

## Chapter 16

### LE COURANTOGAPHE B.B.T. - NEYRPIC

le Capitaine de Vaisseau e.r. DUROCHE  
Directeur du Service Recherches des Etablissements B.B.T. à Paris  
et

M. J. RIGARD - Ingénieur au Laboratoire Dauphinois  
d'Hydraulique à Grenoble

Le courantographe mis au point en collaboration par les Etablissements B.B.T. et les Etablissements NEYRPIC, est un appareil autonome qui enregistre automatiquement la direction et l'intensité des courants marins.

Il se compose essentiellement d'un moulinet hydrométrique DUMAS-NEYRPIC associé à un dispositif d'enregistrement des vitesses de rotation de l'hélice, et d'un système d'enregistrement des caps. A l'exception du moulinet, ces différents organes, ainsi qu'une batterie d'accumulateurs, sont montés sur un châssis robuste (fig. 3) placé dans un corps profilé étanche. Le moulinet, dont l'hélice est protégée par un cercle de garde, est placé à l'avant de ce corps. Un empennage permet au courantographe de s'orienter suivant la direction du courant, même lorsque la vitesse est faible (fig. 1).

Le corps proprement dit a un diamètre de 28 cm. et une longueur de 115 cm., mais de la tête du moulinet à l'extrémité de la queue, la longueur totale est de 206 cm. Il est réalisé en alliage léger pour des profondeurs d'immersion allant jusqu'à 250 m., l'appareil pèse alors 90 Kg. Pour les profondeurs supérieures, le corps est en bronze et le poids passe à 170 Kg.

Signalons qu'une description détaillée du courantographe B.B.T. - NEYRPIC a été publiée par le Commandant DUROCHE, dans le Bulletin d'Information du Comité Central d'Océanographie et d'Etude des Côtes de Février 1953, et dans la Revue Hydrographique Internationale de Mai 1953. Nous ferons de larges emprunts à cet article.

#### I - MOULINET HYDROMETRIQUE (fig.2)

Le moulinet fixé à l'avant du courantographe est une variante légèrement modifiée du moulinet universel DUMAS-NEYRPIC, spécialement adaptée au fonctionnement en eau conductrice.

##### a) Description générale

Il se compose de plusieurs pièces de révolution coaxiales emboîtées les unes dans les autres, sans filetage ni vis de fixation. Le corps du moulinet, de forme hydrodynamique, se termine à l'arrière par un cylindre qui s'emboîte de façon parfaitement étanche sur le nez du courantographe. Une douille de centrage, emmanchée sur l'arbre et tournant avec lui, est interposée entre le corps et l'hélice. Celle-ci est fixée à

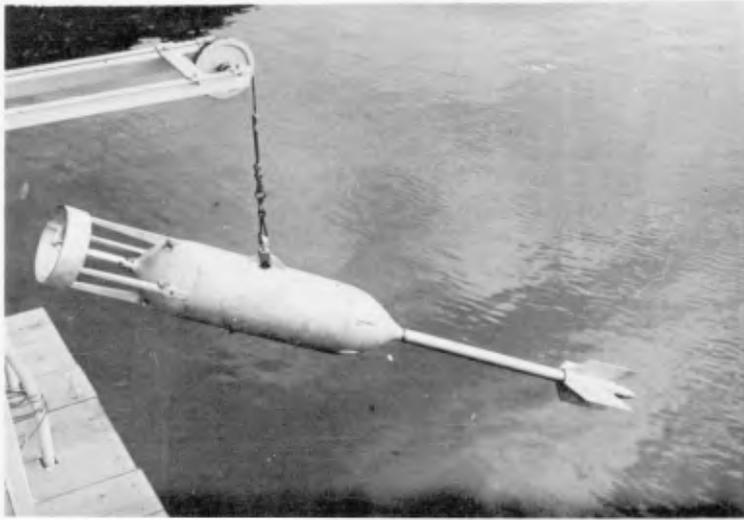


Fig. 1 - Aspect extérieur du courantographe B.B.T. - NEYRPIC

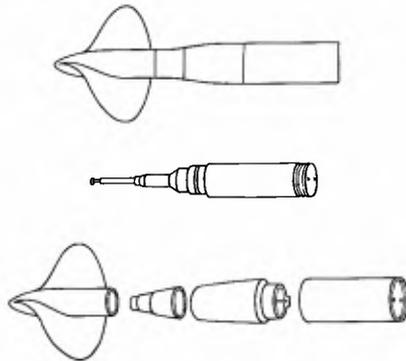
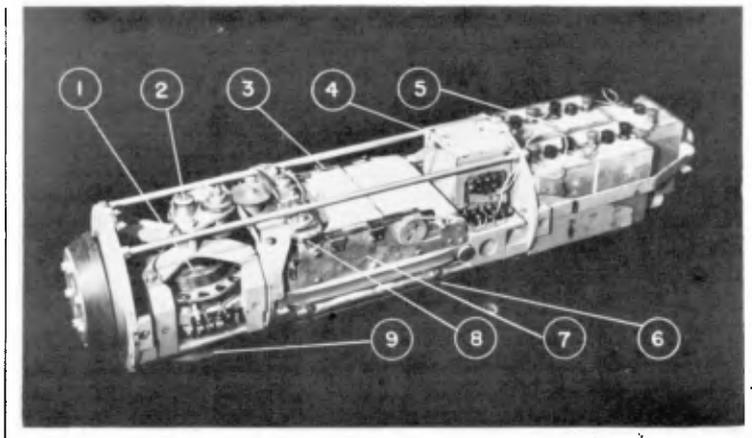


Fig. 2 - Schéma simplifié du moulinet H. DUMAS



1. Boitier de boussole d'osservissement - 2 - Dispositif de frappe - 3 - Cadre de relevage du style des vitesses - 4 - Totalisateur d'impulsions de vitesse - 5 - Batterie d'accumulateurs - 6 - Boitier des relais - 7 - Table dérouleuse - 8 - Dispositif inscripteur de caps - 9 - Compos principal -

Fig. 3 - Vue du mécanisme du courantographe B.B.T. - NEYRPIC

l'arbre par un verrou de sécurité à ressort, que l'on manoeuvre sans effort en faisant pivoter l'hélice par rapport à la douille. On utilise normalement une hélice à arêtes biaisées d'un pas hydraulique de 25 cm. et de 10 cm. de diamètre.

L'arbre est supporté par deux roulements à billes qui absorbent du même coup la poussée sur l'hélice. Cette disposition assure éventuellement la réversibilité du moulinet.

Des dispositifs spéciaux permettent de rendre étanche l'intérieur de l'appareil, tout en évitant l'emploi de joints qui diminuent la sensibilité et qui peuvent se détériorer. Entre autres, une double chambre de décantation, amovible et entièrement démontable pour le nettoyage, reçoit les particules solides qui pourraient s'introduire à l'intérieur de l'appareil ; les roulements et le mécanisme de transmission sont ainsi protégés contre l'action abrasive des matériaux en suspension dans l'eau.

### b) Mécanisme de transmission

L'arbre est solidaire d'une vis sans fin, qui engrène avec une roue dentée. Par l'intermédiaire d'une came rainurée, la roue dentée communique un mouvement oscillatoire à une fourchette munie de deux tigeons de contact qui ferment alternativement un circuit électrique, toutes les fois que l'hélice a décrit un nombre déterminé de tours. A chaque contact, une impulsion électrique parcourt le circuit. Ces impulsions sont transmises au mécanisme détecteur placé à l'intérieur du carter du courantographe, par un système de deux fiches mâles-femelles qui équipent respectivement l'avant du carter et l'arrière du corps du moulinet.

Un démontage facile permet de changer le couple de réduction vis sans fin - roue dentée, de façon à obtenir un contact pour 5, 10 ou 20 tours de l'hélice. Nous verrons plus loin que, pour éviter l'enregistrement des courants orbitaires de houle, une seule impulsion sur deux est enregistrée. On dispose ainsi de trois sensibilités de mesure.

## 2 - MESURE ET ENREGISTREMENT DES VITESSES

### a) Compteur d'impulsions

Toutes les quinze minutes, et ceci pendant cent cinquante secondes, les impulsions électriques produites par le moulinet sont dirigées sur un compteur. A cet effet, le circuit électrique du moulinet est commandé par un mouvement d'horlogerie, qui permet de régler de façon précise le rythme et la durée de totalisation des impulsions.

Le compteur (n° 4, fig.3) comporte un rotor bobiné que chaque impulsion fait pivoter d'un quart de tour entre les pôles d'un aimant permanent, et qui est ensuite ramené à sa position de repos par un ressort de rappel. Par l'intermédiaire d'une roue à rochets, ce dispositif fait tourner un secteur denté portant le style inscripteur des vitesses (n° 3, fig.3). A chaque impulsion, le secteur tourne de  $5/6$  de degré et l'on

peut enregistrer jusqu'à 72 impulsions, ce qui correspond à des vitesses de 1,15 - 2,30 ou 4,60 m/s., suivant la démultiplication utilisée. Un ressort de rappel ramène au zéro le secteur denté et le style entre les périodes de comptage.

### b) Enregistrement

L'enregistrement se fait sur une bande de papier paraffiné, déroulée à la vitesse de 15 mm. par minute, par le mouvement d'horlogerie dont nous avons déjà parlé. Le diagramme se présente sous la forme d'arcs de cercles régulièrement espacés, de longueur proportionnelle à la vitesse mesurée.

### c) Erreurs

Le compteur n'enregistre qu'un nombre entier d'impulsions pendant que l'hélice effectue un nombre quelconque de tours. Il en résulte une erreur absolue égale, au plus, à une impulsion, c'est-à-dire  $1/72$  de la plus grande vitesse correspondant à la sensibilité utilisée. L'erreur absolue est donc inférieure à 1,7 - 3,3 ou 6,7 cm/s. suivant les cas. Pour diminuer l'erreur relative, on a intérêt à choisir la démultiplication du moulinet de façon que la plus grande vitesse enregistrée soit voisine du maximum correspondant à la sensibilité employée.

Le temps de comptage peut être réglé à 1 seconde près, il en résulte donc une erreur relative inférieure à  $1/150$ . Enfin, l'étalonnage du moulinet peut être effectué en Laboratoire de façon très précise, ce qui rend négligeable l'erreur introduite par l'hélice.

### d) Influence de la houle

Sous l'action de la houle, les particules d'eau sont soumises à un mouvement orbitaire périodique qui peut provoquer l'apparition d'impulsions parasites, et fausser les mesures. Supposons en effet que, aussitôt après l'ouverture du contact du moulinet, la vitesse périodique, en s'opposant au courant permanent, entraîne l'hélice en sens inverse : le contact se refermera et le compteur enregistrera une nouvelle impulsion. Si ensuite l'hélice reprend son sens normal de rotation immédiatement après la seconde ouverture du contact, celui-ci sera fermé pour la troisième fois. Finalement, on aura enregistré trois impulsions au lieu d'une seule.

Pour remédier à cet inconvénient, le moulinet est muni, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, de deux contacts qui se ferment alternativement tous les 5, 10 ou 20 tours de l'hélice. Le premier contact déclenche la fermeture d'un relais qui envoie une impulsion au compteur. Ce relais reste fermé jusqu'à la fermeture du deuxième contact qui interrompt alors l'impulsion. Il faut donc que l'hélice décrive en sens inverse plus de 5, 10 ou 20 tours pour que le compteur enregistre une impulsion supplémentaire. Cette éventualité est peu probable. D'ailleurs, le courantographe est généralement suspendu à une bouée qui suit le mouvement de la houle ; le mouvement orbitaire est alors compensé presque

complètement par les déplacements de l'appareil.

La figure 4 donne un schéma du système d'enregistrement des vitesses. On remarquera que le pôle + de l'accumulateur est mis à la masse pendant les périodes de comptage et que, par suite, le circuit du moulinet ne délivre des impulsions que pendant ces périodes.

### 3 - MESURE ET ENREGISTREMENT DES CAPS

#### a) Mesure des variations de cap

L'orientation du courantographe est indiquée par un compas magnétique de marine (n° 9, fig.3). Pour ne pas perturber la position de la rose du compas, on mesure les déplacements angulaires d'une aiguille aimantée, placée au-dessus du compas dans une cuvette en matière plastique (n° 1, fig.3) ; celle-ci est remplie de xylène afin d'amortir les oscillations de l'aiguille. Le fond de la cuvette est muni de deux secteurs métalliques séparés par deux petites coupures isolantes. L'aiguille aimantée s'oriente parallèlement à la direction N-S de la rose ; un électro-aimant (n° 2, fig.3) l'amène périodiquement en contact avec le fond de la cuvette. Le contact de l'aiguille avec l'un ou l'autre secteur conducteur, met en route un moteur qui fait tourner la cuvette, dans un sens ou dans l'autre, de façon à rapprocher l'aiguille de l'une des coupures isolantes. Lorsque le courantographe change de cap, il entraîne la cuvette avec lui, et le dispositif d'asservissement décrit ci-dessus rattrape ensuite pas à pas le décalage angulaire entre la direction des coupures isolantes et le N-S de la rose. Le moteur tourne donc d'une quantité proportionnelle à ce décalage, à condition, comme nous allons le voir, que les variations de cap ne soient pas trop rapides.

#### b) Vitesse et précision de l'asservissement

L'excitation périodique de l'électro-aimant de blocage de l'aiguille aimantée, est commandée par la charge et la décharge d'un condensateur à travers une résistance. Le blocage se produit toutes les 3 secondes, et dure une fraction de seconde pendant laquelle la cuvette tourne de 2,5 degrés. La vitesse moyenne de poursuite est donc de  $2,5/3 = 0,8$  degré par seconde, ou 180 degrés en moins de 4 minutes. La coupure isolante couvre moins de 2 degrés et on a pu vérifier sur une table tournante, que l'erreur d'asservissement est inférieure à  $\pm 1,5$  degré, soit 0,5 mm. à l'échelle de l'enregistrement.

En diminuant les durées d'attraction et de libération de l'électro-aimant, il serait possible de réduire l'erreur d'asservissement, mais pratiquement il n'y a pas intérêt à dépasser la cadence choisie. En effet le blocage de l'aiguille tend toujours à la faire dévier légèrement.

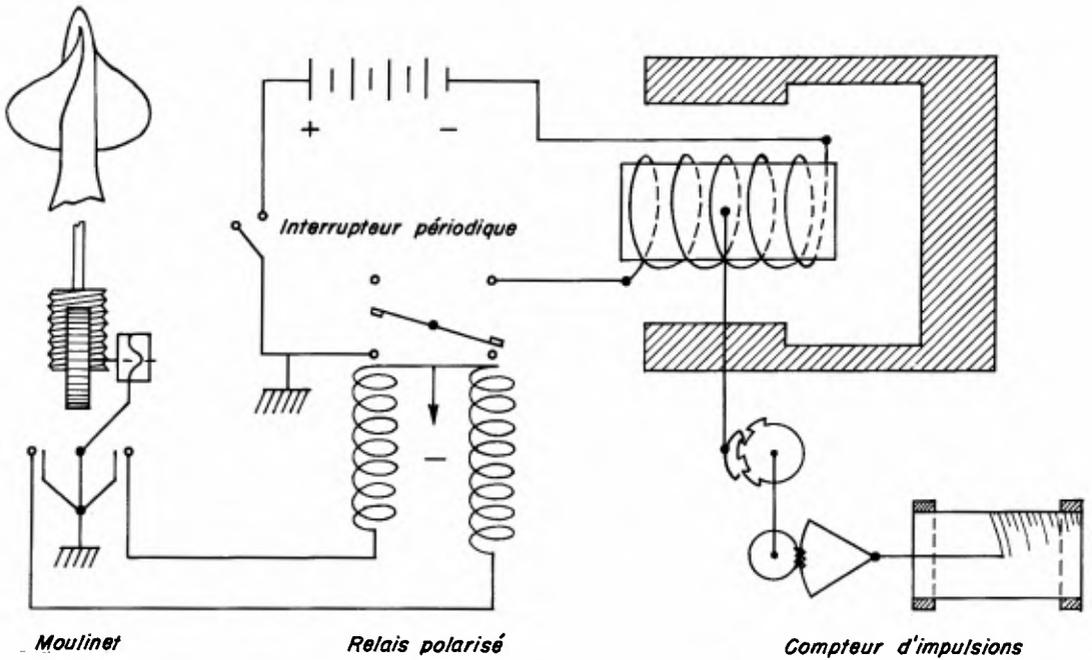


Fig. 4 - Schéma électrique ; enregistrement des vitesses à l'aide du courantographe B.B.T. - NEYR PIC

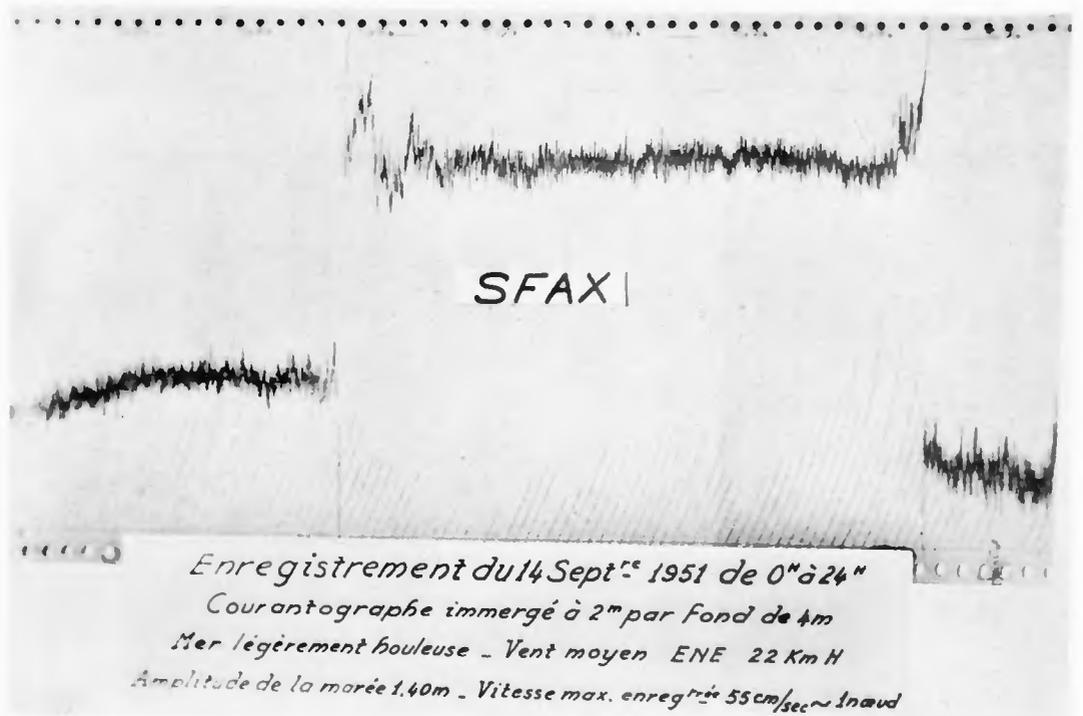
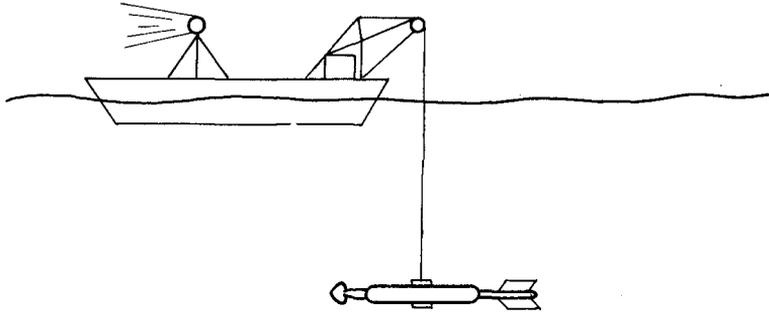


Fig. 5 - Exemple d'enregistrement obtenu avec le courantographe B.B.T. - NEYR PIC

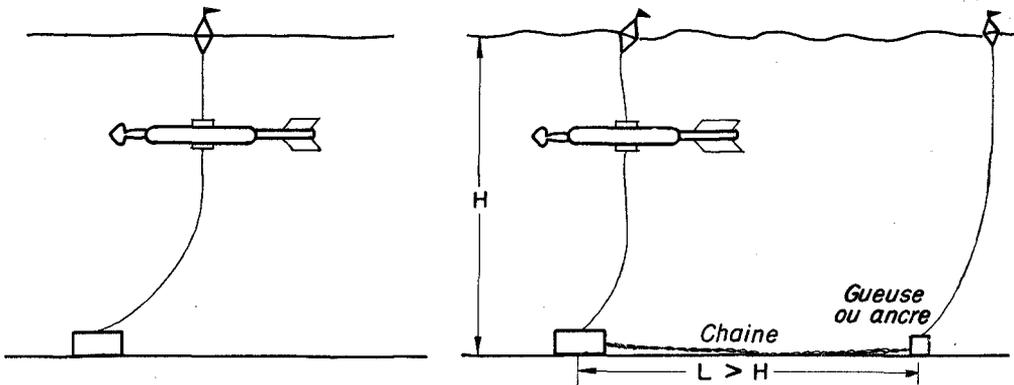
I - Suspension à un bateau-feu



II - Suspension à une bouée de surface

a) - Mer peu agitée

b) - Forte agitation



III - Suspension à une bouée immergée

a) - Mer peu agitée, sans marée.

b) - Forte agitation, avec marée.

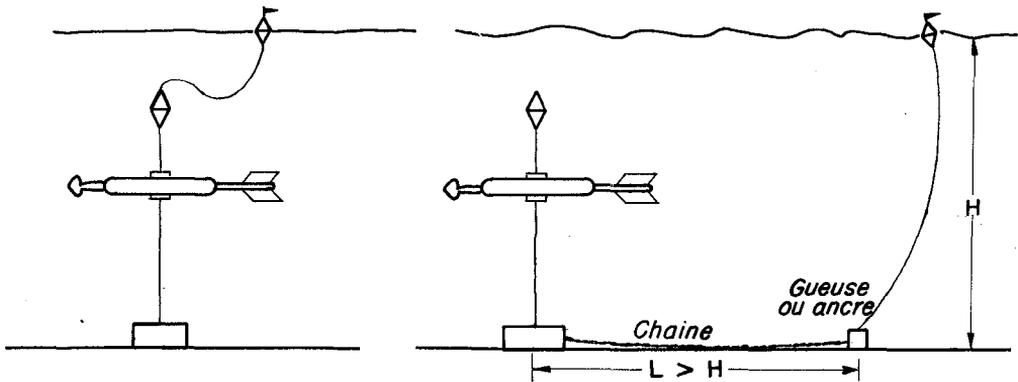


Fig. 6 - Principaux dispositifs d'immersion de l'appareil

### c) Enregistrement

Le moteur d'asservissement entraîne trois styles inscripteurs fixés sur un ruban sans fin (n° 8, fig.3). Si le courantographe fait un tour complet sur lui-même, l'un des styles se présente à la graduation 0 lorsque l'autre sort de la graduation 360. Le diagramme des caps s'inscrit sur la même bande de papier que celui des vitesses. Pour éviter que les styles ne s'accrochent, les enregistrements des caps et des vitesses relatifs à un même instant, sont décalés de 60 mm. en abscisse.

## 4 - DIAGRAMMES D'ENREGISTREMENT

La figure 5 reproduit une bande d'enregistrement obtenue par mer légèrement houleuse. On remarquera les oscillations de la courbe des caps, qui traduisent les mouvements du courantographe autour de la direction moyenne du courant, sous l'influence de la houle. L'amplitude de ces oscillations est d'ailleurs plus petite avec la série d'appareils en cours de fabrication ; le centre de poussée a été, en effet, rapproché du centre d'attache du corps.

Pour interpréter les diagrammes, on utilise un lecteur, constitué par une plaque de plexiglas portant deux graduations distantes de 60 mm., comme les styles enregistreurs. La graduation des caps peut être décalée d'un angle représentant la déclinaison magnétique, de façon à indiquer directement les caps géographiques.

## 5 - MISE EN PLACE DU COURANTOGAPHE

Les solutions classiques d'immersion en mer d'appareils autonomes et l'expérience acquise par le personnel spécialisé dans l'utilisation du courantographe, permettent de citer les principaux modes de mouillage suivants (fig.6) :

- suspension à un bateau-feu
- suspension à une bouée de surface
- suspension à une bouée immergée.

Le choix de l'une de ces méthodes est fonction de nombreux paramètres, entre autres : l'état de la mer au point d'immersion (houle, agitation locale, marée), la topographie et la nature des fonds, les possibilités de l'embarcation au point de vue du mat de charge ou des bossiers, l'expérience du personnel exploitant l'appareil, enfin la précision exigée sur les résultats.

### a) Suspension à un bateau-feu

Le bateau est mouillé au point d'immersion par une ou deux ancrs, si l'état de la mer l'exige. Cette méthode entraîne l'immobilisation de l'embarcation pendant toute la durée des mesures. Bien que le courantographe soit soumis à tous les mouvements du bateau, l'expérience montre que les résultats de mesure restent acceptables.

### b) Suspension à une bouée de surface

On emploie cette méthode pour les mesures au voisinage de la surface libre ; l'appareil se trouve à une distance constante du plan d'eau. Lorsque la mer est calme, on amarre directement l'appareil à un corps mort de poids apparent voisin de 200 Kg. Si la mer est agitée, on utilise un corps mort de poids plus élevé, par exemple 500 Kg. Dans le second cas, le poids du corps mort empêche de le suspendre au courantographe lors de la mise à l'eau ou de l'émergence : on fractionne donc ce poids en deux, l'un relié directement au courantographe, l'autre constitué par une ancre reliée au corps mort par une longueur de chaîne supérieure à la profondeur d'eau. Une bouée signalisatrice est reliée à cette ancre.

### c) Suspension à une bouée immergée

On utilise une bouée de volume voisin de 200 litres. Selon l'état de la mer, on emploie l'un ou l'autre des systèmes d'amarrage précédents.

Dans tous les cas, l'équipement de l'embarcation est très important pour la mise en place rapide et correcte du courantographe.

## 6 - CARACTERISTIQUES DU COURANTOGAPHE QUELQUES MESURES EFFECTUEES

Le courantographe que l'on vient de décrire permet de mesurer la direction et la vitesse des courants, dans les 3 gammes : 0 - 1,15 m/s ; 0 - 2,30 m/s et 0 - 4,60 m/s., avec une erreur relative de l'ordre de quelques centièmes sur les vitesses et une erreur inférieure à  $\pm 1,5$  degré sur les caps.

Son principal avantage, par rapport aux appareils du même genre, réside dans le fait qu'on peut l'abandonner à lui-même pendant plusieurs jours, simplement suspendu à une bouée. Ceci évite l'immobilisation coûteuse d'un bateau et d'une équipe spécialisée, pendant toute la durée des mesures. La batterie d'accumulateurs et le mécanisme d'horlogerie assurent une autonomie de 8 jours.

Enfin, le poids du courantographe qui, rappelons-le, est de 90 Kg. pour les profondeurs usuelles, permet un maniement facile à partir d'une embarcation convenablement équipée.

Au cours de ces dernières années, les Etablissements NEYRPI ont effectué plusieurs campagnes de mesures en mer comportant l'emploi du courantographe.

Un projet d'évacuation directe des eaux d'égout dans la mer, pour les villes de TUNIS, BIZERTE, SOUSSE et SFAX, a nécessité deux campagnes de mesures pour déterminer l'emplacement des exutoires. Ce projet est basé sur le pouvoir antibiotique des eaux de mer pour neutraliser les pollutions et rendre ainsi inutile la construction de stations d'épuration.

Mais le choix des points de déversement exige une connaissance approfondie des courants marins au voisinage de la côte, pour éviter que les eaux polluées ne soient conduites vers les plages, ou n'envahissent les ports.

Une série de mesures comportant seize enregistrements au courantographe, a donc été effectuée dans le Golfe et le lac de TUNIS, le port de BIZERTE, enfin aux alentours et à l'entrée des ports de SOUSSE et de SFAX.

Une campagne a également été consacrée à l'étude des courants dans la région de CASABLANCA, pour un projet analogue.

D'autres mesures ont eu pour but d'étudier les risques d'ensablement de différents ouvrages portuaires en TUNISIE. Ce sont en effet les courants littoraux qui transportent la plus grande partie des matériaux arrachés au rivage et qui sont responsables le plus souvent de l'ensablement des ports. Ces courants, qui sont provoqués principalement par les mouvements de flux et de reflux de la marée, ne peuvent être déterminés que par des mesures sur place.

Les mesures de SOUSSE, dont on a parlé plus haut, devaient servir, en partie, à étudier si les produits de dragage de la rade, utilisés pour combler une crique au Sud du port, ne risqueraient pas de l'ensabler de nouveau.

A MONASTIR et à MAHDIA, ports situés respectivement à 20 et 60 Km. au Sud-Est de SOUSSE, il s'agissait de prévoir les risques d'ensablement par les courants de marée, de deux projets d'aménagements portuaires destinés à compléter les installations existantes. D'autre part, des essais sur modèles réduits ont permis d'étudier l'influence de la houle sur les ouvrages projetés.

Une campagne de mesures a été consacrée à l'étude systématique des courants dans la baie d'ARATU, au BRÉSIL, pour l'aménagement d'un nouveau port.

Enfin, on a mesuré les courants dans l'estuaire de la RANCE, en vue de la construction d'une centrale marémotrice.

Dans leurs grandes lignes, toutes les campagnes sont organisées de façon identique. Le courantographe enregistre pendant plusieurs jours l'intensité et la direction du courant, en des points déterminés à l'avance. Simultanément, on effectue des mesures au moyen d'un courantomètre, en quelques stations voisines du point d'immersion du courantographe. Ces mesures servent à préciser la répartition des courants dans la région à étudier. L'autonomie du courantographe représente ici un très grand avantage, puisqu'elle permet de conduire en même temps, plusieurs séries de mesures différentes avec une seule équipe d'opérateurs et une seule embarcation.

## RESUME

## THE BBT-NEYRPIC CURRENTOGRAPH

Capt. Duroché and M.J. Rigard.

The BBT-NEYRPIC currentograph is an autonomous instrument which records the speed and direction of marine currents. It comprises a Dumas-Neyrpic current-meter, a speed recorder and a device for recording direction.

The current-meter is fitted with a mechanism which closes an electric contact each time the propellor has completed a certain number of revolutions. Each contact causes an electric impulse. Periodically, and during a definite interval, the impulses are passed to a meter which controls the recording pen. A special device eliminates the effect of orbital wave currents.

The direction of the currentograph is indicated by a magnetic compass. The position of the rose governs operation of an electric motor which turns proportionally to the angle between the N.S. line and the centerline of the currentograph. This motor drives a recording pen. The error in the direction is less than  $\pm 1.5$  degrees and the system records a 180 degree turn in less than 4 minutes.

The currentograph can be suspended from a light-ship, a surface buoy, or a submerged buoy depending on the state of the sea and the measuring conditions.

Three ranges of sensitivity can be used : 0 - 1.15 m/s.; 0 - 2.30 m/s.; and 0 - 4.60 m/s.

The currentograph can function without interruption for 8 days.

The paper ends with some examples of measurements that have been carried out with the currentograph. Since these instruments can operate without attention for considerable periods, a single team can carry out several series of different measurements simultaneously during one expedition.