

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A
L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION *

GEORGES GRALL

THOMSON - CSF - DASM
Route du Conquet - 29283 - BREST CEDEX

RESUME

Après un rappel des qualités requises pour une antenne sonar, tant du point de vue spatial que du point de vue temporel, pour la génération d'images des fonds marins, nous allons montrer que l'association d'un interféromètre à l'émission et d'une base plane à la réception permet de résoudre le problème d'imagerie acoustique dans un encombrement minimal.

Nous aborderons ensuite les limitations du dispositif à savoir le champ d'observation, le fonctionnement en fréquence. Les images sonar étant constituées d'échos, d'ombres portées, de réverbération de fond, le comportement du dispositif vis à vis de ces signaux sera évoqué, et comparé à celui d'une antenne classique de même longueur physique.

Enfin, nous présenterons les résultats des mesures obtenues en bassin sur une antenne fonctionnant à 420 kHz.

Symboles utilisés

f	fréquence porteuse
W	pulsation
λ	longueur d'onde
B	bande passante
τ	durée d'impulsion émission
t_f	temps de formation de lobe
C	célérité du son dans l'eau
ρ	distance d'observation
θ_0	demi-secteur d'observation
δy	résolution spatiale transversale (gisement)
δx	résolution spatiale longitudinale (sens de la propagation)
$S(\theta)$	directivité des sources élémentaires de l'interféromètre
L	longueur de l'antenne de réception
α	coefficient de proportionnalité entre l'ouverture angulaire et la longueur de l'antenne en λ
$2\theta_3$	ouverture en gisement de la voie sonar

SUMMARY

The spatial and temporal properties required by sonar array to make an acoustical picture of the sea bottom are reviewed.

A system using both, an interferometer for transmission function and classical array for reception function is described.

The resolution increase is considered.

The limitation such as angular sector and bandwidth are formulated.

A comparison with classical sonar when working on specific sonar signals, echoes, shadows and bottom backscattering is discussed.

Experimental results achieved by this kind of sonar array working at 420 KHz are presented.

θ_E	pas d'échantillonnage angulaire
θ_d	angle de dépointage d'une voie
θ_f	angle de focalisation des sources de l'interféromètre
Ω	pulsation spatiale
$C(u)$	distribution des cibles en gisement
	$u = \sin \theta$



IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A
L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

INTRODUCTION

La recherche de l'augmentation de la résolution et du pouvoir séparateur des antennes réseaux du type broad-side à encombrement fixé a depuis plusieurs années fait l'objet de nombreuses études et publications. Les domaines concernés étant principalement la radio-astronomie, le radar, le sonar [1]-[2]-[3]

L'étude décrite dans le présent article est surtout orientée vers le domaine sonar actif dit "haute fréquence", sonar devant réaliser une véritable image acoustique des fonds marins.

Dans le domaine du sonar d'imagerie, nous nous heurtons à plusieurs contraintes simultanées, à savoir :

- ① Portée maximale ≥ 200 m
- ② Résolution maximale $\leq 0,5$ m à la portée maximale
- ③ Encombrement minimal de l'antenne
- ④ Taux d'information maximal
- ⑤ Cibles multiples (fond de la mer).

- La contrainte ① nous oblige à travailler à la fréquence la plus basse possible (l'absorption étant proportionnelle au carré de la fréquence [6]).
- Les contraintes ② et ③ imposent un fonctionnement en haute fréquence (longueur d'antenne maximale en longueur d'onde).
- La contrainte ④ compte-tenu de la faible célérité du son dans l'eau entraîne la construction d'antennes multivoies.
- La contrainte ⑤ exclue pratiquement tous les traitements non linéaires regroupant notamment toutes les antennes multiplicatives [1-2-3].

II - FORMATION DES IMAGES DES FONDS MARINS PAR EMISSION RECEPTION ACOUSTIQUE

Les images des fonds marins sont obtenues par insonification rasante du secteur à observer. L'analyse du secteur est faite par l'antenne de réception du sonar, dont les résolutions spatiales et temporelles sont adaptées à la dimension des plus petits objets que l'on souhaite reconnaître. L'information permettant la classification de ces objets est essentiellement contenue dans la forme de l'ombre portée, cependant, il est parfois possible de classifier un objet sur écho. La Fig. 1 donne un exemple d'image sonar réalisée par formation d'ombre. La qualité, le piqué des images dépendent essentiellement du pouvoir résolvant de l'antenne et du contraste ombre sur réverbération ou ombre sur bruit en limite de portée.

III - DEFINITION DES PARAMETRES DE L'ANTENNE SONAR POUR FORMATION DES OMBRES

3.1 - Résolution spatiale et temporelle (fig. 2)

- La résolution spatiale δy de l'antenne est l'ouverture à - 3 dB de la tâche de diffraction soit pour une antenne plane non pondérée

$$2\theta_3 = 0,88\lambda \quad \text{et} \quad \delta y = \rho \cdot 2\theta_3$$

$$\delta y = \frac{0,88\lambda\rho}{L} \quad (1)$$

- La résolution temporelle est prise comme la largeur à - 3 dB de la réponse percussionnelle de la chaîne de réception-émission sonar. Si B est la bande passante τ est l'ouverture à mi-puissance avec $\tau = \frac{1}{B}$

la résolution en distance associée est :

$$\delta_x = \frac{c}{2B} \quad (2)$$

Une telle antenne est capable de résoudre une ombre dont les dimensions sont $ly \geq 2\delta y$ et $lx \geq 2\delta x$

3.2 - Bande passante spatiale (fig. 3)

Elle est définie comme la transformée de Fourier du diagramme de directivité, soit la fonction rectangle $B(\Omega) = \text{rect.} \frac{\Omega}{2\pi L/\alpha\lambda}$ (3)

La bande spatiale est aussi la fonction de pondération d'amplitude de l'antenne

$$A(x) = \text{rect} \frac{x}{L} \quad (4)$$

On remarquera que c'est l'antenne non pondérée qui à encombrement donné permet de moins distordre le spectre de la cible dans la bande $(\frac{-\pi L}{\alpha\lambda}, \frac{+\pi L}{\alpha\lambda})$.

3.3 - Pas d'échantillonnage de l'espace

Compte-tenu du faible taux d'information d'un canal acoustique, la plupart des sonars modernes d'imagerie sont à voies préformées. L'espace est alors échantillonné par un ensemble de voies juxtaposées avec un pas angulaire θ_E . La figure 3 montre que pour éviter les erreurs "d'aliasing" la pulsation d'échantillonnage Ω_E doit être supérieure à $\frac{2\pi L}{\lambda\alpha}$, ce qui conduit au pas maximal entre voie

$$\theta_E \leq \frac{L}{\alpha\lambda} \quad (5)$$

C'est en fait le recouvrement des lobes à mi-puissance.

IV - LE DISPOSITIF EMISSION RECEPTION INTERFEROMETRIQUE (E-R-I)

4.1 - Le principe, antenne équivalente (fig 6)

Le diagramme émission est réalisé par un interféromètre à 2 sources distantes de L dont la directivité est de la forme

$$D_1 = D_0 \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta\right) \quad (6)$$

La réception se fait sur une antenne de longueur L

$$D_2 = \frac{\sin\left(\frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta} \quad (7)$$

Le lobe produit est $D_1 \cdot D_2$

$$D_{1 \cdot D_2} = \frac{\sin\left(\frac{2\pi L}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{2\pi L}{\lambda} \sin \theta} \quad (8)$$

IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

Il apparaît clairement en comparant les relations (7) et (8) que le lobe résultant est celui d'une antenne de longueur 2L. La résolution du dispositif est augmentée d'un facteur deux.

On notera que contrairement aux antennes multiplicatives [1-2-3], le traitement reste linéaire.

En effet, l'expression du signal de sortie dans le cas d'une antenne multiplicative est donné par la relation 11.

$$S_1 = \int_{-1}^{+1} C(U') D_1(U-U') dU' \quad (9) \text{ signal de réception sur interféromètre}$$

$$S_2 = \int_{-1}^{+1} C(U') D_2(U-U') dU' \quad (10) \text{ signal de réception sur l'antenne plane}$$

$$S_o = S_1 \cdot S_2 = [C(U) * D_1(U)] \cdot [C(U) * D_2(U)] \quad (11)$$

C'est le produit de deux convolutions, (opération non linéaire).

Dans le cas du produit spatial émission-réception la relation (11) devient

$$S_o = \int_{-1}^{+1} C(U') D_1 \cdot D_2(U-U') dU' \quad (12)$$

C'est la convolution de la cible par le lobe produit (opération linéaire).

4.2 - Les limitations du dispositif E-R-I

4.2.1 - La profondeur de champ. (fig. 4)

La distance minimale de fonctionnement est définie comme la distance à partir de laquelle, l'écart entre l'asymptote et l'hyperbole regardant sur les bords du secteur d'observation est inférieure au 1/3 du pas du réseau. L'équation du réseau d'hyperboles est donnée par la relation (13), ce réseau représente le lieu des maxima de la fonction D1.

$$x^2 = \frac{L^2/4}{1 + \text{ctg}^2 \theta} \left[\frac{y^2}{(L^2/4 + \text{ctg}^2 \theta) \text{ctg}^2 \theta} + 1 \right] \quad (13)$$

L'équation des asymptotes est :

$$y = \text{ctg} \theta x \quad (14) \text{ avec } \theta = \text{Arcsin} \frac{k\lambda}{L} \quad k=1,2 \dots n$$

On en déduit la distance minimale d'observation à partir de (13) et (14).

$$\rho^2 \geq \frac{1,5 L^3}{\lambda (\text{ctg}^2 \theta + 1)} \quad (15)$$

4.2.2 - Influence des diagrammes de directivité des sources de l'interféromètre (fig. 5a et 5b)

Dans le cas où les sources de l'interféromètre sont directives et de longueur l, l'expression du champ acoustique en l point quelconque M s'écrit :

$$EM \neq \sqrt{[S(\theta_1) + S(\theta_2) \cos \frac{2\pi l}{\lambda} \sin \theta]^2 + [S(\theta_2) \sin \frac{2\pi l}{\lambda} \sin \theta]^2} \quad (16)$$

$$\text{avec } S(\theta_1) = \frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda} (\sin \theta_1 + \sin \theta_f)}{\frac{\pi l}{\lambda} (\sin \theta_1 + \sin \theta_f)} \quad (17) \quad \theta_1 \neq \theta - \frac{L}{2\rho}$$

$$S(\theta_2) = \frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda} (\sin \theta_2 - \sin \theta_f)}{\frac{\pi l}{\lambda} (\sin \theta_1 + \sin \theta_f)} \quad (18) \quad \theta_2 \neq \theta + \frac{L}{2\rho}$$

$$\theta_f \neq \frac{L}{2\rho}$$

ρ_0 : distance de focalisation

On a donc pour les points hors de l'axe acoustique, une pondération différente des niveaux émis $S(\theta_1) \neq S(\theta_2)$ et donc une interférence sans zéro parfait, afin de réduire cet effet, l'on doit pointer les lobes de chacune des sources de $+\theta_f$ et $-\theta_f$ sur la distance dite de focalisation ρ_0 , définie par la relation $\theta_f \neq \frac{L}{2\rho_0}$.

4.2.3 - Comportement en fréquence du dispositif E.R.I

Tous les dispositifs à déphasages, utilisés dans le traitement de signaux d'antenne sont par définition à bande étroite et entraînent des limitations sur la résolution spatio-temporelle de l'E.R.I.

a) - Rappels sur la bande passante d'une antenne à déphasage [4]

L'effet le plus important d'une variation de fréquence est un "jitter" des lobes dépointés par rapport à l'axe géométrique.

Le critère de limitation en fréquence résulte du fait que les voies les plus dépointées ne doivent pas avoir un "jitter" supérieur au quart de l'ouverture de la voie. Ce jitter s'exprime par la relation (19).

$$\Delta\theta \neq \frac{B}{f} \text{tg} \theta_d \quad (19)$$

On en déduit la bande passante

$$B \leq \frac{0,22 \lambda}{L \sin \theta_d} f \quad (20)$$

Dans le cas du dispositif E.R.I. la relation (20) s'écrit

$$B \leq \frac{0,11}{L \sin \theta_d} C \quad C = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$B \leq \frac{165}{L \sin \theta_d} \quad (21)$$

Ces résultats sont donc valables et pour l'interféromètre et pour l'antenne associée à condition de prendre pour l'application de la relation 20 l'antenne de longueur 2L. On notera que la bande est inversement proportionnelle à la longueur de l'antenne.

Sur la fig. 7 nous avons calculé les diagrammes d'antenne E.R.I. fonctionnant en impulsion rectangulaire de durée $\tau = 200\mu\text{s}$, avec trois angles de dépointage $0^\circ, 3,5^\circ, 7^\circ, 14^\circ$ et $f_0 = 200 \text{ KHz}$. $L = 1,5 \text{ m}$.



IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A
L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

Dans ce cas particulier d'application, il apparait que le secteur exploitable est limité à $\pm 4^\circ$. La relation 21 nous donne $\tau = \frac{1}{B} = 634 \mu s$ ce qui montre que le critère du quart peut être déterminé pour une impulsion rectangulaire d'un facteur 3

$$\tau_{\text{mini}} \geq \frac{L \sin \theta_0}{500} \quad (22)$$

b) - Réponse percussive de l'interféromètre

C'est une autre manière de calculer le diagramme d'émission sur une impulsion rectangulaire et, entre autre, le contraste du maxima sur le minima en fonction du dépointage de l'onde par rapport à la normale à l'interféromètre.

E(t) signal d'excitation
h(t) la réponse percussive de chacune des sources
H(t) la réponse percussive de la somme des sources
B la bande du récepteur
W la pulsation HF

Pour une onde incidente venant de la direction θ (fig. 8) le temps de formation de lobe est

$$t_f = \frac{L}{C} \sin \theta$$

d'où

$$H(t) = h(t) + h(t - \frac{L}{C} \sin \theta) \quad (23)$$

$$S(t) = E(t) * H(t); E(t) = E_0 e^{jWt} \text{rect} \frac{t}{\tau}$$

Dans le cas où B_0 est $\gg \frac{1}{\tau}$ l'on peut évaluer aisément le contraste des maxima sur minima.

$$\text{contraste} = 20 \log \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} S_1(t) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} S_2(t) dt}$$

$S_1(t)$ représente le signal temporel lors d'un maxima

$S_2(t)$ représente le signal temporel lors d'un minima fig. 9.

$$\text{contraste} = 20 \log \frac{C}{L \sin \theta} \quad (24)$$

V - COMPORTEMENT DU DISPOSITIF E-R-I- VIS A VIS DES SIGNAUX SONAR

5.1 - Influence sur le contraste écho sur réverbération

Comparativement à une émission "pleine", l'émission interférométrique permet une augmentation de contraste écho sur réverbération de + 3 dB.

L'énergie réverbérée par le fond sur un champ de $2\theta_0$ dans le cas de l'émission interférométrique est :

$$E_{RI} = \int_{-\theta_0}^{+\theta_0} \cos^2 \theta d\theta \quad \equiv \theta_0$$

dans le cas de l'émission "pleine" :

$$E_R = 2\theta_0$$

Dans les deux cas, le niveau d'écho est le même toute chose égale par ailleurs.

On remarquera que c'est aussi le rapport des directivités du dispositif ERI et de l'antenne de réception de même encombrement.

5.2 - Contraste ombre sur réverbération

Le contraste ombre sur réverbération est donné par la courbe de la fig.10 pour une antenne non pondérée; du fait du gain de résolution, pour un objet vu sous un angle égal à l'ouverture à $2\theta_0$ de l'antenne normale, ce contraste passe de + 5,4 dB à + 10 dB dans le cas du dispositif ERI.

5.3 - Influence de la non-linéarité du milieu sur le niveau sonore de l'interféromètre

a) - Dans un fonctionnement à densité de puissance constante sur les transducteurs émission, l'augmentation du niveau sonore est égale au gain de directivité augmenté de celui des surfaces émissives. Soit un gain de + 6 dB par rapport à une antenne émission classique insonifiant le même champ angulaire.

b) - Dans la mesure où les directivités élémentaires sont importantes ($\theta_0 < 5^\circ$) et l'écartement entre sources, élevé, (c'est le cas des sonars d'imagerie) l'addition des pressions se fait en dehors de la zone d'onde de choc, et donc de manière linéaire. [5]
L'émission interférométrique est donc une solution pour combattre les limitations de niveau sonore dues à la non linéarité du milieu, ceci précisons le bien dans le cas de géométries particulières mais très réalistes en sonar d'imagerie des fonds marins.

VI - RESULTATS DES MESURES EXPERIMENTALES SUR UN DISPOSITIF E-R-I

6.1 - Le dispositif expérimental

Les mesures ont été réalisées à la fréquence de 420 KHz avec une base acoustique de longueur 200λ à laquelle était associé un interféromètre constitué par deux sources de $6\lambda \times 6\lambda$ espacées de 229λ .

6.2 - Mesures des lobes de l'interféromètre

Ces mesures ont été faites avec l'interféromètre décrit ci-dessus mais focalisé à la distance de mesure, soit 40m, ceci avec des durées d'impulsion:

$\tau = 200\mu s$, $500\mu s$ modulation : rectangle fig.11 a, b.
 $\tau = 200\mu s$, $500\mu s$ modulation : \cos^2 - fig. 11 c
 $\tau = 500\mu s$ modulation : FM + 5KHz. fig. 11 d

Conclusions

Pour assurer un fonctionnement satisfaisant de l'inter-

IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

féromètre sur un secteur angulaire donné, il faut :

- 1) Réaliser des sources élémentaires ayant des diagrammes d'émission identiques à $\pm 0,5$ dB sur l'angle de fonctionnement de l'interféromètre.
- 2) S'assurer de l'identité des 2 niveaux émis pendant toute l'émission.

L'expérience a montré que les résultats sont meilleurs (zéros du lobe plus marqués) avec une émission rectangulaire qu'avec une émission \cos^2 ; cette inversion des résultats s'explique par la non identité des niveaux sonores sur toute la durée de l'émission dans le cas du \cos^2 .

Il sera préférable, dans la définition d'un matériel, de réaliser une émission rectangle (réglage des niveaux d'émission des 2 sources en un seul point) si la diaphonie, dans le cas d'un fonctionnement en bi-fréquence, n'est pas une limitation. (§ 7.1)

- 3) Pointer mécaniquement les transducteurs à la distance de travail, surtout si celle-ci est faible (≤ 100 m).
- 4) Limiter le spectre émis pour satisfaire au temps de formation de lobe pour le dépointage angulaire maximal. Dans l'expérimentation le fonctionnement reste encore valable pour $f = f_0 \pm 5$ KHz.

6.3 - Réponse sur cible passive de l'E-R-I

Le fonctionnement émission réception a été testé sur une cible passive constituée d'un tube de ϕ 6 cm de longueur 2 m situé perpendiculairement au plan des antennes et dans le plan focal (40 m). Les mesures ont été faites avec les mêmes durées et modulations d'impulsions que celles du paragraphe 6.2. L'antenne réception comportait 80 voies ($\theta_0 = \pm 5^\circ$).

6.3.1 - Remarques sur l'expérimentation

- 1) Lors des relevés 4 colonnes acoustiques étaient en panne, cela se traduisant par une remontée des secondaires (≈ 20 dB).
- 2) Le pas entre les voies du sonar est de $0,125^\circ$, ce qui impose une distance entre les 2 sources de l'interféromètre de 229λ pour un recouvrement correct émission réception; or l'ouverture de la voie sonar est $0,25^\circ$ ($L = 200 \lambda$). Cela se traduit, lors des relevés des lobes produits avec antenne non pondérée, par une remontée des premiers secondaires à -9 dB au lieu des -13 dB théoriques.
- 3) La piscine d'essais étant très réverbérante, les zéros des lobes ne sont pas très bien marqués (existence d'un fond de réverbération permanent).

6.3.2 - Résultats

Sur les diagrammes de la fig.12, il ressort que :

- L'ouverture à 3 dB est de $0,125^\circ$.
- La remontée des secondaires est de -9 à -10 dB au lieu des -13 dB théoriques (voir § 6.3.1: remarques sur expérimentation).
- Les lobes s'élargissent de $0,01^\circ$ pour les voies n° 2

et 80 entre l'émission à bande étroite ($\tau = 500 \mu s \cos^2$) et l'émission à bande large ($\tau = 500 \mu s \text{ FM} \pm 5 \text{ KHz}$).

- Que les zéros remontent pour une émission FM par rapport à l'émission bande étroite.
- Les lobes interféromètres ne sont pas parfaitement centrés par rapport aux voies. Ce phénomène résulte de la loi en $\sin\theta$ pour la directivité de l'interféromètre alors que le pas des voies à la réception est constant sur le champ d'observation.

VII - ORGANISATION TYPE D'UN SONAR A EMISSION INTERFEROMETRIQUE

7.1 - Traitement temps réel

Afin de couvrir à l'émission tout le secteur d'observation en une seule récurrence sonar, il est nécessaire de prévoir deux séquences d'émission permettant d'entrelacer ($0, \pi$) les lobes d'interférences; chacune des émissions devant être codée afin de pouvoir bénéficier du produit émission réception, le décodage s'effectuant dans la chaîne de réception.

Le code employé doit être tolérant au doppler dans le cas d'un sonar embarqué (FM croisé bi-fréquence). Pendant la réception, il est indispensable de stabiliser le plan d'onde dans la direction de l'émission pour obtenir la directivité "produit" souhaitée.

7.2 - Traitement en temps différé

Ce traitement nécessite le positionnement précis ($\lambda/8$) des antennes émission et réception au cours de 2 récurrences sonar. C'est un fonctionnement en interférométrie synthétique. L'on émet alternativement sur les sources droite et gauche de l'interféromètre et l'on additionne (en complexe) après recalage sur 2 récurrences les informations de chaque capteur de l'antenne de réception avant de former les voies de réception.

Inconvénients : - réduction du taux d'information par deux

- nécessite des moyens de mesure précis des mouvements de l'antenne (centrale a inertie); stockage en mémoire d'une récurrence sonar (complexe).

Avantage : Possibilité de pondération à la réception grâce à une symétrisation des coefficients de pondération de l'antenne de réception d'une émission à l'autre.

VIII - CONCLUSIONS

L'utilisation d'une émission interférométrique permet:

- d'augmenter d'un facteur 2 la résolution d'une antenne à voies préformées par rapport à un dispositif classique de même encombrement



IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A
L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

- d'augmenter le niveau sonore de 6 dB malgré la non linéarité éventuelle du milieu par rapport à une émission classique
- d'augmenter le contraste écho sur réverbération de 3 dB pour une longueur d'antenne donnée.

Cependant ces résultats ne peuvent être atteints qu'avec les limitations et sous les conditions suivantes :

- 1) Le secteur angulaire de bon fonctionnement de l'interféromètre est, pour des angles $< 10^\circ$, inversement proportionnel :
 - . à la bande passante
 - . à la longueur de l'antenne.
- 2) Les sources doivent avoir les lobes les plus identiques possibles en site et en gisement sur la plage angulaire de fonctionnement de l'antenne réception.
- 3) Les sources doivent être pointées en gisement sur le point de focalisation pour obtenir la plage maximale de fonctionnement correcte (existence du réseau d'interférence).
- 4) Le spectre émis doit être limité pour éviter une diaphonie prohibitive dans le cas de fonctionnement en bi-fréquence.
- 5) La bande de fonctionnement en fréquence du dispositif émission réception de longueur L est celle d'une antenne réception de longueur 2 L.

REFERENCES

- [1] VG. WELSBY -"Multiplicative Receiving Arrays"-
Journal Brit. IRE July 1961, p. 5-12
- [2] M.E. PEDINOFF and A.A. KSIENSKI "Multiple Target
Response of Data Processing Antenna"
IRE Transaction on Ant.Prop. p. 112-126 (March
1962)
- [3] R. BLOMMENDAAL A Note on Multiplicative Receiving
Systems for Radar
R.E.E. Novembre 1964, p. 317-323
- [4] Merrill J. SKOLNIK Radar Handbook, p. 11-43,
11-44.
- [5] (Rapport - DASM/O/539 ML)
- [6] M. Schulkin and HW Marsh "Sound Absorption in
the Sea Water"
JASA Volume 34 p. 864-865 (1962)

IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

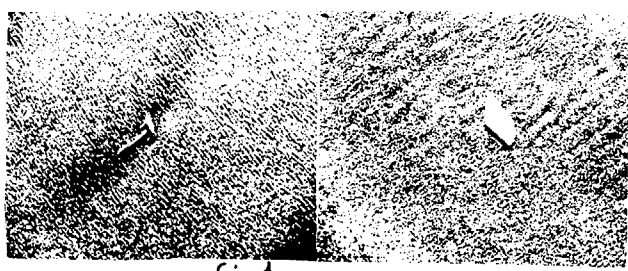


Fig 1

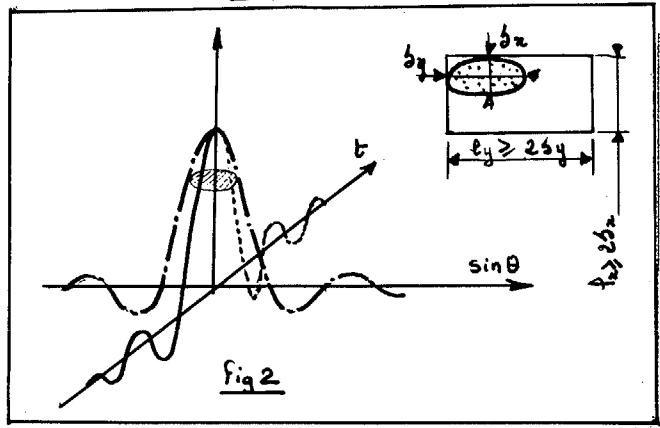


Fig 2

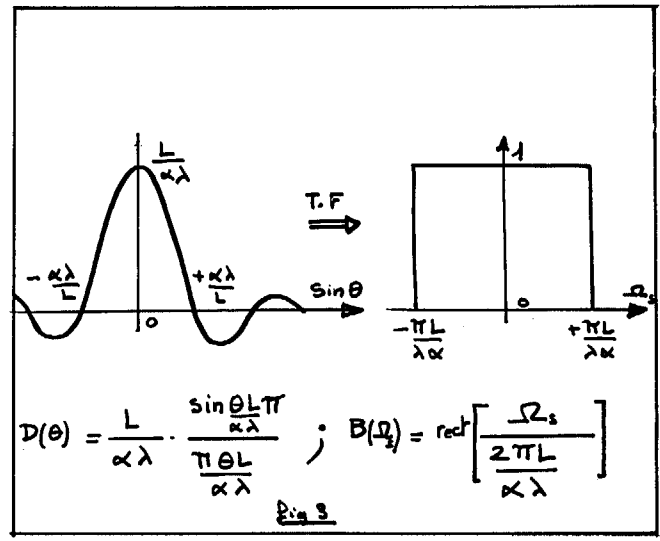


Fig 3

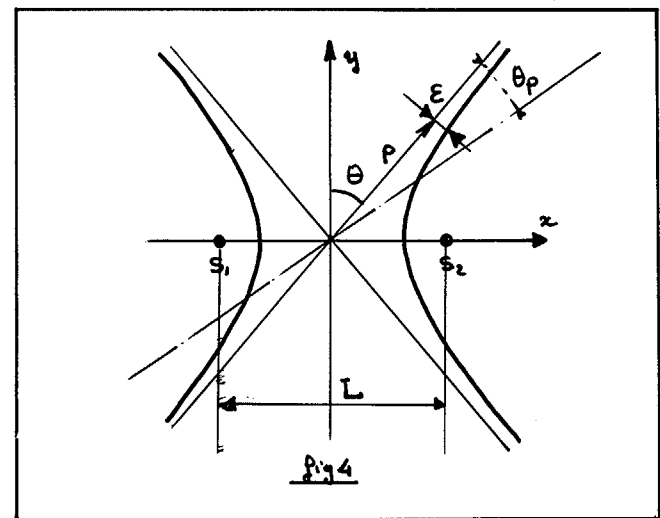


Fig 4

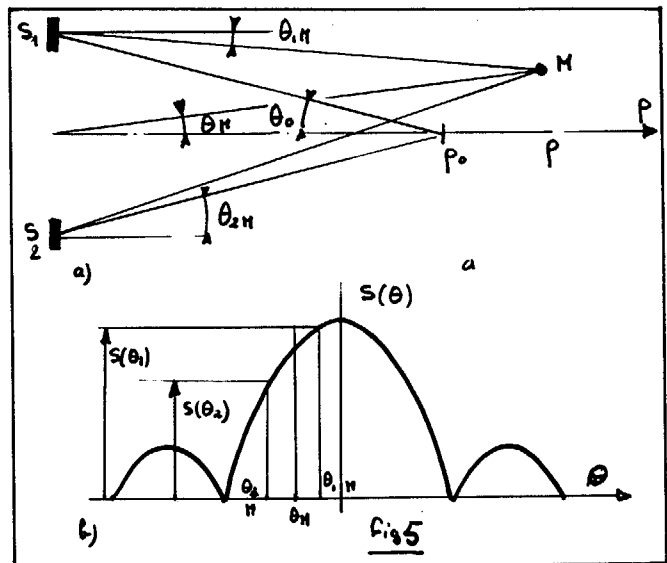


Fig 5

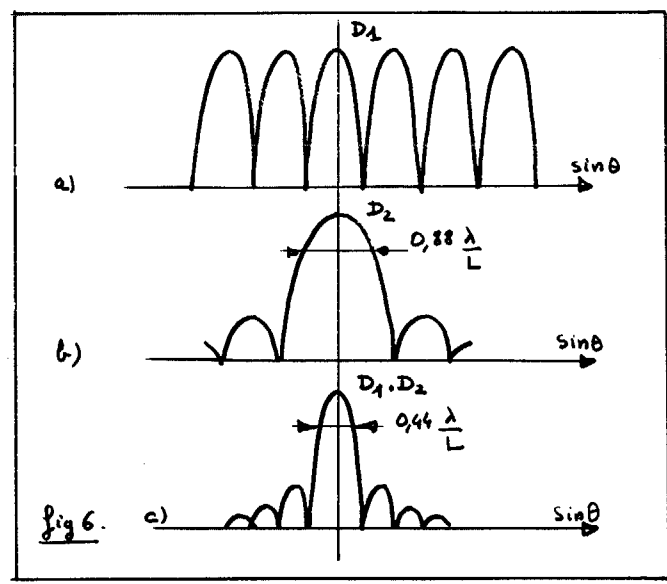


Fig 6

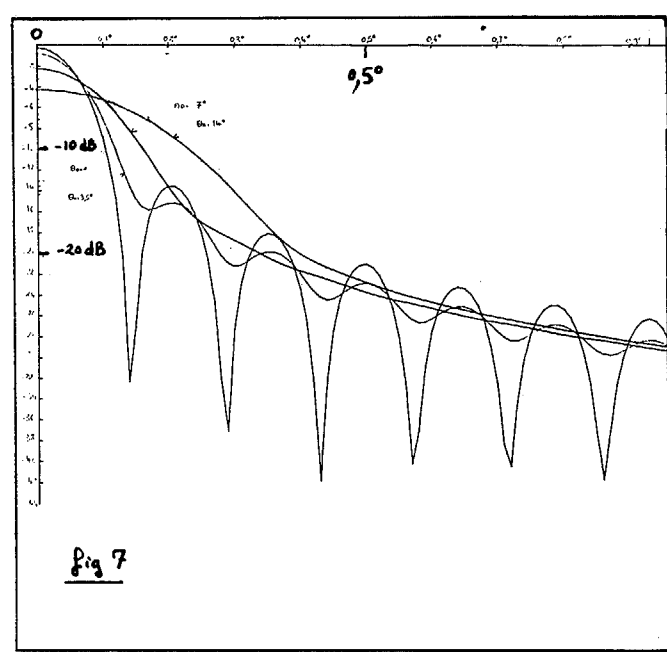


Fig 7



IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION

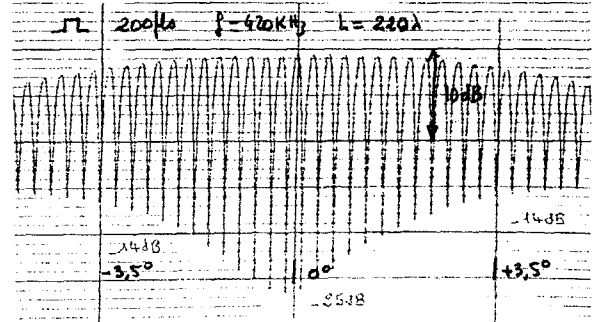
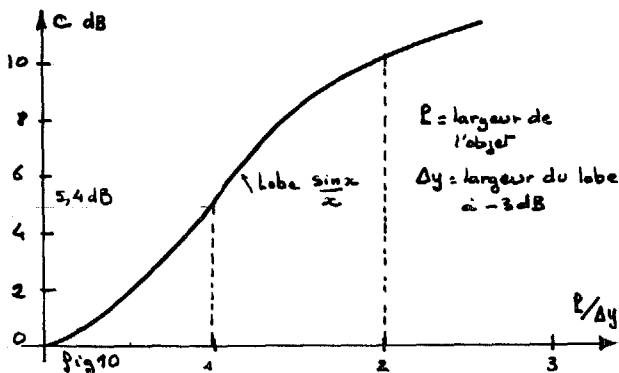
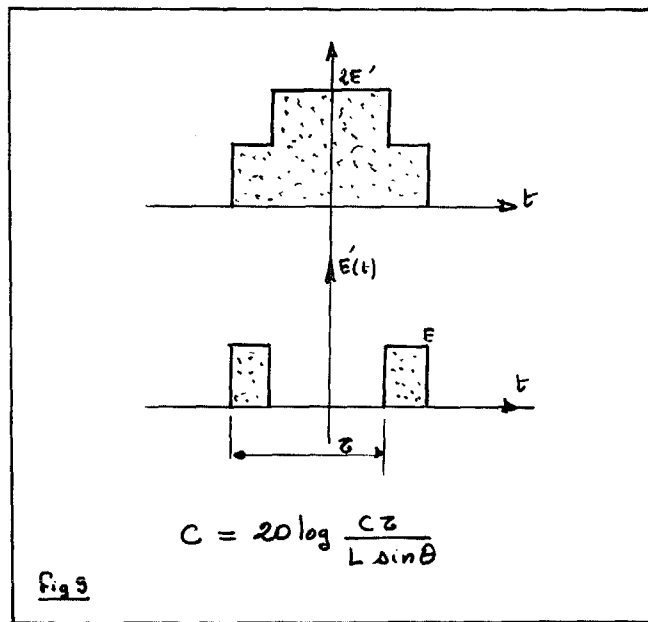
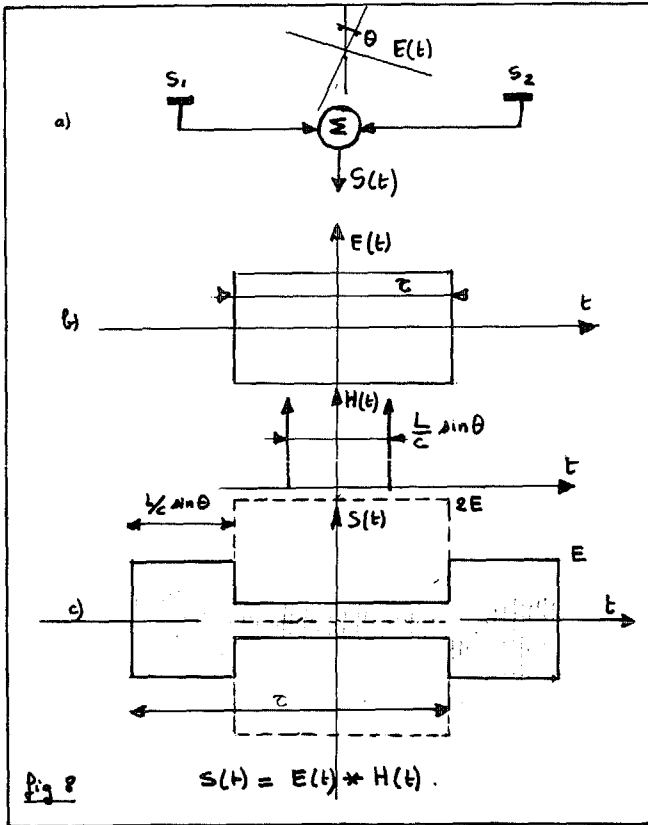


Fig 11a

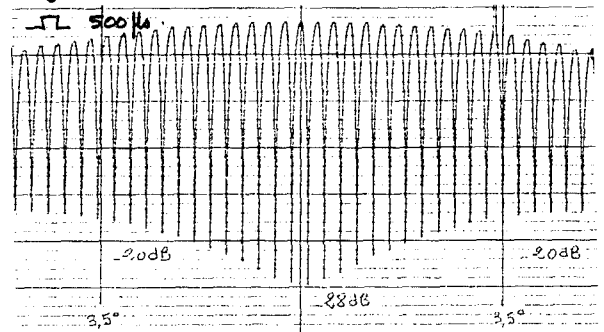


Fig 11b

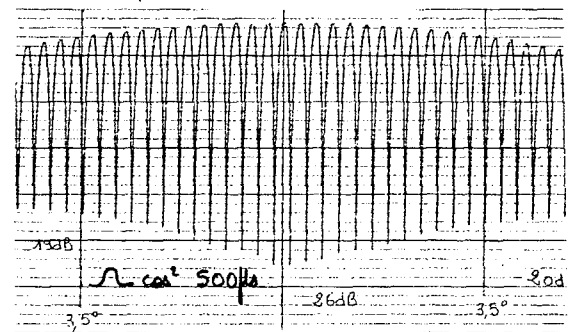


Fig 11c

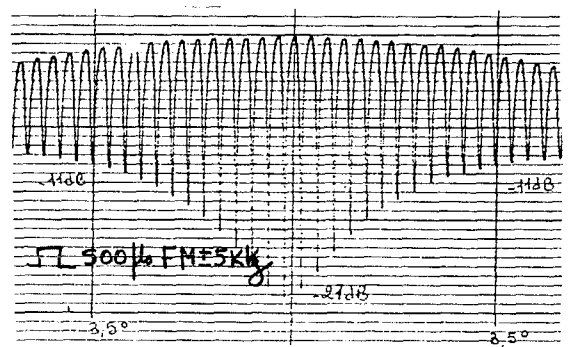
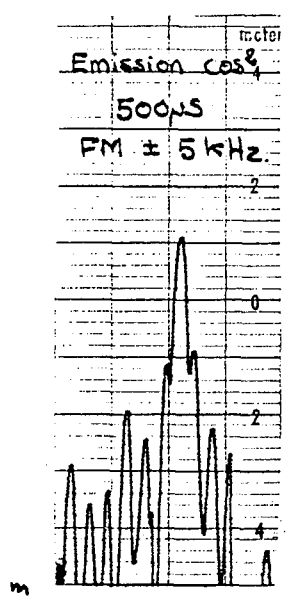
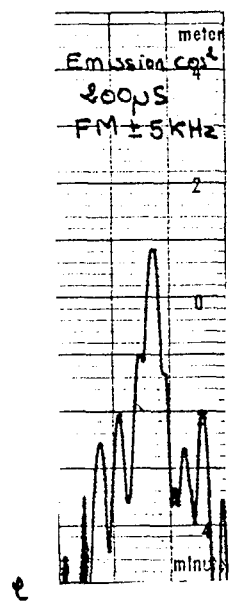
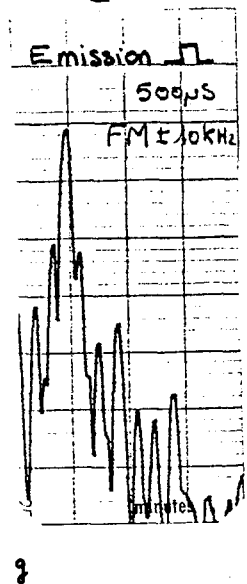
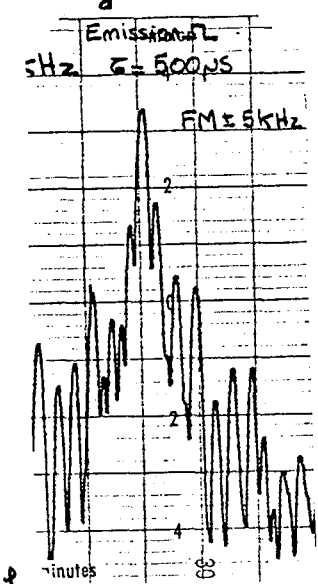
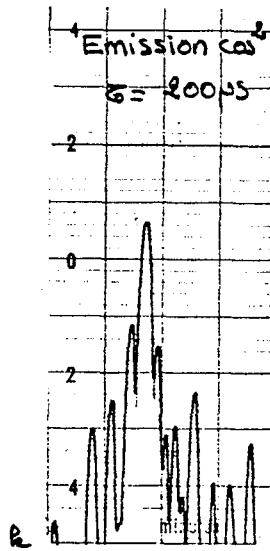
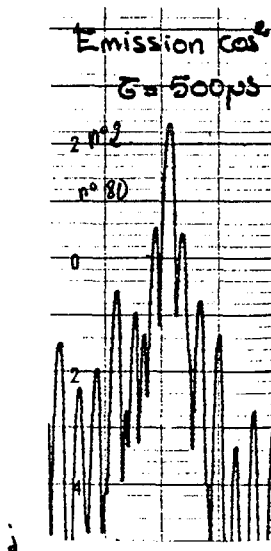
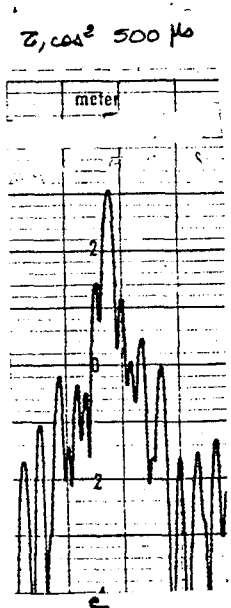
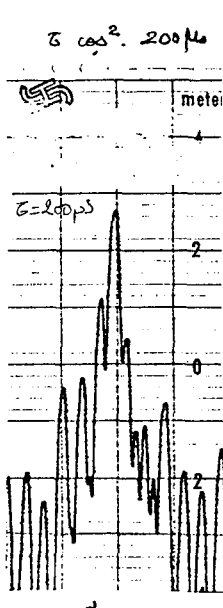
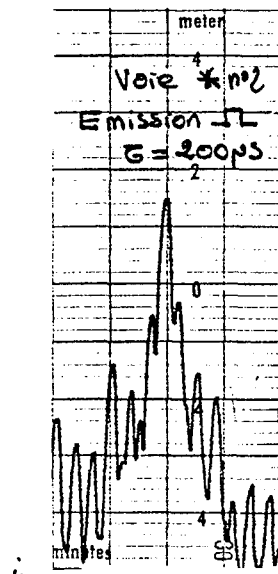
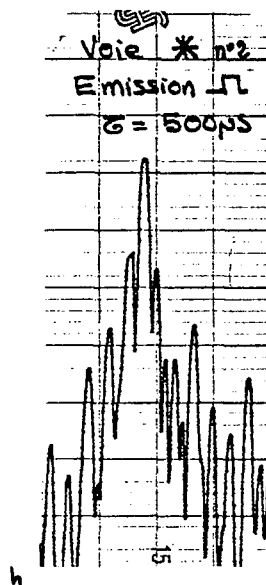
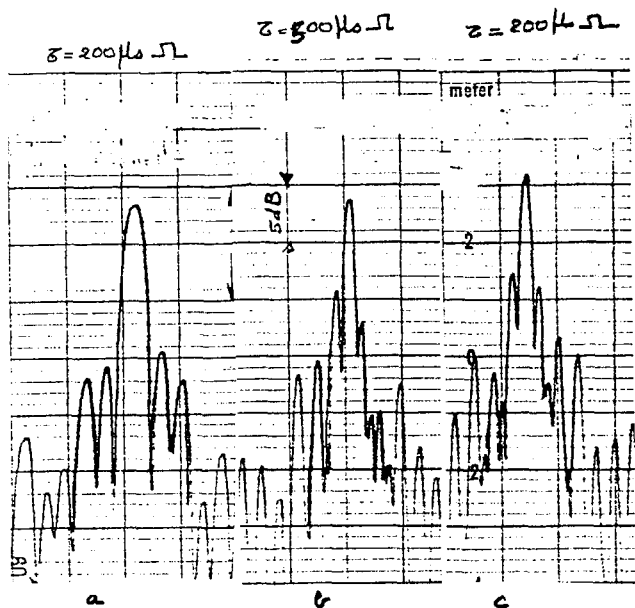


Fig 11d

IMAGERIE ACOUSTIQUE DES FONDS MARINS AU MOYEN D'UN INTERFEROMETRE A L'EMISSION ET D'UNE ANTENNE PLANE A LA RECEPTION



Diagrammes de la voie centrale fig 12

Diagrammes de la voie dépointée de 5° fig 12