

# L'UTILISATION D'UN PONT DE WHEATSTONE ELECTRONIQUE ENREGISTREUR POUR LA MESURE DES TEMPERATURES DES NAPPES D'EAU (Note préliminaire)

par Jacques AUDOUIN

## INTRODUCTION

Depuis l'invention en 1878 par NEGRETTI et ZAMBRA du thermomètre à renversement, universellement employé aujourd'hui par les océanographes, plusieurs tentatives ont été faites pour mettre au point des appareils destinés à la mesure électrique des températures de l'eau de mer à diverses profondeurs. Citons l'appareil de SIEMENS basé sur la variation de résistance électrique d'un fil avec la température, le sondeur thermo-électrique de LABOUREUR, le thermomètre enregistreur de REGNARD et enfin les thermomètres imaginés par IDRAC. L'un de ceux conçus par IDRAC était basé comme celui de SIEMENS sur l'emploi d'un pont de Wheatstone accouplé à une résistance variant avec la température.

Le développement rapide de certaines industries au cours de ces dernières années a conduit les techniciens de l'électronique à mettre au point des appareils enregistreurs destinés aux contrôles de fabrication. Nous avons utilisé, depuis deux ans, des appareils similaires pour effectuer des mesures hydrologiques.

Le premier paragraphe de cette note sera consacré à l'exposé des caractéristiques des détecteurs que nous avons expérimentés, le second traitera des appareils de mesure. Elle se terminera par l'énoncé des conclusions que l'on peut tirer de nos essais.

### Les détecteurs.

Les températures qui nous intéressent sont comprises entre  $-2^{\circ}$  et  $+40^{\circ}$ . Leur mesure peut être effectuée au moyen de thermocouples, de résistances thermométriques ou de thermistances.

**Les thermocouples.** Un circuit constitué par deux conducteurs métalliques de nature différente est parcouru par un courant dès que les contacts entre ces deux conducteurs sont portés à des températures inégales. Un circuit de ce genre appelé couple thermoélectrique ou thermocouple est donc le siège d'une force électromotrice. A condition de maintenir l'état thermique initial des conducteurs, la différence de potentiel entre les extrémités d'une coupure pratiquée dans ce circuit est égale à cette force électromotrice. Celle-ci ne dépend que de la nature des conducteurs et des températures des deux contacts. Elle est indépendante des températures intermédiaires de l'un ou de l'autre conducteur. Si l'on maintient fixe la température d'un des contacts, la force électromo-

trice du thermocouple est fonction de la température de l'autre. On convient d'appeler soudure froide celle qui est maintenue à température constante et soudure chaude celle qui sera soumise aux variations que l'on désire mesurer. Des courbes d'étalonnage ont été établies pour chaque thermocouple usuel en tenant compte de la température de référence qui est habituellement celle de la glace fondante. L'emploi d'un thermocouple implique donc la nécessité de disposer soit d'une source de température rigoureusement constante soit d'un dispositif de correction de soudure froide.

Nous avons utilisé pour nos essais, des thermocouples cuivre-constantan.

**Les résistances thermométriques.** La résistance électrique d'un conducteur varie en fonction de sa température. Les conducteurs peuvent donc permettre de mesurer la température d'un milieu déterminé. En pratique ce sont généralement, dans les limites que nous avons définies, des résistances en nickel ou en cuivre. Nous avons utilisé des résistances en nickel de 100 ohms à 20° (93 ohms à 0° C et 107 ohms à 40°). Elles sont constituées par un bobinage adhérent directement à la paroi intérieure d'une enveloppe en acier inoxydable d'un diamètre de 10 mm qui peut être mise en contact avec l'eau de mer. Elles bénéficient d'une faible inertie et sont reliées à l'appareil de mesure par un câble à trois conducteurs de même nature et de même section (cuivre isolé sous chlorure de vinyle). Elles sont munies d'une tête spéciale comportant un manchon de serrage de la partie sensible, une bague et un presse-étoupe assurant une étanchéité dans l'eau à 30 m de profondeur.

**Les thermistances.** Apparentés aux semi-conducteurs, ce sont des résistances à coefficient de température négatif. La variation de résistance s'effectue en sens inverse de celle que présentent les conducteurs ordinaires : elle diminue quand la température augmente. Le coefficient de température des thermistances est très supérieur à celui des résistances thermométriques. Leur valeur nominale peut être assez élevée (plusieurs milliers d'ohms) et on peut obtenir des variations de l'ordre de 4 à 5 % de celle-ci par degré. Ceci explique leur emploi pour des mesures de température dans le cas où l'on ne dispose que d'un appareil de mesure relativement simple (pont de Wheatstone alimenté en courant continu de quelques volts et muni d'un galvanomètre à cadre mobile, par exemple). La valeur nominale de la thermistance étant relativement grande comparée à celle des conducteurs électriques la reliant à l'appareil de mesure, les légères variations de résistance de ces derniers sont négligeables.

## Les appareils de mesure.

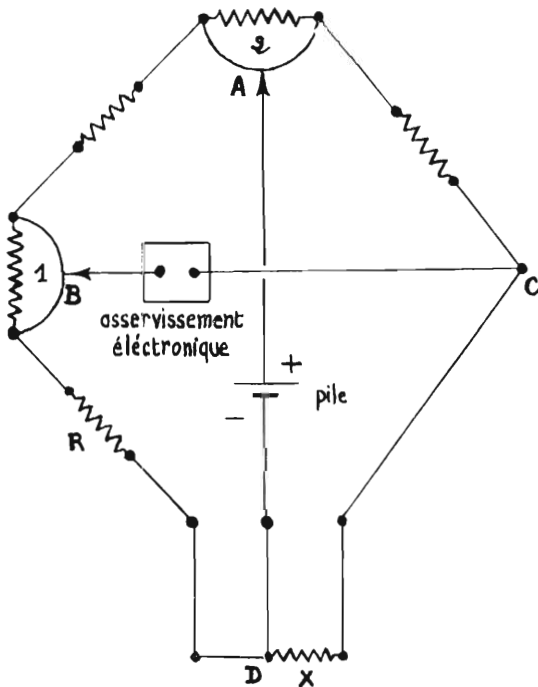
La supériorité des « appareils de zéro » pour les mesures électriques de température étant maintenant couramment admise, nous ne citons que pour mémoire les appareils à déviation qui ne donnent pas des résultats suffisamment précis. L'équilibrage des appareils de zéro peut être soit manuel, soit automatique. Les ponts de mesure à équilibrage automatique permettent facilement d'obtenir un enregistrement des données recueillies : c'est là, pensons-nous, un de leurs principaux avantages.

**Le potentiomètre à thermocouple.** Au début de nos essais nous avons utilisé un potentiomètre à thermocouple. Il ne comportait pas de dispositif de correction de soudure froide ; la glace fondante nous a servi de température de référence. Cette méthode comporte des inconvénients. Son emploi à bord d'une embarcation n'est guère possible en raison des difficultés que l'on rencontre pour garder constante la température de référence. Nous l'avons abandonnée. Nous avons pu disposer ensuite d'un appareil comportant un dispositif manuel de correction de soudure froide. Nos résultats furent meilleurs mais cependant très imparfaits. La nécessité de vérifier très souvent l'étalonnage des thermocouples et d'effectuer des tarages fréquents nous ont conduit à rejeter également cette méthode.

**Le pont de Wheatstone à résistance thermométrique.** Celui que nous utilisons comprend :

*Un circuit de mesure :* c'est un pont de Wheatstone modifié (fig. 1). Il comporte deux fils calibrés calés sur le même axe. Les valeurs de leur résistance sont déterminées de façon à ce que

les résistances des bras A B et A C soient égales quelle que soit la position des deux curseurs qui les parcourent. L'équilibre est obtenu par déplacement du curseur B du fil calibré 1 jusqu'à ce que la résistance du bras B R D soit égale à X la résistance cherchée. Dans ce circuit la résistance des conducteurs reliant R à X et C à X n'a pas d'influence sur la mesure pourvu que ces deux résistances soient égales entre elles.



*Un mécanisme d'équilibrage:* il est composé essentiellement d'un circuit d'entrée, d'un amplificateur électronique et d'un moteur d'équilibrage. Nous avons choisi un mécanisme d'équilibrage électronique de préférence à un type mécanique. Il comporte sur ce dernier l'avantage de donner une sensibilité plus grande et permet une plus grande vitesse de commutation (toutes les quatre secondes).

*Un mécanisme enregistreur* ainsi qu'un commutateur qui branche automatiquement et successivement les deux résistances thermométriques, l'appareil comportant deux directions.

*Un moteur* qui assure le déroulement du papier diagramme et la commutation automatique. L'enregistrement est effectué sur diagramme de 250 mm de largeur. On peut faire varier à volonté la vitesse de déroulement du papier entre 12 et 2 438 mm/h.

Deux gammes sont prévues : 0 à 20° et 20 à 39°. L'appareil permet de déceler des variations de l'ordre de 1/20° de degré. Son exactitude garantie est de 0,3 % de l'étendue de l'échelle et sa fidélité de 0,2 %.

Depuis le début du mois de janvier 1959 il fonctionne pratiquement sans interruption. Il est relié à une résistance thermométrique et à une thermistance, placées respectivement au fond et en surface dans le canal faisant communiquer l'étang de Thau avec la mer.

L'étalonnage de l'appareil est valable seulement pour la résistance thermométrique ; la thermistance a été placée à titre expérimental : elle est branchée en parallèle avec une résistance fixe, calculée de façon à en permettre l'utilisation avec l'appareil.

Nous avons pu également installer le pont de Wheatstone électronique à bord de l' « Ostrea », embarcation de 8,50 m jaugeant trois tonnes. Son alimentation était assurée par une commutatrice transformant le courant continu de 24 volts en courant alternatif de 115 volts. Même par forte houle, l'appareil est insensible aux mouvements du bateau et son fonctionnement n'en est pas perturbé.

## Conclusions

L'ensemble constitué par un pont de Wheatstone électronique enregistreur relié à un ou plusieurs détecteurs peut être utilisé à bord des embarcations même légères, pour la mesure des températures jusqu'à une profondeur qui est fonction du type de détecteur choisi. Nous avons effectué des mesures jusqu'à 25 m de profondeur avec des résistances en nickel ; mais les thermistances peuvent également être employées ; leur stabilité est cependant moins bonne.

Ce dispositif permet de relier les données obtenues à chaque station hydrologique où des observations plus complètes sont recueillies à l'aide de thermomètres à renversement.

Son emploi pour des enregistrements de température à distance est possible à condition d'éliminer l'influence des résistances de ligne.

Nous pensons que son utilisation en zone côtière, dans les étangs et lacs facilitera l'interprétation des données obtenues par les méthodes classiques.