



## TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 1<sup>er</sup> au 5 juin 1971

---

QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

M. LAGIER

THOMSON-CSF - Division ASM. - O6 - CAGNES-sur-MER

-----

---

**RESUME**

Le présent exposé a pour objet de présenter quelques performances et applications des lentilles acoustiques. Dans une première partie, on expose les conditions de réalisation de ces lentilles, dans une deuxième partie, suivent quelques considérations théoriques sur les performances de celles-ci. Dans une troisième partie, on trouve quelques exemples de lentilles acoustiques expérimentales. La quatrième partie est consacrée à deux applications précises : les antennes à directivité constante et les sonars à balayage panoramique.

**SUMMARY**

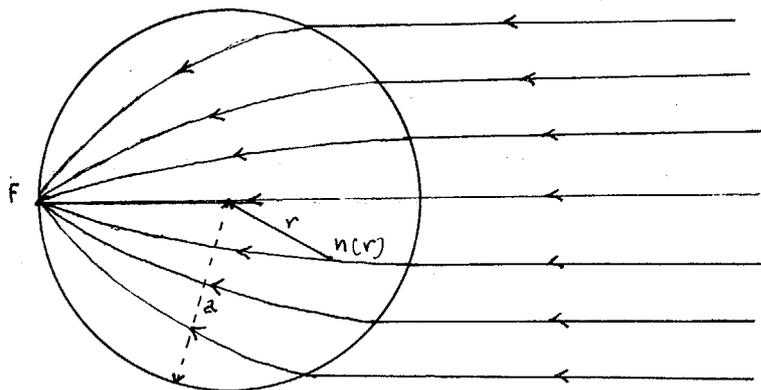
This paper presents a few examples of the performance and application of acoustic lens. The first part deals with realization conditions of these lens, the second one explains some theoretical considerations which are involved in their performance. The third part gives some experimental examples of realizations. In the fourth part, two specific applications are studied : i e Constant directivity antennas and panoramic scanning sonars.

QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUESI. - INTRODUCTION

La définition des images sous-marines et l'extraction du signal dans le bruit d'agitation de la mer nécessitent une grande directivité à la réception ; les directivités sont obtenues en augmentant soit la fréquence de fonctionnement, soit la dimension de l'antenne. Dans le premier cas, on est vite limité par l'absorption du milieu ambiant, pour cette raison la directivité sera nécessairement acquise avec des dimensions importantes d'antennes.

Les lentilles acoustiques apportent une solution dans la réalisation de telles antennes.

Dans le cas de formation de voies dans un angle solide très ouvert, il importe d'avoir une lentille ayant des propriétés isotropes, pour cette raison on a étudié à la THOMSON-CSF, plus particulièrement des lentilles du type LUNEBERG.



Une telle lentille est une sphère dont l'indice suit la loi :

$$n^2(r) = 2 - \frac{r^2}{a^2} \quad (1)$$

$n(r)$  : indice de la couche située à la distance  $r$  du centre ;

$a$  : rayon extérieur de la lentille



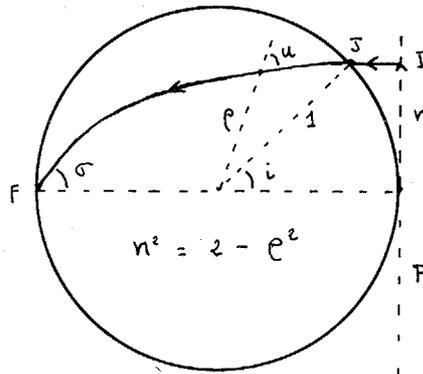
## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

On constate qu'il est nécessaire de réunir des matériaux acoustiquement transparents ayant des indices élevés par rapport à l'eau ( $\sqrt{2}$  au centre dans le cas de l'équation de Luneberg). Ces matériaux ne doivent évidemment pas propager les ondes de cisaillement, ce qui conduit à n'utiliser que des fluides ou certains polymères visco-élastiques (polyuréthanes). Dans le cas d'une utilisation de fluide, le nombre de couches nécessaires à approximer la lentille de Luneberg se ramène à une seule : on aura donc une lentille-boule. Avec les solides visco-élastiques il est théoriquement possible de réaliser un grand nombre de couches, cependant la forte absorption que l'on rencontre dans ces matériaux limite l'utilisation à des fréquences inférieures à 100 kHz.

### II.- CARACTERISTIQUES DES LENTILLES ACOUSTIQUES

#### II.1.- Directivité

Pour une lentille parfaitement focale du type Luneberg, il y a une correspondance parfaite entre le foyer et les différents points de la pupille d'entrée il est donc possible pour un transducteur semi-directif de calculer la pression acoustique sur la pupille équivalente que nous prendrons de rayon 1.



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

On montre par application du principe de Fermat que sur un rayon quelconque (IJF) on a la relation :

$$n_0 \sin u = \text{Cste}$$

en particulier en I :  $p \sin u = r$

D'où pour le point F:  $\sin \sigma = r$ . Soit  $p_0$  la pression en F, l'énergie pulsée dans un angle solide élémentaire :  $\sin \sigma \, d\sigma \, d\phi$  sera donc :  $p_0^2 \sin \sigma \, d\sigma \, d\phi$ , cette énergie se retrouve dans la pupille P :  $p^2 \, r \, dr \, d\phi$ , d'où :

$$p^2 \, r \, dr \, d\phi = p_0^2 \sin \sigma \, d\sigma \, d\phi$$

et

$$p^2 = \frac{p_0^2}{\sqrt{1-r^2}}$$

La distribution de la pression dans la pupille plane équivalente est donc infinie sur les bords. Cette distribution fournira donc à l'infini dans la direction  $\theta$  la directivité :

$$\begin{aligned} F(k \sin \theta) &= \int_0^1 J_0(k r \sin \theta) \frac{r \, dr}{(1-r^2)^{1/4}} \\ &= 2^{3/4} \Gamma(7/4) \frac{J_{3/4}(k \sin \theta)}{(k \sin \theta)^{3/4}} \end{aligned}$$

où  $\Gamma(7/4)$  est la fonction gamma et  $J_{3/4}(\alpha)$  est une fonction de Bessel d'indice fractionnaire.

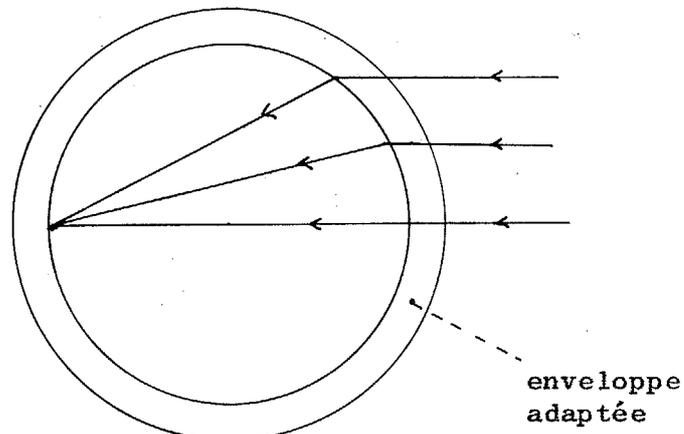
L'ouverture à 3 dB de cette fonction est légèrement inférieure à celle correspondant à la pupille plane circulaire non pondérée  $\left( \frac{2 J_1(k \sin \theta)}{k \sin \theta} \right)$

et les lobes secondaires sont à -15 dB.



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

En général, pour les lentilles boules, il convient pour tenir compte des aberrations sphériques d'ajouter dans l'intégrale précédente, un terme de phase, cependant pour la plupart des applications sonar les dimensions de l'antenne n'excédant pas une centaine de longueurs d'onde, la fonction précédente sera suffisamment représentative. Différents facteurs vont influencer cette directivité : l'atténuation dans l'enveloppe, l'atténuation dans le fluide, la dimension du transducteur, les aberrations, le défaut de mise au point. L'atténuation dans l'enveloppe est caractérisée en ce sens que les rayons marginaux traversent une épaisseur plus importante que les rayons axiaux, il y a donc une pondération, qui a pour résultat d'élargir l'ouverture à 3 dB et de diminuer les lobes secondaires, à titre d'exemple un polyuréthane du type PU 600 introduit une atténuation de 0,25 dB:cm à 100 KHz.



Lentille Boule

L'atténuation dans le fluide a un effet inverse, les rayons marginaux séjournant moins longtemps dans la lentille que les rayons axiaux, ce qui accentue la pondération inverse et provoque donc une diminution de

QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

l'ouverture, ainsi qu'une montée des lobes secondaires. Dans la plupart des fluides utilisés, l'atténuation reste faible pour des fréquences inférieures à 1 MHz, ce phénomène se rencontrera plutôt dans les lentilles à noyau solide.

Lorsque le transducteur a des dimensions telles que sa directivité propre ne soit plus négligeable, il convient de faire intervenir dans le calcul précédent la directivité du capteur :  $S(\sigma)$ , et la fonction de directivité de l'ensemble devient :

$$F(k \sin \theta) = \int_0^1 J_0(kr \sin \theta) \frac{S(\arcsin r)}{(1-r^2)^{1/4}} r dr$$

Si  $S$  est une fonction réelle, on constatera un élargissement de l'ouverture à 3 dB, ainsi qu'une diminution des lobes secondaires.

Les aberrations ont pour effet de faire monter les lobes secondaires et il est recommandé de ne pas dépasser  $100 \lambda$  pour le diamètre de la lentille. Le défaut de mise au point est produit par un déplacement du foyer par rapport au capteur, ce déplacement peut avoir différentes origines : en basse fréquence ( $D/\lambda < 4$ ) la position du foyer n'est plus donnée par les formules de l'acoustique géométrique (2).

N.B. - Pour une lentille boule, le foyer géométrique est donné par les relations suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} n \geq 2 \quad OF = \frac{a}{n-1} \\ n \leq 2 \quad OF = \frac{an}{2(n-1)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} a : \text{rayon de la lentille} \\ n : \text{indice du fluide} \end{array}$$



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

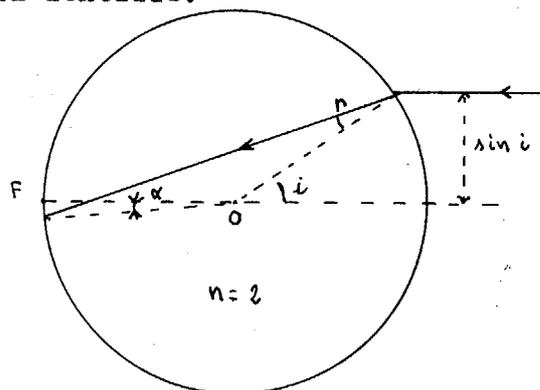
Les variations de l'indice du fluide sont liées à la température et à la pression ambiantes, on peut noter que pour la plupart des fluorocarbones utilisés, la variation de la célérité est de 2 m/s par °C ou par 4 bars. Cependant, il n'a pas d'altérations du diagramme de directivité pour des variations de  $\pm \frac{\lambda}{4}$  ( $\lambda$  longueur d'onde dans le fluide) de part et d'autre du foyer géométrique, ce critère pouvant être évidemment changé en fonction d'applications moins rigoureuses.

### II.2.- Gain

Considérons maintenant une onde acoustique plane tombant sur une lentille sphérique et soit  $p_0$  la pression acoustique de cette onde. Au foyer F de la lentille on relèvera une pression  $p_F$  différente à cause de la focalisation; on désigne par gain le rapport :

$$G = p_F/p_0$$

On peut établir le gain d'une lentille boule en fonction des dimensions du capteur, de l'indice et du diamètre de la lentille.



Considérons la Fig. ci-dessus qui représente un rayon, de hauteur  $\sin i$ , qui est réfracté suivant l'angle  $r$  et traverse la pupille de sortie avec une déviation  $\alpha$  (ici l'indice de la lentille est pris égal à 2).



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

Pour une surface d'entrée de :  $\pi \sin^2 i$  ; la surface interceptée dans la pupille de sortie est :  $2\pi (1 - \cos \alpha) \approx \pi \alpha^2$ .

L'énergie incidente est :

$$W = \frac{p_o^2}{\rho_o c_o} \pi \sin^2 i \quad (\rho_o c_o \text{ impédance acoustique de l'eau.})$$

L'énergie captée est :

$$\frac{p_F^2}{\rho c} \pi \alpha^2 \quad (\rho c \text{ impédance acoustique du fluide})$$

S'il n'y a pas de pertes dans la lentille, on peut identifier ces deux expressions, d'où :

$$\frac{p_F^2}{p_o^2} = \frac{\rho c}{\rho_o c_o} \frac{\pi \sin^2 i}{\pi \alpha^2}$$

le gain pour une pupille d'entrée de rayon  $\sin i$  sera donc :

$$G(i) = \frac{\sin i}{\alpha} \sqrt{\frac{\rho c}{\rho_o c_o}}$$

Ici  $\alpha$  est lié à  $i$  par la relation :  $\alpha = 2r - i$

D'après l'expression précédente, on constate que la pression  $p_F$  est une fonction de  $\alpha$ , si l'on veut la pression moyenne exercée sur la surface d'un capteur d'ouverture  $\alpha_o$ , il importe de calculer :

$$p_F = \frac{p_o}{2\pi (1 - \cos \alpha_o)} \int_0^{\alpha_o} \frac{\sin i}{\alpha} \sqrt{\frac{\rho c}{\rho_o c_o}} d\Omega$$

$$\text{avec : } d\Omega = 2\pi \sin \alpha \, d\alpha = 2\pi \alpha \, d\alpha, \quad \sigma_o = \tan \frac{i_o}{2}$$

Après calcul, on trouve :

$$p_F = \frac{p_o}{1 - \cos \alpha_o} \sqrt{\frac{\rho c}{\rho_o c_o}} \left[ 4 - \frac{4 \sqrt{1 + \sigma_o^2 + \sigma_o^4}}{1 + \sigma_o^2} - \frac{2\sigma_o^2}{1 + \sigma_o^2} \right]$$

$$\text{soit encore : } p_F \sim \frac{2p_o}{\alpha_o} \sqrt{\frac{\rho c}{\rho_o c_o}} \frac{2\sigma_o^4}{1 + \sigma_o^2}$$



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

---

Le gain est une fonction indépendante de la fréquence dans la mesure où le transducteur est plus petit que la tache de diffraction.

Le gain mesuré dans la pratique correspond au rapport des tensions électriques relevées avec le même hydrophone, pour la même émission avec et sans la lentille, l'identité de cette mesure avec le gain en pression n'est pas formelle, car elle suppose la même sensibilité pour un hydrophone en onde plane ou en onde sphérique.

### II.3.- Comparaison avec une antenne classique

Considérons une lentille de diamètre  $2a$  au foyer de laquelle on dispose un hydrophone d'impédance  $Z_0$ , cette impédance pouvant être dans notre exemple soit l'impédance de rayonnement pour un hydrophone résonnant et accordé, soit la capacité diélectrique pour un hydrophone utilisé en dessous de sa résonance.

L'antenne plane équivalente est une pupille plane circulaire de diamètre  $2a$  dans laquelle on dispose un certain nombre d'hydrophones (impédance  $Z_0$ ), occupant une fraction  $\alpha$  de la surface totale  $\pi a^2$ .

Si  $S$  est la surface de captation d'un hydrophone, on aura :

$$n = \frac{\alpha \pi a^2}{S} = \text{nombre d'hydrophones}$$

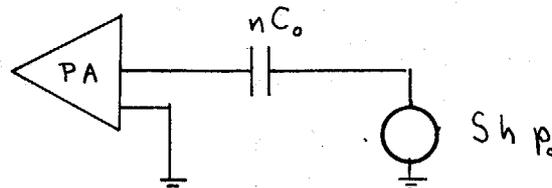
L'impédance du groupement en parallèle sera donc :

$$Z'_0 = \frac{Z_0}{n} \text{ (s'il n'y a aucune pondération).}$$

QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

Si l'on désigne par  $Sh$  la sensibilité de l'hydrophone et par  $p_o$  la pression incidente et si d'autre part :

$Z_o = \frac{-j}{C_o \omega}$ , on pourra représenter cette antenne par le schéma équivalent ci-dessous.

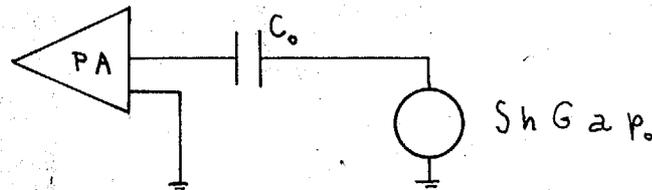


Avec une impédance d'entrée du préamplificateur grande devant  $Z'_o$ , le signal à l'entrée de celui-ci sera :

$$U = Sh p_o$$

Pour la lentille, le signal reçu par l'hydrophone est:  $Sh p_F$ , où  $p_F$  est la pression au foyer, donc :

$p_F = G a p_o$  ( $a$  : pertes dans la lentille), le schéma équivalent sera le suivant :



et si son impédance d'entrée est toujours grande devant celle de  $C_o$ , le tension à l'entrée du préamplificateur sera :  $U_1 = Sh G a p_o$ . Le signal reçu par un hydrophone placé au foyer d'une lentille sera donc  $G \times a$  fois plus élevé que celui reçu par l'antenne plane équilibrée ; par contre si  $Re$  est la résistance d'entrée du préamplificateur, la fréquence de coupure de l'antenne classique sera  $n$  fois plus basse que celle de la lentille.

Prenons maintenant, le cas d'hydrophones résonnants, pour des raisons d'adaptation, on ramène alors



### QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

l'impédance de l'antenne à 50 Ω. L'antenne classique disposera donc d'un transformateur de rapport N tel que :

$$N^2 = \frac{R_o}{n S_o} \quad (R_o : \text{impédance à rayonnement exprimée en ohms})$$

$$\text{d'où : } N^2 = \frac{R_o}{\alpha G^2 50} \quad \text{avec : } G^2 \sim \frac{\pi a^2}{S}$$

Dans le cas de la lentille, on aura un transformateur de rapport :

$$N_1^2 = \frac{R_o}{50}$$

Le signal électrique fourni par l'antenne plane sera donc :

$$u = \frac{Sh p_o}{N} = Sh p_o G \alpha \frac{50}{R_o}$$

tandis que pour la lentille, on aura :

$$u_1 = \frac{Sh G a p_o}{N_1} = Sh p_o G a \frac{50}{R_o}$$

Le rapport de la tension reçue par la lentille à la tension reçue par l'antenne équivalente, est donc :

$$U_1/U = \frac{a}{\alpha}, \text{ soit un nombre toujours inférieur à 1.}$$

Les impédances de source étant ici égales à 50 Ω dans les deux cas, le rapport signal à bruit (bruit électrique) sera plus défavorable à la lentille dans le cas d'une utilisation à la résonance. En dessous de la résonance, le signal provenant de la lentille est bien plus élevé, cependant les impédances de source étant très différentes, le comportement du bruit du préamplificateur sera également différent.

### III.- EXEMPLES DE LENTILLES ACOUSTIQUES

La fig. 1 (page suivante) représente une vue en



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

en coupe d'une lentille boule et du dispositif d'exploitation du champ acoustique.

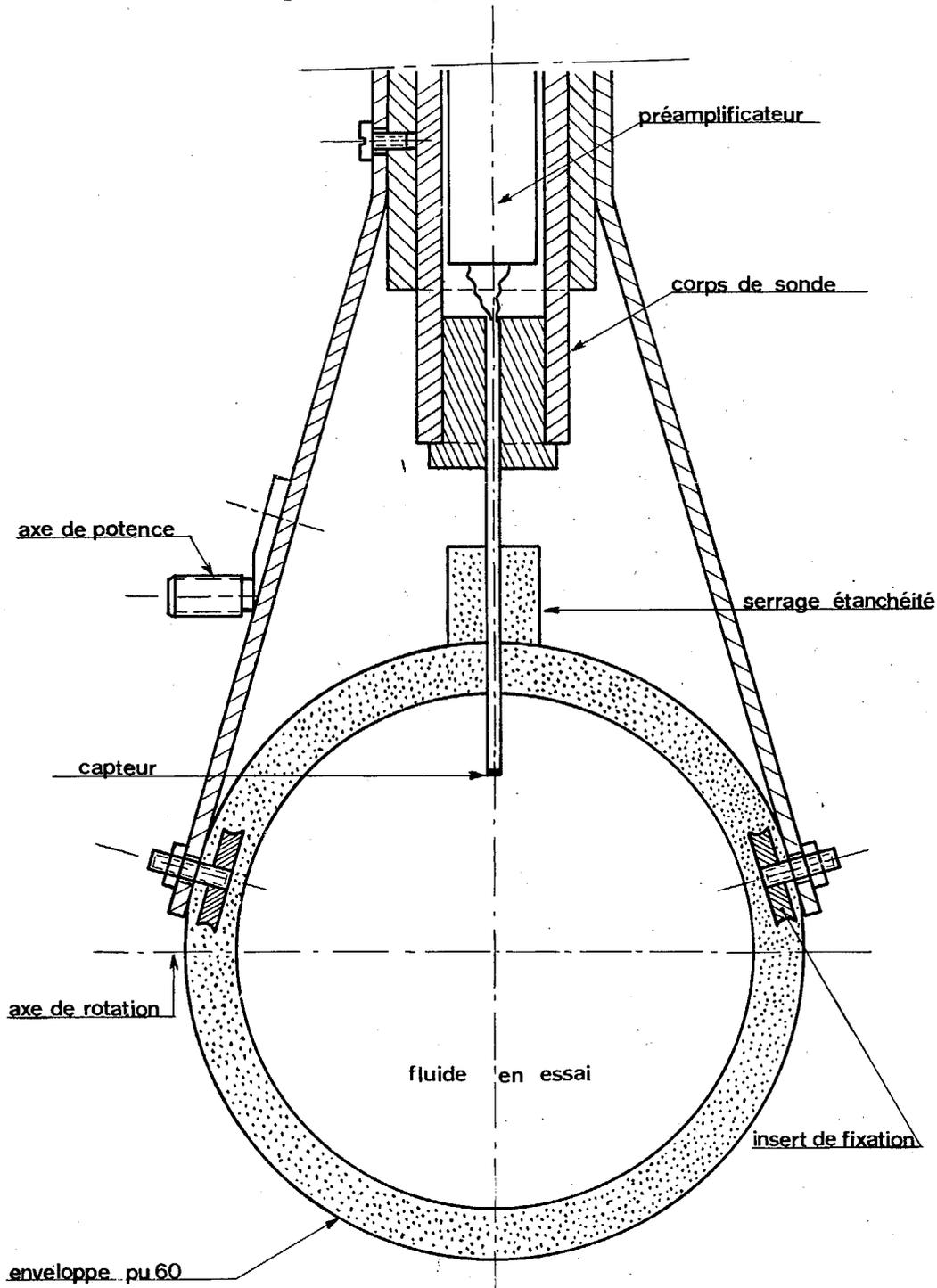


Fig. 1



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

La photo (Fig. 2) suivante est celle d'une lentille expérimentale de diamètre 120 mm.

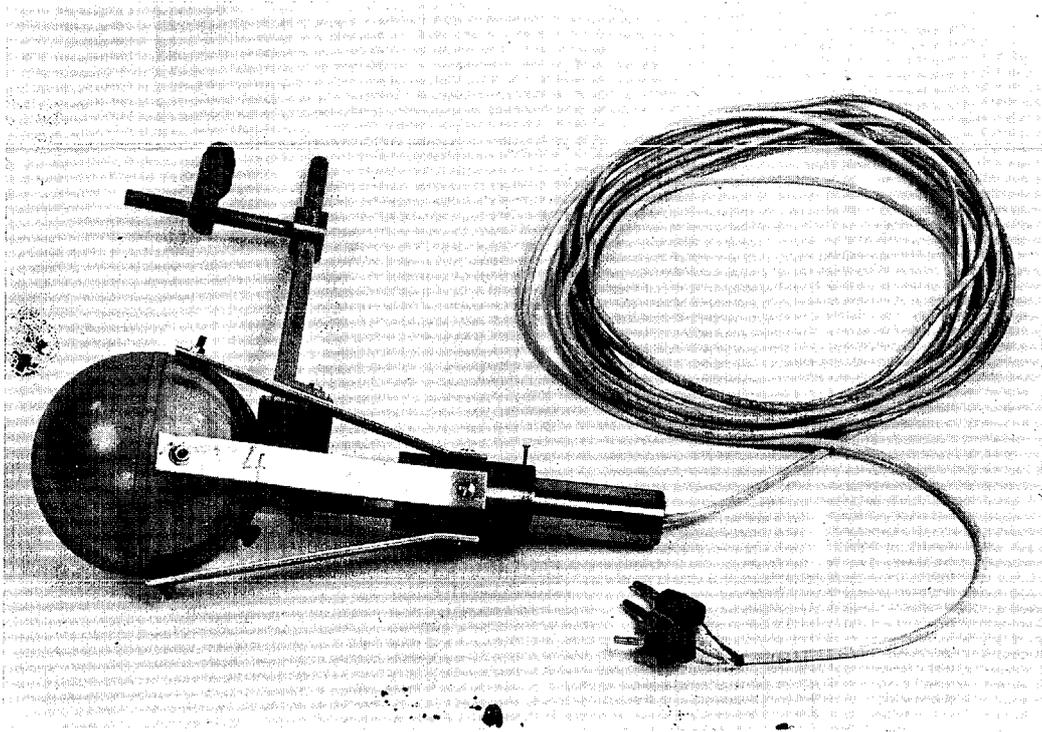


Fig. 2

La lentille se compose d'une sphère creuse en polyuréthane dont l'impédance est très voisine de celle de l'eau ( $\rho = 1,05$   $C = 1550$  ms). Le fluide est ici un mélange de fluorocarbure fournissant un indice de 1,92, le choix de cet indice correspond en fait à un minimum d'aberrations pour un transducteur placé sur la surface interne de l'enveloppe. L'exploration du champ acoustique permet la localisation du foyer. Le capteur est une céramique piézo-électrique de diamètre 2 mm située à l'extrémité d'un tube.



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

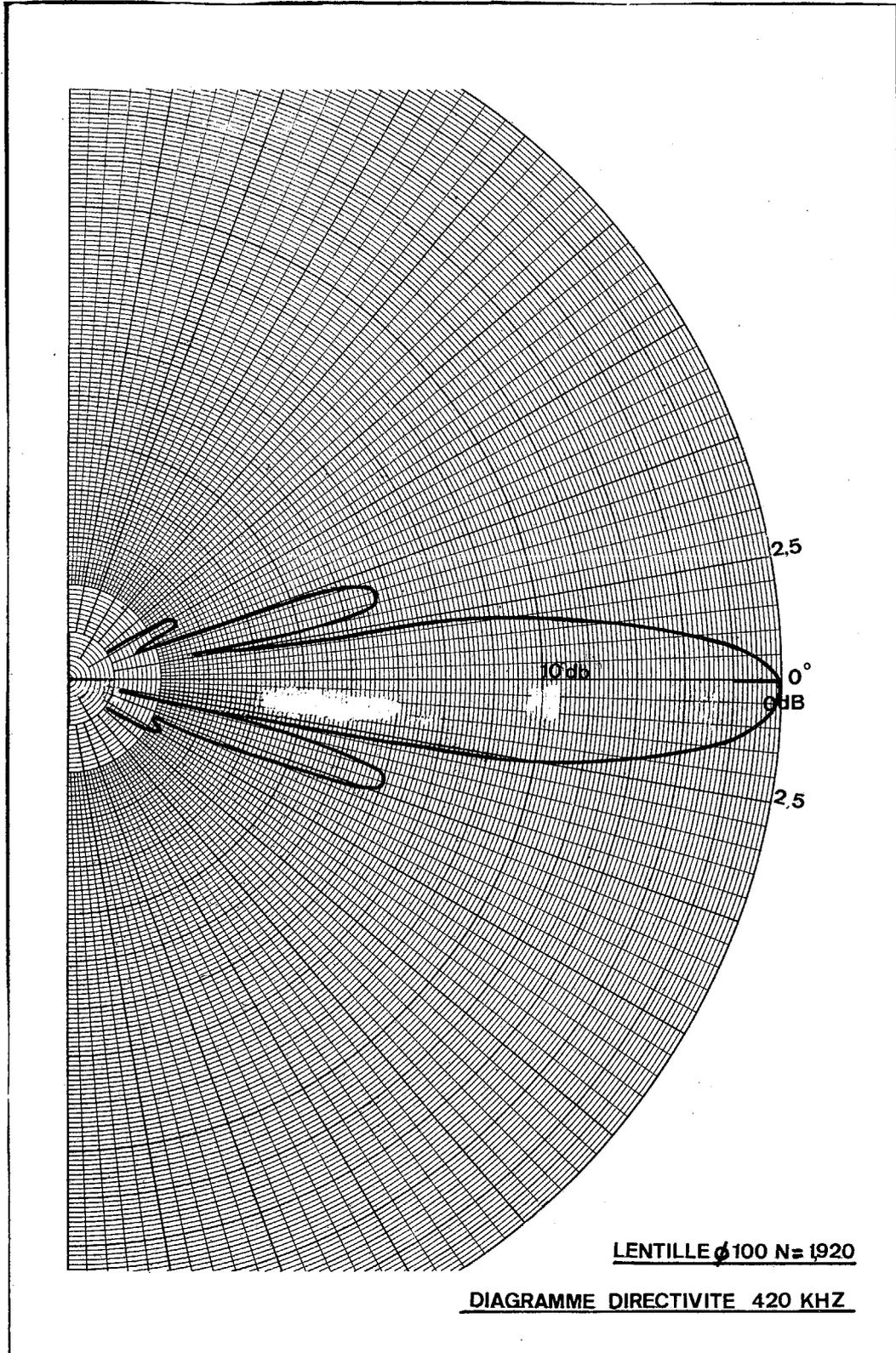


Fig. 3

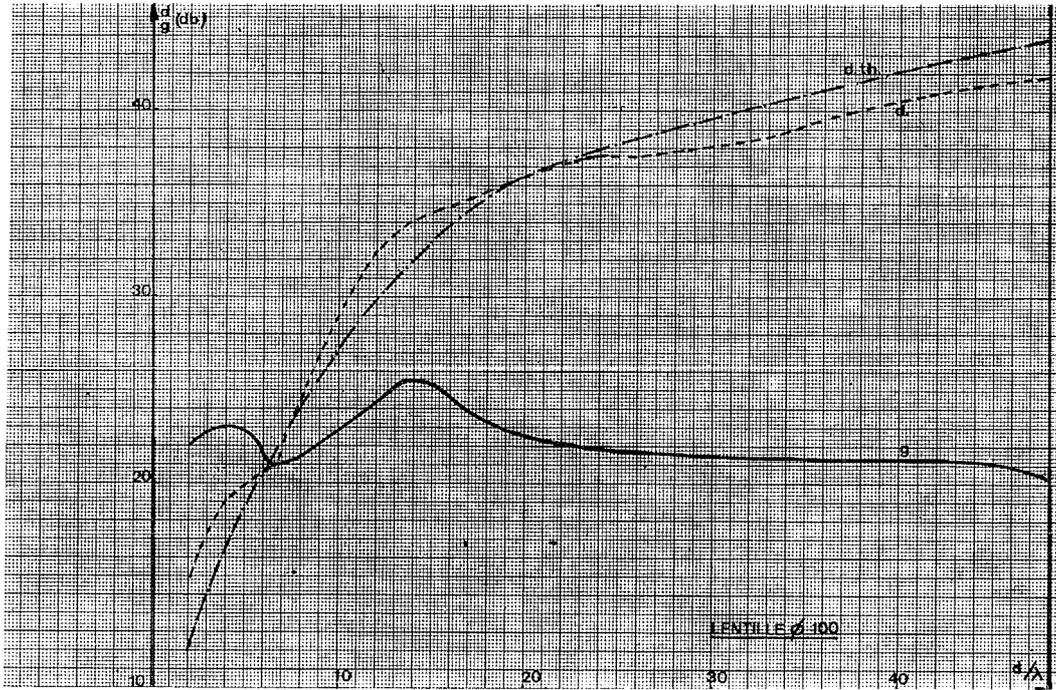


Fig. 4

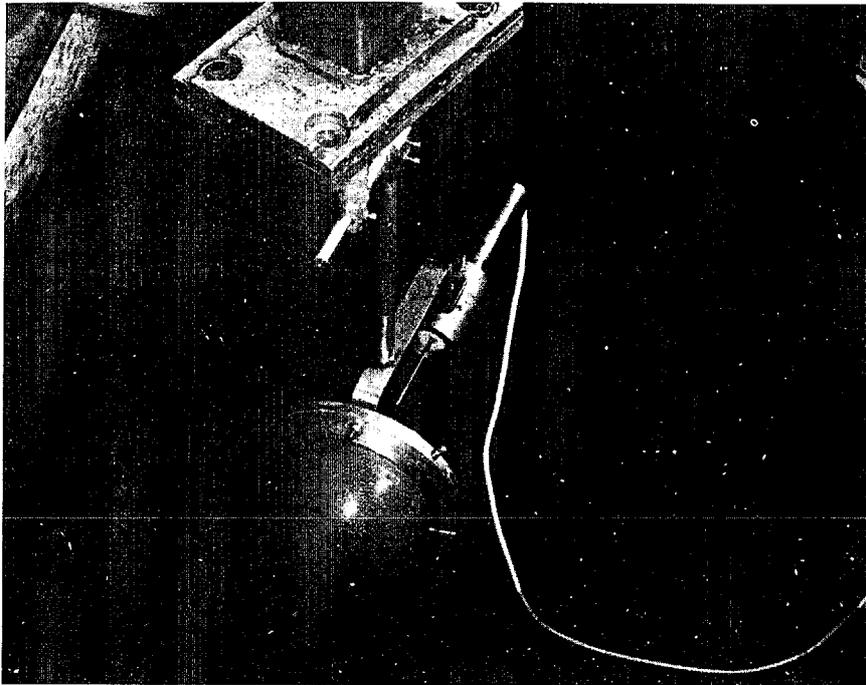


Fig. 5



---

La directivité obtenue avec une telle sonde à 420 kHz est très voisine de celle de la pupille plane équivalente (voir Fig. 3). Le gain obtenu est d'environ 20 dB. La Fig. 4 donne une comparaison entre le gain et l'index de directivité de cette lentille à différentes fréquences.

Il est possible avec les fluorocarbones d'obtenir tous les indices entre 1 et 3.

En vue d'éviter toute surpression à l'intérieur de la lentille, on utilise un vase d'expansion.

Lorsque l'on veut obtenir des directivités très importantes la lentille boule ne peut plus convenir à cause des aberrations sphériques, dans ce cas il convient d'utiliser des lentilles à 2 couches qui permettent de focaliser les rayons marginaux. La couche extérieure est dans ce cas un solide dont l'indice est peu élevé à cause de l'atténuation. La photo de la Fig. 5 représente une lentille 2 couches à enveloppe solide d'indice 1,685 (silicone Si 589), le noyau étant un mélange fluide d'indice 1,33. Une telle lentille donne un foyer à l'extérieur. La Fig. 6 représente l'ouverture à 3 dB en fonction de la fréquence pour cette lentille, on a également représenté l'ouverture de la pupille circulaire équivalente.

L'utilisation de ce type de lentille est cependant limitée, en effet la technologie est plus complexe, la position du foyer (à l'extérieur) augmente l'encombrement et les pertes (franchissement d'un dioptre supplémentaire), la fragilité mécanique de l'enveloppe rend nécessaire une couche protectrice.



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

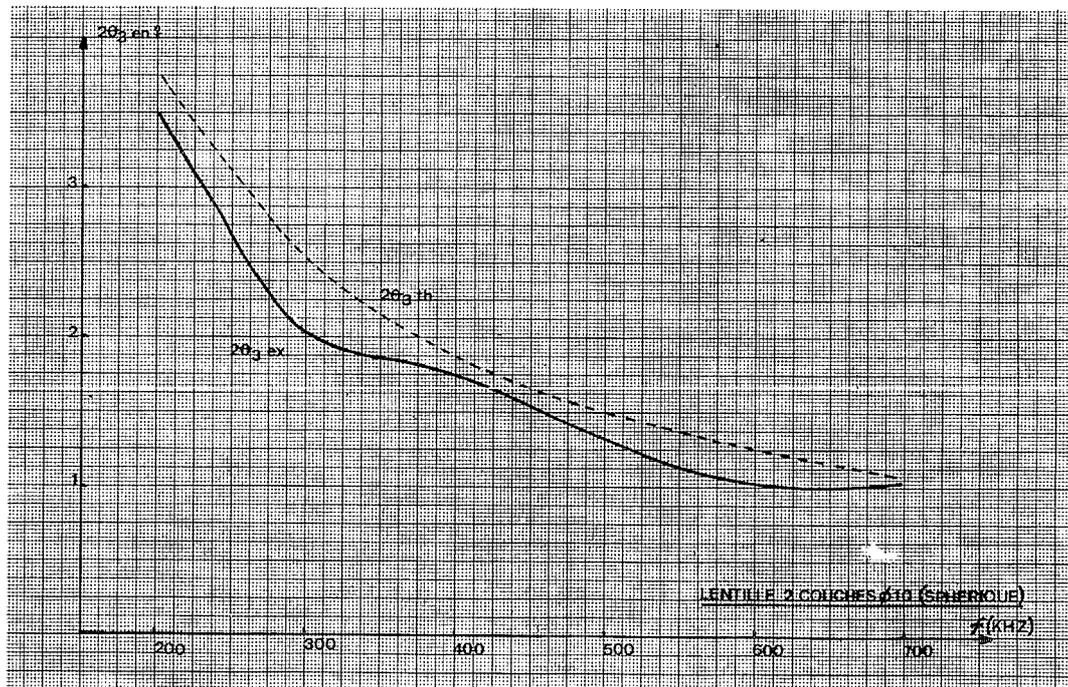


Fig. 6

IV. EXEMPLES D'APPLICATIONS DES LENTILLES ACOUSTIQUES

Les applications immédiates des lentilles acoustiques dans le domaine de l'acoustique sous-marine sont les suivantes :

- a) - obtention de directivité
- b) - formation d'images (voies)
- c) - hydrophone à haute sensibilité
- d) - directivité constante
- e) - réflecteur acoustique
- f) - sonar à balayage

Les applications a) et b) découlent de ce qui a été exposé précédemment ; dans c) on entend utiliser le gain important que l'on obtient encore à basses fréquences avec des lentilles acoustiques pour augmenter la sensibilité

QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

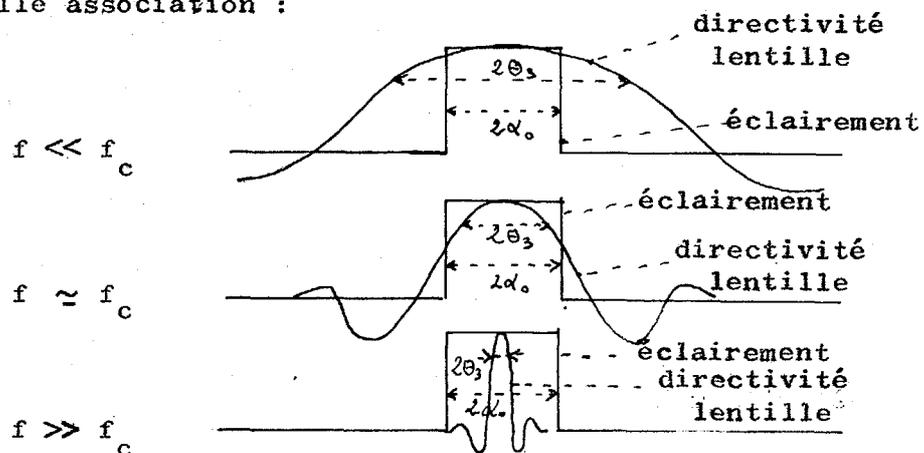
d'un hydrophone ; l'application e) correspond au remplacement du ou des transducteurs par une surface réfléchissante. Nous allons examiner plus particulièrement les applications d) et f).

Directivité constante

Dans la plupart des utilisations de lentilles acoustiques, les dimensions du transducteur sont inférieures à celles de la tache de diffraction, lorsque ces dimensions deviennent comparables, on peut montrer que la directivité résultante est le produit de convolution de la directivité de la lentille par la fonction d' "éclairage" du transducteur.

Dans ce produit de convolution, une des fonctions dépend de la fréquence, c'est la directivité de la lentille, la fonction "éclairage" étant une constante, on peut constater qu'à partir d'une certaine fréquence, le produit de convolution reproduira uniquement les variations de l'éclairage.

Il existe trois zones pour la directivité d'une telle association :





## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

La fréquence  $f_c$  est celle pour laquelle :

$$2 \theta_3 \text{ (ouverture à 3 dB lentille)} = 2 \alpha_o \text{ (ouverture angulaire du transducteur)}$$

$$\text{or : } 2 \theta_3 \approx \frac{\lambda}{2a} \quad (2a : \text{diamètre de la lentille})$$

$$2 \alpha_o \approx \frac{L}{OF} \quad (L : \text{longueur du transducteur}, OF : \text{distance focale})$$

La fréquence critique est donc encore donnée par :

$$f_c = c_o \frac{OF}{2aL} = \frac{c_o}{4a\alpha_o}$$

La première zone correspond à un transducteur petit et la directivité résultante est sensiblement celle de la lentille (tout au moins pour les lobes principaux).

La deuxième zone est une zone de convolution dans laquelle l'ouverture à 3 dB résultante cesse de décroître avec la fréquence.

Dans la troisième zone, la tache de diffraction est très petite devant le transducteur et l'ouverture à 3 dB résultante est constante et égale à l'ouverture  $2 \alpha_o$  du transducteur.

La Fig. 7 (page suivante) représente l'ouverture théorique à 3 dB en fonction de la fréquence pour un transducteur couvrant  $30^\circ$  en gisement par exemple. La fréquence  $f_o$  correspond à la fréquence critique précédente, on vérifie bien l'existence de 3 zones, une zone où l'ouverture est décroissante, une zone de transition où elle cesse de décroître pour croître, une zone où l'ouverture reste constante.

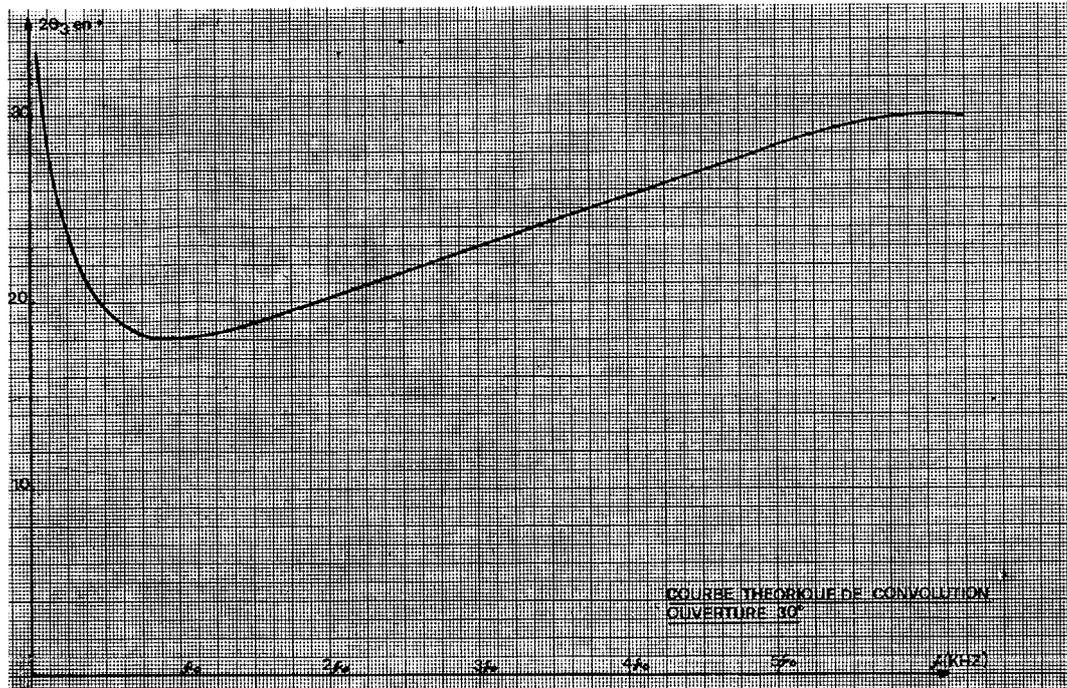
QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

Fig. 7

L'allure de cette courbe peut être modifiée par : la pondération que l'on peut exercer sur les transducteurs, la forme de la tâche de diffraction (circulaire pour une lentille sphérique, elliptique pour une lentille troncsphérique ou cylindrique).

Cette convolution de directivité a pour conséquence de diminuer le gain à partir de  $f_c$ , on montre aisément que la décroissance du gain est donnée par :

$$D \text{ en dB} = 10 \log \frac{\Omega}{\Omega_{\text{lent}}}$$

avec :  $\Omega = 2\pi (1 - \cos \theta'_3)$ , angle solide correspondant à la directivité totale.

$\Omega_{\text{lent}} = 2\pi (1 - \cos \theta_3)$  angle solide correspondant à la directivité de la lentille.



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

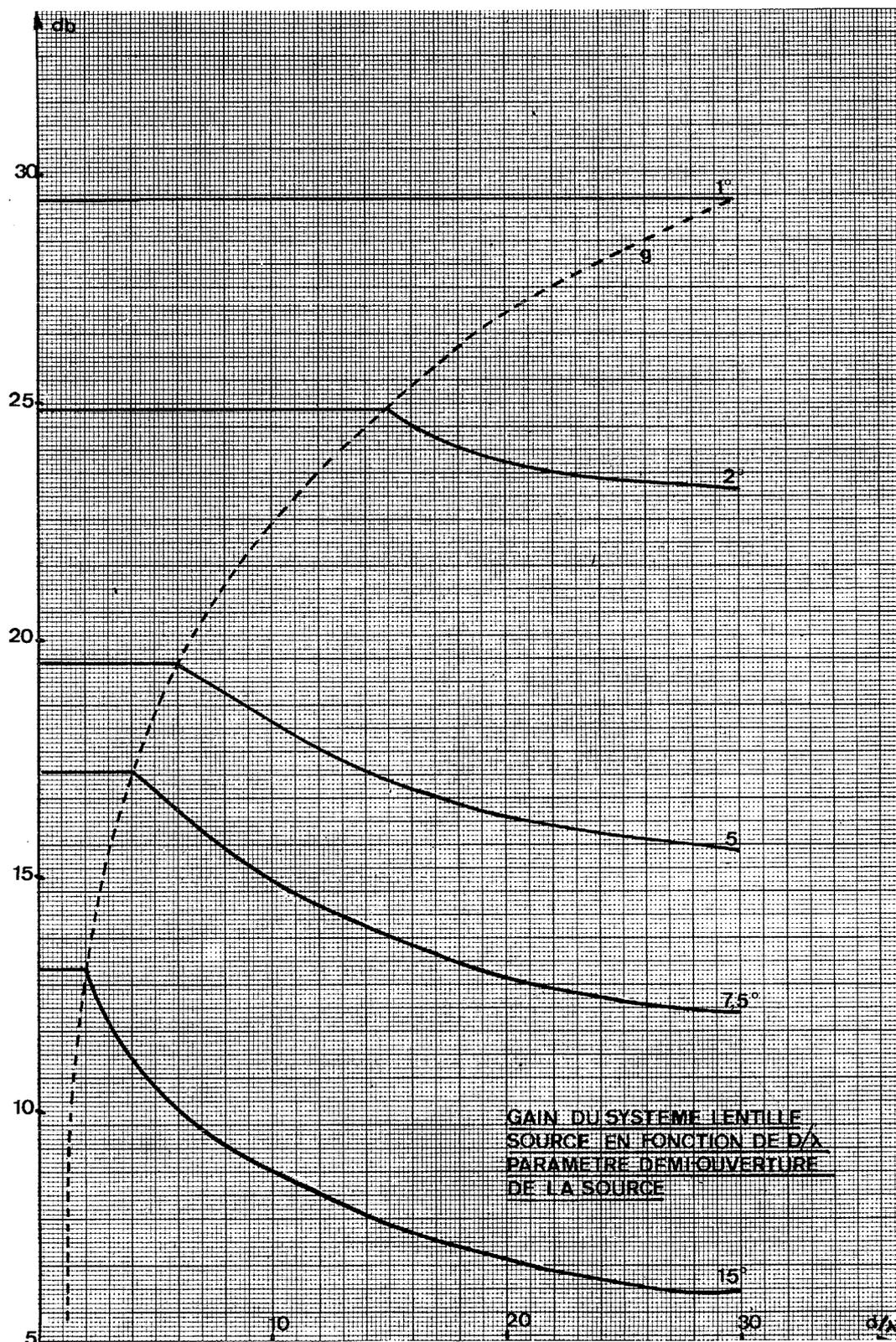


Fig. 8



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

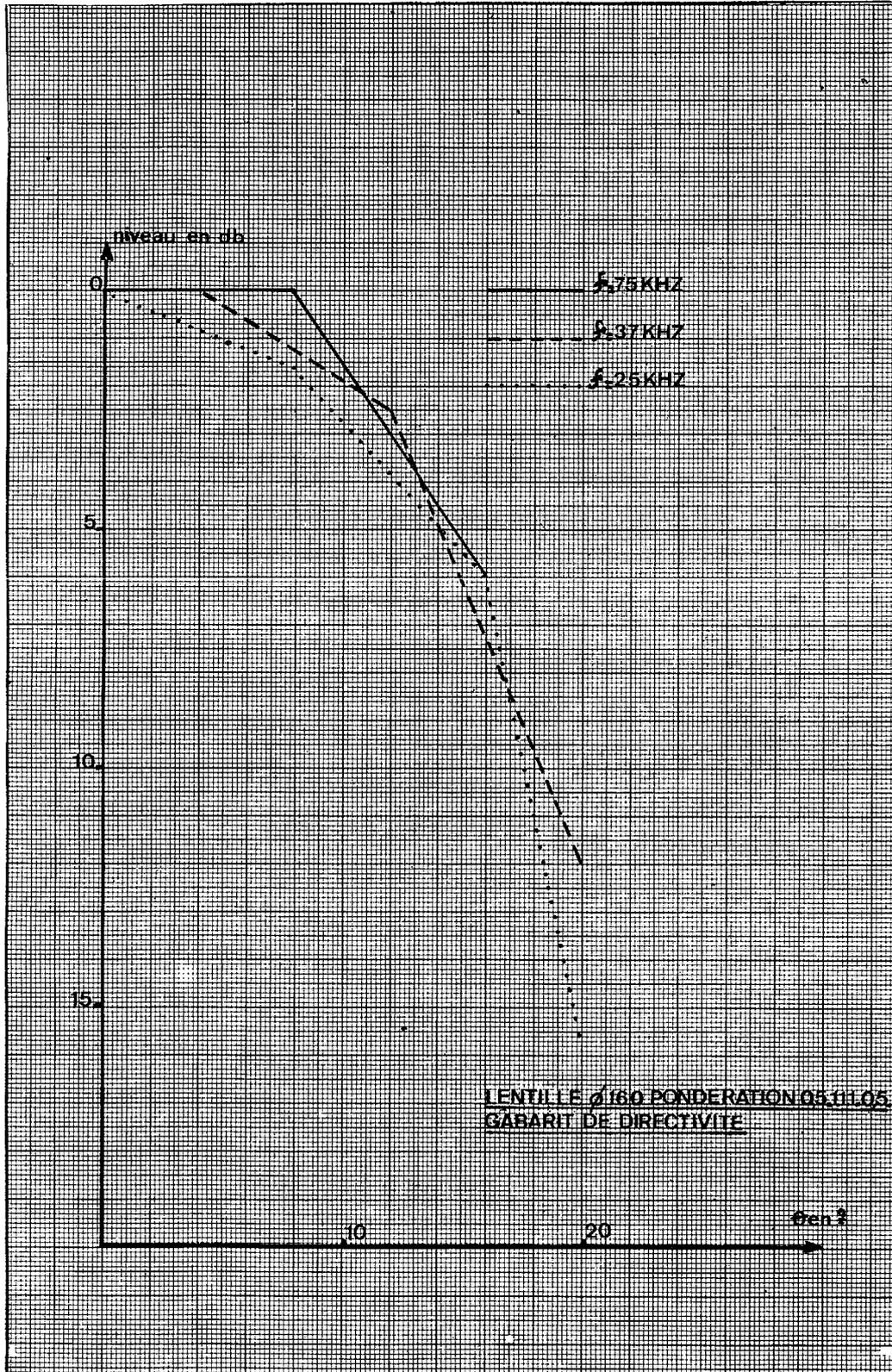


Fig. 9



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

Cette diminution de gain est le tribut que l'on paye à la conservation de l'énergie pour garder la directivité constante. La Fig. 8 (page précédente), représente le gain en fonction du diamètre normalisé à la longueur d'onde pour différentes ouvertures de transducteur.

Lorsque l'on dispose de plusieurs transducteurs il est possible de faire une pondération pour obtenir un diagramme résultant plus "lissé".

La Fig. 9 (page précédente) donne les gabarits de directivité pour 5 transducteurs disposés sur  $40^\circ$  et pondérés 0,5 - 1 - 1 - 1 - 0,5, ils sont associés à une lentille de 160 mm de diamètre (ces courbes sont théoriques).

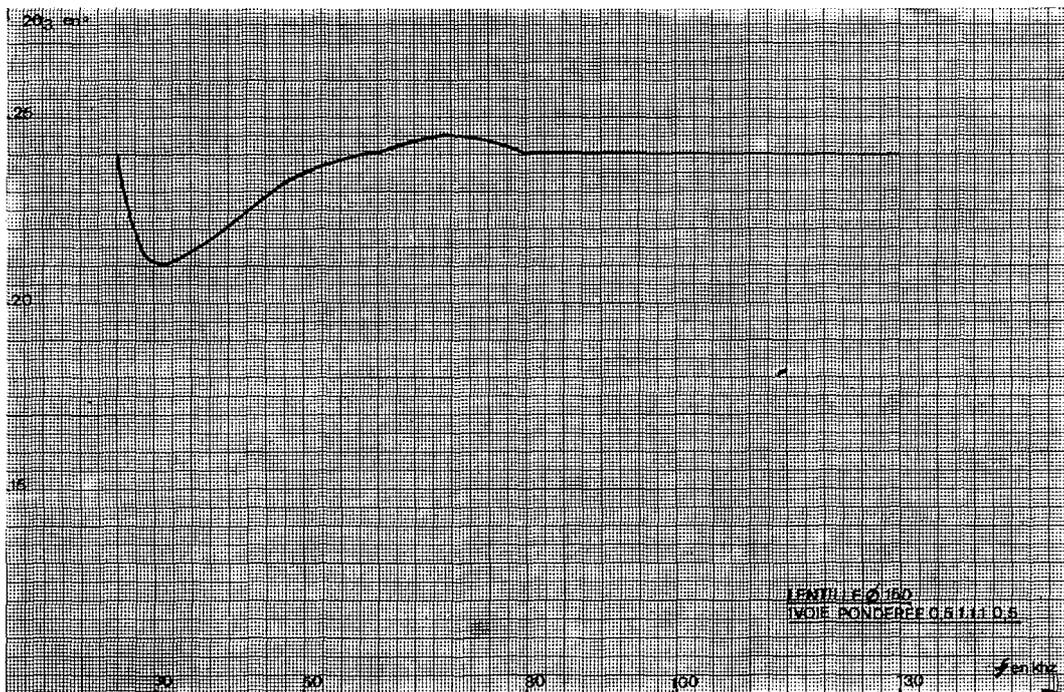


Fig. 10

La Fig. 10 représente l'ouverture à 3 dB expérimentale relevée dans ce cas entre 25 et 130 kHz.



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

---

On ne peut indéfiniment monter en fréquence, en effet à partir d'une certaine fréquence, la directivité de la lentille est telle qu'elle n'intègre plus les discontinuités d' "éclairage" du capteur et ceci se traduit par un diagramme "haché".

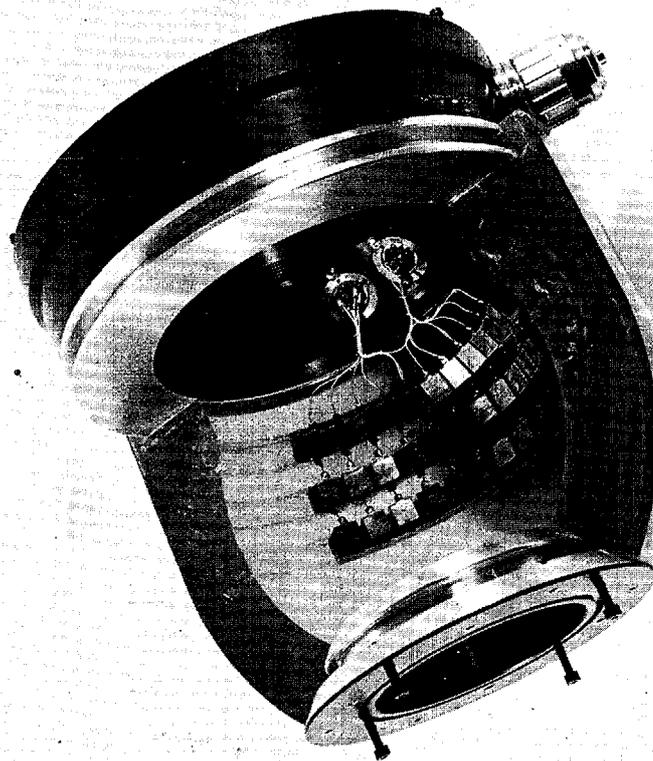


Fig. 11

La photo de la Fig. 11 représente la vue de la face interne d'une réalisation destinée à former 3 voies



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

d'ouverture constante ( $30^\circ$  en gisement est  $40^\circ$  en site) entre 15 et 60 KHz. Les transducteurs sont collés sur la face interne de la lentille (diamètre 210 mm), la couronne métallique contient les préamplificateurs de sommation. Dans cette réalisation, chaque voie utilise 15 transducteurs disposés selon  $40^\circ \times 40^\circ$ , pour deux voies adjacentes il y a 6 transducteurs communs, le découplage électrique des voies est assuré par les capacités de pondération dont les valeurs sont très petites devant celle de chaque colonne de transducteur.

N.B.- Il n'y a pas de pondération en site, ce qui permet de grouper en série les transducteurs situés dans un même plan vertical.

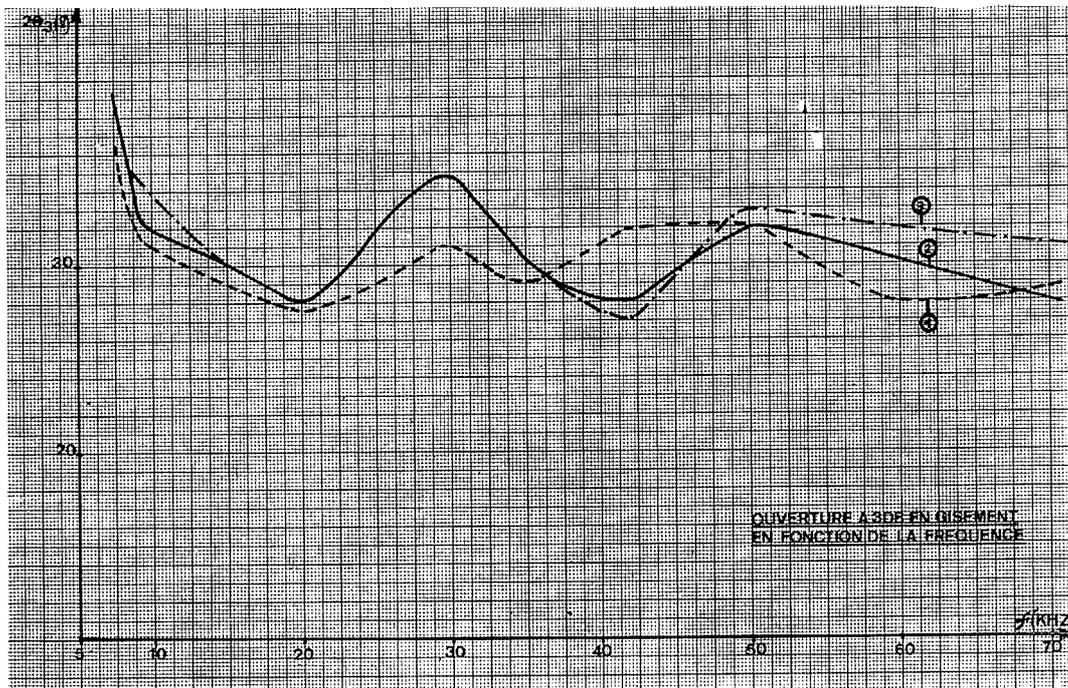


Fig. 12

La Fig. 12 représente l'ouverture à 3 dB en gisement, pour les trois voies, en fonction de la fréquence



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

---

La convolution de directivité peut être utilisée en goniométrie large bande, si l'on dispose, pour couvrir la zone de surveillance, d'un certain nombre de voies à directivité constante se recoupant à 3 dB. Une inclinaison en site de ces voies permet de couvrir les 360° de l'horizon.

Une autre application de la convolution est l'observation à large bande d'échos provenant d'un objet insonifié, la couverture de l'objet par le lobe de réception étant indépendante de la fréquence.

Le procédé de convolution a également suffisamment de souplesse pour permettre l'obtention de certains diagrammes de directivité difficiles à obtenir avec des antennes classiques (par exemple des diagrammes fortement dissymétriques).

### Sonar à balayage

Le principe de ce sonar est dans le balayage des 360° de l'horizon par un pinceau fin d'ouverture 3° et autour d'une fréquence centrale 80 KHz.

La solution classique consiste dans la rotation d'une antenne formant le diagramme requis (3° gisement, 15° site), cette rotation devant s'effectuer à l'intérieur d'un profil hydrodynamique.

La solution choisie est une lentille cylindrique (voir page suivante, photo de la Fig. 13) de diamètre 420 mm, à l'intérieur de laquelle un fluide d'indice 2,4 donne un foyer à 159 mm du centre. Un transducteur monté sur un bras tournant assure la réception des signaux acoustiques provenant des différentes directions de l'espace. (voir page suivante, photo de la Fig. 14).



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

---

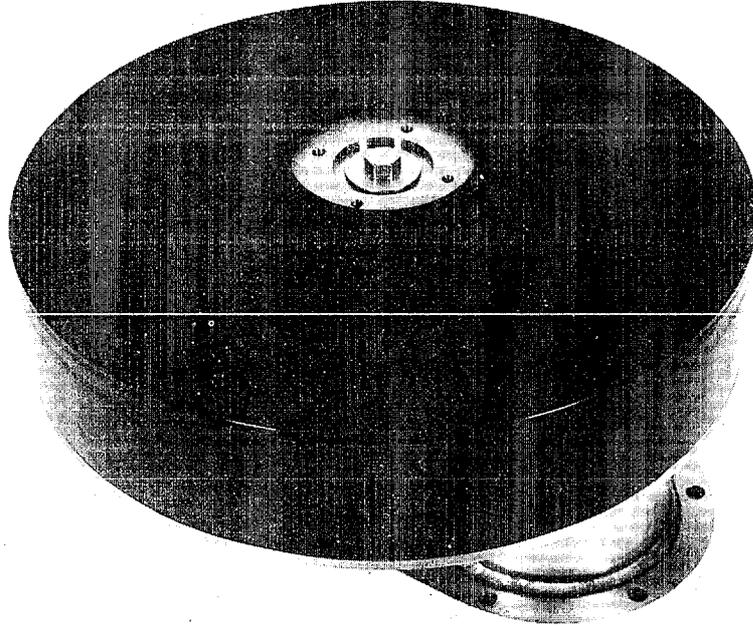


Fig. 13

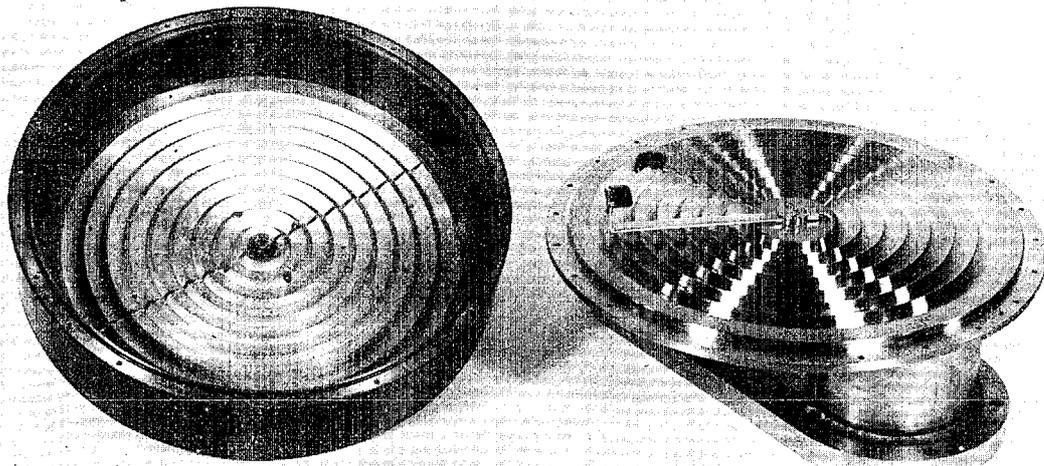


Fig. 14



## QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

---

L'ossature de la lentille est constituée par deux flasques métalliques distantes de 76 mm, des entretoises assurent la rigidité au moulage en polyuréthane constituant la fenêtre de la lentille.

La flasque inférieure est solidaire d'un carter contenant le moteur assurant la rotation du bras et les servomécanismes transmettant la position de l'hydrophone. Le mouvement du transducteur est un mouvement de "va et vient". On remarquera que la surface intérieure de la lentille est recouverte, sur ses parties planes, par une structure en dent de scie qui permet de réduire les réflexions internes.

La Fig. 15 (page suivante) donne la directivité en gisement à 80 KHz, le niveau relativement bas des lobes secondaires est dû au double effet de l'atténuation à travers l'épaisse peau de polyuréthane et de la convolution par le transducteur.

Entre autres avantages, cette antenne fonctionne à toutes les immersions (toutes ses parties sont en équipression) et à une sensibilité de - 80dB (Volts référence 1  $\mu$  bar) à 80 KHz.



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

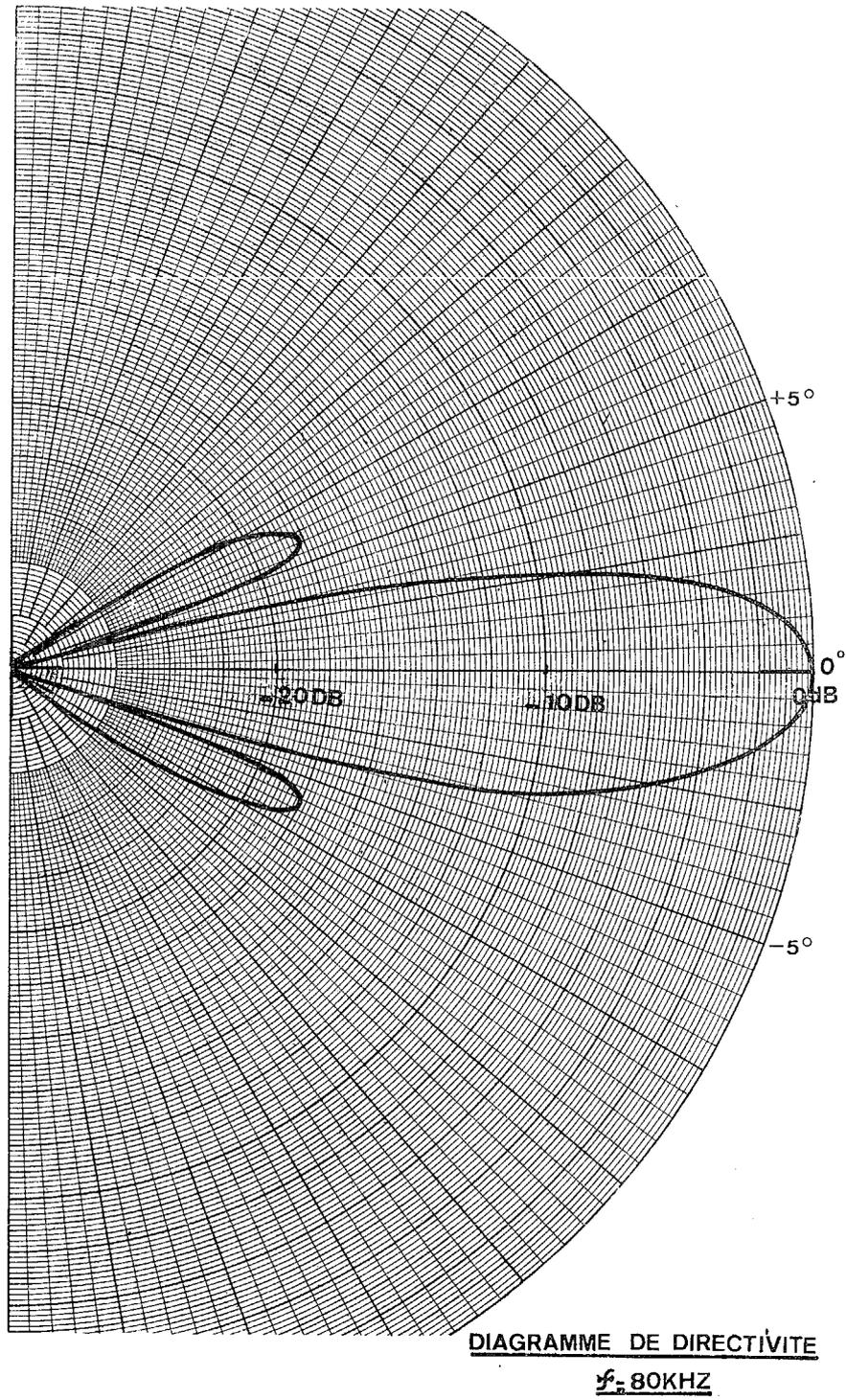


Fig. 15



QUELQUES RESULTATS SUR LES LENTILLES ACOUSTIQUES

---

CONCLUSION -

Les lentilles acoustiques apportent une solution pratique aux problèmes de directivités, de formations de voies et même de sensibilités.

Leur souplesse d'utilisation est un atout important de cette technique par rapport à celle des antennes classiques, la simplicité des dispositifs conduira également, dans les applications courantes, à diminuer le coût des antennes acoustiques.