vissent afin de permettre d'y introduire des thermomètres dont la longueur varie quelque peu selon le fabricant et de les mieux assujettir en introduisant des rondelles de liège ou de feutre. Enfin le thermomètre, après renversement, est immobilisé par un petit ressort latéral. Dans l'eau, les mouvements du thermomètre non fixé ne sont pas à craindre ; il n'en est pas de même quand l'instrument est hors de l'eau, car il éprouve des oscillations inquiétantes qui risquent de le briser.

Fig. 33.

De même que pour les thermomètres ordinaires, on ne manquera pas de faire étalonner de temps en temps les thermomètres à retournement et de vérifier leur zéro.

E. — Optique.

Considérations générales. — L'optique est une branche de l'océanographie aussi importante au point de vue des problèmes scientifiques qu'elle soulève que des applications pratiques. Elle comporte deux sections distinctes relatives à la transparence de la mer et à sa couleur.

La transparence tient à un grand nombre de causes : à la pénétration de la lumière au sein du milieu liquide, à des phénomènes de réflexion, de réfraction et de diffusion variables selon la longueur d'onde des divers rayons lumineux monochromatiques composant la lumière blanche et enfin à la nature et surtout à la quantité des matières en suspension. Les premières causes, sans nier leur influence, jouent un rôle moindre que la dernière que l'on évalue d'une manière simple et facile à l'aide du disque de Secchi.

La pénétration ou propagation de la lumière au sein de l'eau a donné lieu, dans le lac Léman, à des expériences exécutées par une commission de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève nommée à cet effet. On immergeait de nuit une source lumineuse dans le lac et on mesurait sa distance de disparition soit verticalement en l'enfonçant de plus en plus, soit horizontalement en l'éloignant. On a ainsi constaté que la lumière diffuse se propage à une distance approximativement double de celle à laquelle on cesse d'apercevoir nettement un point lumineux. La valeur absolue de cette distance varie avec l'état de limpidité de l'eau, l'intensité de la source lumineuse et la couleur des rayons. Une lampe électrique de 8 bougies a

comme limite de vision nette 38.5 m et 82.8 m pour limite de vision diffuse. A 40 m de profondeur, en plein jour, un homme se trouverait dans l'obscurité complète.

Ainsi s'explique le fait reconnu d'une manière si ingénieuse par Hermann Fol que les poissons eux-mêmes cessent de distinguer à une très faible distance. Il a observé en effet qu'un petit poisson poursuivi par un gros, prenait très rapidement la fuite mais, qu'à peine éloigné, il s'arrêtait instruit par son instinct qu'il se trouvait déjà hors de la portée de la vue de son ennemi.

La faible pénétration de la lumière au sein de l'eau explique encore le peu d'épaisseur de la zone superficielle où les plantes marines peuvent encore fabriquer de la chlorophylle c'est-à-dire exister. A 400 m environ de profondeur, la végétation cesse au sein des eaux ce qui restreint à cette mince zone l'aire d'habitat des animaux herbivores et des animaux carnivores se nourrissant des herbivores. Audessous de 400 m jusqu'au fond, on ne trouve plus que des carnivores.

Moins l'eau sera transparente, moins les poissons apercevront les filets tendus pour les capturer et plus la pêche sera fructueuse. Le « Fishery Board for Scotland » fait régulièrement mesurer le degré de transparence de la mer par le disque de Secchi. En Méditerranée, on a remarqué que les filets nouvellement tannés, c'est-à-dire d'une nuance brun-foncé tranchant fortement avec la nuance des eaux, prenaient moins de poisson que lorsque, après un certain temps d'usage, le brun s'était atténué. Le même motif a conduit les sardiniers bretons à teindre en bleu leurs filets.

Les évaluations de la transparence rendent compte d'autres phénomènes, par exemple de la distance à laquelle s'avancent en haute mer les sédiments fins apportés par tel ou tel fleuve : le Rhône en Méditerranée, le fleuve des Amazones et le Congo dans l'Atlantique, le Yang-tsé-Kiang

et le Hoang-ho dans la mer Jaune et tant d'autres, grands et petits, dont l'apport en sédiments varie presque toujours dans d'assez fortes proportions avec la saison.

La détermination de la couleur de la mer, assez vague autrefois, est maintenant devenue facile et précise. Telle qu'elle apparaît à un spectateur placé sur la rive ou l'examinant du pont d'un bateau, la couleur est aussi la résultante de plusieurs causes : nuance propre de l'eau qui absolument pure est bleu azur, luminosité générale du ciel, hauteur du soleil, température, composition chimique, agitation des eaux et d'autres encore. Mais si on considère l'eau ainsi qu'en a eu l'idée Wittstein, dans un miroir incliné à 45° immergé complètement (*fig. 34*) et

Fig. 34.

qu'on observe en se tenant directement au-dessus, on a l'aspect d'une tranche d'eau de longueur infinie également éclairée sur toute sa longueur. La plupart des influences citées plus haut et modifiant la coloration sont alors éliminées et l'on n'aperçoit plus qu'une nuance qu'il est facile de comparer à une gamme type, par conséquent de définir et de noter rigoureu-

sement et qui, très probablement, résulte aussi bien dans la mer que dans les lacs où le fait a été établi par plusieurs observateurs, entre autres par le D^r Bourcart (1), de la couleur bleue propre à l'eau même et des matières organiques brunes ou vertes, en dissolution et en suspension, en d'autres termes, du plankton. Cette loi vérifiée et définitivement établie pour la mer aurait un haut intérêt pour la pêche. Les teintes bleues correspondraient à des eaux dépourvues de plankton ou riches en plankton animal

(1) D^r F.-E. Bourcart, *Les lacs alpins suisses, étude chimique et physique*, Georg et C^e, Genève 1906.

et l'on en concluerait l'absence des poissons se nourrissant de plankton végétal. Au contraire, les eaux vertes, jaunes ou brunes accuseraient la présence de plankton végétal et par conséquent celle des poissons herbivores qui en vivent. Les deux valeurs de la transparence et de la couleur, si promptes et si faciles à évaluer, indiqueraient donc d'avance le succès ou l'insuccès de la pêche de tel ou tel poisson et la tâche bien définie des naturalistes consisterait à rechercher et à faire connaître la nourriture spéciale de chaque variété de poisson, carnivore et herbivore, et dans le premier cas, celle des poissons plus petits servant de proie. Quand donc se déciderait-on à aborder l'étude de la pêche d'une manière rationnelle, en procédant méthodiquement et en attribuant à chaque spécialiste sa tâche nettement limitée.

A) TRANSPARENCE DES EAUX. — *Instruments de mesure.* —

Lunette d'eau. — L'instrument consiste en un cône en zinc (fig. 35), muni de deux anses latérales, haut de 60 à 65 cm, dont la base circulaire, d'un diamètre de 20 cm, est fermée par un simple verre à vitre protégé, quand on voyage, par un couvercle en zinc. A son sommet formant œilleton est une ouverture de 30 à 35 mm de diamètre, assez large pour qu'on y puisse introduire une baguette portant un chiffon destiné à nettoyer le verre lorsqu'il est sale ou mouillé. On enfonce la base de quelques millimètres dans l'eau, on regarde par l'œilleton en tenant l'instrument par ses deux anses. On aperçoit alors le fond beaucoup plus nettement et bien plus profondément qu'à l'œil nu.

Fig. 35.

Le phénomène est dû à ce que le verre à vitre enfoncé dans l'eau supprime toutes les rides superficielles qui troublent la vue et diffusent la lumière; de plus, le rayon visuel, quelle que soit l'inclinaison de la lunette, vient toujours

frapper normalement la surface de séparation du milieu liquide et de l'air et par conséquent supprime les effets fâcheux résultant de la réfraction.

Disque de Secchi. — Le P. Secchi a étudié les phénomènes de transparence de l'eau au moyen d'un disque en cuivre (fig. 36) de 30 cm de diamètre, peint en blanc, qu'on immerge et dont la distance de disparition fournit la mesure de la transparence. Ce disque est muni à sa face inférieure

Fig. 36.

de trois anneaux soudés soutenant par des cordelettes le poids destiné à le faire enfoncer, tandis que trois autres anneaux à sa face supérieure servent à fixer les trois fils disposés en patte d'oie qui, à une vingtaine de centimètres plus haut, se réunissent en un anneau auquel on attache la cordelette paraffinée divisée de mètre en mètre par des marques à la peinture à l'huile ou par des rubans de diverses couleurs. On a mesuré une fois pour toutes la distance verticale comprise entre le sommet de la patte d'oie supérieure et la surface du disque et l'on ajoute cette longueur constante aux mesures comptées sur le fil

métré. En se plaçant toujours du côté de l'ombre portée par le navire sur l'eau, on laisse descendre le disque jusqu'au moment de sa disparition, on le soulève quelque peu pour le faire réapparaître, on le fait de nouveau disparaître puis réapparaître et de cette façon, on mesure à quelques centimètres près sur la cordelette la distance de disparition, on y ajoute la hauteur constante de la patte d'oie et le total, vraie distance de disparition, est la mesure même de la transparence de l'eau.

Des expériences synthétiques (1) m'ont conduit à recon-

(1) J. Thoulet, *Mémoires océanographiques; étude sur la transparence et la*

naître qu'il existe entre la distance de disparition d'une source lumineuse ou transparence y évaluée en dixièmes de millimètre et le nombre de grammes x de kaolin ou argile blanche contenu en poudre impalpable par litre d'eau, une relation représentée par une expression de la forme $xy = E$. La valeur constante E dépend de l'intensité de la source lumineuse. Pour la lumière moyenne du jour et le disque blanc de Secchi, j'ai été amené à donner à E la valeur 40. On en déduira $x = \frac{40}{y}$.

En d'autres termes, le quotient de la division du nombre 40 par la distance de disparition y du disque, ou transparence d'une eau, mesurée en dixièmes de millimètre, fournit sensiblement le poids en grammes de la matière argileuse contenue dans 1 litre de cette eau.

A l'aide de ces données, dans une région déterminée, on parviendrait à tracer des cartes, qui probablement devraient être saisonnières, de la transparence de l'eau établissant des aires d'égale transparence. Elles rendraient des services aux pêcheurs et contribueraient à asseoir sur des bases précises et rationnelles l'exploitation des eaux marines.

La transparence des diverses mers est très variable : la moyenne de la Méditerranée est de 33 m au large ; elle a été trouvée de 45 m dans le Pacifique, de 40 m aux îles Wallis, de 66.5 m dans la mer des Sargasses, de 6.6 m en été et de 12.7 m en hiver dans le Léman.

L'observation de la transparence s'effectue avec ou sans lunette d'eau. Par mer calme, l'observateur se plaçant à une certaine distance immédiatement au-dessus du disque, la différence n'est pas très considérable ; il conviendra

cependant de mentionner toujours dans quelles conditions a été faite l'expérience.

J'ai également mesuré, dans le lac de Gérardmer, la distance horizontale de disparition du disque immergé complètement et verticalement à la surface de l'eau et que l'on éloignait jusqu'au moment où l'on cessait de l'apercevoir dans un miroir à 45° plongé dans l'eau et observé verticalement. L'expérience montre que la distance de disparition horizontale égale sensiblement la distance de disparition verticale.

Fig. 37.

L'expérience est plus commode avec une boule creuse (*fig. 37*) en cuivre peinte en blanc et ayant exactement 15 cm de diamètre. Cette boule sert encore à mesurer la transparence verticale et les distances de disparition trouvées avec elle diffèrent de peu, évidemment en moins, de celles trouvées avec le disque dont le diamètre est pourtant doublé. Elle constitue aussi un excellent flotteur pour la mesure des courants; elle possède cependant l'inconvénient d'être moins commode à transporter que le disque de Secchi qui est plat.

b) COULEUR DES EAUX. — Gammes colorimétriques diverses.
— Le prof. F.-A. Forel, de Morges, mesure la couleur des eaux au moyen de la gamme suivante qui est aujourd'hui universellement adoptée (1).

On prépare deux solutions types, l'une bleue, composée de

Sulfate de cuivre	1
Ammoniaque.....	5
Eau distillée	194

(1) F.-A. Forel, *Le Léman, monographie limnologique*, t. II, p. 462. Lausanne, F. Rouge, 1893.

l'autre jaune

Chromate neutre de potassium.....	1
Eau distillée	199

En mélangeant par centièmes ces deux solutions et en notant les mélanges d'après la proportion de jaune qu'ils contiennent, de sorte que la liqueur 18, par exemple, représente la liqueur renfermant 18 cmcb de liqueur type jaune avec 82 cmcb de bleu, on obtient la gamme ou échelle ou série centésimale dite de Forel.

Le même savant, pour noter plus particulièrement la couleur des lacs bleus et verts, a fait, dans son échelle centésimale, le choix des onze numéros suivants qu'il désigne par des chiffres romains et qui forment la série M (mer) utilisée par Krümmel et par d'autres observateurs dans diverses mers.

I.....		0 de la série centésimale.	
II.....		2	—
III.....	2 + 3 = 5		—
IV.....	5 + 4 = 9		—
V.....	9 + 5 = 14		—
VI.....	14 + 6 = 20		—
VII.....	20 + 7 = 27		—
VIII.....	27 + 8 = 35		—
IX.....	35 + 9 = 44		—
X.....	44 + 10 = 54		—
XI.....	54 + 11 = 65		—

Le Dr Ule (1) pour les eaux fortement tourbeuses de l'Allemagne du Nord, a modifié la gamme de Forel en y ajoutant une solution brune de sulfate de cobalt au 1/200 dans une eau fortement ammoniacale. Il prend comme base la solution XI et il obtient les numéros XI à XXI par les mélanges suivants :

(1) W. Ule, *Die Bestimmung der Wasserfarbe in den Seen*, Petermann's Mitt. 1892. 70 et 1894. 213.

XI	100 sol. verte.	0 sol. brune.
XII	98 —	2 —
XIII	95 —	5 —
XIV	91 —	9 —
XV	86 —	14 —
XVI	80 —	20 —
XVII	73 —	27 —
XVIII	65 —	35 —
XIX	56 —	44 —
XX	46 —	54 —
XXI	35 —	65 —

Cette série est désignée sous le nom de série U (Ule).

Dans le but d'assourdir ou d'assombrir les teintes des séries précédentes par un mélange de noir aussi pur que possible, j'ai préparé une gamme dite série T ou de tonalité.

La liqueur type (1) est une solution d'encre de Chine dans l'eau d'une opacité telle que sous une épaisseur de 10 mm elle éteint complètement la lumière d'une bougie placée à 1 m de distance. Une liqueur contenant 1 cmcb de liqueur type dans 99 cmcb d'eau porte le numéro 1 et ainsi de suite, le numéro désignant la proportion en centièmes de liqueur type mélangée au complément à 100 d'eau pure.

Ces quatre séries

Série F	Série Forel centésimale,
Série M	Série Forel pour la mer,
Série U	Série Ule pour les eaux brunes,
Série T	Série de tonalité

serviront à noter les teintes des eaux.

Lunette colorimétrique. — La lunette colorimétrique (fig. 38) permet d'évaluer la coloration d'une eau de mer selon la série centésimale en comparant sa teinte, vue dans

(1) J. Thoulet, *loc. cit.*, p. 126.

un miroir à 45° , avec la teinte de deux prismes superposés l'un de verre jaune et l'autre de verre bleu ayant respectivement la même nuance que l'une et l'autre solution type jaune et bleue de Forel. On peut, au moyen de deux vis à crémaillère, placer devant une fente pratiquée à la partie antérieure de la lunette, une épaisseur quelconque de verre bleu et une épaisseur quelconque de verre jaune et par conséquent obtenir toutes les teintes de la série centésimale F et celles-ci sont, s'il est nécessaire,

Fig. 38.

assombries à volonté par l'interposition dans une coulisse spéciale devant la fente, entre la lumière et les prismes, de verres noirs gradués de la série T. Une graduation en millimètres gravée sur la tranche des cadres en cuivre où sont maintenus respectivement chacun des deux prismes, indique l'épaisseur de verre jaune et celle de verre bleu interposées l'une et l'autre devant la fente. Les chiffres apparaissent à travers une ouverture portant un repère et pratiquée sur le dessus de la lunette. Les prismes sont taillés de manière à ce que, superposés chacun à peu près en son milieu devant la fente, ils donnent ensemble la teinte 50 de la série F.

On étalonne la lunette en observant quels numéros de la division bleue et de la division jaune correspondent exac-

tement à la teinte d'une épaisseur de 1 cm de liqueur 50 de la série F versée dans une auge de cristal à faces verticales plan-parallèles et examinée par transparence. La comparaison est faite avec beaucoup d'exactitude au moyen d'un colorimètre Duboscq.

On compare de la même façon à des numéros de la série F, des combinaisons variées d'épaisseurs des prismes, les nuances plus bleues que 50 étant obtenues en laissant le prisme bleu immobile et en diminuant l'épaisseur du prisme jaune, les teintes plus jaunes que 50 en laissant au contraire le prisme jaune immobile et en diminuant l'épaisseur du prisme bleu.

On dresse ainsi, sur un papier quadrillé (*fig. 39*), un

Fig. 39.

graphique étalon. L'axe vertical divisé en 100 parties égales représente les divisions centésimales tandis que l'axe hori-

zontal, également divisé en parties égales figure les longueurs de prismes évaluées en divisions millimétriques portées sur le cadre bleu et sur le cadre jaune.

Supposons, ce qui a lieu pour l'instrument dont je me sers, que le 50 centésimal soit donné par la division 27 du prisme jaune superposée à la division 41 du prisme bleu. Sur l'axe des x on prend une longueur égale à 41 et on élève une perpendiculaire égale à 50, puis on joint l'extrémité de celle-ci au point 100 de l'axe vertical par une courbe passant par les points donnés expérimentalement, 29 correspondant à 60 centésimal et 19 correspondant à 70 centésimal, toujours avec 27 de jaune, et l'on a la courbe bleue. De même on aura la courbe jaune en menant la verticale par l'abscisse 27 entre 100 centésimal et 50 centésimal, puis en joignant l'extrémité inférieure de cette verticale au point 0 (zéro) centésimal en passant par les points déterminés expérimentalement, jaune = 23 correspondant à 40 centésimal et jaune = 18 correspondant à 30 centésimal, toujours avec bleu = 41 et l'on aura ainsi la courbe jaune.

Il est bien entendu que ces chiffres s'appliquent à mon instrument et qu'ils seraient certainement quelque peu différents avec un autre instrument. Chaque lunette est étalonnée et possède son propre graphique.

Pour opérer à la mer avec mon instrument, on installe le prisme jaune à 27 et le prisme bleu à 41, on immerge le miroir à 45° fixé au bout d'une perche, du côté où le bâtiment projette son ombre sur la mer, on l'oriente de façon à ce qu'il montre le maximum de clarté; on oriente le réflecteur blanc de la lunette de manière à diffuser la lumière du ciel à travers la fente; on regarde par vision indépendante, d'un œil le miroir, de l'autre la fente colorée de la lunette, on juxtapose les images, on observe si la mer est plus bleue ou plus jaune que la nuance 50 de la fente.

Si elle est plus bleue, on laissera immobile le prisme

bleu et on diminuera l'épaisseur du prisme jaune; on identifiera ainsi la teinte avec celle de la mer, on notera la division du cadre jaune en face du repère à travers la fenêtre. Supposons qu'elle soit 15. On se reportera à la courbe jaune sur le graphique, on notera le point correspondant à l'abscisse 15 en suivant l'horizontale, et l'on trouvera sur l'axe vertical la division 20 qui est le numéro de la série F centésimale désignant la teinte de la mer.

On opérera de la même façon si la teinte de la mer est plus jaune que la teinte 50 centésimale en laissant le prisme jaune immobile à 27 et en diminuant de plus en plus l'épaisseur du prisme bleu. On identifiera ainsi la teinte et on se reportera au graphique.

Quand on immerge au bout d'une perche le miroir à 45° dans la mer ou dans un lac et qu'on le fait tourner sur lui-même de façon à ce qu'il se dirige successivement au sein des eaux vers tous les points de l'horizon, on remarque que la couleur reste toujours la même, mais que, selon la direction de l'éclairage, elle est plus ou moins assombrie par un mélange de noir. L'œil identifie plus aisément les teintes claires que les teintes foncées et assez difficilement une teinte claire avec la même teinte foncée. Pour faciliter la comparaison, on tournera d'abord le miroir jusqu'à ce qu'il donne la teinte aussi claire que possible et si, dans ces conditions, elle est encore plus claire dans la lunette ou dans le tube colorimétrique dont il sera parlé plus loin, on l'assourdira au degré convenable par l'interposition devant la fente de un ou plusieurs verres de la série T. Dans certaines lunettes, l'assombrissement des teintes est provoqué par l'insertion, entre la fente et l'ocilleton, de deux nicols dont un est mobile.

La lunette est un instrument précis et la notation d'une teinte de mer s'établit avec une grande délicatesse et en beaucoup moins de temps qu'il n'en faut pour décrire la méthode.

Il serait bien utile qu'en cours de navigation on pût fréquemment observer et noter la teinte de la mer. On parviendrait certainement ainsi à d'importantes conclusions océanographiques. M. Lugeon, professeur à l'Université de Lausanne, a observé en deux traversées d'Angleterre au Cap et du Cap en Angleterre, faites à trois mois d'intervalle, que la teinte de la mer variait en divers lieux mais restait la même au même lieu. Il n'en est probablement ainsi que dans les régions équatoriales. Quoi qu'il en soit, le fait intéresse la navigation. On parviendrait à exécuter facilement cet examen, en cours de route, en pratiquant dans le flanc du bâtiment, au-dessous de la ligne de flottaison, un hublot fermé par une forte glace à travers lequel on observerait avec la lunette en s'éclairant avec une lampe électrique donnant une lumière blanche.

Tube colorimétrique. — Le tube colorimétrique (*fig. 40*), simplification de la lunette colorimétrique, est essentiellement composé d'un tube portant à son extrémité une petite ouverture ronde servant d'ocilleton, à l'autre extrémité une fente verticale en avant de laquelle glisse et s'arrête à volonté une plaque en verres colorés où sont juxtaposés les onze numéros de l'échelle M de Forel ou de telle autre gamme qui serait désirée. Le cadre qui la maintient

Fig. 40.

porte sur sa tranche une série de numéros en chiffres romains s'il s'agit de la série M ou de la série U, qui correspondent aux teintes des lames de verre placées au-dessous

et qu'on peut apercevoir dans une fenêtre pratiquée exactement au-dessus de la fente verticale. Plus loin est une coulisse où s'insèrent des verres convenables de la série T destinés à assombrir à volonté les teintes et enfin un réflecteur de lumière en porcelaine blanche susceptible d'être incliné à volonté.

On s'installe du côté de l'ombre portée par le navire ; on observe avec le miroir à 45° , orienté de façon à offrir le maximum de clarté ; on incline le réflecteur de manière à renvoyer dans la fente la lumière du ciel, on regarde en même temps par vision indépendante des deux yeux le miroir et la fente dont on juxtapose les images ; on identifie les teintes par déplacement transversal du cadre à verres colorés et, s'il est nécessaire, par addition de verres de la série T. On lit la division du cadre apparaissant à travers la fenêtre horizontale et qui donne la notation de la teinte de la mer.

On fabrique des verres présentant une teinte quelconque et en particulier les teintes des séries F, M et U, au moyen de plaques photographiques au gélatino-chlorure désar-

gentées et teintées (1). Les verres de la série T s'obtiennent avec ces mêmes plaques non désargentées, impressionnées à la lumière du magnésium et développées de façon à présenter une teinte franchement noire et non brune ou violacée.

Planchette colorimétrique. — Lorsqu'on tient à n'avoir qu'une valeur très approximative de la teinte de la mer, on se sert simplement d'une planchette colorimétrique (*fig. 41*)

Fig. 41.

(1) J. Thoulet, *loc. cit.*, p. 127.

sur laquelle est peinte en couleur à l'huile bien vernie, afin de lui donner plus de brillant, la gamme M ou toute autre qu'on pourra désirer. On compare avec la teinte de la mer telle qu'elle apparaît par transparence dans le creux des vagues ou bien encore telle qu'elle colore un objet blanc comme le disque de Secchi immergé à une profondeur convenable.

Chapelet colorimétrique. — Il peut être commode de disposer les verres colorés de la série M en forme de chapelet. On encadre chacun des numéros de la série marqué en chiffres romains et des numéros intermédiaires, à partir de III, qu'on désignera par un symbole composé du chiffre romain immédiatement inférieur suivi du chiffre arabe 5 séparé par une virgule (VI,5, par exemple), dans un entourage métallique peint en noir avec indication du numéro et percé d'un trou. On enfle tous ces verres dans une chaînette en cuivre après y avoir joint le verre noir n° 8 de la série T (*fig. 42*). Pour comparer à la teinte de la mer observée dans le miroir à 45°, on a soin de considérer les différents verres colorés tels qu'ils apparaissent par transparence sur un fond éloigné aussi peu coloré que possible, une voile ou un linge blanc étendu. On assourdit la teinte, s'il est nécessaire, en ajoutant le verre noir.

Fig. 42.

F. — Compressibilité.

L'eau de mer, comme tous les autres corps solides et liquides, est compressible; il en résulte que 1 litre ou 1 décimètre cube d'eau de mer à la surface, occupera un volume moindre si on le suppose enfoncé à une certaine profondeur au-dessous de cette surface car il aura cédé à

la pression exercée sur lui par toute la hauteur de la colonne d'eau sus-jacente.

L'eau de mer possède une densité moyenne de 1.023; en admettant qu'elle égale seulement celle de l'eau douce, c'est-à-dire 1.000, elle exercerait une pression de 1 atmosphère soit de 1 kg par centimètre carré à la profondeur de 10 m et à 9 000 m, par exemple, on aurait une pression de 900 atmosphères soit 900 kg par cent. carré de surface.

Divers physiciens ont mesuré le coefficient de compressibilité de l'eau de mer, c'est-à-dire la fraction dont l'unité de volume de cette eau est diminuée par mètre de profondeur.

Le prof. J.-Y. Buchanan (1) a imaginé pour ces expériences un piézomètre remarquablement simple dont l'emploi à la mer devrait bien tenter un physicien désireux de se livrer à des études océanographiques car la question de la compressibilité de l'eau de mer est loin d'être élucidée d'une manière complète.

On admet actuellement que le coefficient de compressibilité de l'eau de mer est égal à 0.0000046614. Cette valeur est indispensable pour effectuer la correction de profondeur sur la densité d'une eau qui, ayant à la surface et à la latitude 45° la densité S aura pour valeur de sa densité (n) S à n mètres de profondeur.

$$(n) S = S(1 + 0.0000046614n).$$

La table de correction suivante facilite le calcul de la formule.

Soit par exemple une eau de densité 1.02673 à la surface; elle aura pour densité (1235) S à 1 235 m de profondeur, la valeur

$$(1235) S = 1.02673(1 + 0.0000046614 \times 1235).$$

(1) J.-Y. Buchanan, *Sur un nouveau type de piézomètre*, Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, t. CXXXIX, p. 238, 18 juillet 1904.

On trouve dans la table :

Correction pour 1200 m.....	1.00559
— pour 30 m.....	0.00014
— pour 5 m.....	0.00002
	<hr/>
	0.00575

$$1.02673 \times 1.00575 = 1.03263.$$

Telle sera la densité de cet échantillon d'eau à 1235 m de profondeur.

La table suivante a été calculée pour des mètres ainsi que pour des brasses dans le but de permettre d'appliquer la correction de pression aux sondages exécutés par des Anglais.

G. — Densité.

Considérations générales. — La densité, dans les conditions représentées par le symbole général nS^0_4 , est la caractéristique physique et même mécanique essentielle d'une eau de mer; comparée à la densité, dans les mêmes conditions d'un second échantillon voisin du premier, elle rend compte du rôle que tous deux étaient en train de jouer l'un par rapport à l'autre au moment de leur récolte; elle explique l'état d'équilibre de la circulation océanique. Cet état est essentiellement instable et c'est pourquoi la signification de la densité n'est exacte que pour le moment déterminé où ont été récoltés simultanément les échantillons.

Le symbole nS^0_4 est le poids de l'unité de volume, soit 1 litre, de l'eau de mer étudiée alors qu'elle était, quand on l'a recueillie, un élément actif au sein de la masse de l'Océan, c'est-à-dire à la profondeur de n mètres et à la température *in situ* θ qu'elle possédait, comparé au poids de 1 litre d'eau distillée à la pression normale et à la température de $+ 4^0$.

Table de correction de pression pour les densités.

MÈTRES.	FA- THOMS.	CORREC- TION.	MÈTRES.	FA- THOMS.	CORREC- TION	MÈTRES.	FA- THOMS.	CORREC- TION.
20	10.94	1.00009	220	120.30	1.00102	1400	765.54	1.00652
25	13.67	1.00012	240	131.23	1.00112	1500	820.22	1.00699
30	16.40	1.00014	250	136.70	1.00116	1600	874.92	1.00746
35	19.14	1.00016	260	142.17	1.00121	1700	929.59	1.00792
40	21.87	1.00019	280	153.11	1.00130	1800	984.27	1.00839
45	24.61	1.00021	300	164.04	1.00140	1900	1038.95	1.00886
50	27.34	1.00023	320	174.98	1.00149	2000	1093.63	1.00932
55	30.07	1.00026	340	185.91	1.00158	2200	1203.00	1.01025
60	32.84	1.00028	350	191.38	1.00163	2400	1312.36	1.01149
65	35.54	1.00030	360	196.85	1.00168	2500	1367.04	1.01165
70	38.28	1.00033	380	207.79	1.00177	2600	1421.72	1.01212
75	41.04	1.00035	400	218.73	1.00186	2800	1531.09	1.01305
80	43.75	1.00037	450	246.07	1.00210	3000	1640.45	1.01398
85	46.48	1.00040	500	273.41	1.00233	3200	1749.81	1.01491
90	49.21	1.00042	550	300.75	1.00256	3400	1859.18	1.01585
95	51.95	1.00044	600	328.09	1.00280	3500	1913.86	1.01631
100	54.68	1.00047	650	355.43	1.00303	3600	1968.54	1.01678
110	60.15	1.00051	700	382.77	1.00326	3800	2077.90	1.01771
120	65.02	1.00056	750	410.11	1.00350	4000	2187.27	1.01864
130	71.08	1.00060	800	437.45	1.00373	4500	2460.68	1.02098
140	76.55	1.00065	850	464.79	1.00396	5000	2734.08	1.02331
150	82.02	1.00070	900	492.13	1.00419	5500	3007.49	1.02564
160	87.49	1.00074	950	519.47	1.00443	6000	3280.90	1.02797
170	92.96	1.00079	1000	546.82	1.00466	6500	3554.31	1.03030
180	98.43	1.00084	1100	601.50	1.00513	7000	3827.72	1.03263
190	103.89	1.00088	1200	656.18	1.00559	7500	4101.13	1.03496
200	109.36	1.00093	1300	710.86	1.00606	8000	4374.53	1.03729

La valeur du symbole nS_4^0 est très difficile sinon impossible à établir directement par une mesure sur place. Pour

l'obtenir dans le laboratoire, sur l'échantillon recueilli à la mer et dont on connaît par conséquent la profondeur et la température *in situ* 0, le procédé en même temps le plus simple et le plus précis consiste à prendre sa densité à 0° figurée par le symbole S_4^0 , et à appliquer au résultat les corrections de température et de pression indispensables pour lui faire exprimer nS_4^0 . L'expérience s'exécute avec toute la précision désirable et n'exige que 30 cmcb environ d'eau qui ne sont d'ailleurs pas perdus puisque après l'opération, n'ayant en rien été modifiés, ils sont encore bons pour un dosage quelconque d'halogènes ou d'acide sulfurique, par exemple.

Ce faible volume d'eau nécessaire autorise à récolter les échantillons dans des bouteilles très petites et par conséquent très légères susceptibles d'être accrochées en nombre bien plus considérable au même fil de sonde que si elles étaient grosses et lourdes. On verra plus loin que pour l'étude des courants profonds, on est obligé de posséder une série aussi nombreuse que possible d'échantillons pris sur une même verticale entre la surface et le fond. En procédant de cette façon, on profitera donc de l'avantage, surtout si l'on opère par grandes profondeurs, de ne donner qu'un ou deux coups de sonde au lieu de trois ou quatre que l'on serait forcé d'exécuter alors que l'emploi de grosses et lourdes bouteilles ferait craindre la rupture du fil de sonde. Ces considérations m'ont guidé dans la construction de la bouteille légère qui a été décrite précédemment.

On s'explique donc que pour les eaux profondes, la mesure directe de la densité par la méthode du pycnomètre s'impose malgré le temps qu'elle exige quoiqu'il ne faudrait pas d'ailleurs s'en exagérer la durée. S'il s'agit d'eaux de surface, comme on n'a pas à se préoccuper de la quantité de liquide, si l'on veut être immédiatement renseigné sur le résultat, on fera usage de l'aréomètre, procédé

plus rapide, susceptible d'être appliqué à bord mais moins précis, quelles que soient les précautions prises et qui demande au moins 1 litre de liquide. Si, même pour des eaux superficielles, on ne peut se livrer à bord à la mesure de la densité, on conserve les échantillons dans de petits flacons réunis dans des boîtes spéciales et, au retour, on les expédie au spécialiste qui en prend la densité au pycnomètre. En ce cas encore, il y aura avantage, pour diminuer les frais de transport, à ne prendre que le plus faible volume possible de liquide, ce qui interdit l'usage de l'aréomètre.

Quand on possède les densités respectives d'une série horizontale d'échantillons d'eaux de surface recueillis pendant une traversée et la connaissance exacte du lieu où a été pris chacun d'eux et de sa température, on peut obtenir sous la forme d'une sorte de profil en long, le relief de la surface de l'eau sur la ligne suivie par le bâtiment. Les hauteurs de deux liquides de densités différentes contenus dans des vases communiquants étant en raison inverse de la valeur de leurs densités, les eaux plus lourdes seront à un niveau inférieur à celui des eaux plus légères, ce qui revient à dire que le courant se dirigera des eaux plus légères vers les eaux plus lourdes. Ainsi s'explique la marche générale des eaux océaniques superficielles des côtes continentales où elles sont rendues légères par le mélange des eaux douces des fleuves, vers le centre des océans où l'évaporation les concentre et les alourdit.

Pour tracer ce profil en long, on prendra pour plan initial celui de densité 1.0000 représenté par une droite et, sur cette droite, aux distances convenables, on mènera *par-dessous*, des ordonnées proportionnelles aux densités S^0_4 mesurées qui seront évidemment d'autant plus longues et par conséquent plus basses que les densités seront plus fortes, et il ne restera plus qu'à joindre le sommet de toutes ces ordonnées pour posséder le profil cherché.

J'ai pu tracer ainsi (1) un profil en long et plusieurs profils en travers du Gulf-Stream au voisinage de Terre-Neuve. Il serait à souhaiter que l'opération fût faite d'abord sur une mer sans marées, pour plus de simplicité, sur un bassin bien délimité de la Méditerranée, par exemple. Il faudrait pour cela s'assurer le concours de marins récoltant les échantillons en mer. Les instruments seraient peu coûteux car ils se borneraient à une bouteille de surface à fabriquer sur place, un thermomètre Chabaud et une collection de flacons. Si au même moment, l'intervalle d'un mois ou d'une saison, par exemple, on pouvait avoir la surface d'un espace d'Océan criblée de points où la densité S^0_4 serait connue, on aurait par un relief tout à fait analogue à un relief hypsométrique terrestre l'ensemble de la circulation superficielle de l'eau sur cet espace d'Océan.

En sections, ou en plan, on peut donc tracer sur des cartes des lignes et des aires d'égale densité ou isopycnes sur lesquelles, selon la convention ordinaire, on passera une teinte d'encre de Chine d'autant plus foncée que la densité sera plus forte. On dresse aussi de ces cartes se rapportant à des plans menés parallèlement au niveau moyen général de l'Océan à des distances plus ou moins grandes de la surface. C'est, en résumé, la méthode du microtome appliquée à une étude de volumes.

Il importe de remarquer que les courants étant influencés par d'autres causes que la densité, les cartes par aires ou courbes isopycnes ne donneront pas l'économie tout entière de la circulation, mais seulement l'un de ses éléments qui, bien que n'étant pas l'unique à prendre en considération, surtout à la surface ou au voisinage de la surface, joue néanmoins le rôle prépondérant.

(1) J. Thoulet, *Océanographie (statique)*, p. 351.

Les naturalistes s'occupant de zoologie marine, cherchant à se rendre compte des conditions de milieu des êtres vivants objet de leurs études, se contentent de caractériser l'eau, non par sa densité mais d'après sa salinité ou quantité de sels qu'elle contient par unité de volume. Cette donnée est en apparence plus facile à comprendre et parler, en quelque sorte, mieux à l'imagination mais, comme elle n'est qu'une approximation dépourvue d'exactitude, elle ne saurait à aucun titre convenir à l'océanographie.

En premier lieu, rien n'est plus difficile à évaluer, même pour un chimiste exercé, que la quantité ou poids des sels contenus dans un échantillon d'eau de mer, pour diverses raisons dont la principale est la facile décomposition, par la chaleur, des sels de magnésie. On aurait donc tort de préférer cette donnée simplement approximative à une valeur aussi rigoureuse et aussi facile à mesurer expérimentalement que la densité.

En second lieu, l'analyse chimique prouve que l'eau de mer n'est en rien comparable à une solution dans une plus ou moins grande quantité d'eau distillée d'un mélange de sels divers uniforme quant aux proportions de chacun d'eux. Deux échantillons offrant la même densité peuvent avoir qualitativement et quantitativement une composition chimique et par conséquent une salinité différente.

Nous donnerons cependant, plus loin, une table des salinités correspondant à diverses densités d'eaux de mer ; on n'oubliera pas que les valeurs indiquées ne sont que des renseignements dénués de la rigueur indispensable à une science précise comme l'océanographie.

Il résulte de ce qui précède, que nous aurons à étudier successivement :

1. La mesure des densités par la méthode du flacon ou pycnomètre ;

2. La mesure des densités par l'aréomètre, qui comporte deux degrés de précision, soit qu'on emploie l'aréomètre du *Challenger* ou l'aréomètre moyen ;

3. Les corrections à effectuer pour ramener une densité prise à une certaine température et à la pression normale à ce qu'elle serait dans les conditions *in situ*. En d'autres termes, la correction de compressibilité dont il a été déjà parlé et la correction de température.

Prise d'une densité par la méthode du flacon ou pycnomètre. — La méthode connue consiste à prendre à 0° le poids d'un volume déterminé d'eau de mer, à + 4° le poids d'un même volume d'eau distillée et à diviser les deux valeurs trouvées l'une par l'autre. On n'entrera pas dans d'autres détails sur la méthode qui est expliquée dans tous les traités de physique.

Le pycnomètre dont je me sers a la forme connue du flacon à col effilé muni d'un repère. Vide, il pèse 35.0428 g et il contient 30.5873 g d'eau distillée à 0°. Cette température a été adoptée pour toutes les expériences parce que aucune n'est plus facile à obtenir fixe. On remplit d'eau de mer ; on laisse dans la glace un temps suffisant pour que le niveau de l'eau, jusqu'au repère, soit bien établi et on pèse. La valeur de la densité est obtenue en divisant le chiffre de cette dernière pesée par 30.5940, poids d'eau à 4° correspondant, d'après les tables de Despretz, au poids 30.5873 d'eau à 0° sous le même volume. Aucune correction n'est nécessaire, les mesures étant prises dans le même appareil. On obtient ainsi la valeur S_4^0 , d'où l'on passe, ainsi qu'il sera indiqué plus loin, à la valeur $n S_4^0$.

Aréomètre du « Challenger ». — Cet instrument, dû au professeur I. Y. Buchanan, a été employé pour la première fois à bord du *Challenger* pendant toute sa campagne de

1873 à 1876. Il est à volume variable (1) et à poids variable entre certaines limites; il donne la densité d'un liquide avec quatre décimales exactes. Son erreur instrumentale moyenne, mesurée sur un grand nombre d'instruments, est d'environ 0.00002, de sorte qu'après correction, il fournit la densité d'une eau de mer avec une erreur inférieure à 0.00005, l'affleurement étant établi à 0.5 division de la tige et la température évaluée au 0.1 degré. Il est combiné de façon à ce qu'un seul instrument, peu volumineux, laisse reconnaître des densités comprises entre 0.99390 et 1.12140 environ, à 0°, ce qui est un très grand avantage en voyage. Il n'indique cependant pas immédiatement la densité mais, dans chaque expérience, comme il permet d'évaluer très exactement le volume qui est immergé et que, d'autre part, on connaît son poids, la densité cherchée s'obtient en divisant ce poids par le volume d'après la formule $D = \frac{P}{V}$.

La lettre D représente la densité rapportée à l'eau distillée à son maximum de densité, c'est-à-dire à la température de + 4°.

Je décrirai ici l'instrument que j'emploie numéroté 1. Chaque instrument devant être étalonné directement, les indications données pourront servir à en fabriquer d'autres sans qu'il soit nécessaire de s'astreindre à obtenir des dimensions absolument identiques à celles qui seront citées.

L'aréomètre est en verre; sa tige cylindrique, parfaitement calibrée, a un diamètre d'environ 3 mm et une longueur de 12 à 13 cm; le volume de sa portion renflée est de 150 mm environ. Plongé dans de l'eau distillée récemment bouillie, à 16°, le liquide affleure jusqu'au bas de la tige. La tige peut supporter, à son sommet, un plateau en

(1) J. Thoulet, *Guide d'océanographie pratique*. Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire publiés sous la direction de M. Léauté. Masson-Gauthier-Villars, Paris, p. 162.

nickel d'un poids tel qu'il oblige l'aréomètre qui, sans lui, enfonçait dans l'eau à 16° jusque vers la division 100, au bas de la tige, à enfoncer jusque vers la division 0, au haut de la tige. Enfin, six poids additionnels en forme d'anneaux plats peuvent s'enfiler sur le plateau, isolément ou plusieurs à la fois, et leur série est combinée de telle sorte que chacun d'eux fait enfoncer jusqu'au haut de la tige l'aréomètre dans un liquide où, avec le poids immédiatement inférieur, il n'enfonçait que jusqu'au bas de cette tige.

L'instrument ainsi construit est étalonné en déterminant le volume de 1 division de la tige, le volume du corps à diverses températures, le volume immergé V à la température de 0° pour chaque division de la tige, la correction à ajouter au volume immergé à 0° pour chaque degré centigrade de 1 à 30°, et enfin la valeur du plateau et des poids additionnels (1).

Chaque instrument est accompagné de tables du genre des suivantes qui ne s'appliquent qu'à mon aréomètre mais qui serviront à montrer, par un exemple, comment s'effectue le calcul d'une densité.

ARÉOMÈTRE N° 1.

A) Poids de l'aréomètre et du plateau et valeur des poids supplémentaires.

Poids de l'aréomètre (réduit au vide)	$\pi = 152.4085$
Poids du plateau	$= 0.8598$
Poids I.	$= 0.8796$
Poids II.	$= 1.6696$
Poids III.	$= 2.5298$
Poids IV.	$= 3.3894$
Poids V.	$= 4.2199$
Poids VI.	$= 4.9290$
$\pi + \text{plateau}$	$= 153.2683$
$\pi + \text{plateau} + \text{I.}$	$= 154.1479$

(1) Voy. pour plus de détails à ce sujet : J. Thoulet, *Océanographie (statique)*, p. 330, et *Note sur l'aréomètre et le thermomètre destinés aux observations océanographiques*, Bull. de la Société de géographie de Paris, t. XII, p. 362-376, 1891.

π + plateau + II	= 154.9379
π + plateau + III	= 155.7981
π + plateau + IV.....	= 156.6587
π + plateau + V.....	= 157.4882
π + plateau + VI.....	= 158.4973

B) Volume immergé à la température 0° pour chaque division de la tige.

DIVI- SION.	VOLUME.	DIVI- SION.	VOLUME.	DIVI- SION.	VOLUME.	DIVI- SION.	VOLUME.
100	152.3750	74	152.6277	48	152.8804	22	153.1332
99	3847	73	6374	47	8902	21	1429
98	3944	72	6472	46	8999	20	1526
97	4042	71	6569	45	9096	19	1623
96	4139	70	6666	44	9193	18	1720
95	4236	69	6763	43	9290	17	1818
94	4333	68	6860	42	9388	16	1915
93	4430	67	6958	41	9485	15	2012
92	4528	66	7055	40	9582	14	2109
91	4625	65	7152	39	9679	13	2206
90	4722	64	7249	38	9776	12	2304
89	4819	63	7346	37	9874	11	2401
88	4916	62	7444	36	9971	10	2498
87	5014	61	7541	35	153.0068	9	2595
86	5111	60	7638	34	0165	8	2692
85	5208	59	7735	33	0262	7	2790
84	5305	58	7832	32	0360	6	2887
83	5402	57	7930	31	0457	5	2984
82	5500	56	8027	30	0554	4	3081
81	5597	55	8124	29	0651	3	3178
80	5694	54	8221	28	0748	2	3276
79	5791	53	8318	27	0846	1	3373
78	5888	52	8416	26	0943	0	153.3470
77	5986	51	8513	25	1040	»	»
76	6083	50	8610	24	1137	»	»
75	152.6180	49	152.8707	23	153.1234	»	»

Volume d'une demi-division = 0.0048.

C) Correction à ajouter au volume immergé à 0°
pour chaque degré centigrade de 0° à 30°.

<i>t.</i>	CORREC- TION.	<i>t.</i>	CORREC- TION.	<i>t.</i>	CORREC- TION.	<i>t.</i>	PARTIES proportion- nelles pour $\frac{t}{10}$ de degré.
	cmcb		cmcb		cmcb		
1	0.0058	11	0.0637	21	0.1216	0.1	0.0006
2	0116	12	0695	22	1274	0.2	0012
3	0174	13	0753	23	1332	0.3	0017
4	0232	14	0811	24	1390	0.4	0023
5	0289	15	0868	25	1447	0.5	0029
6	0347	16	0926	26	1505	0.6	0035
7	0405	17	0984	27	1563	0.7	0040
8	0463	18	1042	28	1621	0.8	0046
9	0521	19	1100	29	1679	0.9	0052
10	0579	20	1158	30	1737		

L'eau est recueillie dans un seau en bois ou en toile et à l'avant du navire afin d'être aussi pure que possible ; le seau est d'abord agité pendant quelques instants dans la mer afin qu'il se mette en équilibre de température ; on remonte l'eau et on prend aussitôt sa température au dixième de degré.

On rince l'éprouvette (*fig. 43*) avec une portion de l'eau du seau, on la vide, on la remplit et on la suspend par une cordelette à un crochet fixé au plafond : on saisit l'aréomètre par l'extrémité de la tige en évitant de toucher la tige elle-même avec les doigts toujours un peu gras, on l'immerge en le surchargeant, s'il y a lieu, des poids supplémentaires convenables, on lui communique une légère poussée de haut en bas afin de lui

Fig. 43.

faire dépasser le point d'affleurement; on peut même lui donner un faible mouvement de rotation autour de son axe, ce qui amortit rapidement ses oscillations verticales; on l'abandonne à lui-même; si quelque bulle d'air y adhère, il est facile de s'en débarrasser par une secousse ou en sortant en partie l'instrument hors de l'eau. Dès qu'il est fixe, on lit par transparence en plaçant obliquement l'œil *au-dessous* du niveau de l'eau contenue dans l'éprouvette, la division atteinte par l'eau contre la tige.

Soit par exemple à chercher la densité $S_t^{14.3}$ d'une eau de mer à 14.3° dans laquelle l'aréomètre chargé du plateau et du poids supplémentaire IV enfonce jusqu'à la 65^e division.

Poids aréom. + plateau + IV (table A) =	156.6587
Volume à 0° jusqu'à la division 65 (table B).... =	152.7152
Correction pour 14° (table C)..... =	0.0811
Correction pour 0°.3 (table C)..... =	0.0017
	<hr/> 152.7980

$$S_t^{14.3} = \frac{156.6587}{152.7980} = 1.025266$$

Il est bien entendu que chaque aréomètre possédant sa propre graduation, il faudra pour chaque instrument, recourir aux tables qui lui sont spéciales. L'aréomètre fournit un poids et un volume précis et l'on sait que la densité $D = \frac{P}{V}$ est le quotient de la première quantité par la seconde.

Après l'expérience, l'aréomètre est essuyé avec un linge fin sec, remis dans sa boîte, l'éprouvette est vidée et essuyée afin d'éviter la présence des cristaux de sel qui ne manqueraient pas de se former par évaporation et de se redissoudre dans l'eau de l'expérience suivante. On aura soin de ne jamais laisser le thermomètre dans l'eau de l'éprouvette pendant que l'aréomètre y est plongé; le

point d'affleurement de ce dernier serait changé et la densité ainsi obtenue serait erronée.

La mesure n'a pas exigé plus de deux à trois minutes pour être exécutée, et cinq minutes à peine se sont écoulées depuis que l'eau a quitté la mer; sa température n'a donc pas varié d'une manière sensible. Si pourtant l'on soupçonnait et l'on constatait par le thermomètre au $1/10$ que celle-ci a varié de plus de $1/2$ degré et de moins de 1° , on inscrirait au tableau la température de l'expérience et on calculerait la densité en admettant comme vraie la moyenne arithmétique des températures.

Aréomètre moyen. — L'aréomètre moyen possède une sensibilité environ quatre fois moindre que celle de l'aréomètre de Buchanan. Son prix est moins élevé. C'est à l'opérateur à juger les circonstances où il conviendra de l'employer et si l'avantage d'un prix inférieur et d'une opération qui étant moins précise exige moins de précautions et par conséquent moins de temps que la prise d'une densité avec l'aréomètre du *Challenger* compense, dans le cas spécial auquel on a affaire, le désavantage d'une précision moindre.

L'aréomètre moyen donne la densité S° d'un liquide entre 1.0000 et 1.0292 environ avec une erreur maximum bien rarement atteinte de 0.0002.

L'échelle de sa tige comporte 75 divisions, chacune distante de la suivante de 1.5 millimètres.

Il n'a généralement qu'un seul poids supplémentaire en nickel. Cependant rien n'empêche d'en avoir un second plus lourd que le premier et qui ajoute aux densités qu'il est possible de prendre avec l'instrument toutes celles qui correspondent à une nouvelle longueur de tige.

L'emploi de ces surcharges est très avantageux parce qu'il dispense d'employer une série d'instruments en verre, coûteux non seulement à cause de leur fabrication

mais encore à cause de leur étalonnage, contenus dans une boîte nécessairement plus volumineuse et présentant de plus grandes chances de rupture.

Pour prendre une densité, on opère absolument comme avec l'aréomètre de Buchanan.

On fait la lecture à la demi-division près; on cherche dans les tables jointes à chaque instrument la densité à la température de zéro à laquelle correspond la division où s'est fait l'affleurement, on prend la température θ au degré près, on cherche dans les tables la correction à soustraire, pour cette température, de la densité lue et on obtient ainsi la densité S_4^0 .

Soit, par exemple, à chercher la densité S_4^{18} d'une eau de mer à 18° dans laquelle l'aréomètre moyen n° 2, muni d'un capuchon, affleure à la division 37.5

Densité si l'eau était à 0° , S_4^0 (table B).....	1.0217
Pour 0.5 divisions.....	<u>0.0001</u>
	1.0218
A retrancher pour 18° (table C).....	<u>0.0005</u>
	$S_4^{18} = 1.0213$

Si l'instrument possède un second poids surcharge, il faudra évidemment une troisième table.

L'aréomètre moyen est à recommander dans les stations fixes; phares ou bateaux-feux ainsi qu'à bord des bâtiments faisant comme les paquebots, des observations régulières le long d'un même trajet. Pour des recherches plus précises, véritablement scientifiques, un aréomètre Buchanan est indispensable et, ce qui vaut mieux encore, il faut recueillir sur place un échantillon d'eau, en prendre exactement la température, le conserver et, au retour, en prendre ou en faire prendre la densité au pycnomètre et l'analyser au moins au point de vue de sa teneur en halogènes et en acide sulfurique.

A) *Aréomètre moyen n° 2 sans poids supplémentaire.*

DIVISION.	DENSITÉ S ⁰ ₄.	DIVISION.	DENSITÉ S ⁰ ₄.	DIVISION.	DENSITÉ S ⁰ ₄.
0	1.0000	26	1.0049	52	1.0099
1	0002	27	0051	53	0101
2	0003	28	0053	54	0103
3	0005	29	0055	55	0105
4	0007	30	0057	56	0107
5	0009	31	0059	57	0109
6	0011	32	0061	58	0110
7	0013	33	0062	59	0112
8	0015	34	0064	60	0114
9	0017	35	0066	61	0116
10	0019	36	0068	62	0118
11	0021	37	0070	63	0120
12	0022	38	0072	64	0122
13	0024	39	0074	65	0124
14	0026	40	0076	66	0126
15	0028	41	0078	67	0128
16	0030	42	0080	68	0130
17	0032	43	0082	69	0132
18	0034	44	0084	70	0134
19	0036	45	0086	71	0136
20	0038	46	0087	72	0138
21	0040	47	0089	73	0140
22	0041	48	0091	74	0142
23	0043	49	0093	75	1.0144
24	0045	50	0095		
25	1.0047	51	1.0097		

B) *Aréomètre moyen n° 2 avec poids supplémentaire.*

DIVISION.	DENSITÉ S°.	DIVISION.	DENSITÉ S°.	DIVISION.	DENSITÉ S°.
0	1.0146	26	1.0196	52	1.0246
1	0148	27	0198	53	0248
2	0150	28	0200	54	0250
3	0152	29	0202	55	0252
4	0153	30	0204	56	0254
5	0155	31	0206	57	0256
6	0157	32	0208	58	0258
7	0159	33	0209	59	0260
8	0161	34	0211	60	0262
9	0163	35	0213	61	0264
10	0165	36	0215	62	0266
11	0167	37	0217	63	0268
12	0169	38	0219	64	0270
13	0171	39	0221	65	0272
14	0173	40	0223	66	0274
15	0175	41	0225	67	0276
16	0177	42	0227	68	0278
17	0178	43	0229	69	0280
18	0180	44	0231	70	0282
19	0182	45	0233	71	0284
20	0184	46	0235	72	0286
21	0186	47	0237	73	0288
22	0188	48	0239	74	0290
23	0190	49	0241	75	1.0292
24	0192	50	0243		
25	1.0194	51	1.0244		

Différence de densité correspondant à deux divisions successives
= 0.000195

Différence de densité correspondant à une demi-division
= 0.00010

C) Correction à retrancher à la densité S^0_4 pour chaque degré centigrade de 0° à 30° .

θ .	CORREC- TION.	θ .	CORREC- TION.	θ .	CORREC- TION.	θ .	CORREC- TION.	θ .	CORREC- TION.
1	0.0000	7	0.0002	13	0.0003	19	0.0005	25	0.0007
2	0001	8	0002	14	0004	20	0005	26	0007
3	0001	9	0002	15	0004	21	0005	27	0007
4	0001	10	0003	16	0004	22	0006	28	0007
5	0001	11	0003	17	0004	23	0006	29	0008
6	0.0002	12	0.0003	18	0.0005	24	0.0006	30	0.0008

Correction de température. — Il a déjà été parlé de la correction de compressibilité, nous n'avons donc plus à nous occuper que de la correction de température. En définitive, il s'agit de passer de la densité S^t_4 d'un échantillon à la température t à la densité qu'aurait ce même échantillon S^0_4 à la température θ .

La façon de beaucoup la plus rapide d'effectuer cette correction consiste à employer un graphique construit expérimentalement de la manière suivante (1) :

On a tracé sur un papier quadrillé (*fig. 44*) en millimètres, mesurant 400×800 mm, deux axes rectangulaires. Sur l'axe des y , en ordonnées, sont marquées les densités depuis 0.9950 jusqu'à 1.0350, la quatrième décimale étant assurée par la division millimétrique tracée et l'approximation de la cinquième décimale par l'évaluation à l'œil du dixième de millimètre. L'axe des x correspond en

(1) J. Thioulet, *Océanographie, détermination de la densité de l'eau de mer*. Résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897, 1898, 1899. Anvers, 1901.

abscisses aux températures depuis -5° jusqu'à 35° et permet par conséquent l'évaluation précise du dixième de degré et, par approximation, du demi-dixième.

Fig. 44.

en ordonnée. La surface du papier quadrillé a été ainsi criblée de points obtenus avec des eaux de mer différentes, chaque échantillon étant en outre expérimenté après avoir été soit étendu d'eau distillée, soit concentré par évaporation. Entre tous ces points on a tracé graphiquement une série de courbes dont chacune correspond, par exemple, à une différence de densité de 0.00250 à la température de 10° .

Pour passer d'une valeur de S^t_4 à S^0_4 , on place la valeur trouvée pour S^t_4 sur l'ordonnée correspondant à l'abscisse t entre les deux courbes les plus voisines, l'une en dessus, l'autre en dessous. On repère les trois points sur une bande de papier et avec la même bande, on obtient la valeur de S^0_4 en partageant proportionnellement l'intervalle des deux mêmes courbes suivant l'ordonnée correspondant à

On a pris un échantillon d'eau de mer, on en a rempli la large éprouvette de l'aréomètre de Buchanan, on a porté successivement à des températures bien déterminées dans des bains liquides divers, de glace fondante et même de mélanges réfrigérants. Dès que le thermomètre plongé dans l'échantillon a indiqué une température constante, quelle qu'elle soit, on a mesuré la densité en immergeant l'aréomètre Buchanan. On a pointé le résultat obtenu sur le graphique à la place marquée par sa température, en abscisse, et sa densité

TABLEAU DES SALINITÉS

(Knudsen, *Hydrographische Tabellen*. Kopenhagen, G. E. G. Gad 1901).

S ₄ ⁰	Q	S ₄ ⁰	Q	S ₄ ⁰	Q	S ₄ ⁰	Q
1.00140	1.84	1.00290	3.68	1.00440	5.54	1.00590	7.39
45	90	95	73	45	59	95	45
1.00150	96	1.00300	80	1.00450	65	1.00600	50
55	2.02	05	87	55	72	05	57
60	08	10	93	60	78	10	63
65	14	15	99	65	84	15	69
70	20	20	4.06	70	90	20	76
75	27	25	11	75	97	25	82
80	32	30	17	80	6.02	30	88
85	35	35	24	85	09	35	94
90	45	40	30	90	15	40	8.01
95	50	45	36	95	21	45	06
1.00200	58	1.00350	42	1.00500	28	1.00650	13
05	63	55	49	05	33	55	19
10	70	60	54	10	39	60	25
15	76	65	61	15	46	65	31
20	82	70	67	20	52	70	37
25	88	75	72	25	58	75	44
30	94	80	80	30	64	80	50
35	3.01	85	85	35	71	85	56
40	06	90	91	40	76	90	62
45	13	95	98	45	83	95	69
1.00250	19	1.00400	5.04	1.00550	89	1.00700	75
55	25	05	10	55	95	05	80
60	32	10	16	60	7.02	10	87
65	37	15	23	65	07	15	93
70	43	20	28	70	14	20	99
75	50	25	35	75	20	25	9.06
80	55	30	41	80	26	30	12
85	62	35	47	85	32	35	18

TABLEAU DES SALINITÉS

(Suite).

S ₄	Q	S ₄	Q	S ₄	Q	S ₄	Q
1.00740	9.24	1.00890	11.09	1.01040	12.95	1.01190	14.82
45	31	95	16	45	13.03	95	89
1.00750	36	1.00900	22	1.01050	08	1.01200	94
55	43	05	29	55	14	05	15.01
60	49	10	35	60	21	10	07
65	55	15	41	65	27	15	14
70	61	20	47	70	33	20	19
75	67	25	53	75	39	25	26
80	74	30	60	80	46	30	32
85	80	35	65	85	51	35	38
90	86	40	72	90	58	40	44
95	92	45	78	95	64	45	50
1.00800	99	1.00950	84	1.01100	70	1.01250	57
05	10.05	55	91	05	77	55	64
10	10	60	96	10	83	60	69
15	17	65	12.03	15	89	65	75
20	23	70	09	20	95	70	82
25	29	75	15	25	14.02	75	88
30	35	80	21	30	07	80	94
35	42	85	28	35	14	85	16.00
40	48	90	34	40	20	90	06
45	54	95	39	45	26	95	13
1.00850	61	1.01000	47	1.01150	33	1.01300	18
55	66	05	52	55	39	05	25
60	73	10	58	60	45	10	31
65	79	15	65	65	51	15	38
70	85	20	71	70	58	20	44
75	91	25	77	75	63	25	50
80	97	30	84	80	70	30	56
85	11.04	35	90	85	76	35	62

TABLEAU DES SALINITÉS

(Suite).

S ^o ₄	Q	S ^o ₄	Q	S ^o ₄	Q	S ^o ₄	Q
1.01340	16.69	1.01490	18.55	1.01640	20.42	1.01790	22.29
45	74	95	61	45	48	95	34
1.01350	81	1.01500	68	1.01650	53	1.01800	41
55	87	05	74	55	61	05	47
60	93	10	80	60	66	10	54
65	17.00	15	86	65	73	15	59
70	06	20	93	70	79	20	66
75	12	25	98	75	85	25	72
80	18	30	19.05	80	91	30	78
85	26	35	11	85	98	35	85
90	30	40	17	90	21.04	40	91
95	37	45	24	95	10	45	97
1.01400	43	1.01550	30	1.01700	17	1.01850	23.03
05	49	55	36	05	22	55	10
10	56	60	42	10	29	60	15
15	62	65	49	15	35	65	22
20	68	70	54	20	41	70	28
25	74	75	61	25	47	75	34
30	81	80	67	30	54	80	40
35	86	85	73	35	60	85	47
40	93	90	79	40	66	90	53
45	99	95	86	45	73	95	59
1.01450	18.05	1.01600	92	1.01750	78	1.01900	66
55	13	05	98	55	85	05	71
60	18	10	20.05	60	91	10	78
65	21	15	10	65	97	15	84
70	30	20	17	70	22.03	20	90
75	37	25	23	75	10	25	96
80	42	30	29	80	16	30	21.03
85	49	35	35	85	22	35	09

TABLEAU DES SALINITÉS

(Suite).

S° ₄	Q	S° ₄	Q	S° ₄	Q	S° ₄	Q
1.01940	24.14	1.02090	26.02	1.02240	27.88	1.02390	29.75
45	22	95	08	45	95	95	81
1.01950	27	1.02100	14	1.02250	28.00	1.02400	88
55	34	05	20	55	07	05	94
60	40	10	27	60	13	10	99
65	46	15	33	65	20	15	30.07
70	52	20	39	70	26	20	12
75	59	25	46	75	31	25	18
80	65	30	51	80	39	30	25
85	70	35	58	85	44	35	31
90	78	40	64	90	50	40	37
95	83	45	71	95	57	45	44
1.02000	90	1.02150	76	1.02300	63	1.02450	50
05	96	55	83	05	69	55	55
10	25.02	60	89	10	76	60	62
15	08	65	95	15	82	65	68
20	15	70	27.01	20	87	70	74
25	21	75	08	25	95	75	81
30	27	80	14	30	29.00	80	87
35	34	85	20	35	06	85	93
40	39	90	27	40	13	90	31.00
45	46	95	32	45	19	95	06
1.02050	52	1.02200	39	1.02350	25	1.02500	11
55	58	05	45	55	32	05	18
60	64	10	51	60	38	10	24
65	71	15	57	65	43	15	30
70	77	20	64	70	51	20	36
75	83	25	70	75	56	25	43
80	90	30	75	80	62	30	49
85	95	35	83	85	69	35	56

TABLEAU DES SALINITÉS

(Suite).

S° ₄	Q	S° ₄	Q	S° ₄	Q	S° ₄	Q
1.02540	31.62	1.02690	33.48	1.02840	35.34	1.02990	37.19
45	67	95	54	45	40	95	27
1.02550	74	1.02700	60	1.02850	46	1.03000	32
55	80	05	67	55	53	05	39
60	86	10	73	60	59	10	45
65	92	15	78	65	65	15	51
70	99	20	86	70	71	20	57
75	32.05	25	91	75	77	25	63
80	41	30	97	80	84	30	70
85	48	35	34.04	85	90	35	75
90	23	40	10	90	96	40	82
95	30	45	16	95	36.02	45	88
1.02600	36	1.02750	23	1.02900	09	1.03050	95
05	42	55	29	05	15	55	38.01
10	48	60	34	10	20	60	06
15	55	65	42	15	27	65	13
20	61	70	47	20	33	70	19
25	67	75	53	25	39	75	25
30	74	80	60	30	45	80	31
35	79	85	66	35	52	85	38
40	86	90	72	40	58	90	44
45	92	95	78	45	64	95	49
1.02650	98	1.02800	85	1.02950	71	1.03100	57
55	33.04	05	90	55	76	05	62
60	41	10	97	60	83	10	69
65	47	15	35.03	65	89	15	75
70	22	20	09	70	95	20	81
75	30	25	16	75	37.01	25	87
80	35	30	21	80	08	30	93
85	41	35	28	85	14	35	39.00

TABLEAU DES SALINITÉS

(Suite):

S^0_4	Q	S^0_4	Q	S^0_4	Q	S^0_4	Q
1.03140	39.05	1.03195	39.74	1.03245	40.35	1.03295	40.97
45	12	1.03200	79	1.03250	42	1.03300	41.04
1.03150	18	05	86	55	48	05	09
55	24	10	92	60	54	10	16
60	31	15	98	65	61	15	22
65	36	20	10.05	70	66	20	28
70	43	25	11	75	72	25	35
75	49	30	17	80	79	30	40
80	55	35	23	85	85	35	47
85	61	40	30	90	91	40	53
90	68						

Q représente le poids en grammes du sel contenu dans 1000 g d'eau de mer de densité S^0_4 .

l'abscisse de température θ . Il ne reste plus alors qu'à lire sur l'axe des y la densité cherchée (1).

H. -- Marées et seiches.

L'étude des marées est tellement spéciale que, sauf dans ses très grandes lignes, elle est bien moins du domaine de l'océanographe que de celui de l'hydrographe et encore,

(1) Le graphique de réduction des densités se trouve à la fin du mémoire que j'ai publié dans les Résultats du voyage de la *Belgica*. M. Thurneysen, rue Monsieur-le-Prince, 58, à Paris, possède un tirage à part de ce graphique.

parmi ces derniers, ceux qui s'occupent des marées constituent presque une spécialité parmi leurs collègues. Il ne sera donc, pour cette raison, parlé ici de ce sujet qu'au point de vue essentiellement pratique et restreint des réductions de sondages susceptibles de concerner les océanographes.

Les observations continues de marées se font avec un marégraphe, appareil fixe établi dans un édifice particulier et qui, par conséquent, ne se trouve que dans un nombre restreint de ports. Les observations temporaires exigent un personnel nombreux tant pour l'installation d'une échelle de marées que pour les observations qui doivent être exécutées d'une manière régulière pendant plusieurs journées, aussi bien de jour que de nuit. Ce travail est possible à des hydrographes ou à des officiers de marine ayant à leur disposition des ressources en matériel et en personnel; elles sont hors de la portée d'un océanographe qui, le plus souvent, travaille seul. En pleine mer l'action des marées n'est pas perceptible et hors de la vue de terre, l'incertitude fatale dans la détermination exacte du lieu même du sondage à l'aide des observations astronomiques rend illusoire la correction relative aux marées qu'on voudrait faire subir aux cotes de sondage. En pleine mer, on se bornera donc à enregistrer ces dernières telles qu'elles auront été obtenues. En Méditerranée, sauf en quelques points, les marées sont insignifiantes, mais il en est autrement sur les côtes de l'Océan. En France, on est convenu de rapporter les sondages et, par conséquent, le plan et le modelé du sol sous-marin au niveau des plus basses eaux possibles. Les Anglais, au contraire, rapportent leurs cartes au niveau des plus basses marées de syzygies. La convention française est pratiquement préférable, car avec les cartes du Dépôt de la Marine, un bâtiment est assuré de ne jamais trouver sous sa quille moins d'eau qu'il n'y en a d'indiquée,

précieuse garantie que ne possèdent pas les cartes anglaises.

La plus grande partie des côtes du globe a déjà été levée hydrographiquement d'une manière plus ou moins complète pour les besoins de la navigation. La tâche de l'océanographe se borne donc à vérifier le degré de confiance à accorder à une carte déjà faite, et à reconnaître s'il y a lieu de compléter celle-ci. Par le fait même de posséder un plan du lieu où il opère, il peut le plus souvent être renseigné sur le régime des marées qui a certainement dû être étudié par les hydrographes. Le plus sûr pour lui sera de construire lui-même, par sondages, une petite portion du relief du plan et à voir si les résultats concordent. L'opération s'exécute assez rapidement surtout si les circonstances ne sont pas trop défavorables, pour que les écarts soient peu sensibles, puisqu'il ne s'agit que de quelques coups de sonde répartis sur un espace restreint et de faible profondeur. S'il y a accord avec le plan déjà fait, il est rassuré; s'il est en désaccord, il aurait en général tort d'entreprendre de lever lui-même un plan très précis, à moins qu'il ne soit un spécialiste et ne possède les ressources suffisantes. Il se contentera, à chacun de ses propres coups de sonde ayant pour objet la récolte d'un échantillon du fond destiné à la carte lithologique, ou d'un échantillon d'eau ou la mesure d'une température, de noter exactement la longueur obtenue, en même temps que la date et l'heure exacte de l'opération et de soumettre ses résultats à un service hydrographique qui se chargera de la rectification des cotes de profondeur. Il en serait de même s'il lui arrivait de découvrir inopinément sur un plan d'ailleurs très exact, quelque haut-fond ou quelque dépression passés inaperçus; il se bornerait à relier à une cote précédemment établie. A portée d'un marégraphe, le problème serait considérablement simplifié.

Dans un lac, l'importance des marées est nulle; celle

des seiches l'est à peu près quant à ce qui touche à la topographie. Il suffira tout au plus, en commençant un sondage de lac, de rattacher le niveau de l'eau à un repère terrestre aussi stable que possible, à un mur de quai ou à une pierre remarquable et d'assez grandes dimensions pour qu'on soit sûr qu'elle ne sera pas de longtemps déplacée, comme, par exemple, la Pierre du Niton, qui sert de repère pour le niveau du lac de Genève et même pour le nivellement de la Suisse entière.

Néanmoins, il n'est pas inutile d'exposer succinctement la façon dont procèdent les hydrographes pour établir le niveau initial des plus basses mers.

Dans un coin à l'abri des grosses vagues et cependant bien en communication avec la mer, position dont le choix lui-même exige une certaine habitude de ces opérations, trois ou quatre décimètres au moins au-dessous du niveau présumé des plus basses eaux, on dispose une échelle de marées, pièce de bois verticale, solidement assujettie dans le sol, et peinte de couleurs différentes de décimètre en décimètre. On la repère par rapport à plusieurs points remarquables choisis sur le rivage.

Un homme de service installé à bonne portée de vue de l'échelle, note de quart d'heure en quart d'heure et, si possible, pendant vingt-quatre heures consécutives, la division de l'échelle où affleure le niveau de l'eau. Il observe aussi, plusieurs fois par jour, la direction et la force du vent ainsi que la hauteur barométrique.

Ces données étant acquises pendant le temps le plus long possible, sont reportées sur un papier quadrillé, où les heures sont en abscisses, et les hauteurs d'eau en ordonnées; on détermine ainsi graphiquement, et d'autant plus exactement que les observations auront été plus prolongées, le niveau des plus basses mers, le niveau moyen de l'eau et les inégalités diurnes de la marée. La comparaison du graphique connaissant l'heure où un sondage aura

été exécuté, permettra de faire subir la correction convenable aux cotes de profondeur trouvées.

En outre de ces indications, on ne manquera pas, surtout si on se livre à des opérations sommaires, de noter sur la côte, par comparaison avec un point remarquable aussi permanent que possible, tel qu'une tête de rocher, la limite sur la plage des plus hautes pleines mers, le plus souvent assez facile à reconnaître grâce à une coloration particulière des roches disposée en bande horizontale ou d'après la végétation. Parfois même, l'océanographe se trouvera peu éloigné de la vérité en établissant, pour le jour même de son étude, la différence de niveau entre la plus basse et la plus haute mer sur la plage. Puis, si les marées sont régulières, après avoir noté en temps les heures de l'étalement de pleine mer et de l'étalement de basse mer suivante, il emploiera la table de réduction suivante :

1 heure avant ou après l'étalement de basse mer 0.1 de la marée totale.				
2	—	—	0.25	—
3	—	—	0.50	—
4	—	—	0.75	—
5	—	—	0.90	—
6	—	—	1.00	—

Cette réduction fournit la basse mer du jour qui, par l'emploi de l'inégalité demi-mensuelle de hauteur que l'on trouve dans les tables nautiques, est susceptible d'être réduite, d'une manière approchée, en basse mer de syzygie.

Pour les motifs indiqués précédemment, les marégraphes ne seront pas décrits. Ils consistent essentiellement en un flotteur subissant les influences des variations du niveau de l'eau et les inscrivant sur un papier se déroulant régulièrement sous l'action d'un mouvement d'horlogerie. Nous nous bornerons à mentionner les seiches qui se font sentir sur la mer et surtout dans les lacs où, par suite de la faible superficie de ceux-ci, elles possèdent une influence sur la

hauteur de l'eau et le plemynamètre, instrument très simple servant à mesurer ces oscillations de niveau.

Les seiches sont des ondulations fixes qui se manifestent par des changements de niveau s'accomplissant à intervalles de temps réguliers. Elles sont longitudinales ou transversales par rapport à la disposition du lac, uninodales, binodales ou mixtes (1) et elles sont dues aux perturbations atmosphériques, variations de pression, vents verticaux et obliques, orages, cyclones, trombes et secousses de tremblement de terre.

Les seiches s'enregistrent au moyen des limnimètres et mieux des limnographes. Le Dr F.-A. Forel a imaginé dans ce but un instrument excessivement simple, à l'aide duquel on constate l'existence des seiches et on en note le rythme. Le seul inconvénient du plemynamètre est d'exiger la présence continuelle et l'attention assidue d'un observateur.

Le plemynamètre, qui décèle les variations de niveau les plus faibles d'une masse d'eau, se compose (*fig. 45*) d'un tube de verre de 7 mm de diamètre et de 30 cm de lon-

Fig. 45.

gueur, raccordé à deux tubes de caoutchouc de même diamètre. On met le premier en communication avec le lac, le second, plus court, avec un bassin en partie rempli d'eau, de sorte que l'ensemble constitue un siphon. Dans le tube,

(1) Voy. J. Thoulet, *Océanographie (dynamique)*, p. 71.

aux deux extrémités duquel on a inséré deux spirales en fil de laiton, afin de l'empêcher de sortir, on introduit une boulette de cire de dimension convenable pour parcourir sans difficulté de bout en bout le tube et lestée de quelques grains de sable afin de lui donner exactement la densité de l'eau. On amorce le siphon. Si le lac et le bassin possèdent le même niveau, la boulette demeure immobile en un point quelconque du tube horizontal. Dans le cas où le niveau du lac s'abaisse, l'eau passe lentement du bassin dans le lac et la boule va se coller contre la spirale, à l'extrémité du tube regardant le lac. Elle occupe l'extrémité opposée dans le cas contraire. Quelle que soit sa position, elle y demeure immobile tant que dure, dans le même sens, le courant de l'eau qui l'entraîne, pour s'éloigner dans le sens opposé, dès que le courant change de sens, par suite du niveau du lac s'élevant et envoyant au contraire de l'eau dans le bassin. Il ne reste plus qu'à noter les instants où chacun de ces deux phénomènes se produit pour construire un graphique. Cet appareil, en même temps si simple et si délicat, rendrait encore de plus grands services s'il pouvait enregistrer, ce qui ne semble pas devoir présenter de sérieuses difficultés.

K. — Vagues.

Considérations générales. — L'étude des vagues n'a guère été faite, jusqu'à présent, qu'au point de vue théorique, et les quelques auteurs qui se sont occupés d'expériences et de mesures directes à la mer, le commandant Cialdi, l'amiral Paris et son fils, et d'autres, semblent n'avoir pas poussé leurs recherches autant qu'elles auraient pu l'être. Les procédés ordinaires de mesure des éléments des vagues sont d'une précision médiocre, et les trace-vagues n'ont été utilisés qu'au voisinage de la terre alors que les

vagues déjà assez désordonnées à cause de la façon dont elles se combinent lorsqu'elles viennent de deux ou même de trois directions différentes, ce qui est d'ailleurs le cas de beaucoup le plus fréquent, le sont encore davantage par suite de l'exhaussement du fond et des réflexions contre certaines parties des rivages. Il serait indispensable que les vagues fussent étudiées en pleine mer à l'aide d'appareils précis et, si possible, enregistreurs. L'emploi de trace-vagues obligerait, il est vrai, le navire à s'arrêter. Un problème intéressant serait la mesure directe de l'action des vagues sur le fond et la profondeur limite à laquelle cette action se fait sentir. Aimé avait commencé cette étude avec l'ingéniosité de méthode si caractéristique de ses diverses œuvres; malheureusement la mort est venue arrêter des travaux si bien commencés et qu'il serait si désirable de voir reprendre.

Trace-vagues. — En 1867, l'amiral Paris et son fils avaient imaginé un trace-vagues basé sur la diminution très rapide que subit en profondeur le mouvement des vagues. L'instrument se composait d'une perche de 11.60 m, en bois de sapin, lestée de façon à se maintenir droite et sensiblement immobile dans l'eau, dont elle dépassait la surface de 2.50 m environ. Un flotteur de surface porté par les eaux montait et descendait le long de cette tige et son mouvement était indiqué d'abord par les hauteurs différentes atteintes sur la tige graduée en décimètres par des bandes alternantes blanches et noires et ensuite par un style qui l'enregistrait sur une bande de papier enroulée autour d'un tambour installé au sommet de la perche et entraîné régulièrement par un mouvement d'horlogerie.

Le trace-vagues Froude est construit d'après le même principe, mais la perche, de longueur beaucoup moindre, se continue sous l'eau par une longue corde portant une

ancres formées par un cadre carré en bois de chêne huilé, disposé horizontalement par une patte d'oie et convena-

Fig. 46.

blement lesté, sur lequel est tendue de la toile à voile. L'appareil, relié par une fine cordelette à l'embarcation ou au navire afin de n'être pas trop entraîné par le courant, est donc peu encombrant, mais il n'est pas enregistreur. Il est vrai que rien ne semble s'opposer à ce qu'on le munisse (*fig. 46*) d'un système analogue à celui du trace-vagues Paris.

Éléments des vagues; leur mesure. —

Dans toute vague, on distingue (1) :

1. La *vitesse* V ou espace parcouru en une seconde par la crête de cette vague.

La *longueur* λ ou distance comprise entre les crêtes de deux vagues se suivant. On confond souvent la longueur avec la *largeur* qui est l'étendue de la crête même de la vague, c'est-à-dire la dimension de celle-ci dans la direction perpendiculaire à

la direction de la propagation.

3. La *période* T ou durée en secondes du temps séparant le passage de deux points correspondants appartenant à deux vagues successives, crêtes ou creux, au même point fixe.

La *hauteur* $2h$ ou distance verticale entre le point le plus haut et le point le plus bas d'une vague.

(1) J. Thoulet, *Océanographie (dynamique)*. Baudoin, Paris 1896, p. 5.

Mesure de la vitesse. — Le bâtiment étant immobile, deux observateurs se placent à une distance connue l qui pourra être, par exemple, la longueur du navire; le premier note le passage de la crête d'une lame devant lui et ensuite le temps t écoulé jusqu'au moment où le second observateur prévient par un signal que la même crête est maintenant arrivée devant lui. On divise alors l'espace par le temps

$$V = \frac{l}{t}$$

Si le bâtiment est en marche avec une vitesse de V_1 mètres par seconde, on a évidemment

$$V = \frac{l}{t} \pm V_1$$

On emploie le signe $+$ lorsque le navire s'avance contre les lames, puisque la vitesse observée de la vague est alors trop faible par suite de l'espace parcouru par le navire lui-même, et le signe $-$ pour le motif inverse, lorsque la lame arrive par la hanche, c'est-à-dire que le navire avance dans le sens même des vagues.

Dans le cas où la quille ferait avec la direction de propagation des lames un angle θ qui doit être inférieur à 45° sous peine d'obtenir un résultat inexact, on multiplierait la vitesse trouvée par $\cos \theta$.

$$V = \left(\frac{l}{t} \pm V_1 \right) \cos \theta$$

Soit, par exemple, un navire marchant avec la lame sous un angle $\theta = 20^\circ$, possédant une vitesse $V_1 = 5$ m par seconde (environ 10 nœuds); une vague a mis $t = 4$ secondes à parcourir la longueur $l = 48$ m séparant deux observateurs. La vitesse de cette lame sera :

$$V = \left(\frac{48}{4} - 5 \right) 0.94 = 6.58 \text{ m par seconde}$$

On peut encore mesurer directement la vitesse des lames par la ligne de loch. On file le bateau de loch jusqu'à ce que la houache se trouve sur une crête au moment où l'arrière du navire est lui-même sur la crête suivante ; on note le temps que met une crête à parcourir la longueur de ligne filée qui représente d'ailleurs la longueur de la vague ; la vitesse est le quotient de la division de cette longueur par le temps.

Mesure de la longueur. — Si la longueur est plus petite que le bâtiment, celui-ci étant immobile, deux observateurs s'éloignent l'un de l'autre jusqu'à ce que les crêtes de deux lames successives passent simultanément devant chacun d'eux et ils mesurent ensuite la distance qui les sépare.

Fig. 47.

Si la longueur est plus grande que le bâtiment, celui-ci étant immobile, on commence par mesurer la vitesse V , ainsi qu'il vient d'être dit, et on multiplie par la durée de la période T , mesurée comme il sera indiqué plus loin.

$$\lambda = VT$$

Le bâtiment étant en marche et faisant un angle θ avec la direction des lames (*fig. 47*), le procédé le plus simple est encore de mesurer au loch la longueur oblique AB d'une crête à la crête suivante et de calculer la longueur de la vague par la formule

$$AC = \lambda = AB \cos \theta$$

Mesure de la période. — Pour mesurer la période T , si le navire est immobile, l'observateur immobile lui-même, note sur une montre ou mieux sur un compteur à pointage, les deux instants où deux crêtes successives ont passé devant lui. On a évidemment :

$$T = \frac{\lambda}{V}$$

Si le bâtiment est en marche oblique par rapport aux lames, on mesure, comme il est indiqué précédemment, les vraies valeurs de λ et de V et on les introduit dans la formule.

Mesure de la hauteur. — Pour mesurer la hauteur des vagues, au moment où le navire se trouve au plus profond du creux, on s'élève dans la mâture, jusqu'à ce qu'on puisse faire coïncider la crête de la vague avec l'horizon. La hauteur de la vague est alors égale à celle, facile à connaître directement, de l'œil au-dessus de la flottaison.

Lorsque deux bâtiments (*fig. 48*) naviguent de conserve et dans des directions parallèles, si les dimensions de leurs

Fig. 48.

mâtures sont bien connues, on emploie quelquefois le procédé de Wilkes (1), qui consiste à mesurer de l'un des navires, sur la mâture de l'autre, la hauteur maximum à laquelle s'élève le plan passant par l'œil de l'observateur et les crêtes de toutes les lames intermédiaires.

A bord de la *Novara* (2), le bâtiment ayant sa quille per-

Fig. 49.

pendiculaire à la vague, on mesurait (*fig. 49*) la distance $MN = \lambda$, l'angle maximum $AMB' = \omega$ d'inclinaison du

(1) Wilkes, *United States exploring Expedition*, t. I, p. 135.

(2) *Novara Expedition : Erzählender Theil*, t. I, p. 114.

navire dans son mouvement de descente et on prenait pour hauteur de la vague la valeur :

$$2h = \frac{1}{2} \lambda \tan \omega$$

L'évaluation est alors évidemment exagérée car on obtient AB' au lieu de AB.

On a essayé, sans beaucoup de succès, de mesurer la hauteur des lames à l'aide d'un baromètre anéroïde très sensible et muni d'un micromètre.

Enfin, si les vagues sont petites, on lit la hauteur à laquelle elles s'élèvent sur une échelle graduée verticale, disposée à l'intérieur du bâtiment, et qu'on examine en se penchant par un sabord.

L. — Courants.

Considérations générales. — L'étude de la circulation peut être considérée comme la plus compliquée de l'océanographie et la condensation de tout ce qui a été constaté pour la mer. Parmi les propriétés et phénomènes statiques et dynamiques, il n'en est aucun qui ne possède une action directe ou indirecte sur les courants et la circulation de l'atmosphère influence la circulation océanique en même temps qu'elle est influencée par elle. Elle est donc le résumé de tout ce qui a été étudié en océanographie : la topographie, la lithologie, les propriétés chimiques et physiques de l'eau et de l'air ; elle est la vie même de l'Océan.

A son tour la circulation océanique réagit sur une foule de phénomènes en apparence très différents et elle conduit à des conséquences théoriques et pratiques souvent inattendues comme, par exemple, la chute en remontant des courants marins. A ne s'en tenir qu'aux applications,

on comprend que la navigation soit sous son étroite dépendance, car une traversée sera évidemment notablement allongée ou raccourcie selon qu'elle s'effectuera avec ou contre le courant, et il en est de même à plus forte raison pour la navigation sous-marine qui aujourd'hui excite si vivement les préoccupations. Les courants se font sentir sur l'épaisseur entière des eaux et, à diverses hauteurs sur une même verticale, ils sont parfois très différents d'intensité et de direction. On s'explique par conséquent l'intérêt que trouverait à les bien connaître un sous-marin qui, maître de s'enfoncer plus ou moins, aurait la faculté d'aller chercher le courant favorable à sa route ou d'éviter le courant défavorable.

Le problème de la migration des poissons dépend aussi de la circulation qui dépend elle-même de multiples variables dont la principale est la température. L'animal n'a point de caprices, il obéit à des lois physiques mesurables ; sa présence, sa rareté ou son absence en une localité déterminée sont la conséquence des conditions favorables, médiocrement favorables ou nettement défavorables du milieu ambiant. Il en est de même pour le plankton, matière organisée inerte, de nature animale ou végétale, qui sert à la nourriture des poissons. Trouver une relation entre un être vivant et une condition extérieure quelconque mesurable à l'aide d'un instrument précis, thermomètre, aréomètre, colorimètre ou autre, est se donner le pouvoir de poursuivre scientifiquement, c'est-à-dire à coup sûr, la capture de cet être, de le chercher là seulement où il se trouve et d'éviter la peine et la perte de temps de le chercher là où il ne se trouve pas, car il n'y a pas plus d'autruches au Spitzberg où il fait trop froid pour elles que d'ours blancs dans le Sahara où il fait trop chaud pour eux. Tant que la question des migrations des poissons qui a pris une importance sociale, ne sera pas appuyée sur des documents précis, sur des cartes isobathes, iso-

thermes, isopycnes, isochromes, de courants et autres qu'il faut avant tout commencer par établir et dresser, sa solution est d'avance frappée d'inanité; il sera peut-être beaucoup parlé ou écrit; il ne sera sûrement rien accompli.

Les méthodes employées autrefois pour mesurer l'intensité d'un courant et connaître sa direction étaient peu précises. Un navire mouillé laissait filer sa ligne de loch et obtenait ainsi les indications cherchées, mais l'opération n'était possible que par faible profondeur et d'ailleurs elle ne s'appliquait qu'aux courants superficiels. Cependant les bâtiments du service hydrographique des États-Unis étudiant le Gulf-Stream avaient procédé de cette façon en mouillant sur un câble en fils d'acier par plusieurs milliers de mètres de profondeur. Quand le navire faisait route, on pointait chaque jour sur la carte le point estimé d'après l'ensemble des diverses directions suivies dans la journée et les vitesses mesurées au loch. A midi, lorsque le point était calculé astronomiquement, on le marquait également sur la carte. Les deux positions ne concordant pour ainsi dire jamais, on attribuait la différence à la dérive subie par le navire sous l'action du courant pendant les vingt-quatre heures et on estimait celui-ci en direction et en intensité suivant cette donnée. Une telle évaluation était tellement grossière que l'on est étonné que pendant un nombre si considérable d'années on ait sacrifié tant de temps à recueillir une indication qui n'était manifestement qu'une totalisation d'erreurs.

Un autre procédé consistait à abandonner, en un point connu de l'Océan, des corps flottants, bouteilles ou barils contenant un billet où le découvreur de l'un de ces flotteurs échoués sur une plage était invité à faire connaître le lieu et la date de sa trouvaille. On a peine à s'imaginer que, dans ce cas encore, on ait accordé une confiance quelconque à une opération aussi imprécise. Pouvait-on se

croire en droit de noter une direction d'après une trajectoire qu'on était forcé de supposer en ligne droite, alors qu'en réalité le flotteur l'avait suivie en effectuant mille circuits, boucles, tourbillonnements dans tous les sens. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder sur les « Pilot-Charts » américains le tracé continu des épaves de navires abandonnés qui, constituant un sérieux danger pour la navigation, sont signalées chaque fois qu'on les rencontre et de plus sont assez grosses pour ne pas rester inaperçues. En outre, les flotteurs se tenant uniquement dans la couche tout à fait superficielle de l'eau et étant en partie immergés dans l'air, car autrement on ne les aurait pas vus, obéissent aux mouvements infiniment variables et irréguliers de cette nappe d'extrême surface ; la marche d'un tel flotteur, à supposer même qu'elle soit suivie continuellement, participe à la fois du mouvement des eaux et de celui de l'air ; c'est de la météorologie autant pour le moins que de l'océanographie, dans une proportion impossible à apprécier ou, pour mieux dire, ce n'est ni de la météorologie ni de l'océanographie. Il était tout aussi absurde de prétendre évaluer une vitesse d'après la comparaison des deux dates de mise à l'eau et de découverte, surtout sur une plage. Savait-on depuis combien de temps la bouteille gisait sur le sable au moment où on l'y ramassait ? Dans une seule circonstance, l'emploi des flotteurs libres a été justifié, lorsque les Américains cherchèrent à vérifier expérimentalement l'hypothèse de Nansen d'une circulation polaire par passage continu des eaux de la côte de Sibérie et du détroit de Behring aux environs du pôle arctique et leur sortie du bassin polaire par le détroit de Danemark. Ils lancèrent à la mer, vers le détroit de Behring, de solides flotteurs en bois qui furent recherchés ensuite sur la côte Est du Groenland. La question ne pouvait guère être résolue autrement et, de plus, les flotteurs pris dans la glace et rendus ainsi indépendants des causes accessoires

n'étaient plus soumis qu'aux influences de la dérive qu'il s'agissait précisément d'étudier. Mais le cas était tout à fait exceptionnel et, d'une façon générale, la méthode d'observation des courants par flotteurs abandonnés à eux-mêmes est absolument à rejeter.

On étudie les courants soit par l'observation directe au moyen de la drague à courant, des bouteilles accouplées de Hautreux, des épaves artificielles et du flussomètre Makarow, soit par la méthode indirecte basée sur la densité des eaux qui s'applique surtout aux eaux très profondes.

Drague à courants. — La drague à courants employée à bord du *Challenger* consistait (fig. 50) en deux cadres

Fig. 50.

rectangulaires égaux en bois, croisés perpendiculairement entre eux, soutenus par un axe vertical en bois et sur chacun desquels est tendue une toile à voile qu'il y a avantage à huiler à l'huile siccative afin de la rendre imperméable à l'eau. Le double cadre est convenablement lesté pour enfoncer avec l'excès de poids le plus faible possible et est suspendu à un fil de sonde plutôt métallique qu'en filin qui est très pesant et long de la profondeur où l'on veut observer. Celui-ci est attaché à une bouée de surface qu'il convient de faire aussi petite que possible pour donner moins de prise au

vent, qu'on surmonte d'un pavillon blanc afin de la rendre

visible de plus loin. On se contenterait, à la rigueur, d'un simple radeau.

La dimension du cadre est variable ; elle dépend du but que l'on se propose. Le bâtiment télégraphiste anglais *Buccaneer* a réussi, dans le golfe de Guinée, à se faire remorquer à contre-courant de surface par sa drague qui devait par conséquent posséder une surface considérable. Comme cet instrument susceptible d'être fabriqué à bord de n'importe quel bâtiment est surtout destiné à étudier les courants de moyenne profondeur, on cherchera à augmenter la surface sur laquelle agit le courant, c'est-à-dire celle du double cadre et, au contraire, à diminuer celle de la bouée de surface qui, soumise à un courant souvent différent, n'est qu'une cause de trouble dans la marche du système et dont la seule utilité est de soutenir le cadre et d'être aperçue de loin.

La drague est abandonnée à la profondeur requise et le bâtiment qui la suit de loin pour ne pas troubler sa marche, note sa position de temps en temps soit d'après des repères terrestres si l'on est en vue de la côte, soit astronomiquement si l'on est au large. On marque ces points sur une carte et on les relie par une courbe continue. Cette étude est simple et il serait à souhaiter qu'elle fût entreprise dans les mers d'Europe, particulièrement en Méditerranée dont on connaît mal les courants superficiels et pour ainsi dire pas les courants inférieurs. On immergerait la drague d'abord à 5 m et ensuite à 25, 50 et 100 m. Cette étude réserverait certainement des surprises et devrait bien tenter les yachtsmen.

Bouteilles accouplées de Hautreux. — M. Hautreux a eu l'idée excellente de remplacer le flotteur de Mitchell composé de deux récipients en cuivre d'égale surface et dont le prix est assez élevé, par deux bouteilles en verre (*fig. 51*), de forme et de dimensions quelconques pourvu

qu'elles soient identiques pour l'une et pour l'autre. La première bouteille débouchée est destinée à descendre

Fig. 51.

dans la profondeur et, par conséquent, à se remplir d'eau. La seconde, attachée par un fil qui peut n'être qu'une simple ficelle paraffinée afin d'empêcher son rétrécissement au mouillage et qu'on prend de longueur conforme à la profondeur où l'on désire connaître le mouvement de l'eau, est bouchée et lestée avec assez d'eau ou de sable pour que son col seulement soit visible à la surface. Du reste, pour mieux obtenir la visibilité, rien n'empêche de peindre

en couleur à l'huile voyante le col de la bouteille.

Si l'on veut établir une rose de courants, d'une embarcation mouillée et par conséquent fixe, on peut encore attacher au col de la bouteille flottante une légère ficelle paraffinée, métérée et munie d'espace en espace de petites balles de liège qui la maintiennent sur l'eau sans cependant être assez nombreuses pour gêner son mouvement. On commence par n'employer que la bouteille de surface qu'on abandonne au courant et, après un temps déterminé, 1, 2, 3 ou 5 minutes, selon la vitesse du courant, on relève l'azimut de cette bouteille et la longueur de ficelle filée. On ramène le système à bord, on attache la seconde bouteille à une distance quelconque de la première, 2, 3, 5 mètres ou davantage. on abandonne de nouveau au courant; après le même intervalle de temps que la première fois, on prend l'azimut de la bouteille flottante et la longueur de ficelle filée. On recommence autant de fois que l'on veut avoir de profondeurs différentes et l'on se procure ainsi tous les éléments nécessaires pour dresser la rose de courants.

Dans l'Iroise, j'ai opéré d'une autre façon. J'avais une série de bouteilles accouplées deux par deux et séparées par des longueurs de fils différant entre elles de 5 en 5 mètres. Dans chaque système, le col de la bouteille flottante était peint d'une couleur différente. Toutes furent abandonnées au même point repéré et au même moment, et dès que je jugeai qu'elles avaient accompli un trajet suffisant, j'allai les repêcher successivement, notant chaque fois l'heure et la position par un coup de cercle hydrographique sur des repères situés à terre. La rose fut facile à établir et l'opération exécutée rapidement, ce qui importait, car il s'agissait de courants de marées simultanés à diverses profondeurs, courants très variables de vitesse et de direction, comme on sait, suivant l'heure de la marée.

Épaves artificielles. — Le Service Hydrographique des États-Unis indique sur les « Pilot-Charts » le trajet des épaves de navires abandonnés flottant en pleine mer et dont la position est relevée par tous les bâtiments qui les rencontrent, ce qui permet de figurer leur trajectoire par une courbe continue. Ces épaves sont un sérieux danger pour la navigation et, à diverses reprises, on a proposé de s'en débarrasser avec de la dynamite ; néanmoins l'examen de leur trajectoire a rendu d'utiles services à l'étude générale de la circulation océanique, d'autant plus que leurs fortes dimensions les laissant apercevoir de loin, le tracé graphique est à peu près continu. J'ai pensé que l'emploi d'épaves artificielles, non dangereuses pour les navires qui viendraient à les heurter, présenterait tous les avantages des épaves réelles avec d'autres qui leur seraient particuliers puisque, semblables aux bouteilles Hautreux, elles pourraient être accouplées.

Elles consisteraient (*fig. 52*) en deux vieilles barriques sans valeur, peintes aux couleurs nationales des diverses nations participant à ces travaux, l'une destinée à être

complètement noyée, la seconde devant flotter à la surface, peinte ainsi qu'il a été dit, fermée, marquée d'un numéro

Fig. 52.

d'ordre visible de loin et même munie d'une perche portant un lambeau d'étoffe blanche. Ces deux barriques, de surface égale, seraient rattachées l'une à l'autre par une corde de longueur correspondant à la profondeur où l'on tient à observer le mouvement de l'eau.

Dans de telles conditions, les épaves artificielles seraient sans danger; visibles de loin, elles seraient signalées par tous les navires qui les rencontreraient, tandis que leurs couleurs nationales avec leur numéro d'ordre permettraient d'informer

de leur rencontre le service hydrographique compétent de la nation ayant procédé au lancement.

Il est évident qu'un certain nombre de ces épaves artificielles établies à diverses profondeurs dans une mer bien délimitée comme, par exemple, la Méditerranée, sillonnée par beaucoup de bâtiments, renseigneraient à peu de frais et en peu de temps sur des circonstances de circulation bien peu connues, même en Méditerranée.

La seule objection faite à cette proposition si facile à régler par une entente internationale est que les barriques, malgré leur valeur presque nulle puisqu'on les aurait choisies à dessein hors de service sauf pour le rôle qui leur serait attribué dans cette circonstance, ne manque-

raient pas cependant de tenter la cupidité et seraient immédiatement volées et dépecées.

Flussomètre Makarow. — L'amiral Makarow a imaginé dans le but de mesurer à diverses profondeurs les courants du Bosphore et construit un mesureur de courants extrêmement ingénieux, peu coûteux, très précis et remarquablement facile à établir. J'ai essayé de rendre son appareil un peu plus maniable sans rien changer d'ailleurs à ses conditions de simplicité.

Le prix des divers mesureurs mécaniques de courants est assez élevé parce qu'on est obligé d'y installer un compteur enregistrant le nombre de tours exécutés sous l'action du courant par un système d'ailettes. L'amiral a conservé les ailettes et la girouette d'orientation de ces appareils, mais il a disposé son flussomètre de manière que, à chaque tour des ailettes, un marteau ou battant mobile vienne frapper un coup sur une cloche portée par l'appareil lui-même et immergée avec lui. On mesure le nombre des tours d'ailettes et par conséquent la vitesse d'après le nombre de coups entendus pendant un temps déterminé.

La girouette d'orientation (*fig. 53*) est un simple cadre en gros fil de fer sur lequel est tendue une toile à voile huilée; la cloche est portée à l'extrémité de l'axe de rotation et son battant est assujéti à ne retomber et à ne frapper la cloche que dans le plan vertical. On entendrait ainsi deux coups à

Fig. 53.

chaque tour, ce qui serait gênant, si l'on n'avait eu la précaution de coller avec une colle insoluble dans l'eau un morceau de caoutchouc à l'intérieur de la cloche dans le plan de chute du battant. Celui-ci en retombant ne produit alors aucun son et l'on ne perçoit qu'un seul coup par tour.

La manière la plus simple de graduer l'instrument consiste à l'exposer à un courant de surface dont on mesure directement la vitesse en y abandonnant un flotteur retenu par une cordelette. On évalue ainsi à quelle vitesse réelle correspond un nombre de tours déterminé des ailettes. On recommence plusieurs fois l'opération avec des courants d'intensités différentes et on dresse ainsi une table ou mieux une courbe.

On leste l'instrument avec un plomb pour le faire descendre. On prétend que le bruit des chocs peut s'entendre jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur surtout si l'appareil est supporté par un fil métallique.

Pour avoir la direction du courant, il suffira d'envoyer un flotteur quelconque, une boule blanche ou une petite drague à courant, retenu par un fil à la profondeur où sera descendu ensuite le flussomètre et de déterminer la direction de son entraînement. Le flussomètre indiquera ensuite la vitesse (1).

(1) On pourrait, je crois, simplifier encore le flussomètre Makarow et se servir de la boule blanche creüse (*fig. 37*) pour mesurer la direction et la vitesse de courants superficiels ou profonds. L'opération ne se ferait évidemment qu'à bord d'une embarcation ou d'un bâtiment mouillés et par conséquent immobiles.

Supposons qu'on désire observer les courants d'abord à la surface, puis à 10, 15... mètres de profondeur. Pour le courant superficiel, la boule est lestée d'eau de façon à ce que sa densité soit à peine inférieure à celle de l'eau de mer. On y attache une cordelette paraffinée graduée, on abandonne au courant et au bout de l'unité de temps, on mesure la longueur de cordelette entraînée. On attache ensuite la cordelette à un petit dynamomètre à ressort, de poche, on maintient la boule immobile et l'on mesure en kilogrammes

Mesure indirecte des courants d'après la densité des eaux. —

La méthode ne sert que pour les courants très profonds qu'il n'est pas possible d'étudier directement.

Les lois de l'hydrodynamique établissent et, dès le début du XVIII^e siècle, Marsigli avait reconnu expérimentalement que si, au sein d'une masse d'eau, deux points ont une densité *in situ* différente, un courant doit s'effectuer entre ces deux points et se diriger du lieu de plus faible densité *in situ* vers le lieu de plus forte densité *in situ*. En d'autres termes, au sein de l'Océan, l'eau coule du point de plus faible nS_4 au point de plus fort n^1S_4 . C'est ainsi qu'en se bornant aux phénomènes de surface, on a vu qu'on pouvait, par de simples prises de densité S_4 , donner par des profils absolument comparables à des profils de terrain exondé le long d'une ligne déterminée, une hypsométrie de l'Océan à un moment quelconque évidemment variable avec le temps par suite des variations mêmes de la circulation superficielle dont elle montre d'ailleurs l'économie.

Pour connaître l'existence, la direction, la vitesse et l'inclinaison de montée, éléments caractéristiques d'un

l'effort de traction exercé. En opérant de même avec des courants de vitesses différentes, on établira expérimentalement, pour l'instrument employé, la relation entre la vitesse et l'effort de traction. On aura tout avantage à en exécuter un graphique.

Pour mesurer à 10 mètres de profondeur, par exemple, on leste la boule en y enfermant de l'eau, de façon à ce que sa densité soit à peine plus grande que celle de l'eau ambiante. On la laisse descendre lentement jusqu'à 10 mètres, correction faite d'après l'angle, facile à mesurer, que fait la cordelette de retenue avec la verticale, on arrête la descente et on mesure encore au dynamomètre l'effort de traction. La direction du courant est donnée par l'azimut de l'angle de la cordelette et sa vitesse par la mesure, comme précédemment, de l'effort exercé en kilogrammes et en recourant au graphique.

Il ne me semble pas que le procédé puisse offrir des difficultés d'exécution ; je n'ai pas encore eu l'occasion d'en faire l'essai, le lac de Gérardmer, la seule mer qui soit à ma portée, n'ayant pas de courants.

courant sous-marin, il suffit de recueillir en série sur une même verticale, de la surface au fond, des échantillons d'eau dont on détermine le nS_4^0 . Trois de ces séries, en trois points A, B, C (*fig. 54*), modérément éloignés l'un de l'autre, permettent d'arriver au résultat à l'aide d'une construction graphique.

En effet, par tout point des arêtes du prisme triangulaire déterminé au sein de la masse d'eau par les trois verticales, on peut imaginer une section triangulaire géométriquement parallèle à la surface des eaux, c'est-à-dire horizontale et par conséquent d'équilibre géométrique mais non d'équilibre mécanique puisque les trois sommets du triangle n'ont, en cas de courant, pas la même densité *in situ* nS_4^0 . Les molécules aqueuses occupant la surface de ce triangle y sont animées, en vertu du principe des vases communicants, d'un mouvement dans le sens du plus faible nS_4^0 vers le plus fort nS_4^0 . Or, par le sommet de plus fort nS_4^0 de ce triangle, il est toujours possible aussi de considérer une seconde section triangulaire du prisme passant par trois points des arêtes ayant au contraire même valeur absolue de nS_4^0 . Ce triangle sera géométriquement incliné mais mécaniquement d'équilibre ou de niveau par ce motif que la valeur de nS_4^0 sera identique pour les trois sommets, bien que pour chacun d'eux le n (correction de compressibilité à la profondeur de n mètres) et le θ (température *in situ*) soient différents. Le triangle, quoique penché, est le plan de niveau mécanique vers lequel tend la nappe d'eau courante figurée par le plan section du prisme triangulaire. L'inclinaison mutuelle des deux triangles donne la pente, c'est-à-dire l'inclinaison du courant.

On construit les graphiques des S_4^0 se rapportant respectivement à tous les points où ont été recueillis des échantillons d'eau des trois verticales passant par A, B et C depuis la surface jusqu'au fond, en prenant pour axe com-

mun des x les valeurs de S_4^0 et pour axe des y celles de la profondeur. On obtient ainsi trois lignes brisées irrégulières qui en général ne sont pas parallèles mais tantôt se coupent et tantôt s'écartent les unes des autres.

Chaque intersection correspondra à un point de courant nul dont la profondeur sera l'ordonnée mesurée sur l'axe des y . Chaque point d'écartement maximum de ces lignes prises deux à deux correspondra au contraire à un courant puisque les densités présenteront alors leur différence maximum.

Pour obtenir la direction et l'intensité du courant à une profondeur quelconque, on calculera le gradient du courant sur les trois verticales en A_1 en B_1 et en C_1 à la profondeur choisie, en prenant les différences deux à deux des S_4^0 en chacun de ces trois points et en divisant cette différence par la distance horizontale qui les sépare. On construit le triangle $A_1B_1C_1$, on en prend le centre de gravité, point de rencontre des médianes de ce triangle. De ce point, on porte sur les parallèles aux trois côtés du triangle, en grandeur et en direction, des longueurs proportionnelles au gradient de chacun des courants élémentaires marchant respectivement suivant les trois côtés du triangle. La résultante de ces trois forces donne en grandeur et en direction, la direction et l'intensité mesurée en gradient du courant réel à la profondeur considérée.

Pour trouver l'inclinaison qui est toujours montante et très faible, car elle n'atteint guère que quelques minutes, on trace les courbes des nS_4^0 pour chaque station aux environs de la profondeur que l'on étudie. Ce graphique permet de déterminer les trois profondeurs différentes A_2, B_1

Fig. 54.

et C_2 pour lesquelles les nS_4^0 sont les mêmes et ces profondeurs sont les sommets du triangle incliné géométriquement mais d'équilibre mécanique dont un des sommets B_1 est à la profondeur étudiée. L'inclinaison du courant sera l'angle compris entre les deux triangles d'équilibre mécanique $A_2B_1C_2$ et d'équilibre géométrique $A_1B_1C_1$ qui est horizontal.

L'angle de ces deux plans qui mesure l'inclinaison du courant sera l'angle de ces deux triangles et pour l'obtenir on construira le triangle rectangle ayant pour hypoténuse B_1D perpendiculaire abaissée du point B_1 sommet du plus fort nS_4^0 sur le côté C_2A_2 et pour côté de l'angle droit DE verticale dont la longueur est obtenue en rabattant le trapèze $A_1A_2C_2C_1$. L'angle EB_1D calculé est l'inclinaison.

La comparaison des caractéristiques chimiques de deux échantillons d'eaux récoltés pas trop loin l'un de l'autre et en particulier de l'halogénie ou poids total de chlore, brome et iode ainsi que du poids d'acide sulfurique par litre de chacune de ces eaux, résultats fournis par l'analyse chimique, permettra de vérifier si elles font ou ne font pas partie d'un même courant (1).

Représentation graphique des courants. — Les cartes de courants superficiels s'indiquent par des nappes souvent teintées d'après la température, froide ou chaude, de leurs

(1) Voy. J. Thoulet, *Méthode physique et chimique de reconnaissance et de mesure des courants sous-marins profonds*. C. R. A. S., t. CXXXVIII, p. 527, 22 fév. 1904, et Bull. du Musée océanographique de Monaco, n° 12.

J. Thoulet et Chevallier, *Sur la circulation océanique*, C. R. A. S., t. CXLII, p. 245, 22 janvier 1906.

J. Thoulet, *Analyses d'eaux de mer récoltées à bord de la « Princesse-Alice » en 1902 et 1903 et Considérations générales sur la circulation océanique*. Résultats des campagnes scientifiques du prince de Monaco, fasc. XXIX, 1905, p. 103.

Chevallier, *Courants marins profonds dans l'Atlantique nord*. Bull. du Musée océanographique de Monaco, n° 63, 15 fév. 1906.

eaux où la direction est marquée par des flèches de longueur proportionnelle à la vitesse ou encore plus ou moins barbelées selon cette vitesse. S'il s'agissait de courants profonds, on dresserait des cartes par plans parallèles à des profondeurs en nombres ronds de mètres, 500, 1 000 m ou davantage et, dans chacun d'eux, on procéderait comme pour les courants superficiels.

Les roses des courants servent à représenter la direction et la vitesse respectives de différents courants superposés à diverses profondeurs en un même point de l'Océan.

Supposons que l'on cherche à mesurer directement les éléments d'un courant situé à moyenne profondeur ne dépassant pas un millier de mètres au grand maximum. Le *Challenger* a employé la méthode jusqu'à 500 brasses (904 m) entre les Canaries et les îles du Cap-Vert.

On commence, à l'aide d'un flotteur double quelconque, bouteilles de Hauteux ou drague à courant dont on juxtapose immédiatement les deux flotteurs l'un au-dessus de l'autre, par mesurer la direction α et la vitesse V du courant de surface en se plaçant dans une embarcation mouillée ou, si l'on est en pleine mer, amarrée au câble de drague du navire occupé à draguer. A partir d'un point O (fig. 55), on mène sur le papier, dans la direction α une droite OA de longueur proportionnelle à V . Au même endroit et aussitôt après, on remet à l'eau le même double flotteur dont les deux parties sont séparées par un fil de longueur égale à la profondeur du courant sous-marin à examiner; on le laisse pendant le même temps que la première fois suivre librement sa route, résultante de la direction et de la vitesse du courant superficiel qui seul agit sur le flotteur superficiel et de la direction et de la vitesse du courant inférieur qui seul influence le flotteur inférieur. En suppo-

Fig. 55.

sant que OM représente alors en direction et en vitesse la marche du système, on construit graphiquement d'après le parallélogramme des forces l'autre composante OB qui, avec la première composante OA donne la résultante OM. La droite OB indiquera évidemment par sa direction et par sa longueur la direction et la vitesse du courant profond

Fig. 56.

qui, conjointement avec le courant superficiel, aura entraîné le système des deux flotteurs et lui aura fait suivre la trajectoire OM.

En opérant de même aux profondeurs $n, n', n'', n''' \dots$ mètres, on construira de la même façon un schéma (fig. 56) qui

porte le nom de rose de courants et montre, pour chacune de ces profondeurs, les directions $\beta, \gamma, \delta, \epsilon \dots$ et les vitesses

$V_1, V_2, V_3, V_4 \dots$ respectives des divers courants superposés.

$$M \left\{ \begin{array}{l} A \left\{ \begin{array}{l} \lambda = 35^{\circ}06' N \\ L = 25^{\circ}07' W \end{array} \right. \\ B \left\{ \begin{array}{l} \lambda = 31^{\circ}46' N \\ L = 25^{\circ}01' W \end{array} \right. \\ C \left\{ \begin{array}{l} \lambda = 32^{\circ}48' N \\ L = 23^{\circ}58' W \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Fig. 57.

On adopte quelquefois une autre disposition de figure qui montre mieux la profondeur ainsi que le passage d'un courant quelconque à celui qui le suit et à celui qui le précède avec l'endroit, s'il existe, où le courant est nul. Dans chaque plan de profondeur (fig. 57), on suppose le courant marqué comme précédemment et orienté par rapport aux points cardinaux disposés à la manière

ordinaire d'une carte. On étage ces plans le long d'une ver-

ticale à des distances proportionnelles à leurs profondeurs respectives et on les rabat parallèlement entre eux de façon à ce qu'ils fassent tous face au spectateur, les flèches de courants prennent alors la disposition de la figure, qui montre un schéma des courants se succédant d'une façon continue depuis la surface jusqu'à 5 000 m de profondeur entre trois points de l'Atlantique Nord

A ($\lambda = 35^{\circ}06' \text{ N} - \text{L} = 25^{\circ}07' \text{ W}$),

B ($\lambda = 31^{\circ}46' \text{ N} - \text{L} = 25^{\circ}01' \text{ W}$),

C ($\lambda = 32^{\circ}18' \text{ N} - \text{L} = 23^{\circ}58' \text{ W}$).

Le schéma est représenté à une échelle vingt fois plus grande entre la surface et 200 m de profondeur.

La direction d'un courant se désigne d'après l'azimut de son origine et l'on dit, par exemple, un courant de N.-E., c'est-à-dire venant du N.-E.; les vitesses sont évaluées en nœuds ou nombre de milles à l'heure.

NŒUDS.	VITESSE par heure.	VITESSE par minute.	VITESSE par seconde.	NŒUDS.	VITESSE par heure.	VITESSE par minute.	VITESSE par seconde.
	m	m	m		m	m	m
1	1852	30.9	0.51	11	20374	339.6	5.66
2	3704	61.7	1.03	12	22226	370.4	6.17
3	5557	92.6	1.54	13	24079	401.3	6.69
4	7049	123.5	2.06	14	25931	432.2	7.11
5	9261	154.3	2.57	15	27783	463.0	7.72
6	11113	185.2	3.09	16	29635	493.9	8.23
7	12065	216.1	3.60	17	31487	524.8	8.75
8	14818	247.0	4.02	18	33340	555.7	9.26
9	16670	277.8	4.63	19	35192	586.5	9.78
10	18522	308.7	5.14	20	37044	617.4	10.29

IV

OBSERVATIONS OCÉANOGRAPHIQUES

à bord de navires
non spéciaux pour l'océanographie

Des observations océanographiques d'un haut intérêt peuvent être exécutées par des observateurs bénévoles à bord de bâtiments non spécialement aménagés pour une campagne purement océanographique, c'est-à-dire n'ayant pas un état-major composé de savants de diverses spécialités. Pour établir d'importantes lois, il suffira d'une seule personne s'intéressant aux choses de la mer comme le capitaine d'un de ces grands voiliers faisant encore les traversées d'Europe dans le Pacifique, le médecin d'un paquebot ou d'un navire de l'État. Une navigation prolongée offre des loisirs susceptibles d'être employés très utilement pour la science sans qu'il soit besoin d'appareils compliqués, coûteux, difficiles ou pénibles à manœuvrer. Ni les dévouements désintéressés, ni la science ne manquent parmi ceux que leurs fonctions ou leurs goûts appellent à parcourir la mer ; c'est à eux que s'adressent les conseils qui suivent.

Qu'il me soit permis tout d'abord d'affirmer que rien ne serait plus funeste à l'océanographie que si d'aventure, il venait à l'idée d'un gouvernement de donner des ordres

formels pour que des mesures et expériences océanographiques soit réglementairement effectuées à bord des bâtiments de guerre. Qui ne se rappelle le tort immense fait à la météorologie lorsque, à l'instigation de Maury et après le Congrès de Bruxelles en 1853, de pareilles observations météorologiques furent officiellement prescrites. La science a tout à perdre à être cultivée de force et ces sortes d'études relèvent uniquement de l'initiative privée. Une observation sur le terrain et dans des conditions telles qu'il est le plus souvent impossible de la contrôler doit être au-dessus de tout soupçon de négligence et d'inexactitude et, pour qu'il en soit ainsi, la condition unique est qu'elle ait été faite volontairement, par goût, par dévouement et non par obligation. En revanche, il faut que celui qui s'est livré à un travail et en conserve l'entière responsabilité en ait aussi tout l'honneur. Combien d'observations consciencieuses et utiles n'ont-elles pas été enfouies dans les cartons administratifs pour y dormir à jamais ! Que le capitaine du voilier ou le médecin du paquebot désireux de se livrer bénévolement à l'étude de l'océanographie tant à cause de l'intérêt, de l'amusement même qu'ils y trouveront et qui sera la première récompense du labeur qu'ils se seront imposé, que par dévouement pour la science, fassent leurs affaires eux-mêmes. Qu'aussitôt après avoir acquis les notions indispensables relatives à ces connaissances, ils se gardent d'observer pour le vain plaisir d'aligner des colonnes de chiffres et s'imposent une tâche définie ayant pour objet la réponse à une question définie qu'ils auront eux-mêmes adressée à la nature. Qu'ils se proposent, par exemple, l'étude de la variation de la température de l'eau pendant la durée d'une année aux mêmes points de l'Océan, le long d'une ligne quelconque qui, en l'espèce, sera la route régulièrement suivie pendant leurs traversées, ou bien, dans les mêmes conditions, l'état hygrométrique de l'air, ou bien la densité de

la mer, ou bien sa couleur ou toute autre propriété. Mais, quels qu'ils soient, il faut que le problème, que la question soient nettement posés et que la réponse, conclusion formelle et évidente de la série des mesures prises sur le terrain soit non moins nettement formulée, affirmative ou négative. En science, une négation justifiée possède autant de valeur qu'une affirmation justifiée : oui, dans tels et tels parages, la coloration de la mer dépend de la densité — non, la coloration de la mer ne dépend pas de la densité. Questions et réponses peuvent être ainsi multipliées à l'infini ; elles ne risqueront rien à être restreintes, il n'est pas de petite découverte scientifique, pour humble qu'elle paraisse ; toute vérité appuyée sur des faits soigneusement et consciencieusement mesurés, représentés par des chiffres, est une conquête de l'esprit humain et, de la part de celui qui la découvre et l'énonce, un acte de bienfaisance à l'égard de l'humanité, car qui donc est en état de prévoir les conséquences qui résulteront soit d'elle-même, soit de sa comparaison avec d'autres vérités déjà établies.

Chaque enquête ainsi menée à bien et, l'on ne saurait trop le répéter, positive ou négative, peu importe, mérite d'être connue et par conséquent publiée. Les sociétés scientifiques diverses ne manquent pas en France et il n'en est aucune qui ne consentirait à accueillir dans son bulletin, de quelque part qu'elle vienne, pareille communication, simplement, clairement et brièvement rédigée. Il en est particulièrement une dont la publication est répandue sur le monde savant entier, et qui de par l'esprit même de sa fondation, reçoit toute conclusion scientifique sérieuse. Il s'agit de l'Académie des Sciences dont les comptes rendus hebdomadaires sont ouverts à quiconque a fait accomplir un progrès, petit ou grand, aux connaissances humaines. Que le marin ayant observé, mesuré et conclu, rédige son œuvre sous la forme d'une courte note, d'une ou deux pages au plus, et l'envoie au

secrétaire perpétuel à Paris ; elle paraîtra sous le nom de son auteur et constituera pour lui un titre scientifique désormais indiscutable, une consécration de ses droits de priorité, s'il a eu le bonheur de découvrir une loi naturelle nouvelle et insoupçonnée.

En résumé, que l'observateur suive l'admirable précepte de Mohr et commence par poser nettement sa question à la nature, qu'il se livre aux mesures afférentes à cette question, qu'il les mette ensuite, autant qu'il est possible, sous la forme matérielle de graphique ou de carte. Il n'aura plus alors qu'à lire la réponse de la nature qui toujours sera un oui, ou bien un non, ou bien le silence et, dans ce cas, l'observateur sera averti qu'il a mal posé sa question ; qu'il résume cette réponse en une phrase et, que sous son nom, prenant ainsi toute la responsabilité et aussi tout l'honneur, il la fasse connaître par une insertion dans une publication savante, en particulier dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, ouverts à tous.

Les observations océanographiques seront faites à bord d'un navire auquel il arrivera de demeurer momentanément immobile, volontairement ou involontairement, par calme plat, ou bien à bord d'un navire constamment en marche comme, par exemple, un paquebot effectuant des traversées régulières. Dans l'un et l'autre de ces cas, les observations seront quelque peu différentes.

A bord d'un bâtiment pouvant être arrêté, il est évident que toutes les observations océanographiques sont susceptibles d'être exécutées. Si la profondeur n'est pas excessive, on la déterminera avec une sonde manœuvrée à la main ; il suffira d'être pourvu de fil d'acier, la remontée seule est pénible, mais l'opération ne présente pas de réelles difficultés, par temps maniable, au moins jusqu'à 500 mètres de profondeur. Les recherches de zoologie profonde qu'on a le tort de confondre en France avec l'océa-

nographie, exigent seules des appareils coûteux, encombrants, lourds, et nécessitant des installations spéciales à cause des difficultés de leur manœuvre. Du moment qu'on les laisse de côté, tout devient aisé et à la portée de tous. Sur un yacht de plaisance à vapeur où si souvent l'électricité est installée pour l'éclairage, les opérations seraient très simplifiées et rien ne deviendrait alors plus facile que d'adapter une transmission à l'appareil sondeur et à remonter mécaniquement le plomb. Sur d'immenses espaces océaniques, on ignore la configuration du lit immergé et, dans ces régions, un seul et unique coup de sonde bien déterminé en position et en profondeur, prend une importance extrême et parfois, à lui seul, apporte la solution de quelque grave problème de topographie sous-marine. On se renseignera sur le modelé actuellement connu et l'on distinguera du premier coup d'œil quelles sont les régions encore inconnues en consultant les feuilles de l'atlas bathymétrique au 1/10 000 000 de la Commission de Wiesbaden. On tiendra pour bonnes et définitives les isobathes tracées sur ces cartes que l'on ne modifiera que d'après des découvertes postérieures à leur confection. De cette façon, les feuilles de l'atlas actuel aussi bien que leurs décuplements à des échelles de dix en dix fois plus grandes, iront en se perfectionnant de plus en plus.

Dans les mêmes conditions d'immobilité même momentanée, après s'être livré aux quelques mesures météorologiques précédemment indiquées et se rattachant étroitement à l'océanographie, on récoltera des échantillons d'eaux profondes avec leurs températures *in situ*, ne serait-ce que jusqu'à 100 ou 200 m — dans la plupart des mers, rien n'a encore été fait dans cette direction — et on les rapportera pour les soumettre à un spécialiste, ou bien on en mesurera soi-même la densité à l'aréomètre. On évaluera aussi la transparence de la mer, opération impossible pendant la marche du bâtiment et l'on cherchera à établir

la relation existant entre cette propriété et la quantité ou la nature du plankton recueilli dans un filet en tissu de soie à bluter (1), avec la densité ou encore avec la température. Rien n'empêchera de mesurer les courants modérément profonds au moyen d'un flussomètre Makarow qu'on fabriquera par les moyens du bord, soit avec plusieurs couples de bouteilles Hauteux immergés en même temps.

Si le bâtiment n'a pas la possibilité de s'arrêter, il est évident que les observations susceptibles d'être exécutées à bord deviennent considérablement restreintes. En attendant qu'on ait inventé ou retrouvé le bathomètre, cet instrument presque légendaire que Siemens avait construit et qui indiquait, dit-on, à simple lecture l'épaisseur de la nappe d'eau comprise entre la surface et le fond au-dessus duquel on le promenait, il ne saurait être question de mesures de profondeur de quelque genre qu'elles soient, pas plus que de mesures de transparence de la mer. On pourrait cependant mesurer des colorations, surtout s'il était permis d'ouvrir un peu au-dessous de la ligne de flottaison un hublot à travers lequel on apercevrait une tranche d'eau horizontale dans des conditions analogues à celles d'un miroir à 45°. Ce serait même un moyen aussi simple que rapide d'établir, pour le globe entier, des isochromes qui seraient de nature à rendre des services à la navigation si la loi résultant déjà d'un nombre restreint d'observations se généralisait, que la couleur de l'eau demeure constante dans certains parages et, dans d'autres, varie dans une relation déterminée avec certaines conditions météorologiques, physiques ou même biologiques faciles à déterminer. Durant les forts roulis, lorsque les hublots ordinaires plongent sous la lame, en saisissant le

(1) Dr J. Richard, *Sur des instruments destinés à la récolte et à l'examen préliminaire du plankton microscopique*, etc. Bull. du Musée océanographique de Monaco, n° 52, 15 nov. 1905.

moment opportun, on parviendra assez aisément à noter la couleur avec le tube colorimétrique.

On n'éprouvera aucune difficulté, même avec de grandes vitesses, en employant, s'il en est besoin, quelque artifice simple à imaginer sur place, pour mesurer la température de surface de la mer et récolter des échantillons d'eau superficielle dont on prendra immédiatement la densité ou que l'on conservera pour être analysés au retour ; on se livrera aussi à des mesures de vagues et de leurs interférences, sujet encore bien imparfaitement connu au point de vue pratique. Combien il serait avantageux pour la navigation de pouvoir, sur le tracé complexe obtenu à l'aide d'un appareil enregistreur, isoler en force et en direction chacun des systèmes de vagues distincts dont le mouvement de la mer est presque toujours la résultante.

L'étude des poussières atmosphériques au-dessus des océans conviendrait admirablement à un médecin de marine embarqué sur un bateau à vapeur et habitué aux observations microscopiques. Un aspirateur d'air mû par la vapeur ou par l'électricité, peut-être par le mouvement même du bâtiment, serait installé dans une chambre et mis en communication avec une série de tubes de verre raboutés avec des joints de caoutchouc ou avec des tubes de caoutchouc raccordés par des tubes de verre ou, mieux encore, avec un tube de plomb afin d'établir une prise d'air aussi haut que possible dans la mâture. On interposerait sur le trajet un petit tampon de fulmicoton que l'on dissoudrait ensuite dans de l'acétone et dont on examinerait au microscope le dépôt pulvérulent abandonné ou bien que l'on conserverait tel quel pour être confié à un spécialiste qui y attacherait une importance extrême, car il servirait à résoudre le problème relatif au rôle joué par l'atmosphère dans la répartition des sédiments marins, rôle qu'il y a tout lieu de croire beaucoup plus grand qu'on ne l'a supposé jusqu'à présent.

Telles sont, brièvement énumérées, quelques-unes des recherches à exécuter à bord de navires non spécialement consacrés à l'océanographie et sans interférer en rien avec le service régulier. Puisse-t-on se rappeler leur immense intérêt théorique et pratique, car on commence à peine à connaître l'Océan et les progrès futurs dépendent bien plus ici du concours de ceux qui naviguent que d'expéditions organisées à grands frais. Ces travaux n'exigent point de matériel coûteux ou encombrant et, pour celui qui les exécutera, pas de génie, denrée rare, ni même une très haute compétence scientifique mais de la méthode, du soin et la plus scrupuleuse bonne foi, qualités fréquentes chez ceux qui passent une partie de leur existence sur l'Océan. C'est à eux que revient la mission de dévouement qu'ils exécuteront, je l'espère, lorsqu'ils connaîtront la tâche qui leur incombe et pour l'accomplissement de laquelle je serais heureux et fier de leur avoir servi de guide et de conseiller.

V

ÉTUDE DES RIVAGES

Il est une branche de l'océanographie dont il est possible de s'occuper sans bateau d'aucune sorte, sans courir d'autre danger que celui de risquer de se mouiller les pieds, c'est l'océanographie des rivages qui est à la portée de tous les observateurs de bonne volonté, n'exige point de matériel coûteux, peut s'exécuter par une personne seule et qui, malgré de si réels avantages n'en sera pas moins féconde en découvertes. L'océanographe qui s'y livrera y trouvera son profit aussi bien que le géologue, cet océanographe d'un passé lointain qui reconnaîtra dans les formations de rivages géologiques les caractères des rivages actuels tandis qu'à leur tour, les caractères géologiques comparés à ceux que constatent aujourd'hui nos yeux sur le bord de la mer lui révéleront une foule de circonstances insoupçonnées, épisodes de l'époque parfois vieille de milliers et de milliers d'années où se formait le rivage ancien maintenant exondé et devenu roche continentale.

Il convient d'abord de bien préciser la terminologie à employer pour désigner les diverses régions du bord de l'Océan.

Le *rivage* (fig. 58) est la portion du sol qui, par le jeu des

marées, est alternativement recouverte et abandonnée par l'eau. Les mers sans marées n'ont point de rivage ou n'en possèdent qu'un infiniment petit dont la limite la plus lointaine, du côté de terre, est celle qu'atteignent les vagues de tempête. Le rivage est même, dans certaines

Fig. 58.

circonstances, presque vertical car il comprend les faces de rochers alternativement découvertes et baignées par la mer et présentant des caractères spéciaux au point de vue océanographique aussi bien qu'au point de vue biologique à cause de leur faune particulière de coquilles et d'autres animaux.

L'espace plat recouvert de sable, en pente douce qui, au moment de la marée descendante vient d'être abandonné par la mer est l'*estran* qu'on appelle aussi, dans certaines régions de France d'un nom, le *luisant*, qui fait image et le définit mieux qu'aucun autre.

Un rivage de sable est une *plage*, un rivage couvert de galets ou de pierrés est une *grève*.

La *côte* est cette bande de terrain s'étendant à une certaine distance aussi bien vers la haute mer que dans la direction de la terre, de chaque côté du rivage. Un marin

sans quitter son navire dira que telle côte est accore, est saine ou malsaine en ne considérant qu'un espace toujours couvert d'eau. Un océanographe, un géographe et surtout un géologue, ne considérant que des espaces continuellement à sec, décriront une côte rocheuse, couverte de dunes ou en falaises.

Le *littoral* est à la côte ce que la côte est au rivage ; il définit une bande de terrain encore plus large dont l'axe est la côte et par conséquent le rivage. Un bâtiment chargé de surveiller la pêche, par exemple, ne quittera pas le littoral et le sable d'une plage contiendra des grains provenant de toutes les formations géologiques du littoral. Dans le premier cas on envisagera un espace uniquement de mer, dans le second un espace uniquement continental.

Nous exposerons ici la façon d'étudier un rivage avec beaucoup de précision, une côte du côté de la terre avec une certaine exactitude et d'acquérir des notions sur la portion du littoral s'étendant vers la terre et dont l'influence est si grande et si complexe sur la constitution de la côte, du rivage et de l'océan s'étendant au delà. Par delà le littoral, du côté de terre, l'étude appartient au géologue stratigraphe tandis que le littoral est le champ où s'exercent à la fois l'activité de l'océanographe et celle du géologue.

La première préoccupation pour celui qui se propose l'examen méthodique d'une région déterminée du littoral doit être d'en posséder l'image. Afin de l'obtenir, on se servira des cartes géographiques, topographiques et géologiques qui existent presque toujours et dont on fera, à la rigueur, un agrandissement. On notera les diverses particularités de la région, l'existence de rochers, de falaises dont on mesurera la hauteur, de dunes dont on établira les caractères, la distance à laquelle elles s'étendent, la

forme, la hauteur, en un mot toutes les particularités y compris, s'il est possible, la rapidité de leur marche vers l'intérieur des terres.

Cette étude à grands traits suffira pour le littoral et la côte; pour le rivage, il sera besoin d'une précision beaucoup plus grande.

Il importe, en premier lieu, d'obtenir un plan (1) du rivage et de la limite, commencement de la côte vers la terre. On fera ce levé rapidement, d'après les méthodes connues, en se servant du cercle hydrographique ou simplement de la boussole à main pour obtenir les angles et, pour les distances, du podomètre si elles sont longues, en comptant ses pas si elles sont moindres, ou encore avec un mètre pliant ou en ruban si elles sont très petites. On peut encore employer, surtout afin d'établir un profil en travers donnant la pente du rivage, s'il n'est pas trop accidenté, une mince ficelle paraffinée, de 50 m de longueur, divisée par des marques, de mètre en mètre, de cinq en cinq et de dix en dix, faites à la couleur à l'huile. Elle est terminée, à chacune de ses extrémités, par un anneau qu'on fixe à un piquet, à l'extrême bord extérieur du rivage, on l'étend sur le sol dans la direction perpendiculaire à la mer et l'on note les accidents du relief, le long de son parcours.

Une vue du rivage exécutée à la chambre claire présentera un indispensable caractère de précision, mais si l'observateur ne sait pas dessiner, il pourra toujours en obtenir un panorama photographique en une ou plusieurs parties. Il ne manquera pas de faire figurer dans chaque photographie, pour donner l'échelle, un homme ou un objet de dimensions connues. On dressera un plan très exact d'après

(1) On ne saurait trop recommander l'ouvrage de M. E. de Larminat, *Topographie pratique de reconnaissance et d'exploration suivie de notions élémentaires pratiques de géodésie et d'astronomie de campagne*. H. Charles Lavauzelle, éditeur, Paris, 1907.

quelques photographies en appliquant les procédés de la photogrammétrie qui se résument à mettre l'appareil de niveau, à connaître la distance focale de l'objectif, à prendre et à noter l'azimut d'un point remarquable quelconque ou en reproduisant sur le cliché la ligne d'horizon de la mer.

Pour obtenir la pente de la plage par nivellement, on étend la cordelette, comme il a été indiqué, en la calant avec quelques pierres pour l'empêcher d'être enlevée par le vent et, en profitant du moment où l'eau est au plus bas de sa course, quel que soit d'ailleurs le jour de la marée, on mesure la différence de niveau entre ce point et la hauteur maximum atteinte par l'eau ce jour-là, qui est très nettement indiquée par la bordure d'algues marines abandonnées par le flot. Cette différence donne sensiblement le niveau moyen de la marée ce jour-là et, si on divise cette distance par la durée totale de la marée, 12 h. 25 en France, on aura, d'après le tableau de la page 138, les valeurs à ajouter aux sondages si l'on a l'intention d'en exécuter plus tard, ou à en retrancher suivant l'heure où ils auront été faits.

Il sera bon aussi de relier le plan moyen de l'eau qu'on aura adopté à un repère aussi fixe que possible, choisi dans le voisinage; on prendra dans ce but une cabane de douaniers, une maison ou un point saillant de rocher.

Un nivellement s'exécute parfaitement par une personne seule. Je me sers d'un niveau-lyre portatif du colonel Goulier qui consiste (*fig. 59*) en une lunette fixée à un poids assez lourd et suspendue de façon à demeurer continuellement de niveau par le seul fait de la pesanteur. En y appliquant l'œil, on aperçoit un petit cercle lumineux non transparent coupé par un trait noir horizontal qui sert d'horizon à la hauteur exacte de l'œil de l'opérateur. Pour moi, cette hauteur est

Fig. 59.

de 151 cm. Quand on promène ce petit cercle autour de soi en se tenant le corps bien droit, à la même place, tous les objets avec lesquels coïncide le fil horizontal et qui sont observés directement avec l'autre œil, sont situés au même niveau que l'œil, c'est-à-dire dans mon cas, à 151 cm du sol où reposent mes pieds.

Me plaçant tout contre l'eau, le long de la ficelle graduée étendue sur le sol, je regarde en dirigeant mon regard le long de cette ficelle, le point où passe le trait horizontal du niveau Goulier; je m'y transporte; je recommence l'opération et autant de fois elle a été renouvelée, autant de fois la différence de niveau est de 151 cm. Si j'ai affaire à une fraction de ma hauteur, je vais planter une canne ou une baguette à l'endroit dont je tiens à savoir le niveau, je reviens à ma dernière station, en contre-bas, et je donne mon coup de niveau sur la baguette. Un peu de pratique apprend à faire cette opération avec rapidité et beaucoup plus d'exactitude qu'on ne serait tenté de le croire. On note aussi au passage, et d'après les traces assez faciles à reconnaître sur les rochers, le niveau le plus élevé atteint par la mer dans les plus hautes marées, ainsi que le profil des terrasses de galets le long de certaines plages.

Si l'on avait un aide, on effectuerait un nivellement plus précis en se servant comme mire d'un double mètre à ressort qu'on repose verticalement sur le sol et le long duquel, en guise de voyant, l'aide fait glisser son doigt d'après les signes de l'opérateur prenant toujours comme plan de niveau la hauteur au-dessus du sol de son œil appliqué à l'œillet du niveau-lyre Goulier.

Les grandes différences de niveau, la hauteur des falaises, par exemple, s'évalueront au baromètre anéroïde. La manière la plus simple de régler l'instrument est de l'étalonner de temps en temps. Je préfère connaître son erreur, s'il en possède une, que de le toucher et de le fatiguer en le réglant d'une manière absolue. Rien n'est plus

commode pour cela que les cotes du nivellement général de la France inscrites dans les gares de certaines lignes de chemins de fer, ou encore les cotes d'altitude indiquées sur les cartes. On porte le baromètre en deux points séparés par une différence de niveau connue, on note ses indications en chacun des deux points et l'on s'en sert pour calculer la correction.

Si l'on est géologue, on exécutera soi-même une reconnaissance destinée à obtenir une notion sur la constitution géologique et minéralogique du littoral. Au cas où l'on ne le serait pas, on chercherait à se procurer une carte géologique de la région. On fera bien de recueillir des échantillons des roches les plus voisines du rivage et l'on s'occupera d'en reconnaître les minéraux composants caractéristiques. C'est ainsi, par exemple, que les silex des côtes françaises et anglaises de la Manche trouvés dans les sables des plages de la mer du Nord, même réduits en grains infiniment fins, apprendront la distance où parviennent, en les portant, les ondes de marées qui, entrées par l'Atlantique, traversent le Pas de Calais et vont s'épanouir sur les côtes de la mer du Nord jusqu'en Danemark et en Norvège méridionale.

La reconnaissance des traces d'exhaussement ou d'affaissement du rivage est d'un intérêt extrême. On cherchera à distinguer s'il existe, par exemple, des restes de forêts submergées, comme dans le Calvados, et qui sont des marques d'affaissement, ou des lagunes, des dunes, des plages soulevées visibles en coupe sur les falaises, preuves d'exhaussement. L'étude de l'océanographie qui est essentiellement la géologie et la stratigraphie du présent, et surtout des plages, oblige l'océanographe à ne pas ignorer la géologie générale et ses procédés d'investigation, au moins dans leurs lignes principales.

On recueille, pour les analyser ensuite, des échantillons du sable des plages. La grosseur des grains n'a pas en

général beaucoup d'importance; les proportions relatives des diverses grosseurs varient en effet selon la profondeur au sein même de la plage où on les prend, et quiconque a vécu au bord de la mer sait combien un coup de vent, une tempête de quelques jours modifient le caractère des grains en tel ou tel endroit déterminé. Là où l'on avait trouvé du sable fin, on voit maintenant d'énormes galets ou des dépôts vaseux et réciproquement.

En revanche, la constitution minéralogique du sable est importante. Le quartz qui compose la masse principale de celui-ci n'a pas grand intérêt; les minéraux rares, souvent caractéristiques, en possèdent bien davantage; ils renseigneront souvent sur le lieu d'origine des sédiments étalés. La présence des gemmes, de zircons, de tourmalines sera souvent pleine d'enseignements. Pour cela, le passage des sables à la liqueur d'iodures à 2,8 est à recommander dans l'analyse.

Le dosage de la proportion de calcaire n'est pas à négliger; il est susceptible de fournir aux agriculteurs de précieuses informations dans les pays à roches cristallines, comme la Bretagne où le calcaire fait défaut. On sait l'importance des maërl, tangles, traëz et autres amendements agricoles calcaires dans ces régions.

Les coquilles entières ou brisées que les vagues arrachent des fonds continuellement exondés et amènent sur les plages, les diverses variétés d'algues informent de la nature sableuse, rocheuse ou vaseuse des fonds sous-marins voisins. Elles indiquent aussi, si l'on possède en même temps des notions relatives à la profondeur de leur gisement, sur la force des vagues qui ont été capables de les arracher du sol où elles reposaient, si elles sont encore vivantes. Il serait à désirer que les conchyliologistes livrassent aux océanographes, pour les coquilles les plus communes, des renseignements sur les conditions de leur habitat mis sous une forme aussi simple, aussi pratique et

aussi peu technique que possible afin d'être à la portée de non-spécialistes.

Un certain nombre de renseignements divers importants s'obtiendront sans qu'il soit besoin de s'embarquer et en risquant, pour se les procurer, tout au plus de se mouiller les pieds. Le miroir à 45° immergé dans 20 cm d'eau laissera apercevoir la couleur de la mer et la température de l'eau pourra se mesurer avec un thermomètre ordinaire. On aura soin de ne prendre cette dernière donnée qu'en mer montante avant que l'eau ait été échauffée ou refroidie par le lavage du sable du rivage, ce qui aurait lieu en marée descendante.

La direction du courant balayant un rivage est une donnée expliquant la constitution minéralogique du sable de la plage composée de matériaux dont le gisement est au-dessus et non au-dessous du courant. En l'appliquant aux plages géologiques, on reconnaîtra d'après la nature et la dimension des grains, la direction, la force et même la portée extrême, en entendant par ce mot la distance à laquelle ils se faisaient sentir depuis l'endroit considéré, des courants qui parcouraient l'ancienne mer géologique disparue. Je distingue cette direction en m'avancant aussi loin que possible sur la plage et en lançant à la mer, un morceau de bois quelconque ; je me borne ensuite à observer l'endroit où je l'ai lancé et celui où il aborde.

Il m'est aussi arrivé, à marée basse, d'amarrer à une grosse pierre un flotteur, morceau de bois ou bouteille vide bouchée et de repérer sa position. Quand la marée est montée, le flotteur commence à surnager, il suit le courant et de loin, en s'aidant s'il est nécessaire d'une lorgnette, on examine sa position par rapport à une pointe de rocher. On observe en même temps la direction et la force du vent. Il serait à souhaiter que des cartes de ce genre fussent dressées pour les côtes de France, vent dominant et

marche des courants comparés à la composition des sables en chaque point.

Une dernière mesure consistera à compter le nombre de vagues déferlant par minute qui permettra d'évaluer le trajet des grains de sable poussés par elles et par conséquent leur usure, le temps qu'ils mettent à s'anéantir et la distance en ligne droite du lieu où ils ont été arrachés à la roche mère.

Si l'océanographe se décidait à monter sur une embarcation et à s'éloigner de terre jusqu'à l'extrême limite des fonds de 10 mètres, ce qui ne serait une navigation ni lointaine, ni périlleuse, ni coûteuse, son champ d'investigation augmenterait considérablement d'étendue. Cette zone est, en effet, celle de l'activité maximum de la mer et mille découvertes y sont à faire, surtout en ce qui concerne la lithologie sous-marine. Si la carte lithologique en était dressée, une notable partie des problèmes relatifs aux pêches serait bien près d'avoir sa solution. Il ne faudrait comme instruments nouveaux, qu'un petit treuil en bois à fil de chanvre paraffiné, un ramasseur Léger bon pour le sable comme pour la vase et un plomb ou un sac de pierres à employer dans les endroits où l'on craindrait la rencontre de roches. Du reste, on pourrait se livrer à l'ensemble des opérations d'océanographie quelles qu'elles soient et particulièrement à l'étude des courants qui, on ne saurait se le dissimuler, offrirait alors, dans les mers à marées, une grande complication. Sur les côtes de France, la connaissance parfaite qu'on possède des marées simplifierait un peu la question. Dans les graphiques représentatifs des phénomènes observés, il y aurait lieu de tenir compte des deux influences, marées et courants, en outre des effets de la pression barométrique, de la force et de la direction du vent et d'autres encore.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
PRÉFACE.....	V
INTRODUCTION.....	1

I. — Météorologie.

<i>Considérations générales</i>	5
<i>Date et heure</i>	7
<i>Nébulosité, forme des nuages</i>	7
<i>Vent; direction et vitesse</i>	9
<i>État de la mer</i>	10
<i>Hauteur barométrique; baromètre anéroïde</i>	10
<i>Température de l'air. Thermomètre-fronde, moulinet de thermomètre</i> ..	13
Table de comparaison des échelles thermométriques.....	17
<i>Hygrométrie. Méthode du psychromètre</i>	16
Table des tensions maxima de la vapeur d'eau.....	22
Table psychrométrique.....	25

II. — Instruments divers.

<i>Jumelles marines. Compas; boussole, tachéographe de Schrader, théo-</i> <i>dolite, sextant, cercle hydrographique</i>	27
<i>Miroir d'alignement</i>	32
<i>Messenger Rung; déclancheur à verrou et déclancheur à hélice Ma-</i> <i>gnaghi</i>	34
<i>Serre-joints</i>	35
<i>Indicateur à huile</i>	36
<i>Vues photographiques</i>	37

III. — Observations océanographiques.

A. — Topographie.

Pages

a) <i>Considérations générales</i>	41
b) <i>Appareils de sondage</i> . Sondage à la perche, treuil sondeur Belloc simplifié, sonde portative.....	47
c) <i>Fils et lignes de sonde</i> , métrage et paraffinage.....	53
d) <i>Plombs de sonde</i> , sac, moule à poids surcharge.....	55
e) <i>Poulies folles</i> . Support de poulie folle.....	58
f) <i>Précision d'une mesure de profondeur</i>	59
g) <i>Flotteur jalon</i>	61
Tables de réduction des brasses en mètres et des mètres en brasses.....	62

B. — Lithologie.

a) <i>Considérations générales</i>	64
b) <i>Instruments collecteurs de fonds</i> , ramasseur Léger.....	67
Tube Buchanan.....	68
Tube Buchanan simplifié.....	70
Drague.....	71
c) <i>Conservation des échantillons</i> . Boîtes à boudins, sacs, flacons en verre, tubes plats.....	72
d) <i>Analyse des échantillons</i> . Tamis, agitateur mou, balance-tré- buchet, loupe, capsules en porcelaine, dosage rapide du cal- caire.....	75
e) <i>Confection d'une carte lithologique</i> . Cartes de la répartition du calcaire sur le sol sous-marin, de l'ammoniaque des fonds, de la grosseur des grains, de la répartition de tel ou tel minéral dans les sédiments.....	77

C. — Chimie de la mer.

<i>Considérations générales</i>	78
<i>Instruments :</i>	
a) Bouteille de surface.....	80
b) Bouteille de Mill.....	81
c) Bouteille Buchanan.....	82
d) Bouteille Richard.....	82
e) Bouteille Thoulet.....	83
<i>Conservation des échantillons</i>	85

D. — Température de la mer.

<i>Considérations générales</i> . Cartes isothermes.....	85
<i>Instruments de mesure</i> . Thermomètre de surface et thermomètre plongeur Chabaud.....	89

	Pages.
Thermomètre à retournement, sa correction; monture à verrou, monture à hélice, monture norvégienne, monture norvégienne perfectionnée.....	90
E. — Optique.	
<i>Considérations générales</i>	94
a) <i>Transparence des eaux</i>	97
<i>Instruments de mesure, lunette d'eau</i>	97
<i>Disque de Secchi et boule blanche</i>	98
<i>Relation entre la transparence et le poids de matière miné- rale en suspension par litre d'eau</i>	99
b) <i>Couleur de l'eau</i>	100
<i>Gammes F et C de Forel, gamme U de Ule, gamme T de tonalité</i>	100
<i>Lunette colorimétrique</i>	102
<i>Tube colorimétrique</i>	107
<i>Planchette colorimétrique</i>	108
<i>Chapelet colorimétrique</i>	109
F. — Compressibilité.	
<i>Correction de profondeur d'une densité d'eau de mer</i>	110
<i>Table de correction de pression pour les densités</i>	110
G. — Densité.	
<i>Considérations générales</i>	111
<i>Table de correction de pression pour les densités</i>	112
<i>Prise d'une densité au pycnomètre</i>	117
<i>Aréomètre du « Challenger ». Tables</i>	117
<i>Aréomètre moyen, tables</i>	123
<i>Correction de température</i>	127
<i>Tables de salinité, d'après Knudsen</i>	129
H. — Marées et seiches.	
<i>Considérations générales</i>	134
<i>Plémyramètre</i>	139
K. — Vagues.	
<i>Considérations générales</i>	140
<i>Trace-vagues</i>	141
<i>Éléments des vagues : vitesse, longueur, largeur, période, hauteur; leur mesure</i>	142
L. — Courants.	
<i>Considérations générales</i>	146
<i>Dragues à courants</i>	150

	Pages.
<i>Bouteilles Hauteux</i>	151
<i>Épaves artificielles</i>	153
<i>Flussomètre Makaroff</i>	155
<i>Mesure indirecte des courants, d'après la densité des eaux</i>	157
<i>Représentation graphique des courants</i>	160

IV. — Observations océanographiques à bord de navires non spéciaux pour l'océanographie.... 165

V. — Étude des rivages.

<i>Considérations générales</i>	173
<i>Plan. Vue photographique ou à la chambre claire</i>	176
<i>Pente des plages</i>	177
<i>Nature de la roche environnante, traces d'affaissement ou d'exhaussement</i>	179
<i>Matériaux constituant la plage. Dosage du calcaire</i>	180
<i>Coquilles et algues rejetées sur les plages</i>	180
<i>Couleur et température de la mer</i>	181
<i>Courants de plage</i>	181

PARIS. — IMPRIMERIE R. CHAPELOT ET C^e, RUE CHRISTINE, 2.

A LA MÊME LIBRAIRIE :

- Précis d'analyse des fonds sous-marins actuels et anciens**; par J. Thoulet, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Paris, 1908, 1 vol. in-8 avec pl. 5 fr.
- Océanographie** (statique); par J. Thoulet, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Paris, 1890, 1 vol. in-8 avec 103 figures. 10 fr.
- Océanographie** (dynamique). 1^{re} partie; par J. Thoulet, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Paris, 1896, 1 vol. in-8 avec 62 figures et 2 cartes en couleurs. 5 fr.
- Couplage des dynamos et régulateurs compensés**. — Service électrique d'un cuirassé moderne; par Félix Bayle, mécanicien principal de 2^e classe. Paris, 1907, 1 vol. in-8. 5 fr.
- Application de la géographie générale aux instructions nautiques**; par Camille Vallaux, professeur de géographie à l'École navale, docteur ès lettres. Paris, 1907, broch. in-8. 1 fr. 25
- Étude sur les principaux calculs nautiques**; par M. Ripoll, professeur d'hydrographie. Paris, 1907, 1 vol. in-8 avec croquis. 2 fr. 50
- Géométrie des diagrammes**. — Questions économiques sur les courbes d'indicateur. — **Théorie de la machine marine**; par J. Baills, capitaine de frégate en retraite. Paris, 1903, 1 vol. in-8 avec figures et 20 planches hors texte. 12 fr.
- Publication de la Section historique de l'État-Major de l'Armée* : **La Campagne maritime de 1805**. — Trafalgar; par le commandant Edouard Desbrière, chef de la Section historique de l'État-Major de l'Armée. Paris, 1907, 1 vol. gr. in-8 avec cartes et croquis. 24 fr.
- Capitaine Sorb**. — **Quittons la Méditerranée et la mer de Chine**. Routine et traditions navales. Paris, 1905, 1 vol. in-12 avec croquis. 3 fr. 50
- Capitaine Sorb**. — **Entre l'Allemagne et l'Angleterre**. Paris, 1906, 1 vol. in-12. 3 fr. 50
- Capitaine Sorb**. — **Études navales et côtières**. — La question de la flotte de notre politique. — La question des îles côtières. — Précautions sur le littoral proprement dit. Paris, 1906, 1 vol. in-8. 3 fr.
- Alfred Duquet**. — **La faillite du cuirassé**. Paris, 1905, 1 vol. in-12. 3 fr. 50
- L'objectif de nos flottes**. — **La guerre commerciale**; par le commandant D***. Paris, 1906, broch. in-8. 2 fr.

Revue Maritime

PUBLIÉE PAR LE

MINISTÈRE DE LA MARINE

Couronnée par l'Académie des Sciences

Paraissant le 1^{er} de chaque mois, par livraison d'environ 10 feuilles grand in-8 avec figures dans le texte et planches, et formant, tous les trois mois, un volume avec table : quatre volumes par an.

PRIX DE L'ABONNEMENT :

	UN AN.
France et Algérie.	36 fr.
Colonies et Étranger.	42 fr.
Pays étrangers ne faisant pas partie de l'Union postale.	46 fr.