

GEORGES LESPINARD

Université de Grenoble I

Institut de Mécanique

UNE APPLICATION IMPORTANTE DE L'ANÉMOMÉTRIE-LASER A L'OCÉANOGRAPHIE: LA MESURE DES COURANTS

Table des matières: 1. Rappéd des principes physiques de l'anémométrie à laser, 2. Les appareils de l'IMG — Quelques applications, 3. L'anémomètre à laser, instrument océanographique; Streszczenie; Summary; Bibliographie.

L'anémométrie optique est une méthode récente de mesure des vitesses dans les fluides (les premiers articles qui en décrivent le principe datent de 12 ans [5], les premières réalisations pratiques de quelques années seulement). Aujourd'hui il existe sur le marché des appareils de mesure un certain nombre d'anémomètres à laser assez évolués, et dont les qualités s'accroissent régulièrement; on trouve également un nombre considérable de publications datant des cinq dernières années, et il est certain que l'usage des anémomètres optiques va se généraliser dans les laboratoires... et peut-être même dans certaines stations de mesure industrielles.

A l'Institut de Mécanique de Grenoble, nous nous sommes intéressés dès 1968 à cette nouvelle méthode de mesure [2], car elle présente des qualités spécifiques qui permettaient d'escompter que L.D.A. (abréviation anglo-saxonne de Laser Doppler Anemometer qui tend à se généraliser) serait capable de prendre le relai de l'anémomètre à fil ou à film chaud dans un certain nombre de situations où ce dernier est à la limite de ses possibilités: très faibles vitesses, intensités de turbulence très fortes, fluides non-newtoniens chargés de polymères... ainsi que dans les cas où un écoulement est très fortement perturbé par l'introduction d'une sonde. Un certain nombre d'études et de réalisations ont été menées entre 1971 et 1976, qui ont permis à B. Lismonde de publier récemment une excellente synthèse [3] des qualités et défauts intrinsèques de l'anémométrie à laser et de construire, en collaboration avec G. Picaud pour

la conception mécanique ainsi que D. Auchere et J.P. Barbier pour l'électronique, deux appareils en partie originaux destinés à des besoins spécifiques de notre Laboratoire, notamment à des mesures liées à l'océanographie.

1. RAPPEL DES PRINCIPES PHYSIQUES DE L'ANÉMOMÉTRIE À LASER

Précisons tout d'abord que cette méthode optique est indirecte, car on n'accède en fait qu'à la vitesse de particules transportées par l'écoulement et susceptibles de diffuser la lumière. Deux limitations s'imposent donc: le fluide porteur doit être transparent (les métaux liquides sont exclus, par exemple) et chargé de particules ne présentant pas de glissement notable par rapport au fluide.

1.1. Montages à faisceau de référence

Le premier principe de mesure utilise l'effet Doppler: si une source de vibrations et un récepteur sont en mouvement relatif, le récepteur perçoit une fréquence décalée d'une quantité proportionnelle à la vitesse relative. Ainsi la particule P (figure 1) qui se déplace à la vitesse V_p dans

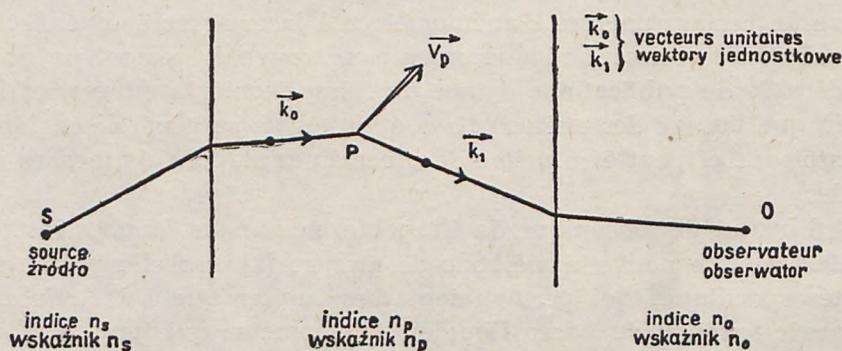


Fig. 1.

Ryc. 1.

un milieu d'indice de réfraction n_p reçoit-elle de la source S qui émet une lumière monochromatique de fréquence ν_s une fréquence

$$\nu_p = \nu_s \left(1 - \frac{\vec{k}_0 \cdot \vec{V}_p}{c} \right) n_p$$

La particule réémet dans tout l'espace une onde monochromatique de fréquence ν_p , et l'observateur situé dans le milieu d'indice n_o reçoit une fréquence

$$\nu_o = \nu_p \left(1 + \frac{\vec{k}_1 \cdot \vec{v}_p}{c} \cdot n_p \right)$$

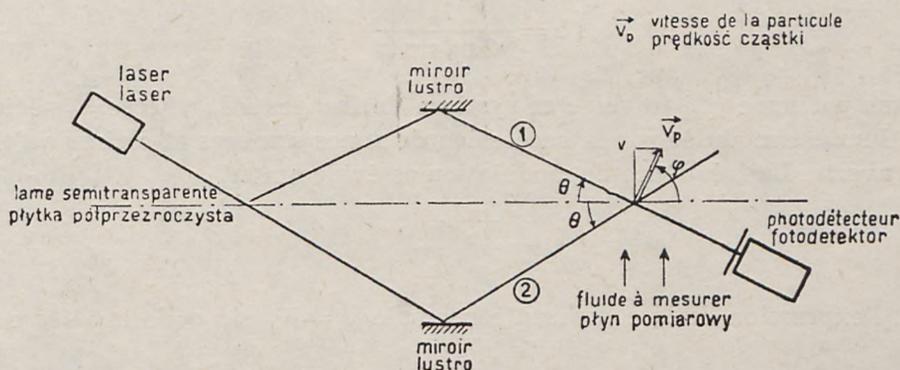
ou, au 1er ordre, c étant très grand devant V_p

$$\nu_o = \nu_s \left(1 - \frac{\vec{k}_o - \vec{k}_1}{c} \cdot \vec{V}_p n_p \right)$$

La fréquence doppler, différence des fréquences $\nu_o - \nu_s$, s'écrit donc

$$f_d = - \frac{\vec{k}_o - \vec{k}_1}{\lambda_s} \cdot \vec{V}_p n_p = \frac{2 V n_p \sin \Theta}{\lambda_s}$$

La mesure de la composante V de V_p se ramène donc à celle de $\nu_o - \nu_s$, puisque λ_s et n_p étant connus, et Θ imposé par le montage optique, V est proportionnel à f_d (par exemple si $\Theta = 10^\circ$, $\lambda_s = 6328 \text{ \AA}$ — laser He Ne — et $n = 1$ f_d vaut 550 KHz/m/s).



- ① Onde de référence
Fala odniesienia
- ② Onde dont on observe la partie diffusée par les particules
Fala w której obserwuje się część rozproszoną przez cząstki

Fig. 2.

Ryc. 2.

Cette différence de fréquence est mesurée par hétérodynage optique, en réalisant le battement d'un faisceau de référence issu du laser et non affecté par l'effet Doppler et du faisceau transmis. Le battement est mesuré directement à la sortie d'un photodétecteur et l'ensemble du montage présente l'aspect de la figure 2.

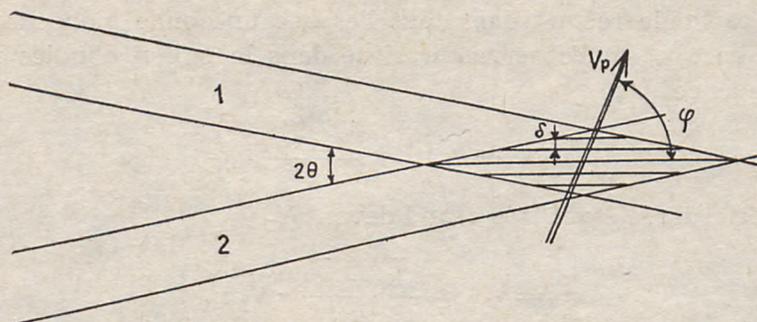


Fig. 3.

Ryc. 3.

1.2. Montages à franges d'interférences

Un autre principe repose sur la réalisation de franges d'interférences à l'aide de deux faisceaux issus du même laser et suivant des chemins différents. L'interfrange est

$$\delta = \frac{\lambda_s}{2 n_p \sin \Theta}$$

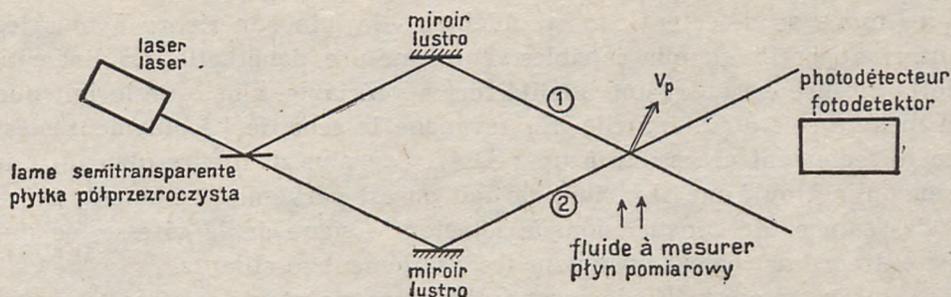
et une particule qui traverse ce système de franges à la vitesse \vec{V}_p , émet une lumière modulée par la succession de zones sombres et claires qu'elle traverse. La fréquence de modulation est évidemment

$$f_d = \frac{V_p \sin \varphi}{\delta}$$

d'où l'expression de la composante normale $V = V_p \sin \varphi$ de la vitesse

$$V = \frac{\lambda_s f_d}{2 n_p \sin \Theta}$$

relation rigoureusement identique à celle du montage à faisceau de référence. Lismonde montre clairement que ce n'est pas un hasard car, même si dans leur réalisation des montages basés sur ces deux principes sont assez différents, il n'en est rien du point de vue de l'optique physique. La figure 4 représente un schéma optique d'anémomètre à franges: le photodétecteur reçoit avec une ouverture optique aussi grande que l'on veut la lumière provenant du domaine de mesure, modulée par le passage des particules. Comme dans le cas précédent, la mesure de la vitesse se réduit à celle d'une fréquence électrique de l'ordre de quelques centaines de MHz par m/s.



Les deux ondes lumineuses ① et ② ont même intensité
 Obie fale świetlne ① i ② mają tę samą intensywność

Fig. 4.

Ryc. 4.

1.3. Localisation des mesures; signe de la vitesse

Il existe de très nombreuses optiques, toutes dérivées de l'un ou l'autre des systèmes précédents, qui ne sont pas rigoureusement équivalents du point de vue pratique: le système à faisceau de référence est assez délicat à régler car les deux rayons arrivant sur le photodétecteur doivent être parfaitement alignés, et il semble que le montage à franges devienne progressivement le plus courant; mais il faut surtout insister sur le fait que le choix du montage doit être fonction du type d'écoulement et des conditions particulières de chaque expérience.

La connaissance de la position et de la taille du domaine de mesure est importante: il faut prendre de grandes précautions chaque fois que les faisceaux doivent traverser des interfaces mobiles ou des couches stratifiées en densité, car les variations d'indice de réfraction peuvent être cause de mouvements du domaine de mesure. Quant à la taille du domaine de mesure, il est impossible de la déterminer avec précision car, dans le système à franges par exemple, les interférences sont créées par deux faisceaux quasi-cylindriques dans lesquels la répartition transversale de la puissance lumineuse est gaussienne: le domaine d'interférence est en forme d'ellipsoïde dont les demi-axes sont fonction du seuil de lumière détectable par l'optique de réception. On peut cependant évaluer ces dimensions dans le cas des anémomètres de l'IMG à environ 0,2 mm dans le sens transversal et 4 mm dans le sens longitudinal (une particule traversant l'ellipsoïde en son centre rencontrerait environ 25 franges distantes de $7 \mu\text{m}$).

Parmi les qualités, on voit donc que la localisation de la mesure est généralement suffisante, et que la sensibilité peut être excellente (quel-

ques mm/s se détectent sans problème)... de loin supérieure à tous les autres appareils connus capables d'une mesure ponctuelle. La linéarité de la mesure est aussi une qualité fort appréciable, ainsi que le fait que la mesure soit directionnelle. En revanche le sens de l'écoulement n'est pas directement accessible à un L.D.A... pas plus d'ailleurs qu'à un micromoulinet ou à un fil chaud! En fait on est parvenu récemment, grâce à des astuces de construction, à détecter le signe de la vitesse, ce qui est extraordinairement utile pour les écoulements oscillants.

Une première méthode consiste à ne pas maintenir les franges fixes, mais à les faire défiler transversalement à une vitesse connue, ce qui revient simplement à décaler le zéro de la vitesse: ce défilement est obtenu en décalant la fréquence d'un des faisceaux incidents à l'aide d'un réseau tournant ou d'une cellule de Bragg. L'autre méthode (fig. 5) consiste à

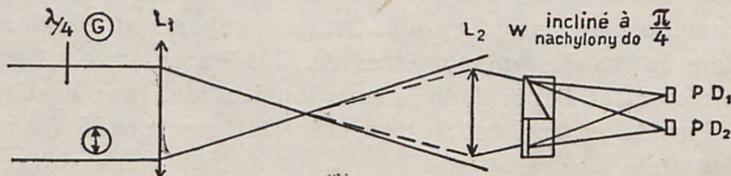
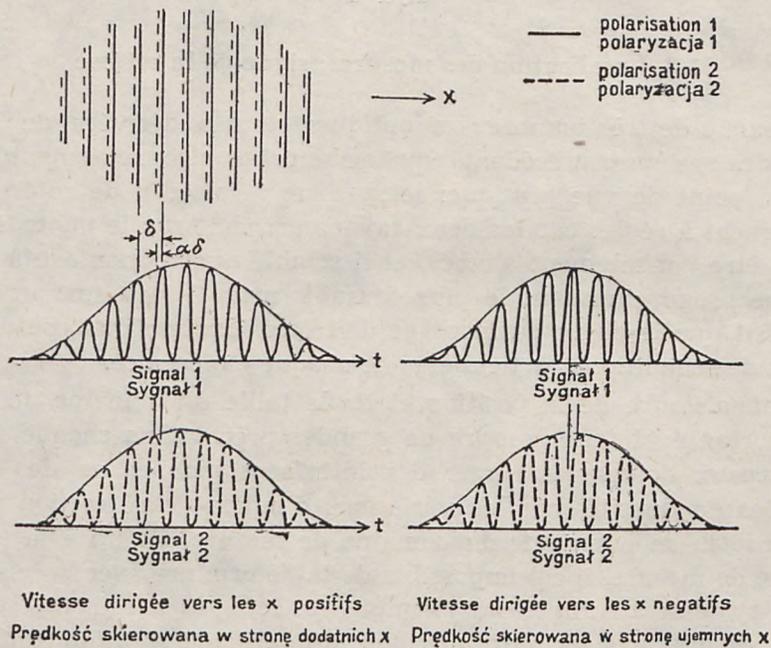


Fig. 5.

Ryc. 5.

créer non pas un mais deux systèmes de franges parallèles, distantes de $\delta/4$ et susceptibles d'être distinguées par l'optique de réception; pour cela elles sont polarisées différemment et deux récepteurs sont placés derrière un séparateur (prisme de Wollaston dans le système mis au point par Lismonde). Les signaux électriques sont donc déphasés positivement ou négativement suivant le sens de l'écoulement: il suffit que l'électronique sache détecter ce déphasage pour que le signe soit connu; contrairement aux apparences, ce traitement électronique est loin d'être trivial il a néanmoins été mis au point récemment par D. Auchere.

Bien que plus séduisant, le montage avec deux réseaux de franges présente cependant l'inconvénient de ne pouvoir détecter la vitesse nulle.

Ainsi doté d'un dispositif de reconnaissance du signe, le L.D.A. se révèle être un appareil remarquable, permettant des mesures rigoureusement impossibles auparavant.

1.4. Quelques défauts intrinsèques de l'anémométrie à laser

En contrepartie de ses qualités incontestables, le L.D.A. présente des défauts qu'il convient de ne pas sous-estimer. Les principaux sont liés à la nature indirecte de la mesure, c'est-à-dire à la nécessaire existence de particules, étrangères au fluide, diffusant la lumière. Comme dans tous les écoulements à deux phases, il est indispensable de savoir évaluer le glissement entre fluide porteur et traceurs, ou tout au moins déterminer les tailles de traceurs dont le glissement est négligeable, même aux fortes accélérations ou à des fréquences de turbulence importantes. Tout d'abord, des particules trop légères seront affectées du mouvement Brownien, source d'un bruit important dans les écoulements très

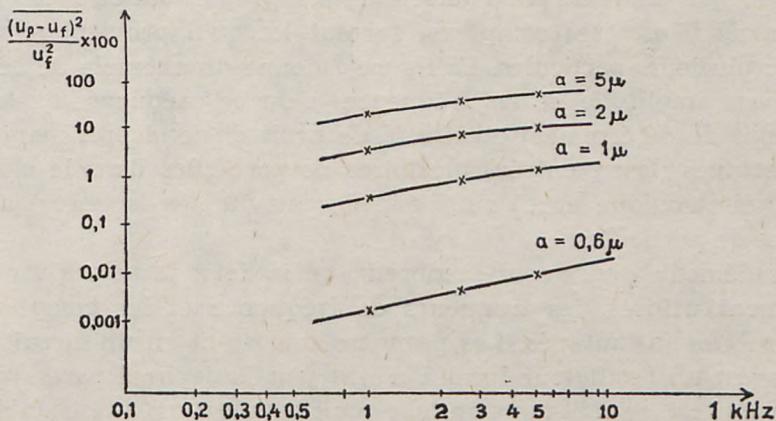


Fig. 6.

Ryc. 6.

lents. Ensuite, des particules trop lourdes présenteront de l'inertie et seront animées d'un mouvement de chute vertical suivant la loi de Stokes. De très nombreuses études ont été consacrées à ce problème; précisons simplement que la masse volumique des particules doit être, dans la mesure du possible, proche de celle du fluide porteur (ceci est évident... mais impossible à réaliser dans un gaz!) et que des diamètres de particules de l'ordre de $0,8 \mu\text{m}$ dans l'air et $1,5$ à $2 \mu\text{m}$ dans l'eau suivront bien l'écoulement comme en témoignent les résultats de la figure 6 dus à Huf-faker [1] obtenus dans le cas de l'air et de particules de masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

L'autre problème lié à la présence de particules est le nombre (variable) de particules simultanément présentes dans le domaine de mesure: ce nombre conditionne la puissance lumineuse diffusée par ces particules. Dans les débuts de l'anémométrie-laser, on était persuadé que ce nombre devait être assez grand (de l'ordre de quelques dizaines par exemple) ce qui conduisait à ensemercer le fluide d'un „polluant” ou d'un aérosol de granulométrie adéquate et de concentration importante. Ceci est indispensable en effet si l'on désire un signal de niveau constant et sans interruption, mais on a préféré faire effort sur l'électronique de traitement pour amplifier plus et détecter d'éventuelles lacunes du signal dues à l'absence momentanée de particules diffusantes. A l'heure actuelle tous les bons appareils travaillent dans l'eau avec les seules impuretés naturelles dont ils détectent l'absence. Dans l'air un marquage de concentration modérée reste le plus souvent indispensable.

1.5. Les traitements du signal

Le signal issu du photodétecteur est proportionnel à la lumière reçue, mais il est très complexe, surtout lorsqu'il provient simultanément de plusieurs particules. La figure 7 donne un exemple de ce signal, modulé en amplitude et en fréquence (c'est la fréquence instantanée qu'il s'agit de déterminer) et affecté de bruit de fond provenant de diverses sources (laser, entrées aléatoires de particules dans le champ de mesure, électronique etc...) ainsi que des inévitables lacunes traduisant l'absence de particules.

Les démodulateurs sont nombreux, mais deux principes sont particulièrement utilisés, les traqueurs de fréquence et les compteurs, ou périodemètres instantanés. Les premiers consistent en un circuit bouclé asservissant un oscillateur local à n'être jamais déphasé par rapport au signal à traiter: il suffit dans un tel circuit de mesurer la tension de commande de l'oscillateur local qui est proportionnelle à la vitesse mesurée. Ces traqueurs peuvent avoir un excellent rapport signal/bruit mais pré-

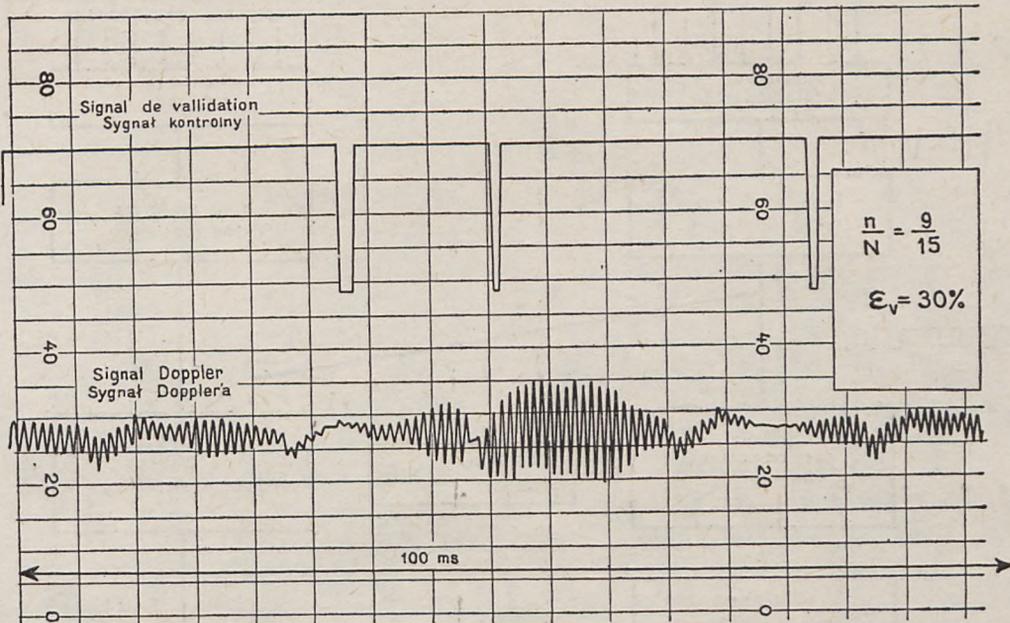


Fig. 7.

Ryc. 7.

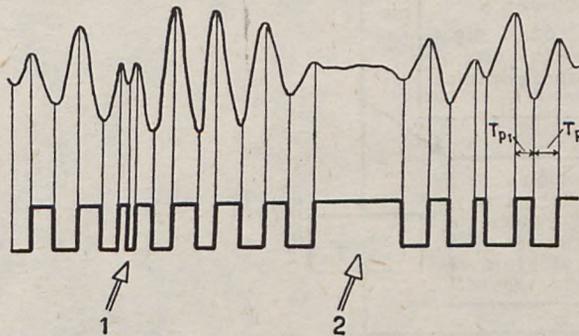


Fig. 8.

Ryc. 8.

sentent l'inconvénient d'être sensibles aux parasites et aux lacunes du signal. Les compteurs sont le fruit des progrès remarquables de l'électronique logique, et mesurent la période de chaque alternance; le périodemètre réalisé par D. Auchere et J.P. Barbier à l'IMG est du type compteur-discriminateur car, après une mise en forme du signal d'entrée, il mesure T par comptage des oscillations d'une horloge de fréquence nettement plus grande que la fréquence à mesurer (20 MHz) mais ne délivre une tension proportionnelle à T qu'après contrôle par un circuit de vali-

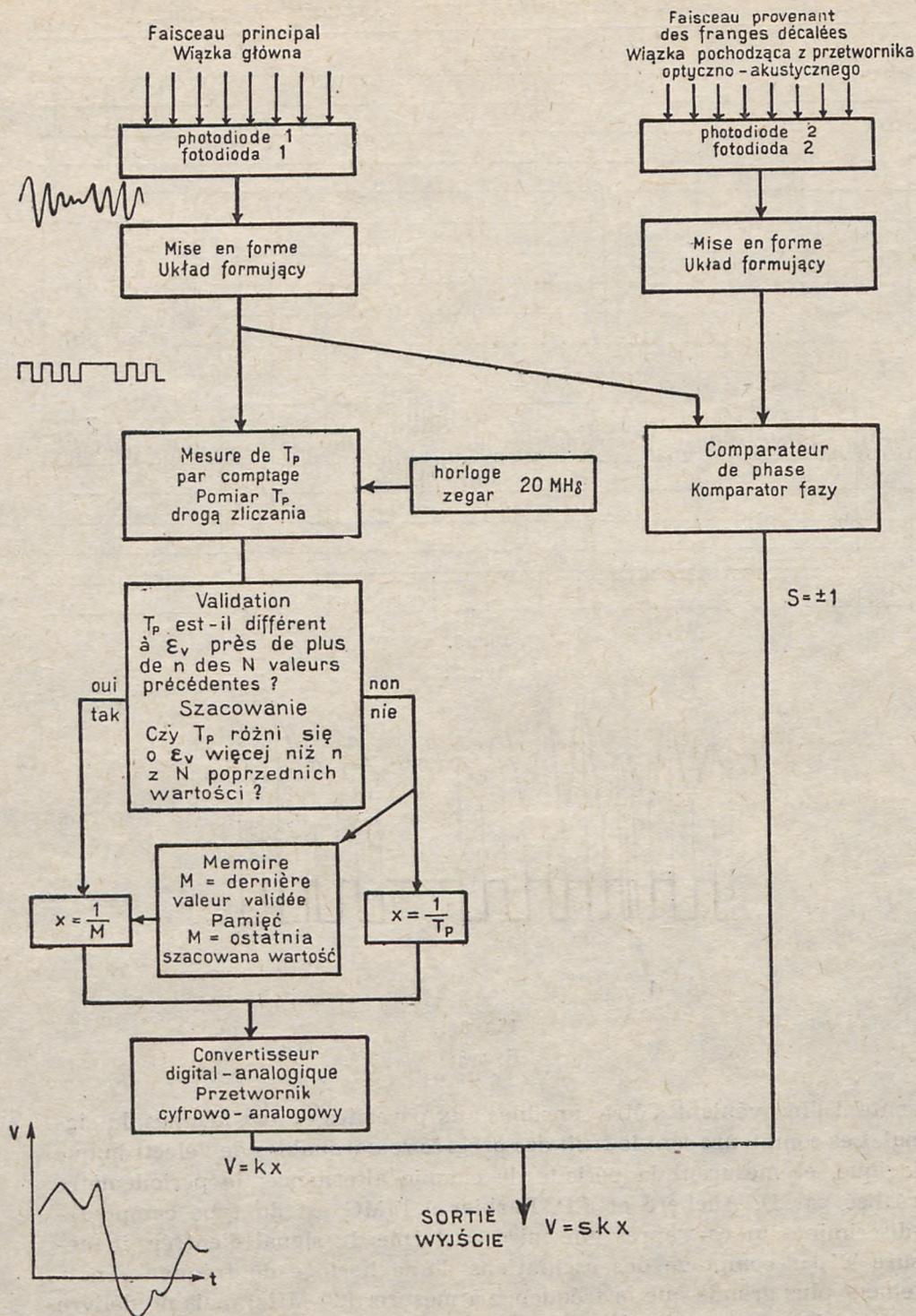


Fig. 9.

Ryc. 9.

dation, chargé de détecter les accidents (figure 8) de type 1 (périodes trop courtes provenant de parasites) ou 2 (période trop longue provenant d'une lacune). La trace supérieure de la figure 7 montre la réponse de ce circuit de validation, la figure 9 résume le principe de fonctionnement de l'appareil, et la figure 10 présente dans un écoulement d'eau turbulent les réponses comparées d'un anémomètre à film chaud et de l'anémomètre à laser doté de ce démodulateur.

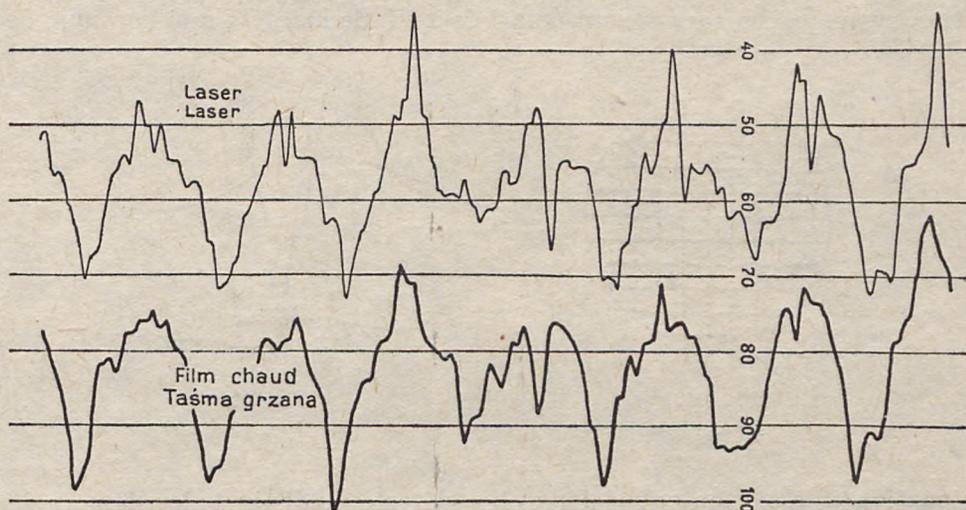


Fig. 10.

Ryc. 10.

Les points de mesure sont voisins de deux millimètres environ et le coefficient d'intercorrélacion de ces deux signaux est de 88%. Malgré cet excellent résultat, l'existence des lacunes -même détectées- affecte la valeur des moments du signal turbulent, si bien que les mesures de turbulence ne constituent peut-être pas l'atout majeur du L.D.A., tout au moins dans les situations classiques d'utilisation du fil chaud: ces deux appareils sont donc bien plus complémentaires que concurrents.

2. LES APPAREILS DE L'IMG — QUELQUES APPLICATIONS

Il est clair que dans le domaine de l'Océanographie, le L.D.A. ouvre la porte à la mesure des courants, écoulements généralement peu rapides et modérément turbulents, mais alternatifs ce qui rendait très difficile leur mesure par des moyens classiques.

2.1. L'appareil à 2 composantes

Mesure des courants dans le modèle de la Manche.

Le premier appareil de l'IMG fut construit pour mesurer les courants de marée sur le modèle de la Manche. C'est un appareil à franges, permettant la mesure simultanée de deux composantes horizontales du courant. Pour cela l'optique d'émission réalise deux systèmes de franges orthogonales dans le plan perpendiculaire à l'axe optique (figure 11). Les deux systèmes de franges sont polarisés à 90° de manière que l'optique de

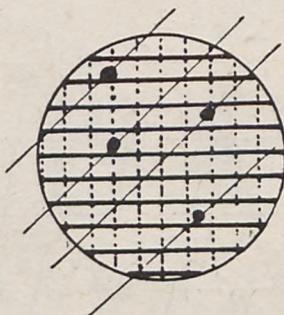


Fig. 11.
Ryc. 11.

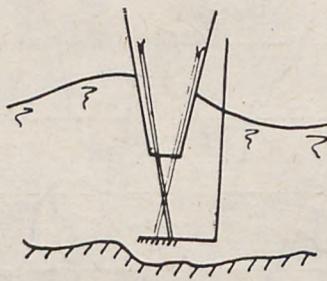


Fig. 12.
Ryc. 12.

réception puisse orienter sur deux photodétecteurs distincts les signaux de chaque polarisation. L'optique de cet appareil est équipée d'un cône de plexiglas (figure 12) terminé par une lame à faces parallèles qui permet la traversée de la surface libre et le maintien du domaine de mesure dans une position fixe malgré les fluctuations de niveau et d'inclinaison de cette interface. En outre un miroir plan réfléchit vers l'optique de réception la lumière à analyser car utiliser la seule lumière diffusée vers le haut aurait nécessité un laser environ 100 fois plus puissant que celui dont nous disposons (laser He-Ne de 5 mw). Ces dispositifs empêchent malheureusement d'obtenir les courants près du fond (à cause du miroir) et de la surface libre (car l'extrémité du cône doit être noyée): ce système est donc loin d'être parfait, mais on se représente le progrès qu'il permet si l'on se souvient que les mesures de courant dans le modèle de la Manche avaient toujours été limitées à la photographie de la dérive de petits flotteurs! La figure 13 donne le schéma optique complet et la figure 14 représente un enregistrement d'une composante du courant de marée pris avec cet appareil, alors qu'il n'était pas équipé de la reconnaissance du sens de l'écoulement: une alternance sur deux doit donc être renversée; la période de la marée est de 20 secondes et l'amplitude du mouvement de 24 mm/s. On voit également que la mesure est mau-

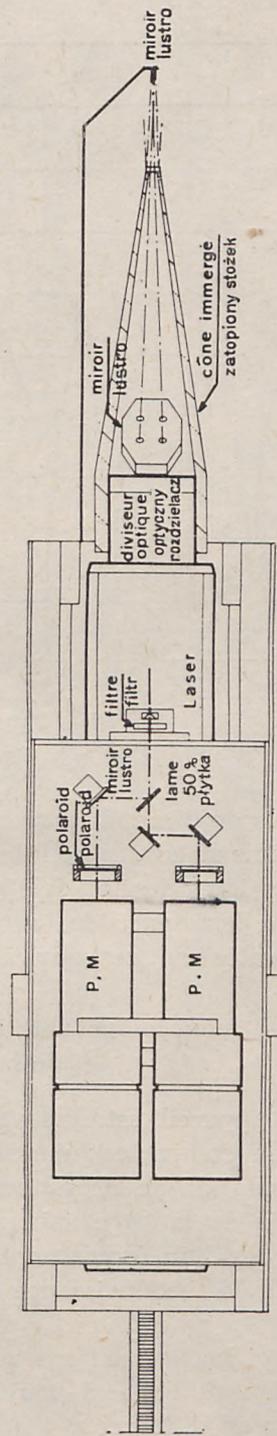
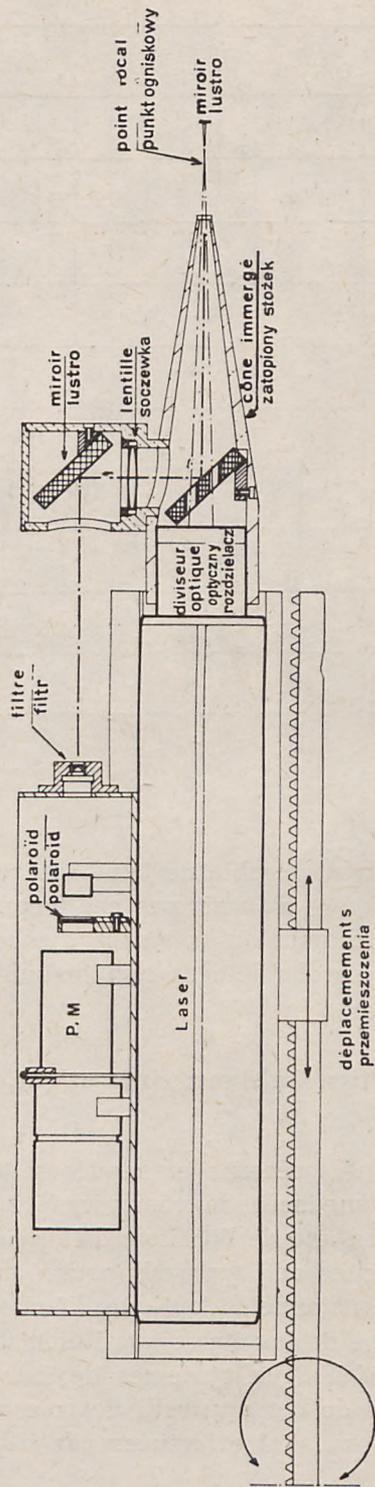


Fig. 13.

Ryc. 13.

Appareil à deux composantes simultanées

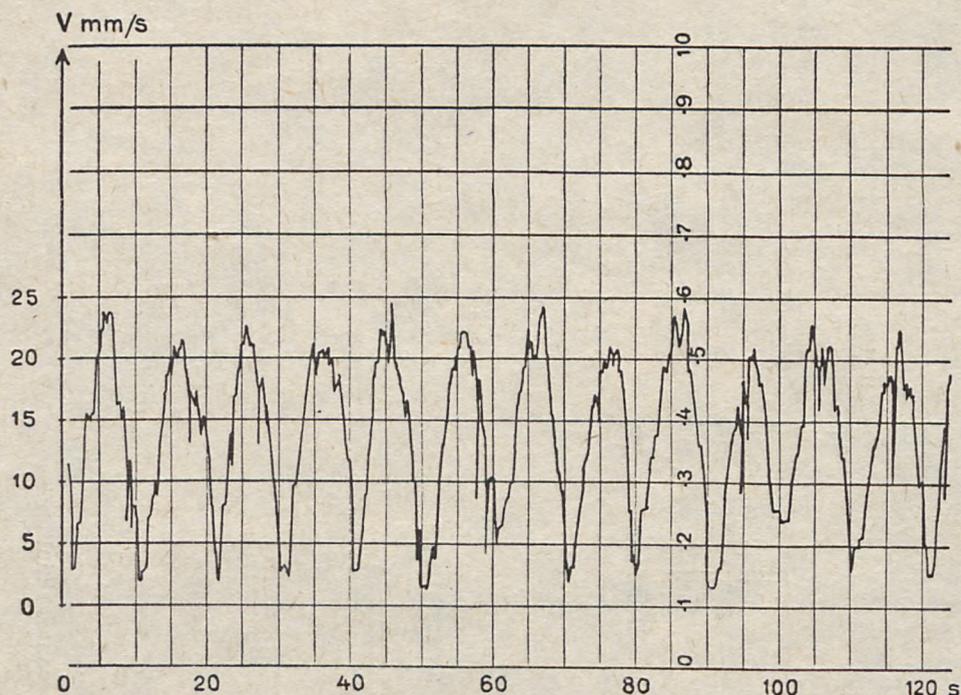


Fig. 14.
Ryc. 14.

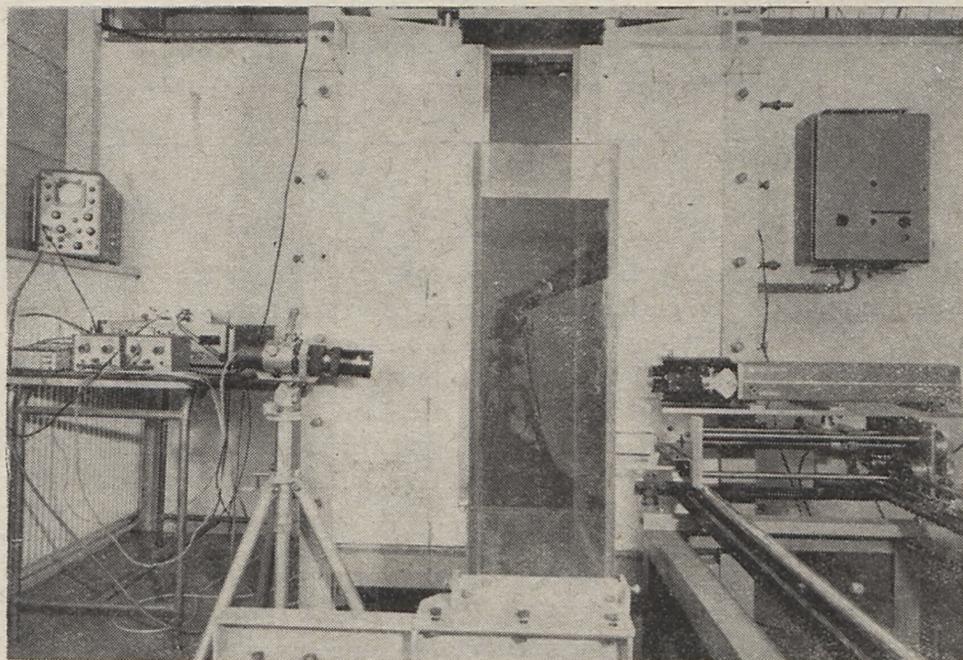
vaise en-dessous de 2 mm/s puisque la vitesse semble ne jamais devenir nulle (un système avec des cellules de Bragg n'aurait pas cet inconvénient). Enfin les irrégularités de l'enregistrement au voisinage des sommets traduisent l'existence de tourbillons, probablement non turbulents car ces irrégularités sont reproductibles.

2.2. Appareil monocomposante à détection du signe: cinématique de la houle

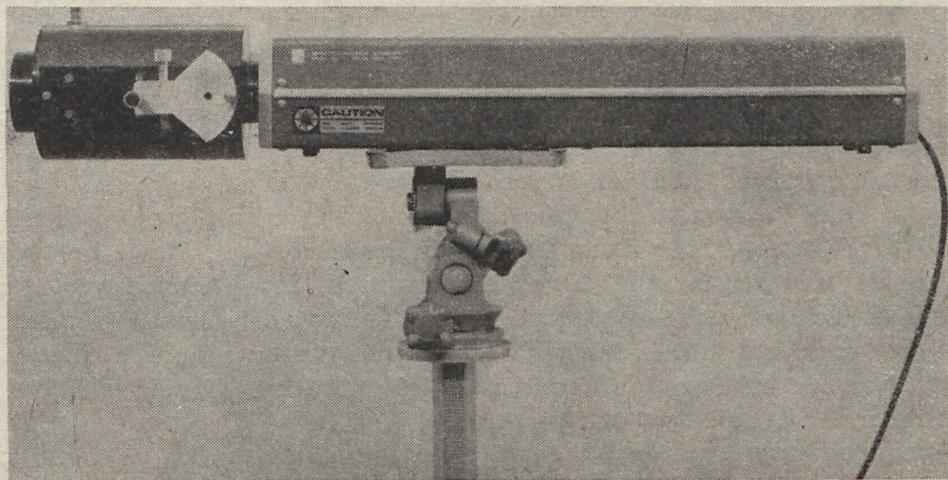
Le second appareil est une version plus récente et beaucoup plus élaborée, qui ne comporte qu'une voie (une seconde composante s'obtient par une notation de 90° autour de son axe de l'optique d'émission). La photographie de la page suivante montre cet appareil installé normalement au plan d'un écoulement bidimensionnel. L'optique d'émission est équipée pour la reconnaissance du signe de la vitesse aussi bien avec une cellule de Bragg qu'avec le dispositif à deux systèmes de franges parallèles. Parmi les utilisations actuelles de cet appareil, des mesures de la vitesse dans le canal à houle de 20 m sont effectuées par Reyes sous la direction de C. Marcou.

Une houle de profondeur moyenne $H = 40$ cm passe sur un seuil haut de 4,5 cm et long d'environ une longueur d'onde ($\lambda = 576$ cm).

Les enregistrements de la figure 17 présentent la variation de la composante u parallèle au fond en six points de la verticale du milieu



a



b

Fig. 15.
Rys. 15.

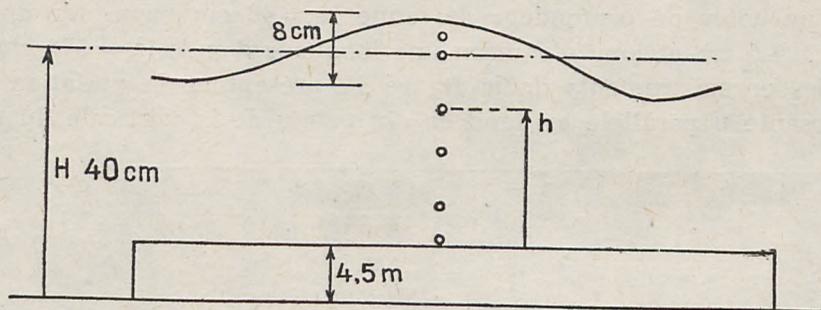


Fig. 16.

Ryc. 16.

du seuil (cf. figure 16). Les points de cote $h = 35,5$ et $h = 37$ cm sont émergés pendant une partie de la période, ce qui ne nuit pas à la mesure. De ces enregistrements on a déduit le débit moyen en fonction de l'altitude (figure 18). Ces quelques résultats montrent sans peine tout le parti que l'on peut tirer d'un L.D.A. pour des études de cinématique de la houle; ajoutons que ces mesures sont remarquablement faciles dans le cas d'un canal à houle dont les parois sont suffisamment propres.

3. L'ANÉMOMÈTRE À LASER, INSTRUMENT OCÉANOGRAPHIQUE

3.1. Les expériences de Stareso

C'est en 1975 que l'anémomètre à laser été essayé, pour la première fois à notre connaissance, comme instrument de mesure in-situ. Cette expérience a été faite en Corse par une mission océanographique internationale comprenant cinq pays européens (Belgique, Danemark, France, Norvège et Grande Bretagne), sous le patronnage de l'Université de Liège, dans la baie de Stareso près de Calvi.

D'après le premier compte-rendu de cette mission [4], ses objectifs étaient de tester L.D.A. dans l'eau de mer, de comparer les techniques disponibles de courantométrie en s'affranchissant des techniques globales de visualisation ou de marquage, et enfin d'envisager des développements ultérieurs pour le L.D.A. Il s'agit donc en quelque sorte d'essais de „certification” du L.D.A. qui se trouve intronisé en tant qu'appareil industriel, utilisé en environnement extrêmement agressif.

Les mesures ont consisté en mesures comparatives des courants à l'aide de quatre appareils: le L.D.A. fourni par le Danemark (prototype de Disa-Elektronik) un anémomètre électromagnétique britannique, un anémomètre à film chaud conique fourni par la France et un anémo-

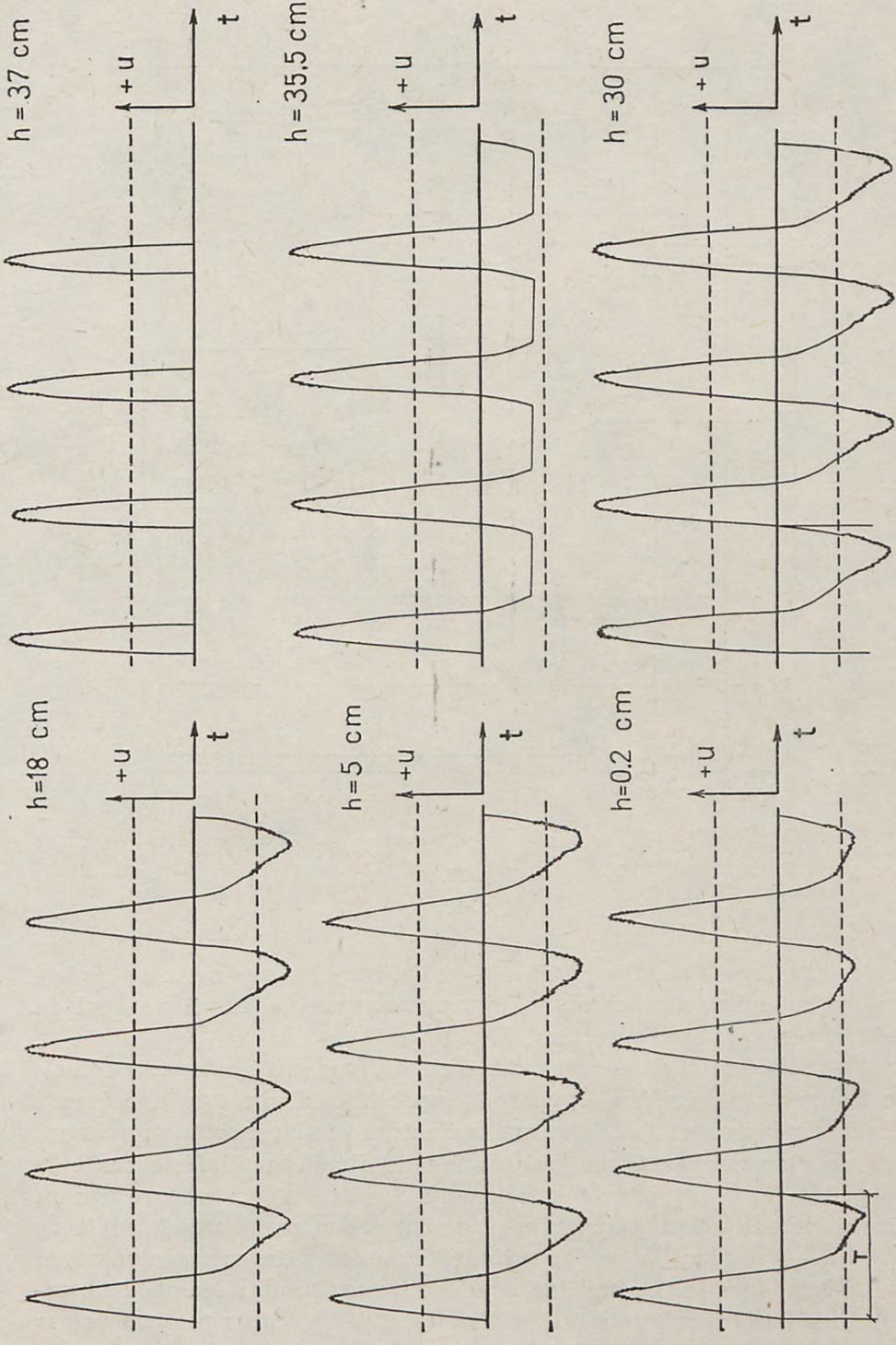


Рис. 17.

Fig. 17.

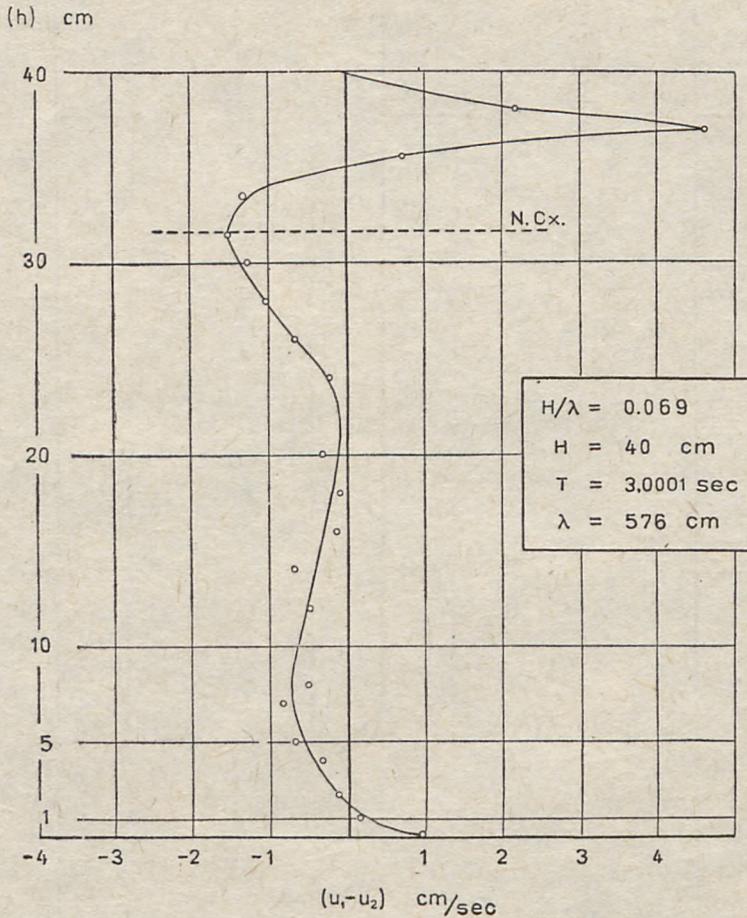


Fig. 18.

Ryc. 18.

mètre acoustique fourni par la Norvège. On constate que deux de ces appareils seulement sont capables de mesures ponctuelles, et un seul de mesures ponctuelles et directionnelles.

La première et plus importante série d'essais a été effectuée à environ 200 m de la côte, les 4 appareils étant fixés à une tour ancrée par 20 m de fond (figure 19). Les appareils, dont les parties sensibles formaient dans un plan horizontal un quadrilatère de dimensions inférieures à 50 cm, pouvaient se déplacer verticalement. Les cotes de mesure furent principalement -2 m (pour enregistrement des mouvements de surface), de -7 à -9 m (dans la couche turbulente au cours des vents intenses) et vers -9 m (dans la thermocline pour mettre en lumière les ondes internes). Plus bas les courants étaient faibles et les mesures perturbées par

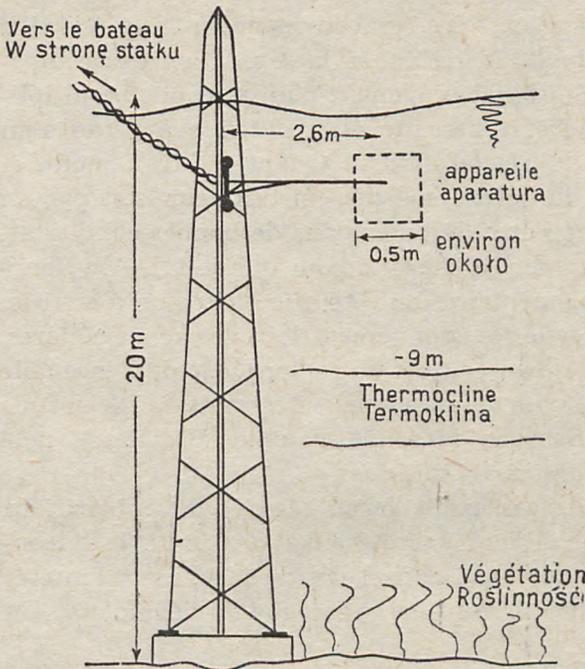


Fig. 19.
Ryc. 19.

la végétation. Toute l'électronique de traitement était à bord d'un bateau ancré à l'écart; des enregistrements automatiques étaient effectués, les dépouillements étant reportés à la fin de la mission. Les vitesses typiques étaient de l'ordre de 10 cm/s et il semble que le L.D.A. se soit comporté avec une fiabilité très honorable malgré l'encrassement de l'optique de l'une des voies vers la fin des expériences.

L'appareil était de conception assez voisine de l'appareil à deux composantes de l'IMG. Il formait un ensemble rigide et étanche (figure 20), comportant un laser He-Ne de 5 mw, deux réseaux de franges rectangulaires formés à l'aide de trois faisceaux, un faisceau commun et deux

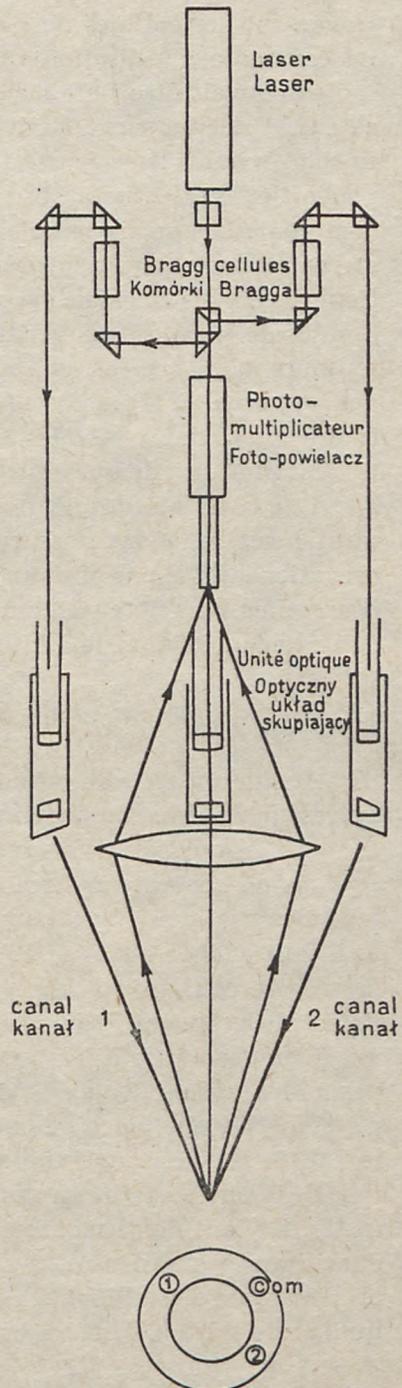


Fig. 20.
Ryc. 20.

Configuration de faisceaux
Konfiguracja wiązek

traversant des cellules de Bragg excitées respectivement à 38 et 42 MHz. La constante d'utilisation valant 170 KHz/m/s, la séparation des composantes pouvait être faite sur le signal provenant d'un seul photomultiplicateur. Une puissance lumineuse suffisante était obtenue à l'aide d'un miroir évitant le recours à la rétrodiffusion. Quant au traitement, il pouvait être effectué à bord du bateau soit par un traqueur, soit par un compteur. Les essais semblent s'être déroulés dans de bonnes conditions, et l'eau de mer paraît suffisamment diffusante pour que le L.D.A. y fonctionne bien. Deux essais supplémentaires ont été effectués: l'un à environ 3 miles de la côte pour vérifier le fonctionnement loin des zones côtières, toujours moins claires, et l'autre au cours d'un remorquage de l'ensemble des appareils à 20 m de profondeur et à une vitesse de 2 à 3 noeuds ($\sim 1,5$ m/s) pour tester les appareils dans une gamme de vitesse nettement plus grande que celle des essais statiques.

Les résultats définitifs de ces essais feront l'objet de publications ultérieures, il faudra s'assurer de leur validité ainsi que de l'état de conservation de l'appareil ayant séjourné dans l'eau de mer, mais l'intérêt d'un tel essai reste considérable pour qui se préoccupe du développement futur de l'anémométrie à laser.

3.2. Quelques conclusions

Aucun appareil de mesure n'est universel, pas plus le L.D.A. que les autres. Mais il est important de constater les progrès remarquables accomplis en quelque dix années, grâce au travail de très nombreuses équipes de chercheurs ainsi que des laboratoires industriels. Les problèmes électroniques posés par le traitement du signal sont très complexes, et il faut avouer qu'ils ne sont que partiellement résolus: on peut cependant faire confiance à la vigueur inventive de l'électronique, toujours à l'affût du problème ardu qu'elle devra, et finalement saura surmonter.

L'anémométrie à laser sort donc de l'enfance, et je ne doute pas que parmi les vastes domaines dont elle servira le progrès, l'océanographie physique ait une place de choix. Aux côtés de l'anémométrie à fil chaud, le L.D.A. est désormais indispensable au laboratoire, le succès qu'il connaît dans un laboratoire comme le nôtre en témoigne. Quant aux mesures insitu, il vient de se montrer à leur hauteur, mais il semble que dans ce domaine ses qualités mêmes (mesure ponctuelle, directionnelle, linéaire et instantanée) s'allient à ses principaux défauts (fragilité, coût) pour qu'il reste très au-delà des besoins les plus courants.

GEORGES LESPINARD

Uniwersytet w Grenoble I
Instytut Mechaniki

DONIOSŁE ZASTOSOWANIE ANEMOMETRII LASEROWEJ W OCEANOGRAFII — POMIAR PRĄDÓW

Streszczenie

Po krótkim omówieniu fizycznych zasad anemometrii laserowej, stosowanej w układach z promieniem odniesienia lub z prążkami interferencyjnymi, przedstawiono różne możliwości określania znaku prędkości. Następnie omówiono podstawowe trudności związane z niebezpośrednim charakterem metod optycznych oraz opisano szczegółowo przyrząd do wykrywania dziur sygnałów.

W drugiej części przedstawiono dwa anemometry laserowe wykonane w Instytucie Mechaniki w Grenoble oraz podano ich zastosowanie do pomiaru prądów pływowych na modelu obrotowym kanału La Manche, jak też do charakterystyki kinematycznej fali. W zakończeniu pracy przytoczono międzynarodowe doświadczenia morskie Stareso (1975), w trakcie których został wypróbowany anemometr laserowy w wodzie morskiej. Uzyskano zadowalające wyniki.

GEORGES LESPINARD
Academy of Grenoble I
Institute of Mechanics

AN IMPORTANT APPLICATION OF LASER-DOPPLER ANEMOMETRY IN OCEANOGRAPHY: CURRENT MEASUREMENTS

Summary

After a summary of the physical principles of laser-Doppler anemometry involved in both reference beam and fringe pattern methods, some possibilities of obtaining the sign of the velocity are discussed. The main difficulties due to the indirect character of optical methods are examined and a possible device for detecting signal drop-outs is described in some detail.

In the second part, two laser-Doppler anemometers built in the Institut de Mécanique de Grenoble, and their applications to measurements of tide-currents in the rotating model of the Channel and to the kinematic description of gravity waves are presented. Finally, international insitu experiments of Stareso (1975), where an L.D.A. was tested in pure sea water, and gave satisfactory results, are also mentioned.

BIBLIOGRAPHIE

LITERATURA

1. Huffaker, *Laser doppler detection systems for gas velocity measurements*, Applied Optics, 9, 1970, 5, 1026—1039.
2. Lespinard G., *Sur une application du laser à l'anémométrie*, 2e thèse, Faculté des Sciences de Grenoble, 1968.
3. Limonde, *Les anémomètres à laser. Etude de leurs caractéristiques, réalisation de prototypes*, Thèse de Docteur-Ingénieur Université et Institut National Polytechnique de Grenoble, 1976.
4. *Preliminary report on current meter intercomparisons at „Stareso”*, Rédaction collective, Kobenharns Universitet, Institut fur Fysik Oceanografi, 1975.
5. Yeh, Cummins, *Localized fluid flow measurements with a He Ne laser spectrometer*, Applied Physics letters 4, 1964, 10, 176—178.