

Mesure de salinité

Salinity measurements

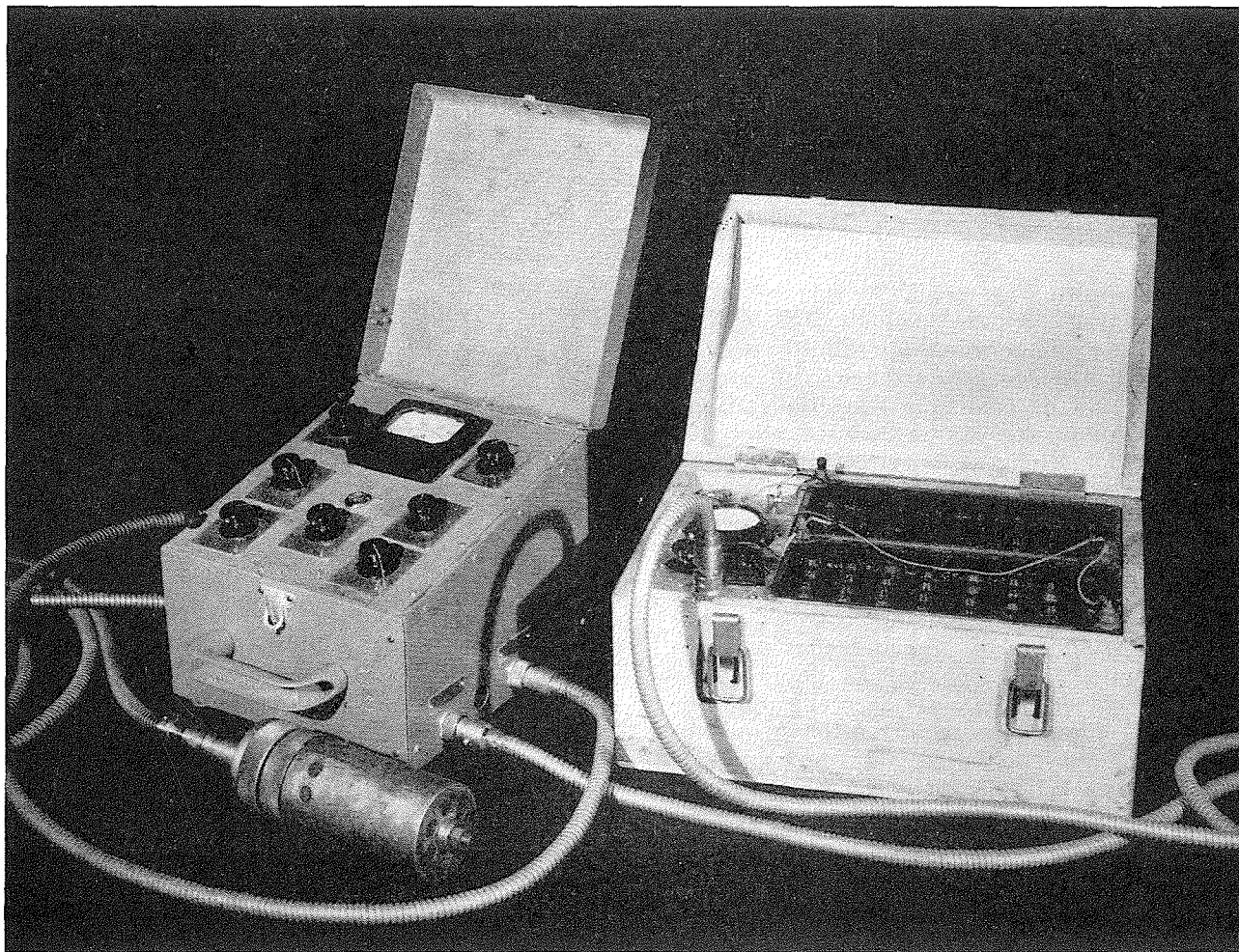
PAR MM. SAUVAGE DE SAINT-MARC ET BOUDAN

INGÉNIEURS AU LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE (NEYRPC)

English synopsis p. 217

L'océanographe n'est pas seul à être intéressé par la salinité de l'eau; l'hydraulicien aussi, dans certains problèmes, a besoin de connaître

cette caractéristique de l'eau; tels sont les problèmes des estuaires (courants de densité, pénétration de la langue d'eau salée à l'intérieur



LE HALOMÈTRE. — La sonde, les accumulateurs d'alimentation et le cadran de commande et de lecture.

d'un estuaire, évolution du fond des estuaires et de leur voisinage, etc...) ou encore les problèmes d'identification des nappes souterraines salées.

Mais alors que l'océanographe opère sur une bande très étroite de salinité (autour de 30 g/kg d'eau, l'hydraulicien souhaite couvrir une gamme très large (de 0 à 35 g/kg d'eau). De plus, ce dernier est fort intéressé par la connaissance du gradient de densité; il lui faut donc pouvoir tracer la variation de salinité en fonction de la profondeur, et comme cette salinité peut parfois varier dans une très large mesure sur une profondeur faible (de l'ordre de 5 à 10 cm), l'hydraulicien désire également procéder à des mesures presque ponctuelles.

Après avoir précisé aussi les exigences de l'hydraulicien relatives à la mesure de la salinité, les auteurs passent en revue les différents appareils existant en essayant de les classer à la fois suivant le mode opératoire et suivant le principe même mis en jeu pour la mesure. Et comme aucun de ces appareils ne répondait aux exigences précitées, le Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique en étudia et en mit au point un nouveau désigné sous le nom de « halomètre ».

LE HALOMÈTRE

1. — Principe de l'appareil.

Le halomètre détermine la salinité *in situ* par la mesure de la conductance d'une sonde plongée au sein de l'eau que l'on étudie. L'eau salée étant un électrolyte, le courant alternatif est choisi pour alimenter les circuits de mesure afin d'éviter l'électrolyse et l'apparition de forces électromotrices parasites au contact des électrodes et de la solution.

Le principe de la mesure de conductance est représenté par la figure 1.

Une source alternative alimente, sous une tension constante U , l'impédance Z_3 de la sonde et une impédance Z_2 en série avec elle. Un voltmètre électronique mesure la tension u qui apparaît aux bornes de Z_2 .

Cette impédance Z_2 est choisie de manière qu'elle soit pratiquement en quadrature avec Z_3 et que son module soit inférieur au quinzième de la plus faible valeur que prend le module de Z_3 . Dans ces conditions, le module de l'impédance série $Z = Z_2 + Z_3$ est égal au module de l'impédance à mesurer à 0,2 % près, ce qui se traduit par $Z \# Z_3$.

Le courant absorbé par le voltmètre étant négligeable devant le courant traversant Z_2 et Z_3 , la valeur de courant I est donnée par :

$$I = \frac{U}{Z} \# \frac{U}{Z_3}$$

La tension aux bornes de Z_2 est :

$$u = Z_2 I = \frac{Z_2 U}{Z_3} = AU\gamma \quad (1)$$

γ est la conductance de la sonde, l'argument de Z_3 étant en effet très faible. A est une constante.

La puissance d'alimentation varie suivant les valeurs de Z_3 ; ceci nécessite une stabilisation de

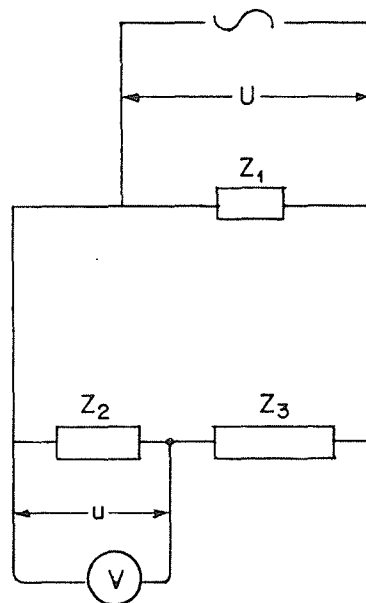


FIG. 1.

la tension U , stabilisation qui est obtenue au moyen d'une source de faible impédance interne, shuntée par une impédance de grand module devant celui de l'impédance à mesurer et en quadrature avec elle.

Cependant, cette simple mesure ne suffit pas; en effet, la conductivité du liquide de la sonde est fonction également de la température; or, cette température varie d'un point à un autre au sein de la mer ou de la nappe souterraine; on s'arrange donc à éliminer de la mesure l'influence de ces variations de température par le dispositif indiqué ci-après et désigné sous le nom de compensateur.

2. — Compensation des variations de température.

La compensation est réalisée en asservissant la tension d'alimentation U aux variations de température. C'est pour cela que cette tension U est prise aux bornes d'une sonde Z_c (sonde de compensation) de salinité fixe et dont la température est égale à celle de Z_3 (fig. 2).

Le compensateur est alimenté à courant constant sous une tension U_1 . Cette alimentation est réalisée par la mise en série avec Z_c d'une impédance Z_b en quadrature avec elle et dont le module est supérieur à quinze fois le module maximum de Z_c ; la variation d'impédance de la sonde

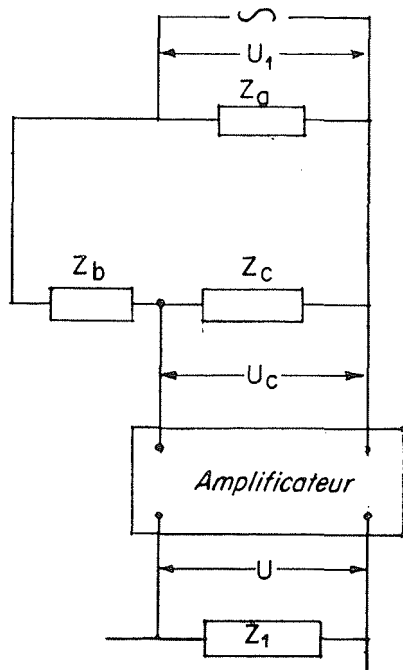


FIG. 2.

Z_c n'étant pas de 100 %, l'alimentation à courant constant est réalisée à moins de 0,2 % près.

La conductance est une fonction de la forme :

$$\gamma = f(s) \varphi(\theta) \quad (2)$$

s est la salinité,

θ la température.

La tension U_c aux bornes de Z_c est donnée par :

$$U_c = B Z_c U_1$$

En remplaçant Z_c par sa valeur :

$$Z_c = \frac{1}{\gamma_c} = \frac{1}{f(s_c) \varphi(\theta)} ;$$

il vient :

$$U_c = \frac{B U_1}{f(s_c) \varphi(\theta)}$$

La tension U_c est amplifiée par l'amplificateur A , donc :

$$U = \frac{C U_1}{f(s_c) \varphi(\theta)} \quad (3)$$

C est une constante tenant compte de l'amplification.

En remplaçant dans (1) U et γ par leurs expressions respectives (3) et (2), on obtient :

$$u = \frac{F U_1 f(s) \varphi(\theta)}{f(s_c) \varphi(\theta)}$$

d'où :

$$u = K f(s)$$

la lecture est donc indépendante de la température.

Pour connaître la conductivité réelle due à la température du point où l'on effectue la mesure, il suffit de remplacer la sonde Z_c par une résistance en constantan dont le coefficient de température est nul.

3. — Mesure de la température.

En remplaçant la sonde Z_3 par une sonde de salinité fixe (sonde de température) et la sonde Z_c par une résistante en constantan, la tension de sortie n'est alors fonction que de la température.

Cette mesure de température nécessite la précision suivante : la variation de conductance de la sonde de température est moins importante dans la zone de mesure que celle de la sonde de salinité. Pour augmenter la précision, d'une part le gain de l'amplificateur est augmenté et, d'autre part, à la tension de sortie détectée est opposée une tension continue fixe dont la valeur amène l'aiguille de l'appareil au zéro pour la plus basse température. L'échelle des températures couvre ainsi tout le cadran.

4. — Les sondes.

Une sonde est un bac à électrolyse en courant alternatif; électriquement, c'est une impédance complexe que l'on schématise par une résistance avec une capacité qui peut être soit en série, soit en parallèle.

CHOIX DES IMPÉDANCES

Les considérations développées au sujet des valeurs respectives des impédances Z_2 et Z_3 d'une part, Z_b et Z_c d'autre part, régissent le choix des impédances. Ainsi, l'impédance d'une sonde ne peut varier qu'entre une limite inférieure et une limite supérieure; et le rapport des valeurs des impédances correspondant à ces limites extrêmes étant assez faibles, trois sondes sont nécessaires pour couvrir toute la gamme des salinités rencontrées (exigence mentionnée au début de cet exposé). A chaque sonde correspond une sensibilité; les trois sensibilités obtenues portent à 12 le rapport entre les mesures extrêmes effectuées par le halomètre.

STABILITÉ DES SONDES

L'impédance des sondes dépend de nombreux facteurs et notamment elle varie avec le temps: c'est le vieillissement des sondes. Ce vieillissement, qui se traduit par une augmentation d'impédance, est fonction surtout de la nature du métal des électrodes et de la densité de courant au voisinage de ces dernières.

Le métal adopté dans la réalisation des électrodes est un acier inoxydable au nickel chrome, soigneusement poli.

La densité de courant est diminuée au voisinage des électrodes par une forme géométrique des sondes appropriées.

GÉOMÉTRIE DES SONDES

La sonde classique biplaque à champ libre ne permet pas de réaliser en eau chargée, pour des dimensions géométriques raisonnables, des densités de courant sur les plaques conciliables avec la stabilité, ni les valeurs d'impédances justifiant les approximations faites. Pour satisfaire à ces conditions, une sonde à électrode unique a été réalisée.

Ainsi, la conductance mesurée est bien déterminée, la conductance du milieu liquide entre la sortie du tube et la masse étant négligeable.

5. — Tarage et vérification de l'appareil.

Tarage de la mesure de conductivité.

Comme $u = k\gamma(I)$, il suffit, pour tarer l'appareil, d'ajuster la pente de la droite d'étalonnage. Un commutateur est amené sur la position « tarage de conductivité », la sonde de mesure de salinité et la sonde de compensation sont alors remplacées par des résistances connues. L'ai-

guille est amenée sur la position correspondant à la valeur de tarage au moyen d'un potentiomètre dit de tarage de conductivité. Ceci suppose que la linéarité est bonne; cette linéarité est vérifiée en mettant le commutateur sur la position « vérification, linéarité » qui remplace la résistance connue correspondant au compensateur par une résistance de valeur moitié.

ADAPTATION DU COMPENSATEUR

Trois types de compensateurs sont utilisés; à chacun d'eux correspond une certaine gamme de salinité.

Le compensateur choisi étant en place sur l'appareil, un commutateur est mis sur la position « adaptation compensateur » qui branche le compensateur et remplace la sonde en constantan. A l'aide d'un potentiomètre, le gain de l'amplificateur de sortie du compensateur est modifié pour amener l'aiguille à la position correspondant à la valeur du tarage.

L'appareil est prêt pour une campagne de mesure, campagne au cours de laquelle la commodité du tarage permet une vérification rapide des bonnes conditions de marche de l'appareil.

Les auteurs terminent en signalant que cet appareil a déjà reçu avec succès l'épreuve de l'expérience.

DISCUSSION

M. le Président remercie M. SAUVAGE DE SAINT-MARC, souligne la clarté de son exposé ainsi que l'intérêt des questions de salinité en mer et de l'appareil présenté.

Sur une question de M. BEAU, relative à l'utilisation de l'appareil dans les grandes profondeurs (200-300 m), M. SAUVAGE répond que cette question n'est posée pour le Laboratoire Dauphinois que pour des profondeurs de 100 à 150 m au maximum (estuaires), mais que son adaptation aux grandes profondeurs consisterait seulement à étudier plus à fond la tenue des appareils de descente.

Sur des questions de M. LACOMBE et de M. BONNIN relatives aux difficultés créées par l'isolement, les effets de capacité et les parasites, M. SAUVAGE DE SAINT-MARC dit que ces effets existent mais sont mieux compensés dans l'appareil présenté que dans le pont de Knudsen; que d'autre part, les sondages pratiqués jusqu'à présent n'ont pas posé la question de la profondeur limite due à la capacité du câble.

M. DURAND explique que le Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique utilise, en dehors de cet appareil simplifié pour les mesures dans la nature, d'autres sondes du même type mais comportant des perfectionnements électriques ou électroniques pour l'analyse des concentrations spatiales en mixtures, bulles d'air, etc.

Sollicité par M. SAUVAGE DE SAINT-MARC et par M. le Président, M. LACOMBE donne un aperçu de l'appareil américain S.T.D. conçu dans un but analogue. Cet appareil compliqué et de grandes dimensions, mesure à la fois la température, la profondeur, la salinité et la densité, il a donc quatre asservissements et un rattrapage automatique de l'équilibre des ponts; la sonde est petite,

par contre, l'appareil a servi dans les estuaires, mais non pas pour les mesures océanographiques, pour lesquelles sa précision, comme celle de l'appareil présenté, seraient insuffisantes (dix fois moins sensibles que la méthode internationale de Knudsen).

Sur une nouvelle question de M. BONNIN, M. SAUVAGE DE SAINT-MARC répond que le critère d'homogénéité de la densité de l'eau dont on mesure la salinité, se fait par la comparaison des trois mesures, qu'il a signalées; le cas échéant, on fait un nouveau prélèvement d'eau pour la sonde-témoin.

M. HUPNER demande au conférencier si un appareil de ce genre peut être rendu suffisamment robuste pour être employé sur les chantiers de certains barrages pour lesquels il est utile de connaître la salinité des eaux circulant dans les terrains de fondation.

M. SAUVAGE DE SAINT-MARC répond que la nouvelle sonde est conçue pour aller dans des sondages de 40 à 50 cm de diamètre, et que c'est simplement l'encombrement de l'appareil qui limite la profondeur des sondages.

M. le Président remercie M. HUPNER et présente deux remarques sur certaines expressions contenues dans l'exposé :

- 1° La loi de la constance de la constitution de l'eau de mer n'aurait pas été trouvée par KNUDSEN (voir Traité d'Océanographie de Rouch);
- 2° La salinité s'exprime en grammes de sel par kilo d'eau, pour tenir compte de l'influence avec la température, et de préférence en millièmes, de telle sorte que la précision des mesures se chiffre en fraction de millièmes (par exemple 35,5‰).

M. le Président souligne un des avantages de l'appareil présenté, qui consiste à donner la salinité *in situ* et avec un bagage peu encombrant. Son emploi semble bien limité aux estuaires, mais d'une manière générale, les mesures de salinité au large offrent assez peu d'intérêt et les autres systèmes employés en océanographie ne donnent pas grand'chose.

