

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



NICE du 16 au 21 JUIN 75

EVALUATION D'UNE ANTENNE EN SONAR PASSIF BASSE FREQUENCE
UTILISANT UNE LENTILLE ACOUSTIQUE

D. CHAPLAIN, P. CLUZEL, M. QUIVY.

Attachés aux Services Techniques de l'Armement
Ingénieurs à DCAN TOULON Laboratoire de Détection Sous-Marine Le BRUSC (Var)

RESUME

Dans cet exposé, on présente les résultats obtenus sur une lentille sphérique dans la bande 8 - 12 kHz.

La première partie indique les performances acoustiques obtenues avec un hydrophone élémentaire (directivité, gain).

On étudie ensuite l'influence des paramètres physiques tels que pression et température sur les performances d'un tel système comme antenne de sonar simplifié.

Dans la suite de l'exposé, on analyse les résultats concernant le traitement du signal et les caractéristiques de l'antenne constituée par un réseau circulaire de 36 hydrophones.

Enfin, on établit un bilan en comparaison avec les dispositifs conventionnels, tenant compte du gain énergétique et des possibilités de traitement du signal.

SUMMARY

Results of acoustical measurements made on a spherical lens in the frequency band 8 - 12 kHz are presented.

The first part of the paper shows the acoustical properties (directivity, sound level) measured on an elementary hydrophone.

Then the effects of environmental parameters (pressure, temperature) on the performance of such a system used as a simplified sonar array are studied. The results concerning the signal processing and the antenna characteristics of a 36 hydrophone - circular array are then analysed.

An evaluation of the system compared to usual systems is finally made through their energy level and signal processing application.



EVALUATION D'UNE ANTENNE EN SONAR PASSIF BASSE FREQUENCE
UTILISANT UNE LENTILLE ACOUSTIQUE

I - INTRODUCTION :

Il a été construit au Laboratoire de Détection Sous-Marine une lentille sphérique de type Luneberg de 70 cm de diamètre pouvant être utilisée dans la bande de fréquences s'étendant de 8 à 12 kHz et permettant l'étude de ce type d'antenne comme élément de système sonar.

On présente ici quelques résultats expérimentaux, les calculs n'apportant pas de nouveaux éléments par rapport aux théories connues sur ce type d'antenne (1).

Cette lentille, d'un poids total de 340 kg, comporte à la partie supérieure une poche de caoutchouc permettant la dilatation du liquide constituant le noyau et sa mise en équipression avec le milieu extérieur.

L'enveloppe en forme de sphère tronquée est réalisée en matériau plastique d'épaisseur 20 mm. Son impédance caractéristique est de l'ordre de $4 \cdot 10^6$ (unités MKSA).

Le liquide constituant le noyau est un mélange de fréon et d'huile minérale dont les propriétés physiques liées à la présente application sont les suivantes :

Fréon : Masse volumique à 47°C : 1 510 kg/m³
Vitesse de propagation du son à 25°C : 720 m/sec

Huile minérale : Masse volumique à 25°C : 860 kg/m³
Vitesse de propagation du son à 25°C : 1 410 m/sec

La célérité dans le mélange a été fixée à 860 m/sec à 25°C, ce qui entraîne que le mélange est constitué de 34% (en volume) d'huile et 66% de fréon.

Il est à noter que le foyer a été placé intentionnellement à l'extérieur de la lentille ; l'intérêt de ce positionnement réside dans la suppression de l'influence des ondes stationnaires s'établissant dans la lentille, dues au rapport des impédances acoustiques de l'enveloppe, du mélange fréon-huile minérale et de l'eau.

II - PERFORMANCES ACOUSTIQUES OBTENUES AVEC UN HYDROPHONE :

1° Position du foyer - Gain et directivités :

L'hydrophone utilisé comme capteur est un hydrophone courant du commerce type LC 10 de Celesco.

La position théorique du foyer correspond à une distance au centre de la lentille de 44 cm environ.

Nous avons reproduit sur les figures 1,2,3, les directivités obtenues à 8 kHz pour différentes positions du foyer.

La mesure du gain apporté par la lentille est de 11 dB dans la bande de fréquences 8 kHz à 12 kHz. La position optimale du foyer a été trouvée expérimentalement à 43,5 cm du centre de la lentille en accord par conséquent à 0,5 cm près - avec la théorie -, c'est pour cette distance optimale que nous avons reproduit sur les figures 4 et 5 les directivités obtenues aux fréquences 10, 12 kHz.

On peut noter que le rapport du niveau du lobe principal sur le niveau des lobes secondaires est de l'ordre de 10 dB.

2° Influence de la température sur la position du foyer :

Nous avons mesuré la célérité dans le mélange fréon-huile minérale et la célérité du son dans l'eau en fonction de la température.

Les résultats obtenus montrent que l'on a intérêt à thermostatier le noyau de la lentille, et que le choix de la température du noyau a peu d'importance. De plus une variation de température de 20°C de l'eau entraîne une variation de la position du foyer de 3 cm environ, ce qui est acceptable compte tenu des résultats obtenus au paragraphe précédent.

3° Mesure de l'influence de la pression sur la directivité :

Les mesures des caractéristiques acoustiques de la lentille en fonction de la pression hydrostatique sont délicates à effectuer in situ, on a donc été amené à simuler les variations de pression hydrostatique rencontrées par une lentille pouvant être immergée à différentes profondeurs.

Pour cela des mesures de la célérité du mélange utilisé dans la lentille en fonction de la pression ont été effectuées (voir courbe figure 6).

Nous avons calculé théoriquement les variations de l'indice de réfraction du noyau (supposé thermostaté à 25°C) que pourrait rencontrer une lentille à des immersions pouvant atteindre 600 m. Puis nous avons mesuré les caractéristiques de directivité de la lentille en faisant varier l'indice de réfraction du noyau par chauffage de celui-ci.



EVALUATION D'UNE ANTENNE EN SONAR PASSIF BASSE FREQUENCE
UTILISANT UNE LENTILLE ACOUSTIQUE

A partir des courbes représentant respectivement la célérité du mélange (fréon, huile) en fonction de la température et en fonction de la pression, nous en déduisons l'indice pris par le noyau dans les deux cas extrêmes ($T = 25^{\circ}\text{C}$ $P = 0$ bar et $T = 2^{\circ}\text{C}$ et $P = 60$ bars).

On trouve pour ces deux cas extrêmes :

$$\eta_{25,0} = 1,73$$

$$\eta_{2,60} = 1,61$$

Ce qui correspond à des distances (centre de la lentille, foyer) de 41,4 cm et 46 cm. On voit donc, dans ces conditions que la variation maximum de position du foyer est de 4,6 cm.

Les mesures effectuées ont consisté à faire varier la température du noyau de 6° à 26°C , la température de l'eau étant de 6°C .

La lentille a été immergée à une profondeur constante de 10 m.

Le fait de faire varier la température du noyau de 6°C à 26°C a entraîné une variation de position du foyer de 5,6 cm.

Les mesures de directivité de la lentille à 10 kHz pour différentes températures du noyau (26°C , 16°C , 6°C) sont représentées sur les figures 7, 8, 9.

III - GROUPEMENT CIRCULAIRE DE 36 HYDROPHONES :

1° Largeur de bande :

Dans une seconde étape, il a été réalisé une antenne de réception avec la même lentille formant de façon acoustique trente six voies indépendantes en gisement. Les hydrophones omnidirectionnels utilisés ont été mis au point au Laboratoire de Détection Sous-Marine. Leur dimension est du même ordre que la tache de diffraction aux fréquences utilisées.

La largeur de bande du système acoustique est intrinsèquement très élevée, et la largeur de bande pratique n'est limitée que par les performances.

En fréquence basse, le lobe principal de la fonction de directivité s'élargit et le gain d'antenne diminue.

En fréquence haute, le lobe principal de la fonction de directivité se rétrécit et il apparaît des lobes secondaires très importants.

Compte tenu de ces limitations, la bande utile de la lentille réalisée est de l'ordre de 8 à 12 kHz. Les fréquences ne sont pas critiques et peuvent être modifiées sans changement appréciable des performances.

2° Fonction de directivité :

La directivité dépend à la fois de la lentille et des hydrophones associés. On considère ici la fonction directivité fonction de la direction θ , à fréquence f fixe.

La forme de la courbe de directivité pour les gisements avant (source opposée à l'hydrophone) dépend de la fonction de convolution de la tache de diffraction de la lentille par la dimension de l'hydrophone.

La forme de la courbe de directivité pour les gisements arrière (source de même côté que l'hydrophone) dépend de la directivité de l'hydrophone. Si l'hydrophone est omnidirectionnel, le rapport avant-arrière de l'antenne est égal au gain d'antenne (au sens utilisé en radio-électricité).

Si l'hydrophone est bafflé, ou bien possède une directivité cardioïde, le rapport avant-arrière dépasse la valeur du gain d'antenne.

La courbe de directivité en bruit de 8 à 16 kHz relevée expérimentalement est donnée en figure 10.

Les résultats expérimentaux correspondent bien à la théorie. On constate que le rapport avant-arrière ne dépasse pas 10 dB, ce qui représente environ le gain d'antenne.

La largeur du lobe principal augmente en basse fréquence, tandis qu'en haute fréquence, il apparaît une série de lobes dont l'enveloppe est à ouverture constante. Cette enveloppe a pour ouverture l'angle sous lequel on voit l'hydrophone de réception du centre optique de la lentille.

3° Réponse en fréquence liée à la directivité :

La réponse en fréquence de la lentille acoustique dépend de la direction θ . C'est donc la fonction directivité en fonction de f à dépointage constant.

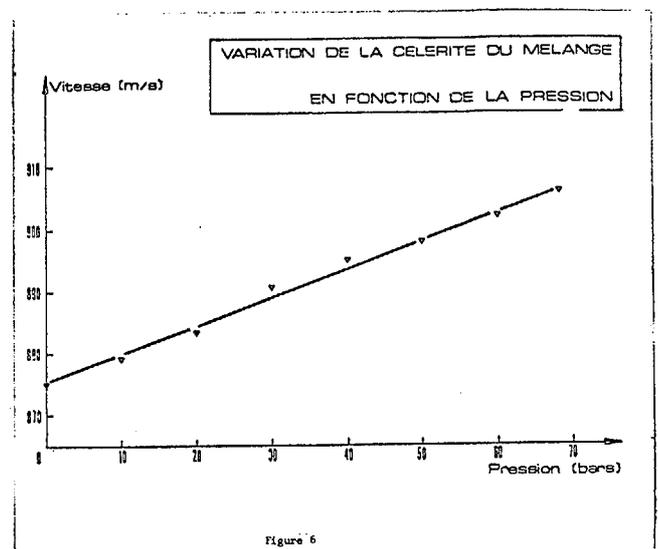
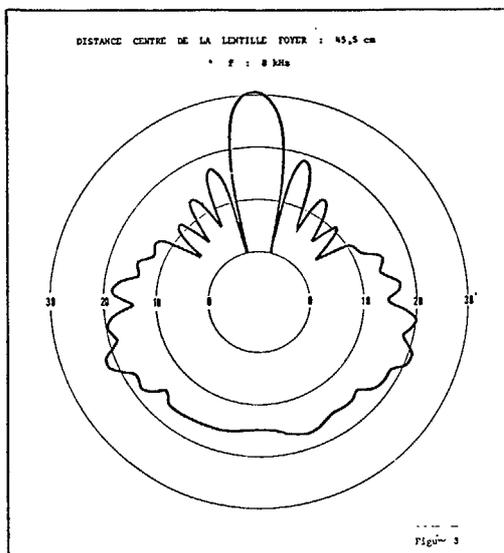
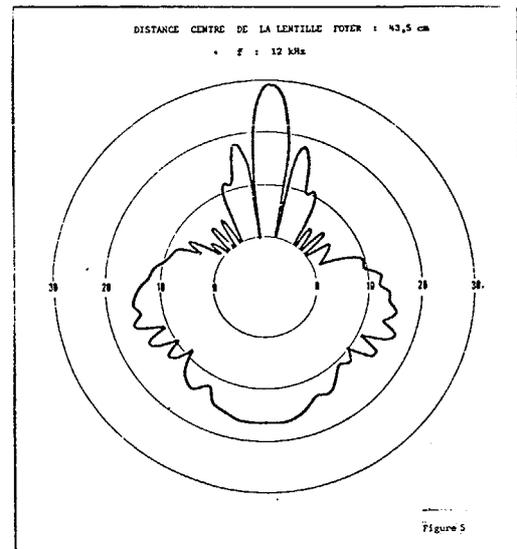
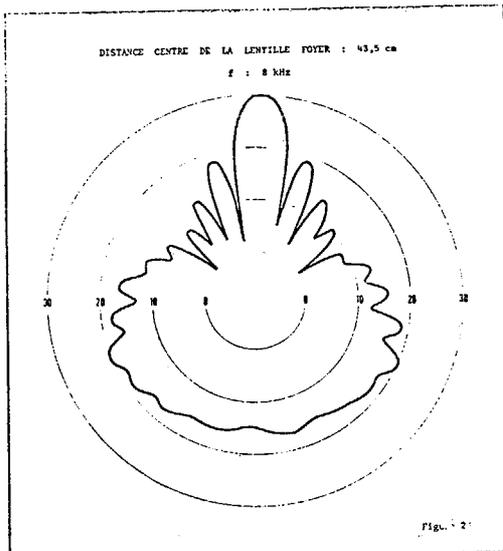
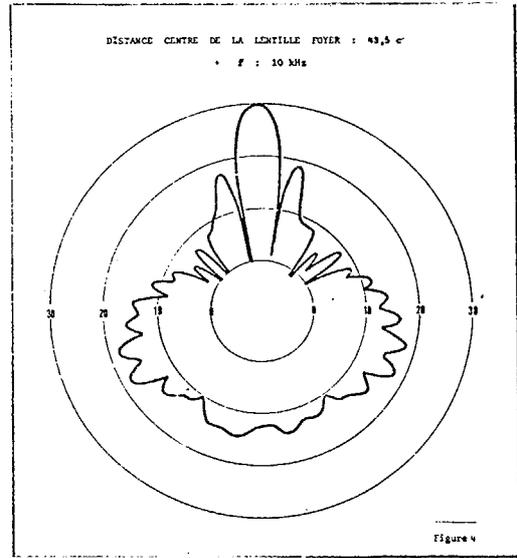
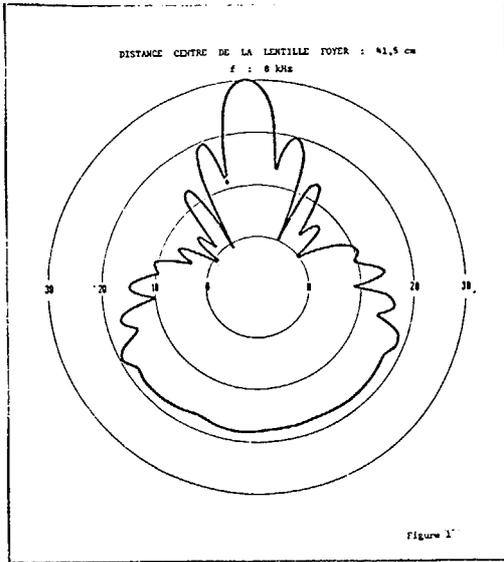
Des courbes de réponses ont été tracées expérimentalement entre 5 et 20 kHz par transformation de Fourier du signal acoustique avant lentille et du signal électrique après lentille (figures 11 et 12).

Pour le dépointage 0° , la réponse est grossièrement uniforme de 5 à 15 kHz, tandis que pour les dépointages élevés la réponse en fréquence est modulée par les lobes secondaires de la fonction de directivité.

On voit apparaître en très basse fréquence des absorptions dues aux trajets multiples à l'intérieur de la lentille.

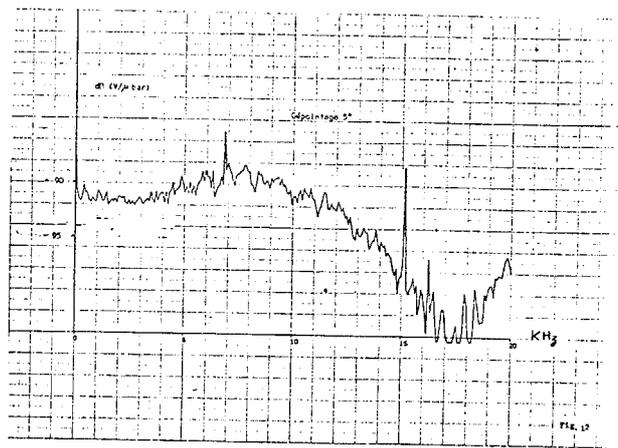
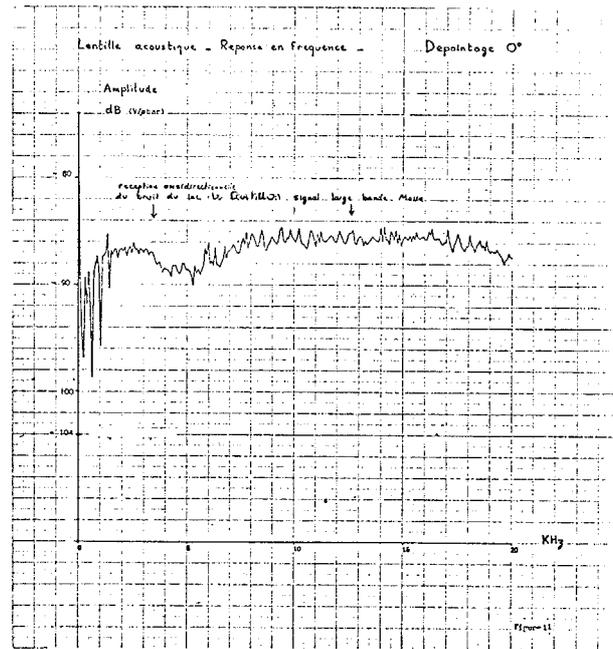
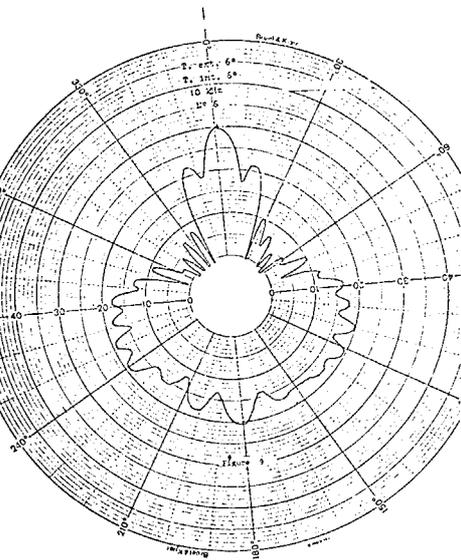
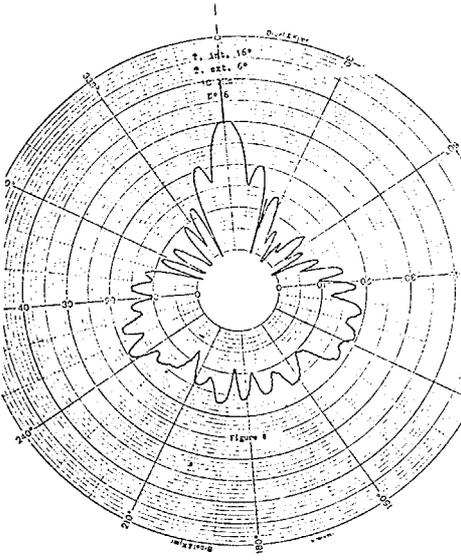
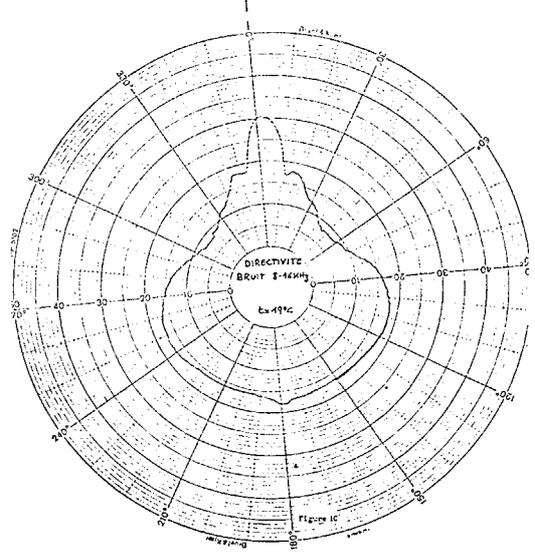
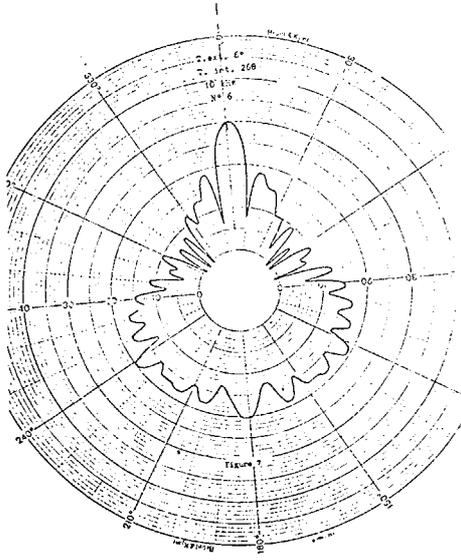


EVALUATION D'UNE ANTENNE EN SONAR PASSIF BASSE FREQUENCE UTILISANT UNE LENTILLE ACOUSTIQUE





EVALUATION D'UNE ANTENNE EN SONAR PASSIF BASSE FREQUENCE
UTILISANT UNE LENTILLE ACOUSTIQUE





EVALUATION D'UNE ANTENNE EN SONAR PASSIF BASSE FREQUENCE UTILISANT UNE LENTILLE ACOUSTIQUE

Ces absorptions, à des fréquences multiples de 300 Hz correspondent à des trajets de 3 ms. On observe facilement ces trajets multiples sur la réponse impulsionnelle de la lentille.

4° Gain d'antenne - Index de directivité :

La lentille acoustique réalisée à un gain d'antenne d'environ 10 dB, constant entre 5 et 15 kHz. Cette valeur constante est due à la convolution de la tache de diffraction située dans le plan focal avec les dimensions géométriques de l'hydrophone récepteur. En basse fréquence, la tache de diffraction est plus large que l'hydrophone donc le gain d'antenne est plus faible.

En fréquence moyenne, la tache de diffraction est du même ordre de grandeur que l'hydrophone, donc le gain d'antenne est maximal.

En haute fréquence, la tache de diffraction est plus petite que l'hydrophone. Celui-ci reçoit les énergies des lobes principaux et secondaires qui se retranchent, donc le gain d'antenne diminue.

L'index de directivité représente l'augmentation du rapport Signal à bruit par rapport à un hydrophone omnidirectionnel, avec un signal situé dans la direction pointée, et un bruit isotrope.

Etant donné que le diagramme de directivité présente des secondaires de niveau constant (énergie recueillie directement par l'hydrophone omnidirectionnel) et un lobe principal dont l'amplitude est maximum entre 5 et 15 kHz, avec un élargissement en basse fréquence, l'index de directivité est une courbe relativement plate, avec une décroissance en haute et basse fréquence.

IV - UTILISATION :

1° Couplage à l'hydrophone et préamplificateur :

La lentille acoustique présente un gain d'antenne positif en valeur absolue. L'hydrophone de réception reçoit donc un signal acoustique plus élevé que s'il était seul.

L'augmentation de signal, pour une direction pointée correspond approximativement au rapport des surfaces effectives de la lentille et de l'hydrophone dans la bande de fréquence où le gain d'antenne est maximum.

Le bruit recueilli par l'hydrophone, en présence de bruit isotrope est du même ordre de grandeur que le bruit qui serait recueilli par l'hydrophone seul (hydrophone omnidirectionnel).

La présence de la lentille ne pénalise pas l'ensemble hydrophone préamplificateur puisque les niveaux recueillis en bruit sont largement plus élevés que si l'hydrophone était seul.

2° Utilisation en traitement du signal :

La lentille acoustique peut servir aussi bien en sonar actif qu'en sonar passif comme antenne de réception.

L'utilisation en sonar passif présente quelques particularités dues à la forme de la courbe d'index de directivité.

Etant donné que les courbes d'index et de gain sont pratiquement identiques quand l'hydrophone de réception est omnidirectionnel, le traitement par filtre optimum consiste à blanchir le bruit de la mer par un filtre à 5 dB/octave au lieu du filtre 12 dB/octave classique, puis à augmenter le contraste du bruiteur à détecter par un filtre spécifique.

Le manque de contraste entre les bruiteurs classiques et le bruit de la mer, tous à - 5 dB/octave conduit à une détection à large bande après un simple filtre de correction de pente à + 5 dB/octave, sans avantager ni les hautes fréquences, ni les basses fréquences.

La bande utile de détection est fixée par la courbe d'index de la lentille, où la précision angulaire recherchée (limitation dans les basses fréquences).

V - CONCLUSION - AVANTAGES ET INCONVENIENTS:

La formation de voie par lentille acoustique présente une simplification importante de la formation de voie, aussi bien du point de vue matériel que du point de vue énergétique. L'utilisation-type semble être dans les systèmes autonomes où l'énergie est comptée et dans les sonars simplifiés pour petits bâtiments.

Le principal inconvénient de la lentille acoustique sous sa forme actuelle est son faible index de directivité du à l'utilisation d'hydrophones omnidirectionnels. La lentille acoustique est une antenne transparente, l'amélioration de l'index de directivité sera obtenue par l'utilisation d'hydrophone cardioïde.

On peut espérer obtenir un gain important par cette technique avec une largeur de bande de l'ordre d'une octave.

(1) Quelques résultats sur les lentilles acoustiques
M. LAGIER 3° Colloque sur le traitement du signal et ses applications NICE 1er au 5 Juin 1971 Tome 1 pp. 499 à 529.