



TRAITEMENT ADAPTATIF d'ANTENNE
RESULTATS EXPERIMENTAUX

L. CHAUVIN ⁽¹⁾

(1) - Attaché aux Services Techniques des Armées.

RESUME

Commentaires des résultats acquis sur la Maquette de Traitement Optimal d'Antenne (MATOPAN) à bord du BE ARAGO.

Dans des conditions rigoureusement identiques (mêmes bruits et mêmes signaux), MATOPAN apporte un gain variable de 0 à 15 dB dont on peut au mieux fixer la moyenne à 6 dB, par rapport au traitement classique (voie préformée). Il est particulièrement efficace contre la réverbération, les échos de fond, et les brouilleurs permanents.

SUMMARY

Comments on the results acquired on the breadboard of Optimal Antenna Processing (MATOPAN) aboard the experimental ship ARAGO.

In strictly identical conditions (same noises and same signals), the MATOPAN breadboard yields a processing gain which varies from 0 to 15 dB, - the mean value may be evaluated as a 6 dB gain - with regard to the classical preformed beam technique. The new processing is particularly effective against reverberation, echos from the bottom and permanent jammers.



1. Description de la Maquette et des Essais.

Le principe du traitement optimal et adaptatif d'antenne a été exposé par Monsieur MERMOZ. Une application concrète de ce principe au Sonar actif a été réalisée au Laboratoire du Brusac.

La maquette MATOPAN (Maquette de Traitement Optimal d'Antenne), construite par la CIT réalise le traitement d'une voie en utilisant la base OZ 5R (cylindrique) du sonar DUBV 23S installé sur le BE ARAGO. Cette voie est formée à partir de douze colonnes d'hydrophones (figure 1.)

Lorsque les signaux "échos" ont été préalablement rendus identiques par des déphasages classiques, le traitement optimal pour une paire de capteurs est réalisé par un compensateur d'intercorrélations à deux entrées. Le traitement optimal pour douze colonnes serait extrêmement complexe puisque faisant intervenir toutes les intercorrélations des bruits parasites entre tous les capteurs pris deux à deux. Dans un but de simplification technologique, on s'est écarté de cette optimisation en traitant séparément chacune des onze paires de colonnes adjacentes par un compensateur élémentaire, et en appliquant aux onze sorties obtenues un traitement global dit "commun".

Le traitement ainsi réalisé reste proche de l'optimal si les conditions suivantes sont réalisées :

- la puissance des bruits sur les deux colonnes d'une même paire est la même,
- les bruits en sortie des onze compensateurs ne sont plus corrélés.

Ces deux hypothèses ont été vérifiées au cours des expérimentations.

La description technique de la maquette a fait l'objet d'une conférence au cours du dernier Colloque. On rappelle ici qu'elle comporte trois ensembles principaux (figure 1.) :



- Ensemble 1 - égalisation des signaux.

Ces circuits égalisent en phase et amplitude les "échos" provenant d'une direction dans l'axe de la voie traitée.

- Ensemble 2 - compensateurs.

Les onze compensateurs réalisent le "filtrage" de la combinaison optimale, décrit dans la conférence de Monsieur MERMOZ. Les gains complexes de ces filtres dépendent de l'intercorrélation des bruits présents sur les deux entrées. Un compensateur délivre à sa sortie une tension comprenant le signal utile identique au signal présent sur les deux entrées, et un bruit de puissance généralement inférieure à la puissance des bruits d'entrée (cette puissance en sortie étant d'autant plus faible que les bruits à l'entrée sont plus corrélés). Le compensateur s'adapte avec une constante de temps T aux fluctuations lentes des propriétés statistiques des bruits d'entrée, de façon à optimiser le rapport Signal/Bruit.

- Ensemble 3. -

C'est le traitement global commun aux onze compensateurs. Il permet d'avantager celle des sorties de ces compensateurs sur laquelle le rapport Signal/Bruit est le plus grand, et d'éliminer l'influence des compensateurs sur lesquels ce rapport est faible. Ce traitement fait intervenir une constante de temps T pour le calcul de la puissance moyenne des bruits en sortie de chaque compensateur.

Les essais ont consisté à comparer simultanément la sortie de ce traitement global, après détection et intégration, avec la sortie de la voie préformée classique associée aux mêmes capteurs. Les principaux résultats sont résumés sur les planches de photos qui suivent. En particulier, on a examiné l'efficacité du traitement en présence de réverbération, de brouilleurs mobiles et de parasites.



2. Résultats.

2.1. Essais en bruit seul.

Ces premiers essais consistent à comparer les deux traitements lorsqu'on reçoit sur les hydrophones les bruits ambiants auxquels on a superposé un écho. Cet écho est simulé électriquement en injectant en sortie des hydrophones un signal cadencé.

Les compensateurs apportent un gain d'autant plus grand que les intercorrélations des bruits d'entrées sont plus grandes. Or, des mesures préalables à l'installation de la maquette sur la base OZ 5R avaient montré que les taux d'intercorrélations normés des bruits entre paires de capteurs pouvaient atteindre 0,7 à 0,75. Dans ces conditions le traitement devait apporter une amélioration notable du rapport Signal/Bruit par rapport à la voie préformée.

Ceci apparaît sur les planches 2 et 3 pour lesquelles les essais ont été réalisés avec deux durées d'impulsions (30 et 150 ms) et à deux vitesses du bâtiment (donc dans des conditions différentes de bruit).

Sur les photos, la trace supérieure représente la sortie détectée intégrée de la voie préformée, et la trace inférieure la sortie détectée intégrée de MATOPAN. Le gain apporté par MATOPAN a été évalué entre 4 et 10 dB, graphiquement, de la façon suivante :

Pour une trace donnée, on repère la valeur moyenne \bar{m} autour de laquelle fluctue le parasite. On mesure la hauteur \bar{e} de l'écho au-dessus de cette valeur moyenne et l'amplitude moyenne σ de la fluctuation. On évalue $f = \frac{\bar{e}}{\sigma}$

Le gain est :

$$g_{dB} = 20 \log \frac{f \text{ MATOPAN}}{f \text{ SONAR}}$$



Cette définition est transposée de celle du rapport Signal / Bruit en détection non-cohérente.

$$P = \frac{(\text{Valeur moyenne Signal + Bruit}) - \text{Valeur moyenne bruit seul}}{\text{Valeur efficace de la fluctuation de bruit}}$$

2.2. Essais en présence de Réverbération - Parasites.

Ces essais rendent mieux compte de l'adaptation du traitement aux propriétés des bruits. En effet, les capteurs reçoivent pendant une durée variable des bruits réverbérés de provenances diverses. Des mesures préalables ont montré que les taux d'intercorrélations pendant cette période étaient assez grands, mais aussi essentiellement variables. MATOPAN semblait tout indiqué pour extraire un signal noyé dans un tel bruit aux propriétés statistiques lentement variables.

C'est ce qui est mis en évidence sur les photos de la planche 4, où le gain mesuré comme précédemment est de l'ordre de 15 dB.

D'autres essais effectués cette fois sur échos réels de sous-marin confirment l'intérêt du traitement contre la réverbération. Les figures 5, 6 et 7 en donnent des exemples très concrets.

Simultanément au gain apporté vis-à-vis du rapport Signal / Bruit on voit apparaître une autre propriété du traitement qui est d'éliminer tout signal intempestif ne présentant pas les caractéristiques exactes de l'écho : identité d'amplitude et phase sur toutes les entrées. Cette propriété s'applique aux échos de fond (figure 4) et à des échos parasites (figure 8). En particulier au cours de l'essai décrit figure 9, des chocs violents portés sur la coque du bâtiment, sont très atténués sur la sortie "MATOPAN".



2.3. Comportement vis-à-vis de brouilleurs mobiles.

Le traitement optimal et adaptatif d'antenne a pour propriété "annexe" d'éliminer un brouilleur mobile provenant d'une direction autre que celle de l'écho.

Cette propriété a été étudiée sur la maquette. Un bruiteur permanent et mobile a été simulé électriquement en injectant, sur les entrées des préamplificateurs d'hydrophones, un signal électrique provenant d'un générateur de bruit à bande étroite ($\Delta f = 400$ Hz autour de $f_0 = 4900$ Hz).

L'expérience a consisté à comparer les deux sorties : voie préformée classique et MATOPAN lorsqu'on fait tourner ce bruiteur autour de l'axe de la voie. En outre on a aussi fait varier le rapport

$$\frac{\text{puissance du brouilleur}}{\text{puissance du bruit ambiant}}$$

et on superpose à ces bruits un écho cadencé. Les figures 10 et 11 montrent les résultats obtenus pour un brouilleur décalé de 15° et $22^\circ 5'$ de l'axe. On constate notamment que l'écho disparaît sur la trace "sonar" dans le cas de 15° , alors qu'il reste bien apparent pour "MATOPAN". Ceci n'est pas aussi bien marqué dans le cas de $22^\circ 5'$.

Des essais avec des angles de $7^\circ 5'$ et 10° ont été effectués. La résolution intrinsèque de la paire d'hydrophones, et les limitations technologiques font qu'un brouilleur décalé de moins de $7^\circ 5'$ ne présente pas assez de contraste avec l'écho utile pour être éliminé. D'autre part, à $22^\circ 5'$ la directivité "classique" présente un creux de 25 dB environ. MATOPAN ne peut faire mieux pour cette valeur particulière, mais il est probable que l'avantage reprend pour des angles supérieurs et différents des cas particuliers où la directivité de la voie préformée présente des creux importants.



En résumé, on peut dire que la directivité "apparente" vis-à-vis des brouilleurs est du même ordre que celle de la voie préformée, mais avec des flancs plus raides (entre $7^{\circ}5$ et 20°) et peut-être pas de secondaires élevés (mais cela reste à vérifier). Le diagramme de directivité varie avec la position du bruiteur (du fait de l'autoadaptation). Il présente toujours un "trou" important dans la direction du bruiteur, mais son maximum n'est pas forcément en direction du signal utile (cas d'un bruiteur important).

3. Conclusion.

Les expériences décrites ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- le traitement, bien que suboptimal, est très efficace contre des parasites impulsionnels (écho de fond, choc) et contre des brouilleurs permanents même mobiles (bâtiments à proximité par exemple).
- le gain du traitement est très variable, le système étant autoadaptatif. Sur les résultats obtenus, on a pu chiffrer le gain de 0 à 15 dB par rapport au traitement classique, la moyenne se situant autour de 6 dB. A remarquer en outre que ce "gain" n'est jamais inférieur à 0 dB, le système étant dans les plus mauvais cas, identique à la formation de voie classique.

La suite des expérimentations va consister à évaluer qualitativement par des procédés statistiques (courbe COR), le gain apporté par le traitement.

D'autre part, la technologie actuelle permet déjà de réaliser des systèmes autoadaptatifs constitués à partir de compensateurs élémentaires traitant trois capteurs au lieu de deux. On peut espérer alors que le traitement complet d'une voie sera plus près de l'optimum que celui réalisé par MATOPAN. De plus, cette technologie "en triplet" simplifie considérablement le traitement complet d'une antenne.



Bibliographie.

1. H. MERMOZ.

Signaux faibles et Antennes composées
Annales des Télécommunications, juillet-août 1963,
18. No 7-8, pp. 126 - 140.

2. H. MERMOZ.

Détection des Signaux faibles en présence de Bruits corrélés -
Compensateur d'Intercorrélation.
Annales des Télécommunications, janvier-février 1966,
21. No 1-2, pp. 31 - 39.

3. H. MERMOZ.

Extension de la méthode du filtrage adapté au cas de plusieurs
entrées pour l'optimisation de la direction des signaux faibles -
Filtrage adapté et directivité.
THESE de Doctorat ès-Sciences.
Grenoble, 2 juillet 1964.

4. G. LEVASSEUR - C. LE DILY.

Réalisation d'un système expérimental de compensation d'inter-
corrélation.
Conférence au 2ème Colloque sur le Traitement du Signal
Nice - 5 au 10 mai 1969, Tome 1, pp. 355 - 373.

5. H. MERMOZ.

Antennes Optimales et adaptation.
Conférence au 3ème Colloque sur le Traitement du Signal
Nice - 1er au 5 juin 1971,

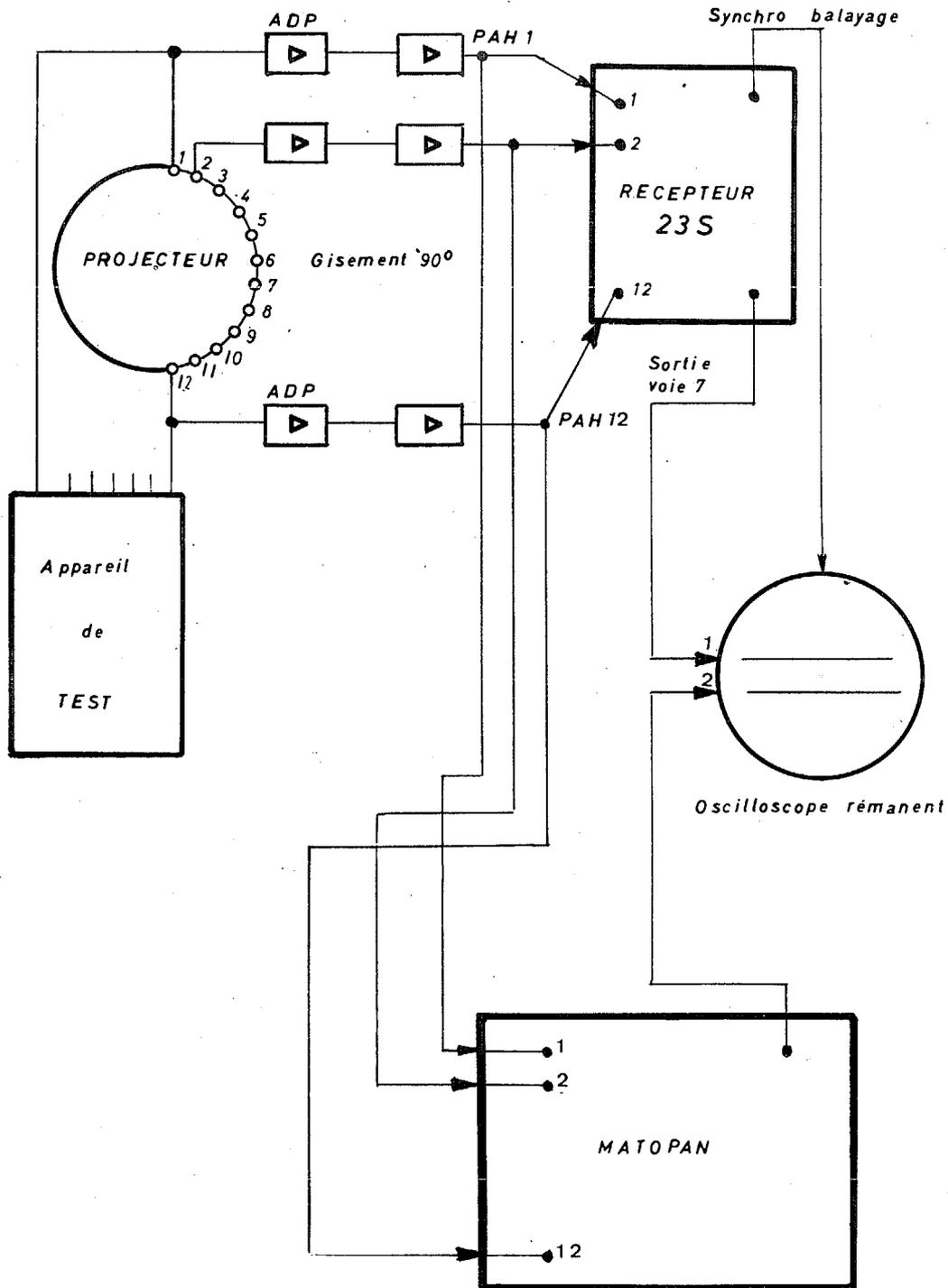


Fig. 1.

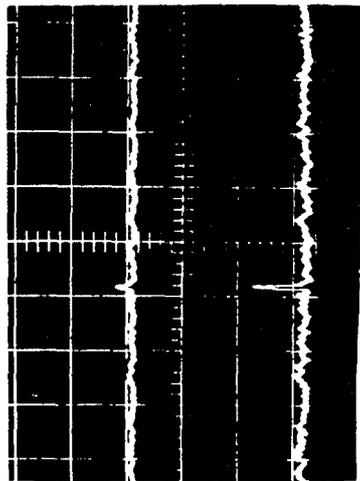
fig.1

Schéma synoptique de l'expérimentation



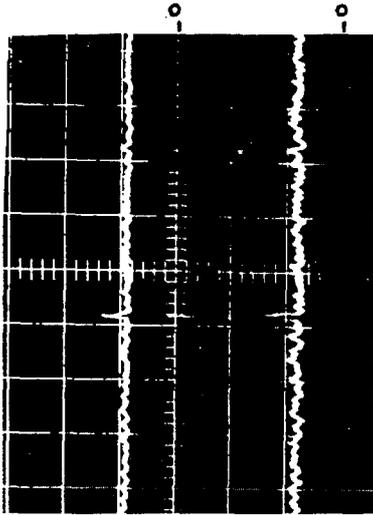
MATOPAN - BRUITS SEULS

$\theta = 30 \text{ ms}$

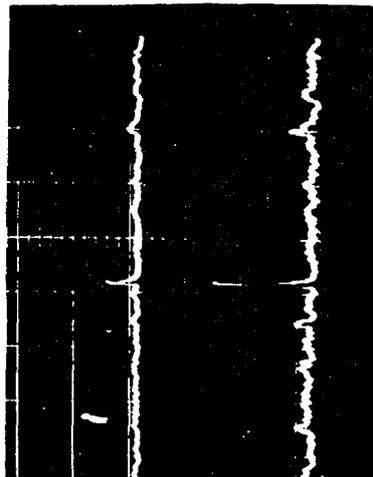


Vitesse 5 Nœuds

$T = 1 \text{ s}$ $T' = 100 \text{ ms}$

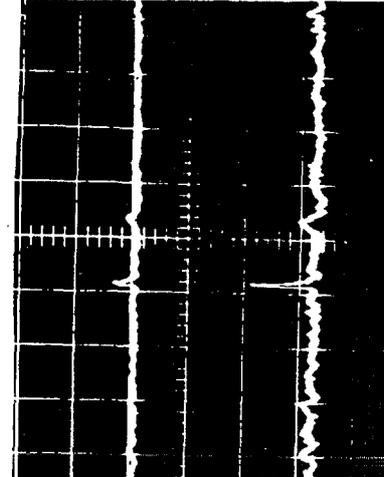


$T = 2 \text{ s}$ $T' = 100 \text{ ms}$



Vitesse 10 Nœuds

$T = 100 \text{ ms}$ $T' = 300 \text{ ms}$



$T = 300 \text{ ms}$ $T' = 300 \text{ ms}$

Fig. 2.

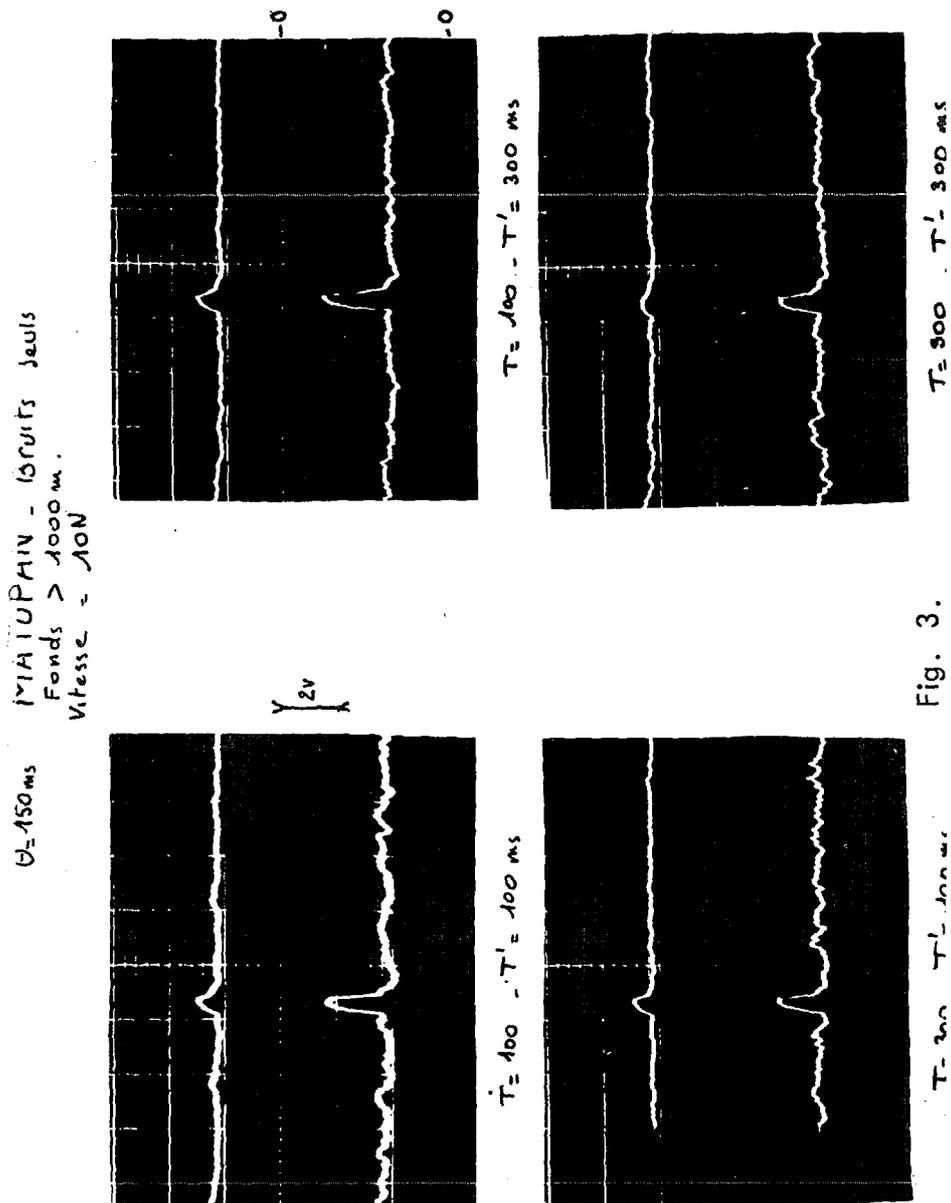
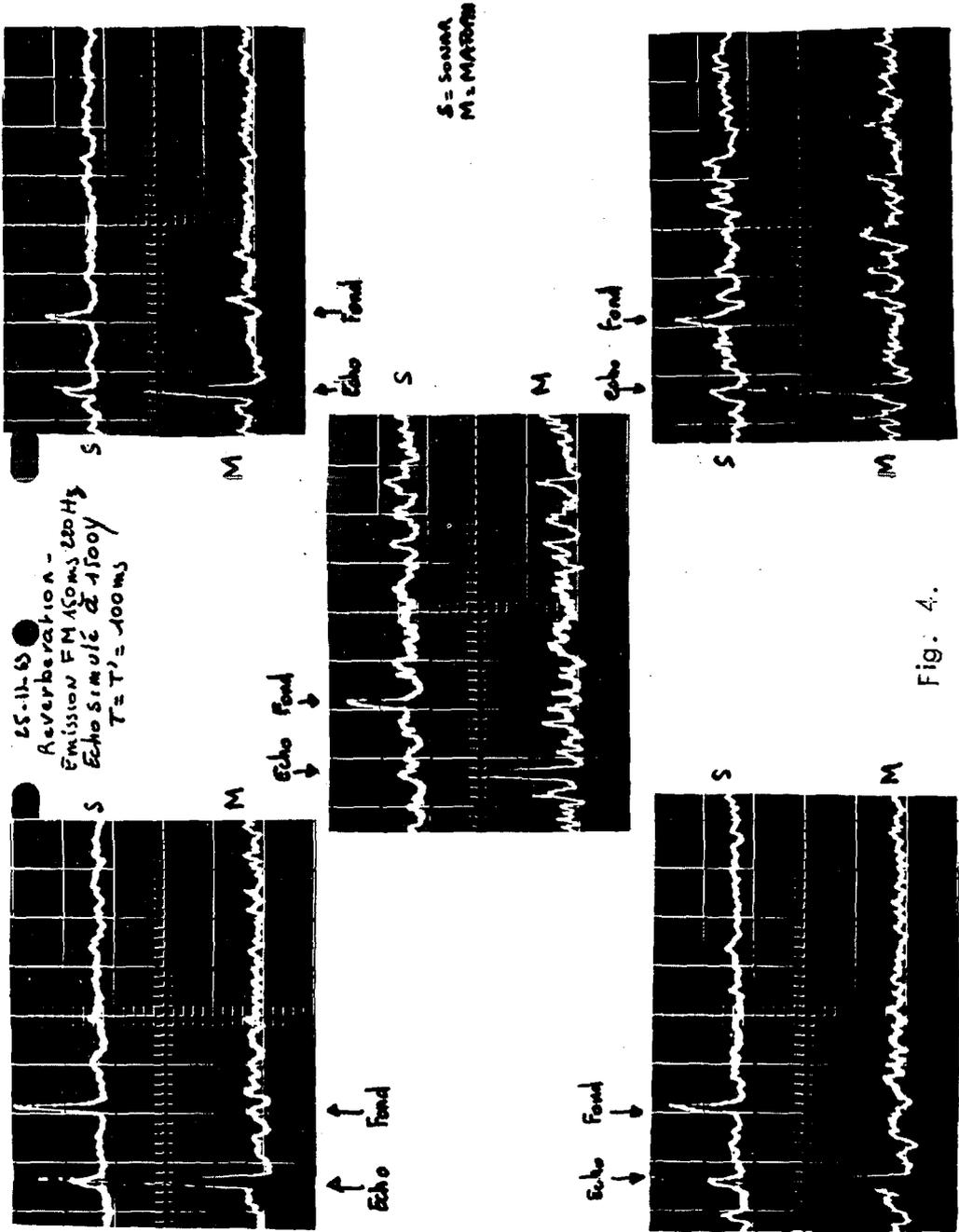
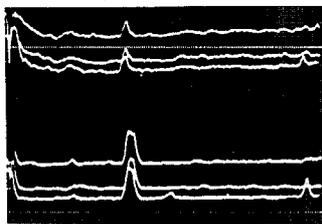


Fig. 3.

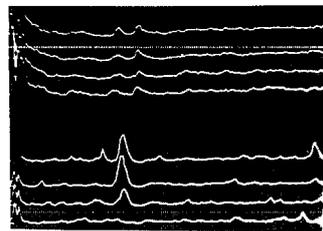




MATOPAN
12-2-70 - Giration
Pehls fonds



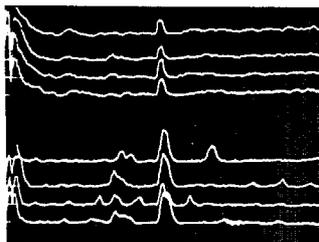
SONAR



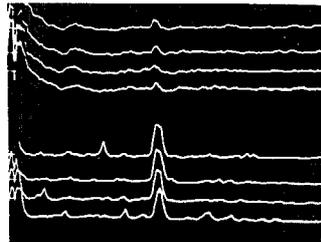
MATOPAN

↑
Echo (55°)

↑
Echo (75°)



SONAR



MATOPAN

↑
Echo (85°)

↑
Echo (90°)

Fig. 5.



Essais Matopan

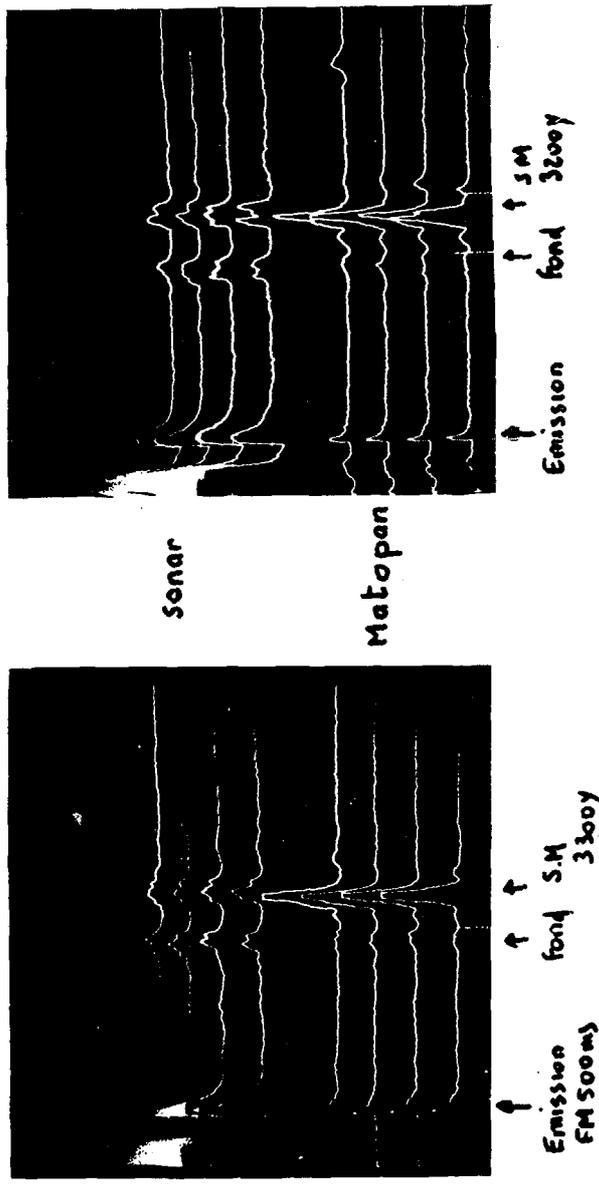
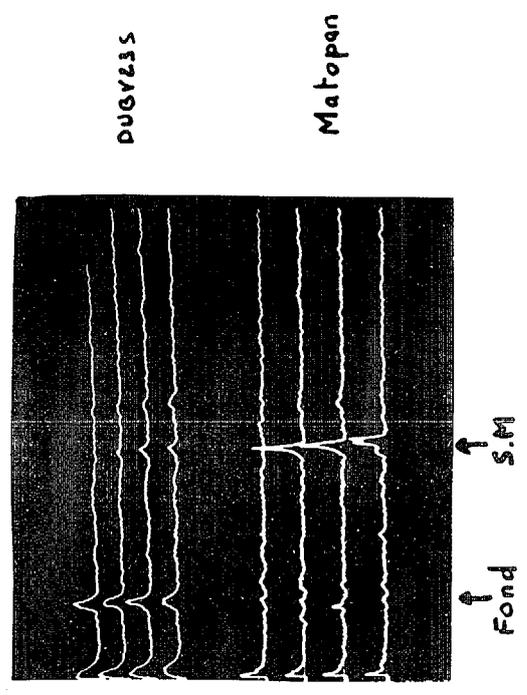


Fig. 6.

P16



Essais Matopan - Echos réels



PI 7

Fig. 7.



MATOPAN Réverbération

$\theta = 30m$ - Fonds 500m et 2000m

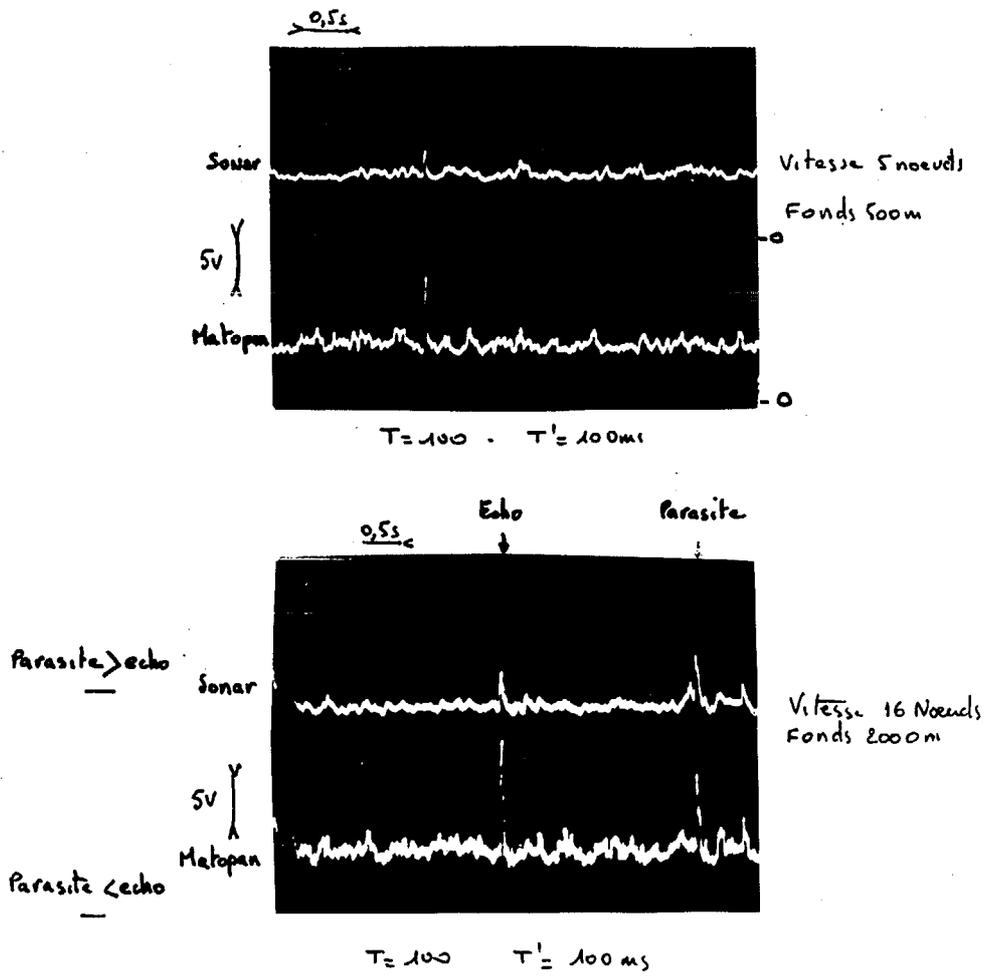


Fig. 8.

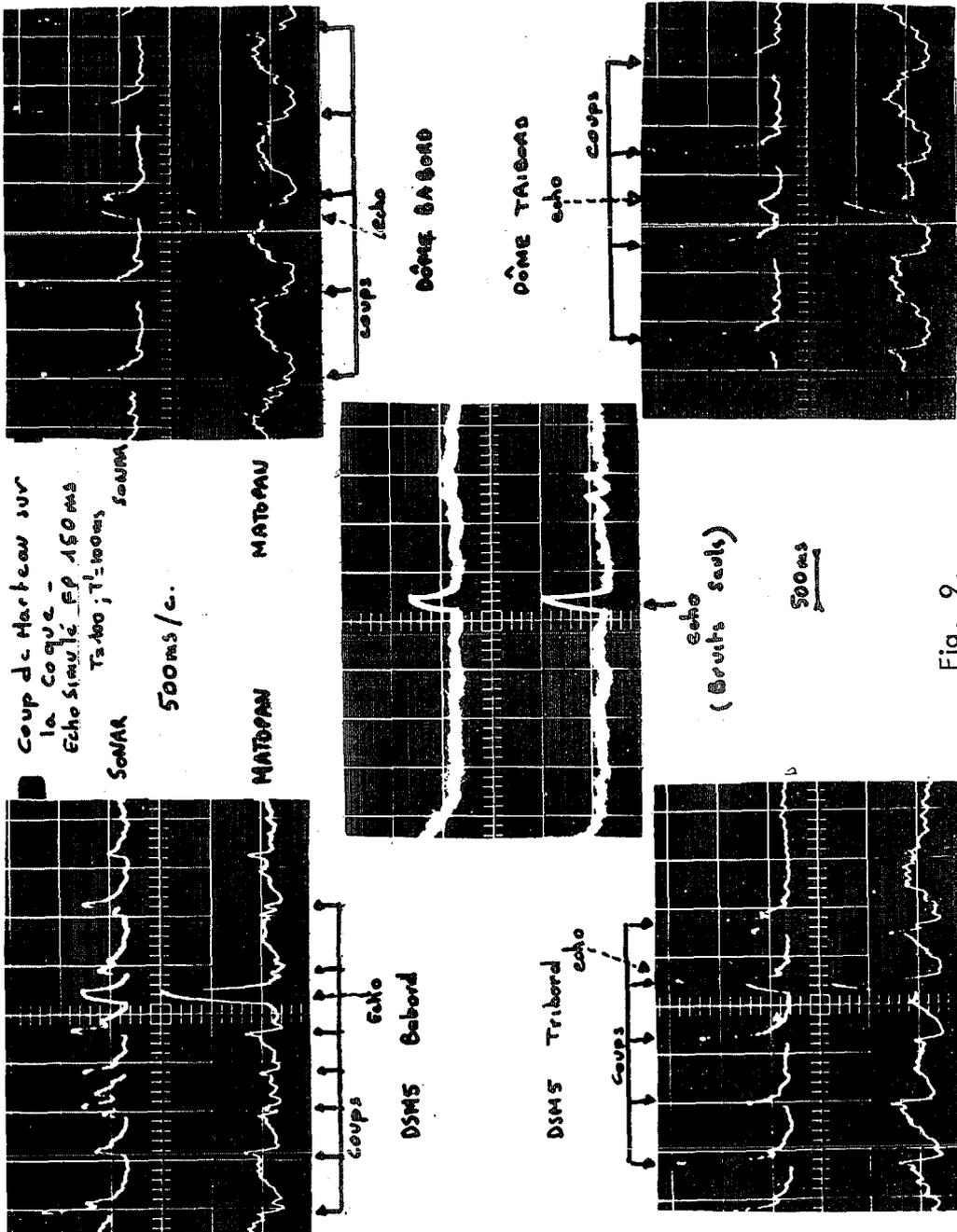


Fig. 9.

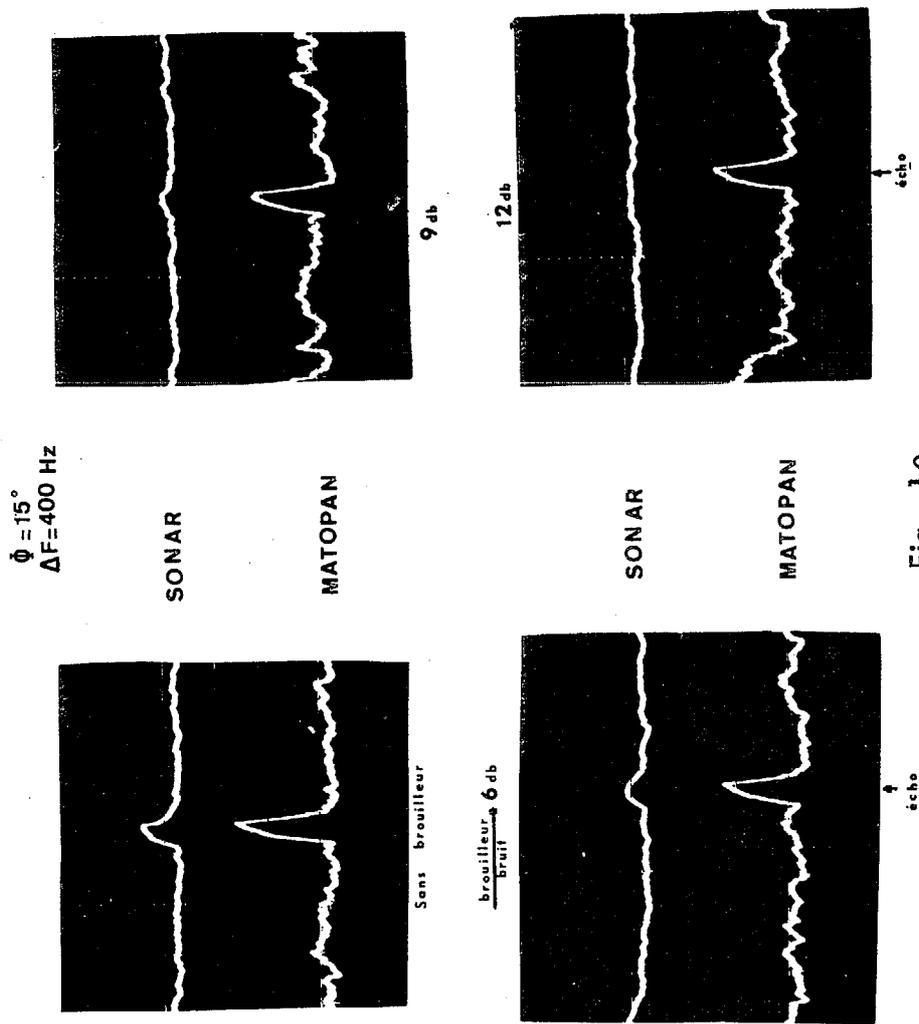


Fig. 10.

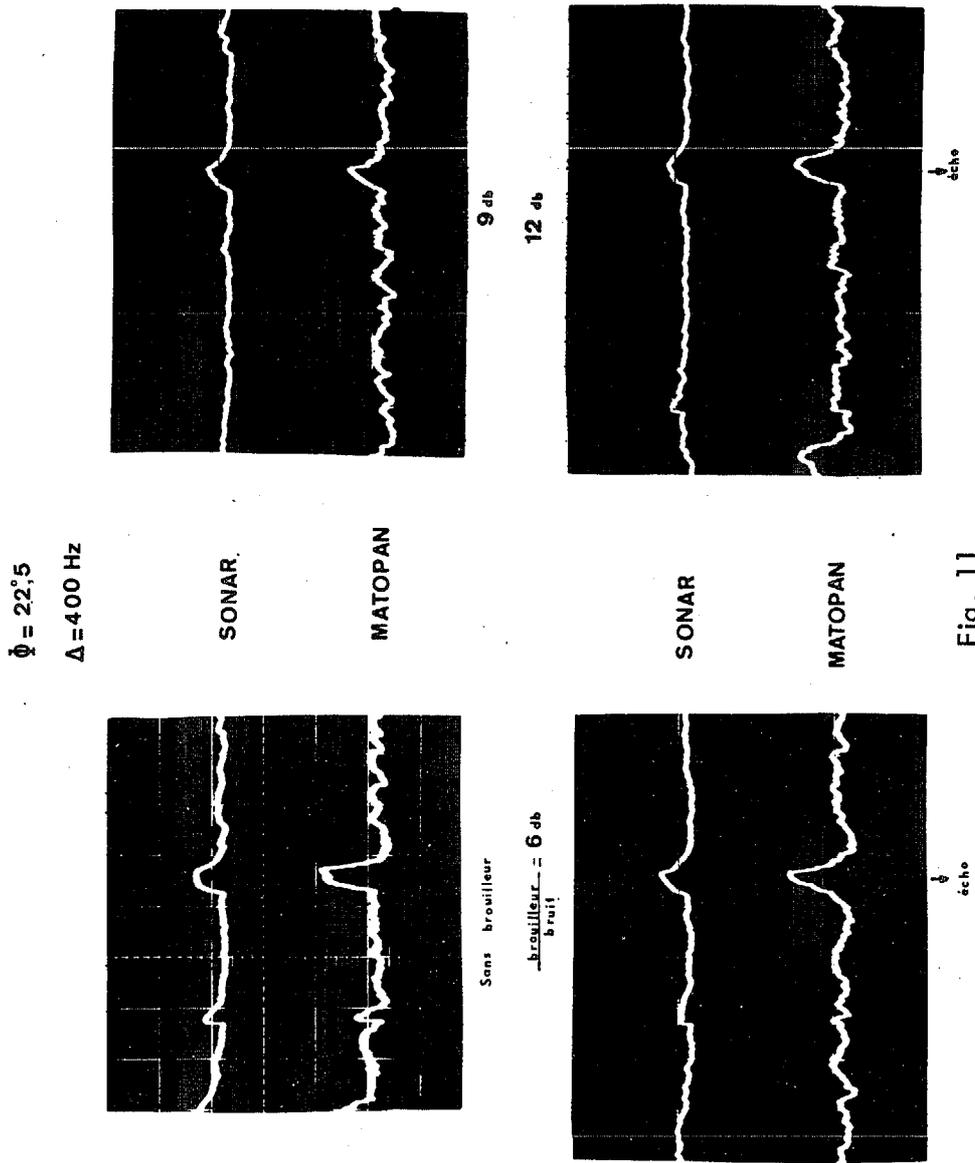


Fig. 11.