

# NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 20 MAI 1983

---

HYDROPHONES A FIBRES OPTIQUES

M-C SERRES

SINTRA/ALCATEL, 1, av. A. Briand, 94117 ARCUEIL CEDEX

---

## RESUME

Les avantages des transmissions par fibres optiques sont actuellement bien connus. Dans le domaine de l'acoustique sous-marine, ces avantages seraient encore mieux mis en valeur si on associait à ces fibres de transmissions des capteurs à fibre optique électriquement passifs, où le signal acoustique agit sur l'onde lumineuse.

On donne ici le principe de fonctionnement de neuf types d'hydrophones différents. On fait un bilan des principaux avantages et inconvénients de chacun à partir de données bibliographiques et, expérimentales dans certains cas.

## SUMMARY

Fiber optic transmission systems advantages are already well known. For acoustic systems these advantages would be emphasized if optical sensors were associated with the fiber-optic transmission systems. A particularly attractive advantage is electrical passivity and direct interaction between acoustic signal and optical waves.

Functional description of nine different optical sensors is given.

Comparison is done from some experimental results and many bibliographic data.



## 1. INTRODUCTION

Parmi les avantages que l'on peut attendre des hydrophones utilisant des fibres optiques, par rapport aux hydrophones classiques, on citera en particulier :

- leur passivité électrique
- leur liaison directe avec les fibres optiques de transmission.

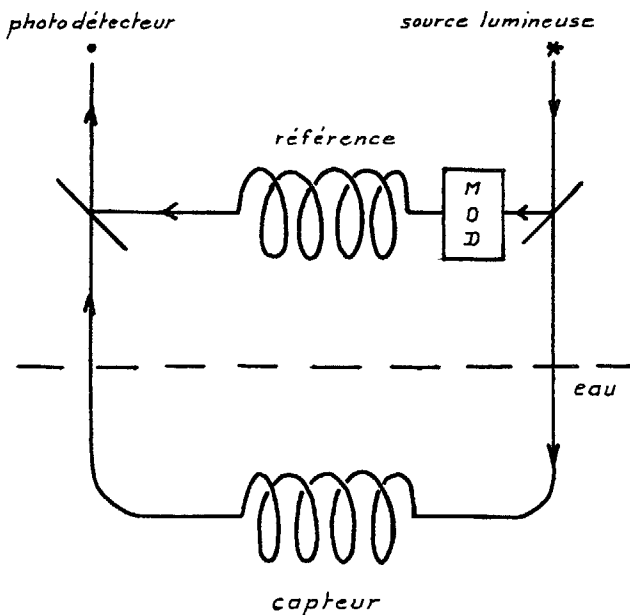
Ces avantages particulièrement intéressants, dans le cas des antennes comportant de très nombreux hydrophones et dans le cas des antennes remorquées, ont conduit les chercheurs à imaginer des hydrophones utilisant des phénomènes physiques différents et que l'on peut séparer en deux grandes catégories : les hydrophones à modulation de phase et les hydrophones à modulation d'amplitude.

Après une description d'un certain nombre de ces hydrophones, on examine les caractéristiques qui doivent servir de critères de comparaison, puis on établit le tableau comparatif final.

## 2. HYDROPHONES A MODULATION DE PHASE

Ce sont ceux qui ont été étudiés les premiers et qui ont fait l'objet du plus grand nombre d'expérimentations. Dans ces capteurs, le signal acoustique modifie la longueur et l'indice de réfraction de la fibre optique, faisant varier ainsi le chemin optique parcouru par l'onde lumineuse et par suite sa phase.

Pour transformer la modulation de phase en modulation d'amplitude, on fait interférer l'onde lumineuse du capteur avec celle d'une fibre référence.



Ces hydrophones présentent, en plus de leur grande sensibilité, la particularité de séparer la notion de sensibilité (liée à la longueur de la fibre) et la notion de directivité (liée au volume occupé par la fibre).

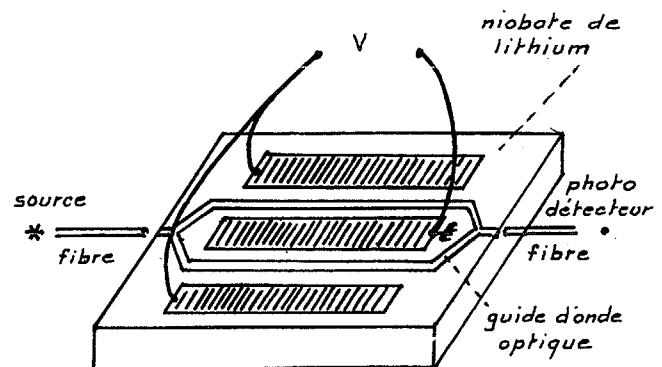
La pression minimale détectable théorique est typiquement de : 26 dB réf. 1  $\mu$ Pa pour une fibre de 10 m.

Ce principe a été expérimenté aux laboratoires de Marcoussis où on a pu constater la grande sensibilité des fibres aux variations de température ; différentes solutions sont envisageables, alors, telles que le gainage des fibres ou la séparation en fréquence des modulations dues à la température et à la pression.

## 3. HYDROPHONES A MODULATION D'AMPLITUDE

Dans ces capteurs, le signal acoustique agit sur la fibre ou sur un élément lié à la fibre pour moduler directement l'intensité lumineuse qui la traverse. Les mécanismes possibles utilisent les effets électro-optiques, mécano-optiques, acousto-optiques ou photoélastiques. On donne ci-dessous le principe d'un certain nombre de ces hydrophones.

### 3.1 - Hydrophone électro-optique

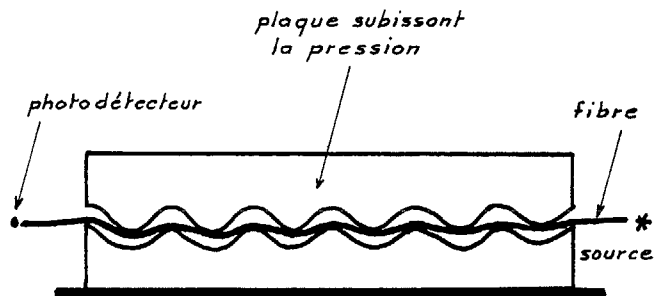


On utilise la tension de sortie d'un capteur piézoélectrique pour introduire une différence de marche entre les deux bras d'un interféromètre réalisé en optique intégrée.

Ce système est en cours d'étude aux laboratoires de Marcoussis. La pression minimale détectable théorique est typiquement de :

$$31,5 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{Pa.}$$

### 3.2 - Hydrophone à micro-déformations

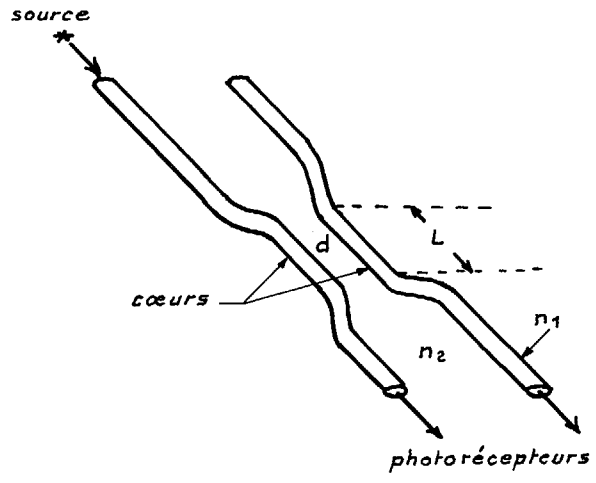


S'il y a accord entre la période du gaufrage des plaques et les modes de propagation dans la fibre, le signal acoustique module fortement l'amplitude de l'onde lumineuse.

La pression minimale détectable est typiquement de 60 dB réf. 1  $\mu$ P.

HYDROPHONES A FIBRES OPTIQUES

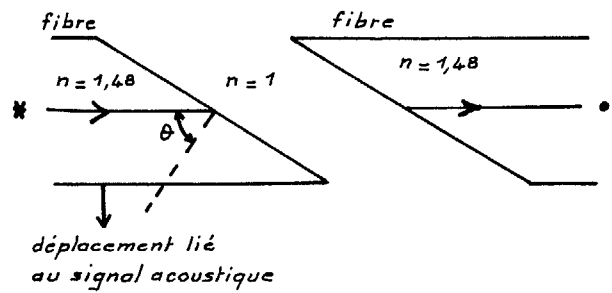
3.3 - Hydrophone à fibres couplées



Le signal acoustique agit sur la distance entre fibres, les indices  $n_1$  et  $n_2$  et la longueur d'interaction  $L$ , modulant ainsi la quantité de lumière passant d'une fibre dans l'autre.

$P_{min} = 50 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{P}$

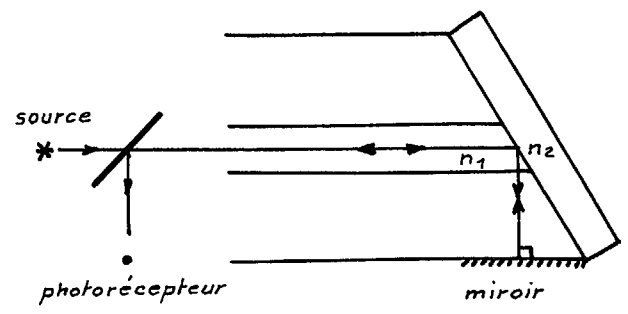
3.4 - Hydrophone à réflexion totale frustrée (FTIR)



Les extrémités des fibres sont coupées avec des angles correspondant à la réflexion totale, si les fibres sont très proches une partie de la lumière passe quand même de l'une à l'autre ; quand une des deux fibres est déplacée sous l'effet du signal acoustique cette quantité de lumière est modulée.

$P_{min} = 60 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{Pa}$

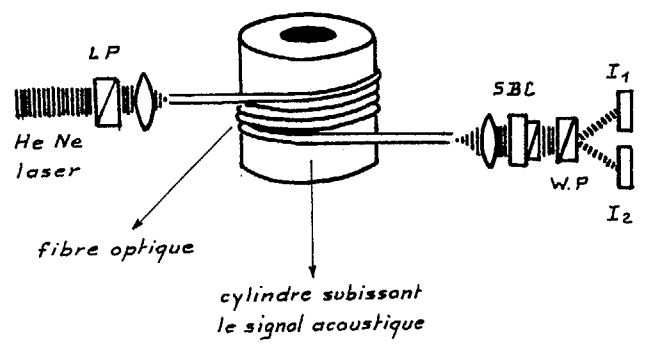
3.5 - Hydrophone à réflexion presque totale



Le signal acoustique fait varier  $n_1$  et  $n_2$  différemment, modulant la lumière réfléchi. Ce capteur est le seul qui n'ait pas été expérimenté

$P_{min} \text{ (attendue)} = 110 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{Pa}$

3.6 - Hydrophone à lumière polarisée

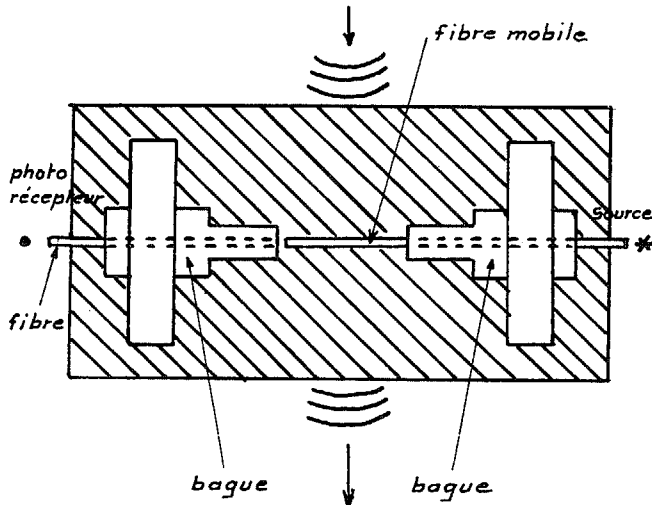


Le signal acoustique déforme le cylindre qui contraint la fibre, la polarisation de l'onde lumineuse est changée, il en résulte une modulation en amplitude du signal de sortie.

$P_{min} = 52 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{Pa}$



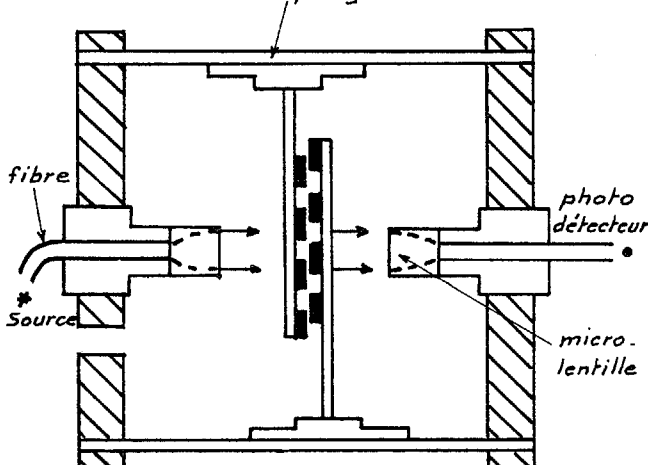
### 3.7 - Hydrophone à fibre mobile



Le signal acoustique déplace une fibre par rapport à l'autre, apportant une modulation de la lumière transmise

$$P_{\min} = 80 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{Pa}$$

### 3.8 - Hydrophone à grilles mobiles



Le signal acoustique déplace les diaphragmes et les grilles qui leur sont solidaires, modulant la lumière qui les traverse.

$$P_{\min} = 50 \text{ dB réf. } 1 \mu\text{Pa}$$

### 4. Critères de comparaison

Au critère de sensibilité, il faut ajouter, le rapport signal sur bruit, la bande passante, mais aussi d'autres caractéristiques telles que la dimension, la robustesse ou la facilité de mise en oeuvre.

On exprime la sensibilité par la pression minimale détectable en dB référencés au micropascal.

Le rapport signal sur bruit est limité par les bruits quantiques des émetteurs (diodes ou lasers) et des photodétecteurs mais aussi par le bruit ambiant. En particulier, en basse fréquence, il faut tenir compte :

- des variations du niveau d'émission des lasers
- des fluctuations de température
- des fluctuations de pression
- des vibrations mécaniques
- des accélérations.

Ces effets n'ont généralement pas fait, à ce jour, l'objet de nombreuses mesures, si ce n'est les effets de fluctuation de température sur les hydrophones à

modulation de phase (§ 2) pour lesquels on peut trouver des sensibilités à la température de l'ordre de  $100 \text{ rad}/^\circ\text{C}/\text{m}$  et des sensibilités à la pression de l'ordre de  $10^{-4} \text{ rad}/\text{Pa}/\text{m}$  (quand la fibre n'est pas moulée et gainée spécialement pour augmenter sa sensibilité à la pression et diminuer sa sensibilité à la température).

### 5. COMPARAISON DES DIFFERENTS HYDROPHONES

On établit un tableau comparatif des différents hydrophones en tenant compte de leur taux de modulation, de la pression minimale qu'ils peuvent détecter, mais aussi des avantages et des inconvénients de chacun.

On classe dans les avantages :

- . l'utilisation de fibres multimodes de manipulation plus aisée
- . le fait que l'onde lumineuse n'a pas à quitter la fibre pour être modulée par le signal acoustique. On symbolisera cet avantage par le sigle LCIF (light confined in fiber) que l'on opposera à l'inconvénient correspondant LNC (light not confined)
- . la petite dimension de certains systèmes
- . la grande bande passante.

Par contre on classe dans les inconvénients :

- . l'utilisation de fibres monomodes
- . le fait que l'onde lumineuse quitte la fibre : LNC
- . le fait que dans certains cas l'alignement mécanique est délicat.

Les bruits dus aux conditions ambiantes (température, pression, vibrations ...) ont fait l'objet de trop peu de publications et de mesures, à ce jour, pour que l'on puisse introduire des valeurs de rapport signal sur bruit dans le tableau ci-après.

### 6. REFERENCES

La documentation parue sur le sujet est très importante; on ne citera ici que quelques articles donnant le principe de fonctionnement des différents hydrophones optiques. Le lecteur pourra trouver dans la bibliographie de ces articles, les références de documents complémentaires.

1. Optical hydrophones for sonar - J.A. Bucaro Naval Research laboratory, Washington, D.C - IEEE New York USA (1978).
2. High-speed operation of  $\text{LiNbO}_3$  electro-optic interferometric waveguide modulators - F.J. Leonberger Optics Letters/Vol 5 N.7/July 1980.
3. Frustrated-total-internal-reflexion multimode fiber-optic hydrophone - W.B. Spillman, Jr. & D.H. Mc Mahon Applied optics/Vol 19 N.1/1 January 1980.
4. Moving fiber-optic hydrophone - W.B. Spillman Jr. & R.L. Gravel - Optics Letters/Vol 5 N.1/January 1980.
5. Multimode fiber-optic hydrophone based on a schlieren technique - W.B. Spillman, Jr. - Applied Optics/Vol 20 N.3/1 February 1981.
6. On the feasibility of using multimode optical fibers in optical hydrophones - Peter Shajenko - J. Acoust. Soc. Am. 69 (6), June 1981.
7. Fiber-Optic transducers - Donalds D.H. Mc Mahon, Arthur R. Nelson, & William B. Spillman Jr. IEEE Spectrum - December 1981.
8. Optical fiber sensor technology - Th. G. Giallorenzi; Joseph A. Bucaro; Anthony Dandridge; GH. Sigel, Jr; James H. Cole; Scott C. Rashleigh, & R.G. Priest - IEEE Journal of quantum electronics - Vol QE 18. N.4/ April 1982.
9. Multimode optical fibers as sensing devices. P. Shajenko - Applied optics/Vol 21 N.23/1 Dec. 1982.



## HYDROPHONES A FIBRES OPTIQUES

Tableau comparatif des différents hydrophones

Type d'hydrophone	Pression minimale détectable dB réf. 1 $\mu$ Pa	Avantages particuliers	Inconvénients
Modulation de phase	26 (10 mètres)	Séparation sensibilité/directivité	- Fibre monomode - Sensible à la température
Electro-optique	32		. Optique intégrée encore peu expérimentée . LNC
Microdéformations	60	. fibre multimode . LCIF	. Mise au point mécanique critique
Fibres couplées	50	. fibre multimode . LCIF	. Mise au point mécanique critique
F.T.I.R.	60	. Fibre multimode	. Mise au point mécanique critique . LNC
NTIR	110 (attendus)	. capteur ponctuel . grande bande passante	. Faible sensibilité . Mise au point mécanique critique . Fibre monomode
Lumière polarisée	52	. LCIF	. Fibre monomode
Fibre mobile	80		. Fibre monomode . Mise au point mécanique critique . LNC
Grilles mobiles	50	. Multimode	. LNC

