

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75

COURANTOMETRE A EFFET DOPPLER

REMOTE UNDERWATER CURRENT MEASUREMENT USING ACOUSTIC DOPPLER TECHNIQUES

CLAVELLOUX Noël
PEYNAUD François

THOMSON-CSF - DIVISION DES ACTIVITES SOUS-MARINES - Route du Conquet - 29283 BREST CEDEX

RESUME

L'exploitation des océans requiert, de nos jours, une connaissance plus fine des courants marins en grandeur et direction.

Le courantomètre Doppler à impulsion permet de mesurer ces valeurs tout au long de la propagation de l'onde acoustique sans perturber le milieu.

Les calculs théoriques montrent que la mesure est possible. Ils sont vérifiés par les résultats de mesures effectuées en mer d'Iroise en 1974, à partir du bâtiment de surface D'ENTRECASTAUX de la Marine Française.

SUMMARY

Working in océans requires, to day, a better knowledge of the currents at sea in value and bearing.

The pulse Doppler technique used for current velocity measurements allows the determination of the velocity all along the acoustic wave propagation without any disturbance of the local conditions.

Theoretical calculations show the feasibility of the measurement and are in good agreement with the practical results obtained from the French Navy's surface ship D'ENTRECASTAUX, in Iroise sea.



1 - INTRODUCTION

Rappel des techniques actuelles de mesures des courants

La connaissance du milieu marin et en particulier la mesure des courants a toujours été nécessaire aux navigateurs de surface ne serait-ce que pour parfaire l'estime. De nos jours, dans l'optique d'une exploitation des ressources des océans, l'homme se trouvant dans l'obligation de se mouvoir, de naviguer, de travailler "sous la mer", la connaissance des courants en grandeur, direction, répartition devient fondamentale.

Cette connaissance permet, par exemple, de prévoir les efforts hydrodynamiques exercés sur les tubes de forage (application à l'off-shore), les mouvements du milieu dans lequel les petits sous-marins d'intervention auront à se mouvoir, les déplacements des masses d'eau au voisinage du rivage (installation de centrales nucléaires en bord de mer, mouvement des eaux chaudes, écologie). Enfin, la connaissance des courants, à des profondeurs importantes, ne devrait pas laisser indifférents les militaires chargés de surveiller et de protéger le plateau continental.

Ces mesures jusqu'alors étaient ponctuelles, soit qu'elles fussent faites par des courantomètres mécaniques (de type Savonius) par des courantomètres électro-magnétiques ou par des courantomètres ultra-sonores utilisant l'effet Doppler à des fréquences de plusieurs MHz.

L'inconvénient principal de ces méthodes réside dans le fait que la connaissance de la répartition du courant, en fonction de la profondeur, nécessite la constitution de lignes de mouillage reliées à un corps mort ou à une bouée.

Ces lignes de mouillage :

- doivent résister au mauvais temps (mer forte)
- nécessitent pour leur pose et leur relevage l'emploi de bateaux et de personnel spécialisés
- fournissent des informations qui sont intégrées et ne permettent pas une connaissance fine instantanée

Au contraire, le courantomètre à effet Doppler sur la réverbération de volume permet la mesure des courants en grandeur et direction

- sans perturber le milieu
- en donnant la répartition des courants tout le long de la propagation de l'onde sonore
- sans nécessiter (sauf pour des applications particulières) le mouillage (ni le relevage) d'aucun appareillage particulier (et donc sans risque de perte d'un appareillage coûteux)

C'est ce nouvel appareil que nous allons décrire.

2 - PRINCIPE DE L'APPAREIL

La mesure du courant se fait par mesure de la fréquence "Doppler" entre l'émission d'une impulsion d'onde acoustique et la réception du signal "réverbéré" par le milieu au cours de la propagation de cette onde.

La mesure de chaque composante horizontale de la vitesse du courant s'obtient par l'utilisation des informations données par deux faisceaux acoustiques situés à 30 degrés de part et d'autre de la verticale dans le plan de la composante à mesurer (système Janus). Ceci permet, si l'appareil est soumis à des mouvements de plateforme par rapport au plan horizontal, de conserver une précision meilleure que 1 % pour des mouvements angulaires de roulis-tangage d'amplitude 8 degrés.

Ainsi, la mesure des deux composantes horizontales de la vitesse nécessite quatre faisceaux acoustiques fins.

3 - CARACTERISTIQUES DE LA REVERBERATION DE VOLUME

Pour un niveau sonore d'émission, le niveau sonore en réception est proportionnel à chaque instant :

- au volume réverbérant
- au coefficient de réverbération de ce milieu



COURANTOMETRE A EFFET DOPPLER

REMOTE UNDERWATER CURRENT MEASUREMENT USING ACOUSTIC DOPPLER TECHNIQUES

Le volume réverbérant croît avec le carré de la distance de mesure (r) et de l'ouverture angulaire ($2\theta_3$) des faisceaux acoustiques et avec la profondeur insonifiée à chaque instant. Cette profondeur qui définit le pouvoir séparateur de l'appareil dépend de la célérité (C) de l'onde sonore et de la durée T de l'impulsion.

Ce pouvoir séparateur est égal à $\frac{CT}{2}$.

En résumé, le volume "réverbérant" est égal à chaque instant à :

$$V = \frac{\pi r^2 (2\theta_3)^2}{4} \times \frac{CT}{2}$$

Le coefficient de réverbération du milieu dépend de la concentration en particules organiques ou minérales en suspension dans l'eau. Cette concentration est fonction des caractéristiques locales géographiques telles que distance aux côtes, nature géologique du fond, existence d'embouchure de fleuve, vie biologique...

Bond et Meade (réf.1) ont mesuré une concentration de quelques milligrammes par litre dont 10 % environ de particules minérales. Manheim (réf.2) a montré que ces particules minérales ont un diamètre d'environ 10^{-7} mm près des côtes Atlantiques où ont eu lieu ses mesures. Cela nous permet d'en extraire les valeurs numériques de l'annexe 1 qui montre que l'index de réverbération de volume dû à la seule présence de particules est voisin de -90 dB à 300 kHz.

Cet index de réverbération peut être notablement modifié par la présence d'éléments vivants qui accroissent l'énergie réverbérée.

(1) Bond G.C and R.H Meade

Size distribution of numeral grains suspended in Chesapeake Bay and nearby coastal waters - Chesapeake Science 1966

(2) Manheim F.T and R.H Meade

Suspended matter in surface waters of the Atlantic Continental margin from Cape Cod to the Florida Keys - Science 1970

4 - CARACTERISTIQUES DU COURANTOMETRE A EFFET DOPPLER

Les caractéristiques importantes sont :

- la portée, c'est-à-dire la tranche d'eau dans laquelle la mesure du courant peut être effectuée
- le nombre de points de mesure que l'on peut faire à l'intérieur de la portée maximale.

La portée maximale dépend :

- du niveau sonore émis
- de la fréquence de travail
- de la durée d'impulsion
- du bruit de mer.

Notre appareil a les caractéristiques suivantes :

- fréquence de travail 300 kHz
- émission-réception par 4 transducteurs d'ouverture angulaire 5 degrés
- durée d'impulsion 4 ms correspondant à une mesure tous les 3 mètres (soit 32 points de mesure pour une portée de 100 m)
- puissance électrique crête dans l'impulsion : 300 W

Les informations délivrées sont les suivantes :

- 32 informations de vitesses suivant une direction
- 32 informations de vitesses suivant la direction perpendiculaire.

Ces informations représentent donc les deux composantes horizontales de la vitesse suivant 32 couches successives. L'espacement entre deux couches est de 3 m.

Ces 64 informations sont placées en mémoire et renouvelées toutes les 0,5 s. Cette mémoire peut être interrogée par un ordinateur qui effectue le traitement de ces données ou stockées sur une bande magnétique pour traitement ultérieur. Chaque information est un mot binaire de 16 bits dont le chiffre de plus petite valeur représente 0,01 noeud (5 mm/s).



Par ailleurs, l'appareil est organisé pour :

- visualiser sous forme numérique les deux composantes de la vitesse d'une couche sélectionnée manuellement
- enregistrer sous forme analogique ces deux composantes.

La précision de mesure relative est d'environ 1 % ; le seuil est de 0,01 noeud. Cette précision est indépendante des variations de célérité de l'onde sonore dues aux variations de température et de salinité du milieu de propagation.

5 - RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le prototype de cet appareil a été réalisé pour la DRME et expérimenté en octobre et novembre 1974 en rade de Brest et en Iroise par le Service Hydrographique de la Marine Française (Bâtiment D'Entrecastaux).

Des nombreuses mesures effectuées, nous avons extrait les résultats ci-dessous :

5.1. Histogramme de l'index de réverbération de volume (fig.1)

Il montre que les valeurs théoriques calculées sont bien centrées sur les valeurs mesurées à 300 kHz ; 84 % des mesures donnent : $-75 < R_v < -90$ dB

5.2. Portée (fig.2)

Cette figure est celle du rapport signal réverbéré au bruit de mer en réception. Elle montre que la portée de 100 m est atteinte sans problème.

5.3. Exemple de mesures de courant (fig.3)

La figure 3 montre, en fonction du temps et de la profondeur de la couche, l'évolution du courant en grandeur et direction. Elle fait apparaître en particulier l'effet d'écran du bateau en surface pour la composante transversale.

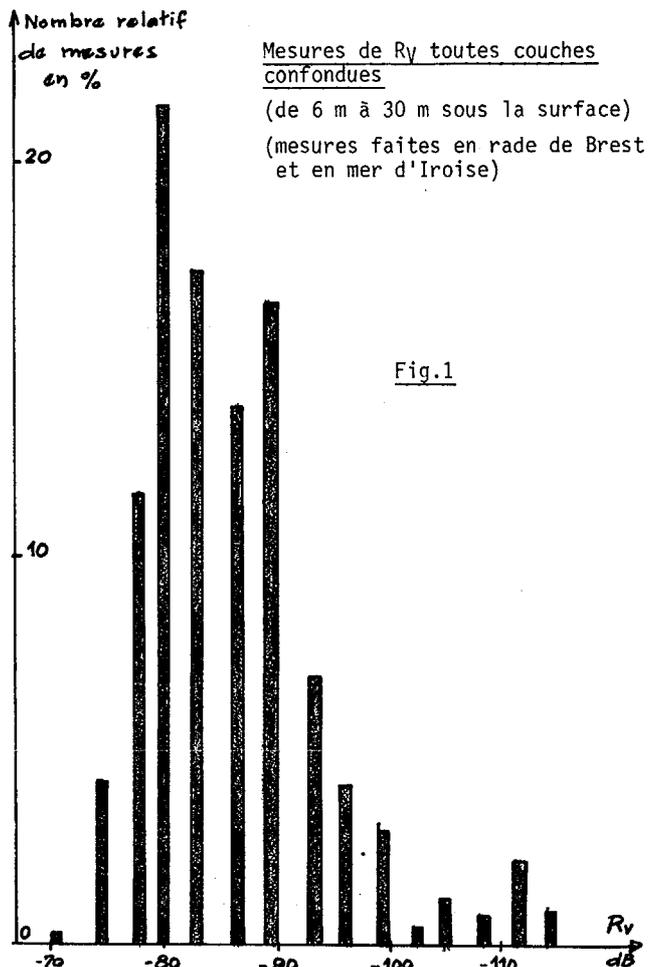


Fig.1

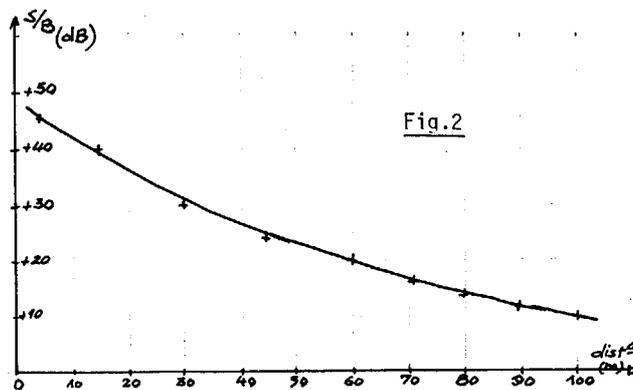


Fig.2



COURANTOMETRE A EFFET DOPPLER

REMOTE UNDERWATER CURRENT MEASUREMENT USING ACOUSTIC DOPPLER TECHNIQUES

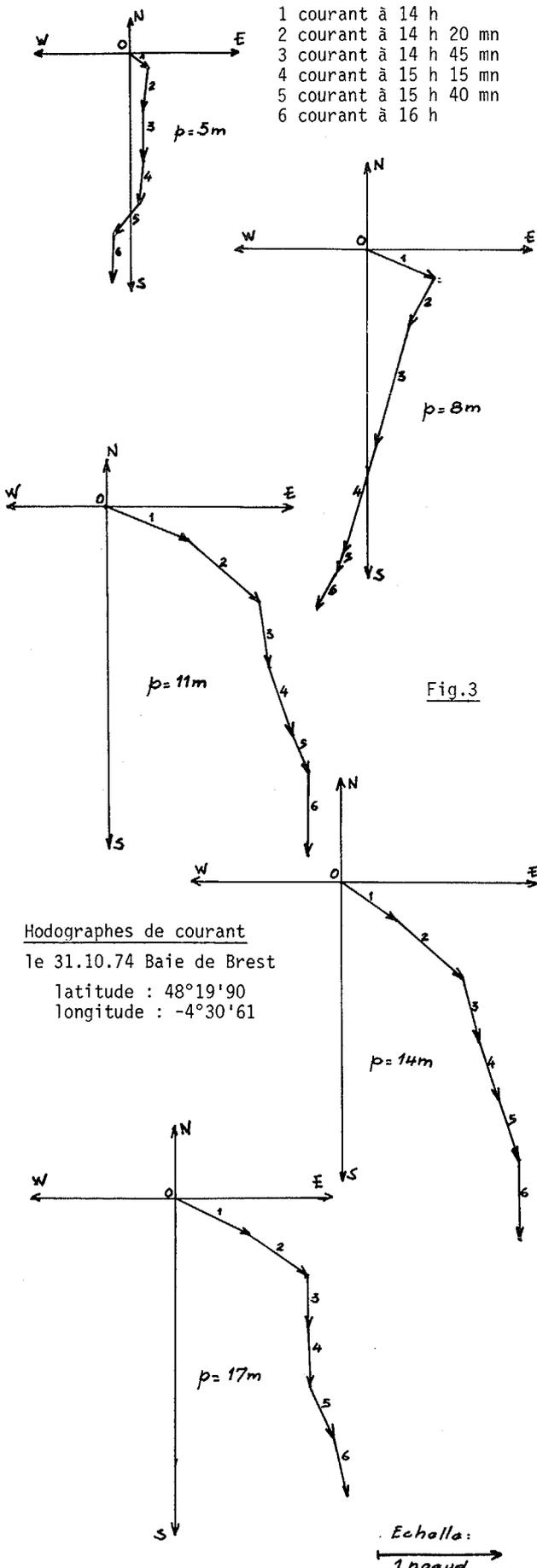


Fig.3

Hodographes de courant
 le 31.10.74 Baie de Brest
 latitude : 48°19'90
 longitude : -4°30'61

- ANNEXE -

INDEX DE REVERBERATION DE VOLUME

Il est défini comme le rapport entre l'intensité sonore renvoyée par le milieu, mesurée à 1 m, et l'intensité sonore incidente.

Ce rapport d'intensité est relié à la surface équivalente σ par :

$$\frac{I_r}{I_i} = \frac{\sigma}{4\pi}$$

Pour des particules de diamètre d , très inférieur à λ , la surface équivalente σ est égale à :

$$\sigma = \frac{\pi d^2}{4} \times N \times \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^4$$

$$= \frac{\pi^5}{4} \frac{d^6}{\lambda^4} N \text{ où } N = \text{nombre de particules par m}^3$$

d = diamètre

λ = longueur d'onde

Soit
$$\frac{I_r}{I_i} = \frac{\pi^4}{16} \frac{d^6}{\lambda^4} N$$

pour $d = 10^{-2} \text{ mm}$

$N \approx 10^8 \text{ par dm}^3$

$\lambda \approx 5 \text{ mm (} f = 300 \text{ kHz)}$

$\frac{I_r}{I_i} \approx 10^{-9}$ soit $10 \log \frac{I_r}{I_i} = R_V = -90 \text{ dB}$

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



LECTURE D'IMAGES OU DE TRANSFORMEES D'IMAGES AU MOYEN
DE LIGNES A RETARD ACOUSTIQUES
IMAGE SCANNING AND TRANSFORMING BY MEANS OF TAPPED
ULTRASONICS DELAY LINES

J. DESBOIS et P. TOURNOIS

Thomson-CSF - Division des Activités Sous-Marines
06802 Cagnes-sur-Mer (France)

RESUME

On analyse les diverses possibilités qu'offre l'utilisation de lignes à retard acoustiques pour le balayage d'images.

Le premier exemple décrit, concerne la formation de voies, appliquée à la visualisation des fonds marins. Les deux dimensions de l'image sont alors la direction des échos et leur instant d'arrivée. Deux procédés, utilisant des lignes à retard à prises, sont décrits et comparés aux procédés classiques de formation de voies parallèles par des cellules déphasantes. Le comportement en bruit de ces procédés est identique à celui de la formation de voies parallèle si les signaux d'antenne sont préalablement amplifiés et filtrés. Sinon, le rapport S/B est divisé par N, le nombre de voies indépendantes analysées. Un avantage de ces procédés provient de la possibilité qu'ils offrent de faire varier à volonté le terme quadratique de pondération de phase au cours de la réception, ce qui permet de rester en permanence focalisé à la distance des objets observés, ceci dans toute la profondeur du champ d'observation. Les aberrations sont ainsi repoussées au troisième ou au quatrième ordre.

Un dispositif permettant d'obtenir une image acoustique frontale est ensuite décrit. Il ne met en jeu ni lentille, ni déplacement mécanique. Deux lignes à retard à prises sont utilisées pour pondérer en phase les transducteurs élémentaires des antennes d'émission et de réception disposées en croix. Plus généralement on peut envisager l'utilisation de lignes à retard dans tout système de transformation d'images. Deux cas particuliers sont décrits : la transformée de Fourier et la lecture point à point. Enfin, on décrit un dispositif complètement intégré utilisant ces mêmes principes. Ses applications restent réservées aux systèmes très hautes fréquences.

SUMMARY

Various applications of ultrasonic tapped delay lines for acoustical image scanning are investigated.

The first example describes a device for submarine bottom visualization. The two co-ordinates of the obtained image are given by the direction and the time of echo detection. Two processes with tapped delay lines are compared with parallel beam forming. The first and simplest one does not allow an arbitrary choice of scan rate and is high frequency and large angular aperture limited. The second one is not affected by these limitations. The noise figure behaviour is the same as for parallel beam forming under the condition that the received signals are preliminary amplified and filtered. Without amplification and filtering the signal to noise ratio is divided by N (the number of independent beams). These processes allow an arbitrary variation of the parabolic term of phase ponderation and thus a permanent focalization on the detected objects over all the depth. The aberrations are then only of the third or fourth order. In the second example, a front acoustic image device is described which uses neither lens nor mechanical displacement. The transmitting and receiving beams are focused and scanned by means of two tapped delay lines. The scanning directions and focus-lines are respectively orthogonal for the transmitting and receiving antennas. One obtains so a two dimensional front acoustic image.

More generally, various image transforms can be performed by means of acoustical tapped delay lines. For example, Fourier transform and point by point scanning of a receiving transducer line are examined. Finally, a completely integrated imaging device using acoustical scanning is described. The applications of this last device are of interest only for very high frequency images.