



DEUXIÈME COLLOQUE
SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL
ET SES APPLICATIONS
NICE - 5 AU 10 MAI 1969

16/1

REALISATION D'UN SYSTEME EXPERIMENTAL
DE COMPENSATION D'INTERCORRELATION

G. LEVASSEUR et C. LE DILY
INGENIEURS à la COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TELECOMMUNICATIONS
- C . I . T. -

Après avoir rappelé les travaux de Monsieur H. MERMOZ sur les systèmes qui, s'adaptant aux variations lentes des propriétés des bruits, permettent à chaque instant une optimisation du rapport S/B, les auteurs décrivent un appareil réalisé sur ce principe et destiné à l'expérimentation du procédé dans les conditions réelles d'exploitation à la mer.

La première partie expose la technologie utilisée et est accompagnée de plusieurs schémas de principe et de photographies du matériel. La seconde partie est consacrée à une manipulation mettant en évidence le gain parfois considérable apporté par le système et visible sur des oscillogrammes.

AN EXPERIMENTAL RECEIVER BASED UPON THE
MULTICHANNEL CROSSCORRELATION PROPERTIES

After a survey of H. MERMOZ's work on self-adaptative systems which take into account the slow variations of noise characteristics and optimize permanently the S/N ratio, the authors describe an actual model to be used for an experimentation on the normal sea-condition.

The first part of the paper, including schematics and pictures, gives some indications on the design and technology. A second part summarizes the results of a number of tests and shows the big improvement brought by the system and clearly visible on some CRT pictures.



DEUXIÈME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

16/3

NICE - 5 AU 10 MAI 1969

REALISATION D'UN SYSTEME EXPERIMENTAL DE COMPENSATION D'INTERCORRELATION

G. LEVASSEUR et C. LE DILY

INGENIEURS à la COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES TELECOMMUNICATIONS

- C . I . T. -

1. - INTRODUCTION

Monsieur H. MERMOZ, Directeur scientifique du Laboratoire d'acoustique sous-marine du BRUSC a confié à la CIT, la tâche de faire l'étude technologique et de réaliser un système expérimental de compensation d'intercorrélation sur le principe qu'il a lui-même proposé voici déjà plusieurs années. Ce principe consiste en la recherche d'une optimisation de la détection des signaux faibles par des récepteurs à plusieurs éléments. L'optimisation est possible dans le cas où les bruits présents sur les différentes entrées ne sont pas statistiquement indépendants, les résultats obtenus pouvant être d'autant meilleurs que la corrélation entre les bruits est plus importante.

2. - PRINCIPE DE L'EXPERIMENTATION

L'objectif assigné était de comparer à la mer, sur le bâtiment d'essais "L'ARAGO", les performances d'une voie préformée du Sonar DUEV-23 S (qui est le résultat de la somme pondérée des signaux apparaissant sur les différentes entrées) avec celles du dispositif précité qui s'adapte automatiquement aux variations des propriétés des bruits.

Le Sonar DUEV-23 S comprend 24 voies préformées chacune à partir de 12 colonnes du projecteur. Dans un but de simplification, l'expérimentation porte sur la voie associée au gisement 90° (voie 7), de façon à pouvoir négliger l'effet Doppler du bâtiment porteur.



La tension de sortie détectée et intégrée de cette voie préformée est envoyée sur l'une des entrées d'un oscilloscope à deux canaux (représentation type A), dont le balayage horizontal est synchronisé avec la cadence du Sonar. La tension de sortie également détectée et intégrée du système expérimental est appliquée sur la seconde entrée de l'oscilloscope permettant la comparaison permanente des signaux.

Le compensateur d'intercorrélation est un organe qui s'adapte avec une constante de temps T , aux variations lentes des propriétés statistiques des bruits, de façon à optimiser à chaque instant le rapport signal/bruit.

Un compensateur d'intercorrélation à N entrées fournit à sa sortie une tension comprenant un signal utile identique en amplitude et en phase aux N signaux d'entrée et un bruit de puissance au plus égale, et généralement inférieur à la puissance des bruits d'entrée.

Le traitement optimal (rapport signal/bruit maximal) des signaux issus de 12 colonnes d'une base Sonar nécessiterait l'emploi d'un compensateur à 12 entrées, organe d'une très grande complexité. Aussi, on préfère s'écarter légèrement du traitement optimal en remplaçant le compensateur d'intercorrélation à 12 entrées par 6 ou 11 compensateurs élémentaires à deux entrées, de réalisation plus simple.

La fonction du compensateur élémentaire étant d'améliorer le rapport signal/bruit par interaction des deux bruits d'entrée corrélés et son action étant d'autant plus efficace que cette corrélation est plus forte, il est indiqué dans cette simplification de traiter deux à deux les bruits issus des colonnes adjacentes de la base Sonar. Ce sont en effet, les bruits recueillis sur deux colonnes adjacentes qui présentent entre eux une corrélation maximale.

La réalisation du compensateur d'intercorrélation élémentaire à deux entrées est simplifiée si les conditions suivantes sont remplies :

- a) le signal utile appliqué sur la première entrée du compensateur est identique à celui appliqué sur la deuxième entrée.
- b) les puissances des bruits présents sur les deux entrées d'un même compensateur sont voisines.



c) la bande de fréquence est étroite.

3. - DECOMPOSITION DE LA FOURNITURE

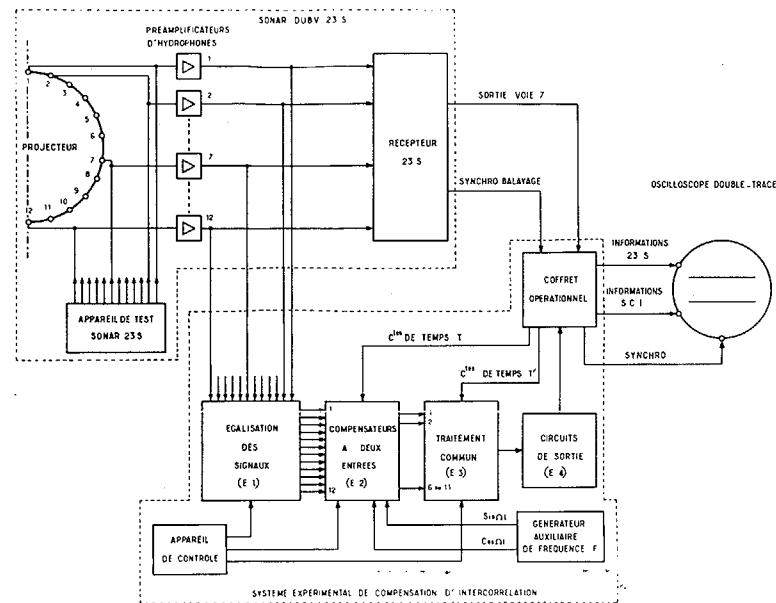


Schéma synoptique général du système expérimental de compensation d'intercorrélation

Les conditions a) et c) sont remplies par l'ensemble 1 qui met en phase les signaux provenant du gisement 90° et les filtre dans la bande considérée. La condition b) est satisfaite, car chaque compensateur d'intercorrélation élémentaire est alimenté par les tensions recueillies sur deux colonnes adjacentes.

L'ensemble 2 groupe 6 ou 11 compensateurs élémentaires, ce qui offre la possibilité de traiter les signaux provenant des colonnes 1-2, 3-4, 5-6, etc... dans le premier cas, ou 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, etc... dans le second.



Les signaux issus de l'ensemble 2 sont acheminés vers l'ensemble 3 qui fournit une tension unique alimentant le circuit de sortie (ensemble 4) précédant lui-même l'oscilloscope de comparaison.

Dans une première phase de l'expérimentation, des échos artificiels fournis par l'appareil de test du Sonar DUBV-23 S sont superposés aux bruits recueillis par les hydrophones 1 à 12, qui concourent à former la voie 7. A la sortie des préamplificateurs d'hydrophone, les signaux qui alimentent normalement le récepteur du Sonar DUBV-23 S sont prélevés en parallèle pour attaquer le système expérimental de compensation d'intercorrélation.

Dans la fourniture, étaient également prévus :

- un appareil de contrôle permettant le test à bord des ensembles 1, 2, 3 et 4.
- un générateur auxiliaire de fréquence fournissant deux tensions sinusoïdales déphasées de 90° , nécessaires au fonctionnement des compensateurs élémentaires à deux entrées.
- un coffret opérationnel permettant de centraliser au PC/ASM les différentes commandes, telles que la mise sous tension de l'ensemble, les constantes de temps des ensembles 2 et 3, les atténuateurs de l'ensemble 1, ainsi que les sorties des informations appliquées à l'oscilloscope de comparaison.

4. - EGALISATION DES SIGNAUX

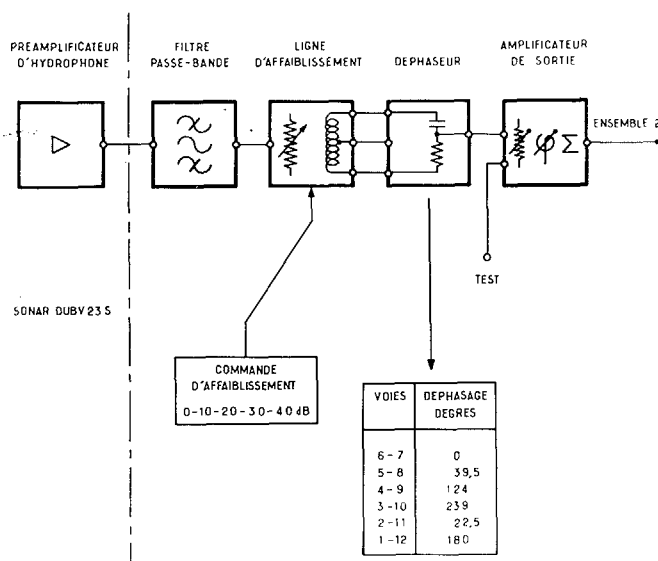


Figure 2
Diagrama sinoptico
de l'ensemble
1.
egalisation des
signaux.



L'ensemble 1 (Egalisation des signaux) a quatre fonctions :

- a) découpler le récepteur à compensateur d'intercorrélation du Sonar DUEV-23 S.
- b) s'adapter au niveau moyen des bruits recueillis par le projecteur.
- c) filtrer les bruits provenant des préamplificateurs d'hydrophones.
- d) rendre identique les 12 signaux d'échos artificiels émis par l'appareil de test.

Les préamplificateurs d'hydrophones du Sonar DUEV-23 S fournissent chacun un bruit global pouvant présenter une dynamique de 70 dB dans une bande de 2 kHz centrée sur la fréquence Sonar 4,9 kHz.

L'ensemble 1 comporte 12 chaînes composées chacune des éléments suivants :

- un filtre passe-bande à $4900 \text{ Hz} \pm 150 \text{ Hz}$.
- une ligne d'affaiblissement réglable à partir du coffret opérationnel de 0 à 40 dB par bonds de 10 dB.
- un déphaseur destiné à la remise en phase des signaux issus des préamplificateurs d'hydrophones.
- un amplificateur de sortie ajustable en amplitude et en phase.

Ainsi, les signaux appliqués aux 12 entrées de l'ensemble 2 sont de phase identique dans une dynamique réduite à 30 dB.

5. - COMPENSATEURS ELEMENTAIRES A DEUX ENTREES

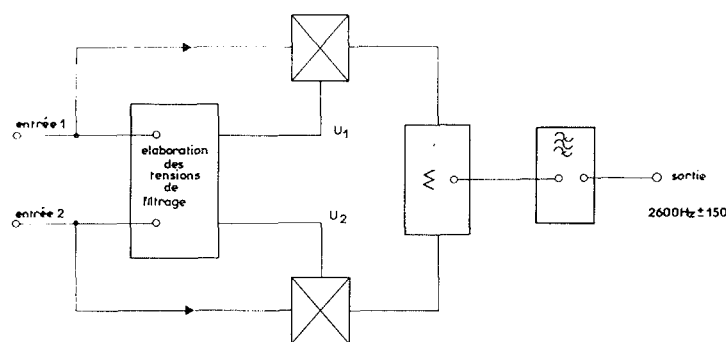
Le câblage de l'ensemble 2 est prévu pour recevoir 6 ou 11 compensateurs élémentaires à deux entrées identiques, correspondant à deux expérimentations différentes.

Ces compensateurs élémentaires à deux entrées qui constituent la pièce maîtresse du système ont, par leur complexité et les performances requises, nécessité une importante étude technique et technologique.



Le schéma synoptique fait apparaître quatre grandes fonctions essentielles :

- la mesure du coefficient complexe d'intercorrélation.
- l'élaboration des deux tensions de commande.
- le traitement des bruits d'entrée.
- la normalisation du signal de sortie.



COMPENSATEUR D'INTERCORRELATION

synoptique de fonctionnement

schéma synoptique du compensateur d'intercorrélation à deux entrées

Les parties réelles et imaginaires du coefficient d'intercorrélation permettent d'engendrer deux tensions U_1 et U_2 qui serviront ensuite à traiter respectivement les bruits présents sur les entrées 1 et 2. Ce traitement ne modifie pas la phase des signaux d'échos identiques appliqués aux entrées, seule l'amplitude est altérée.

Une première chaîne mesure la partie réelle $R(\theta)$ du coefficient d'intercorrélation θ à l'aide d'un phasemètre à écrêtage suivi d'un intégrateur et d'un correcteur sinus. Une seconde chaîne identique à la première, mais précédée sur une des entrées d'un déphaseur de 90° , mesure la partie imaginaire $I(\theta)$ du coefficient d'intercorrélation θ .



Les deux chaînes sont alimentées par deux sorties adjacentes de l'ensemble 1. Les grandeurs U_1 et U_2 sont des tensions sinusoïdales de fréquence F , délivrées par un générateur auxiliaire et calculées à partir des sorties continues, lentement variables, issues des correcteurs sinus. Elles ont une même amplitude qui, de même que leur différence de phase, est lentement variable. Après écrêtage, seule subsiste la différence de phase.

Le sous-ensemble de traitement des bruits d'entrée reçoit d'une part, les tensions de commande U_1 et U_2 et, d'autre part, l'information signal + bruit présente sur les deux entrées du compensateur élémentaire.

Ces tensions déphasées entre elles d'un angle $\mu + \varphi$ (φ étant l'angle de déphasage du bruit présent sur une entrée, par rapport au bruit de même fréquence et d'amplitude voisine présent sur l'autre entrée) modifient de telle façon la phase de ces bruits qu'ils sont théoriquement supprimés par addition et filtrage.

L'amplitude du signal à la sortie du circuit de sommation est perturbée en raison de la modification de sa phase imposée par les tensions de commande.

Un traitement secondaire (normalisation du signal de sortie) consiste à rendre l'amplitude de ce signal indépendante des tensions de commande.

En effet, à la sortie du circuit de sommation, et après filtrage, le signal a pour expression :

$$u = \sin \frac{\varphi}{2} \cos (\Omega - \omega) t$$

Pour effectuer cette normalisation, il est nécessaire d'appliquer le signal u à un amplificateur dont le gain varie suivant la loi :

$$G = \frac{k}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

A la suite de ce traitement, les 6 ou 11 signaux de sortie sont acheminés vers l'ensemble 3.



6. - TRAITEMENT COMMUN

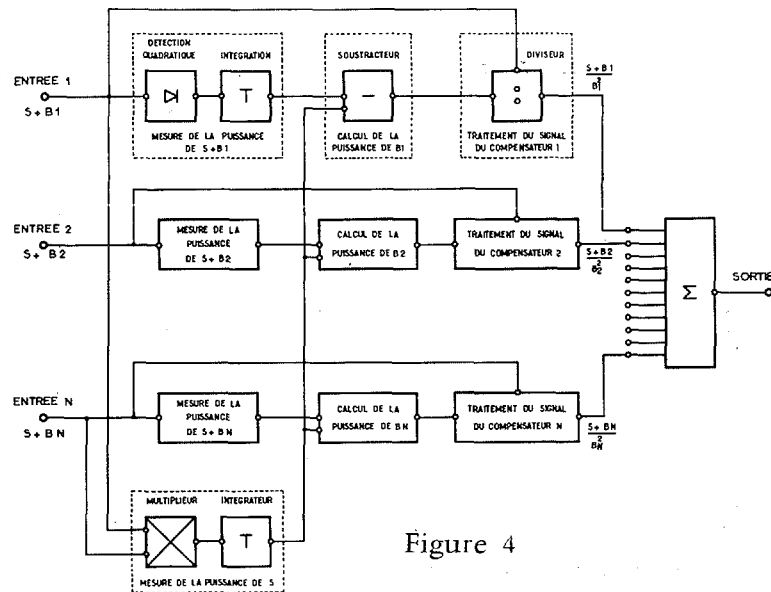


Figure 4

Schéma synoptique du traitement commun

Ce dernier se compose de 6 ou 11 chaînes identiques, les tensions recueillies aux sorties de ces chaînes sont sommées et la tension obtenue constitue la sortie du traitement commun. Chaque chaîne divise le signal de sortie d'un compensateur d'intercorrélacion par la puissance de bruit présent sur chaque entrée. Celle-ci est obtenue en retranchant la puissance du signal écho qui est identique sur chaque entrée de la puissance du signal (écho + bruit) apparaissant à cet endroit.

La puissance du signal écho est obtenue à l'aide d'un multiplieur suivi d'un intégrateur. Ce multiplieur est alimenté par les signaux des entrées de rang extrême, sur lesquelles les bruits sont les plus faiblement intercorrélés.

La sortie unique de l'ensemble de traitement commun est appliquée à l'ensemble 4.



7. - CIRCUIT DE SORTIE

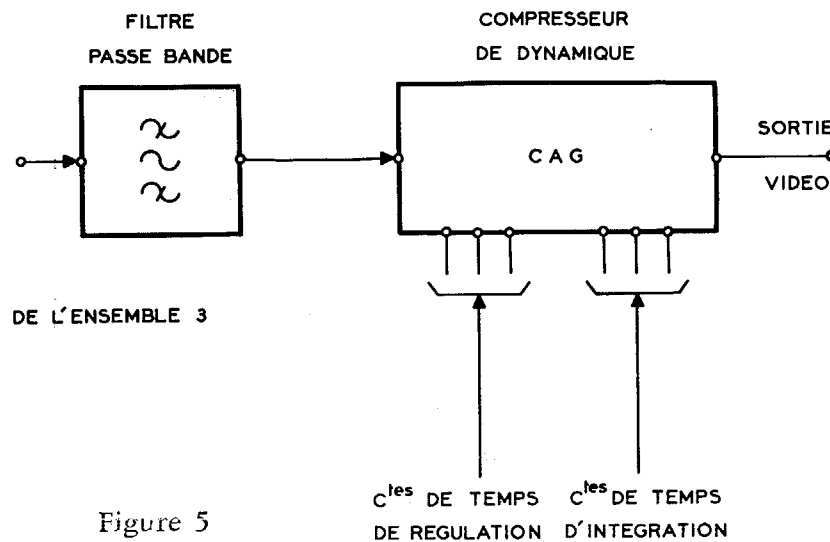


Figure 5

Schéma synoptique du circuit de sortie

Ce circuit de sortie remplit trois fonctions distinctes :

- filtrer le signal dans une bande de largeur égale à celle du filtre de voie du Sonar FV-23 S.
- réduire la dynamique du signal filtré.
- détecter et intégrer le signal obtenu avant de l'envoyer sur la deuxième entrée de l'oscilloscope double trace, par l'intermédiaire du coffret opérationnel.

Les fonctions de compression de dynamique, de détection et d'intégration sont assurées par un amplificateur à gain auto-régulé d'un type classique.

8. - REALISATION TECHNOLOGIQUE

Le système expérimental de compensation d'intercorrélation embarqué sur "L'ARAGO" en Février 1969 comporte un armoire de soute renfermant les ensembles 1 à 5 et un coffret opérationnel situé au PC/ASM. En outre, il a été fourni un banc d'essai permettant le contrôle et le réglage en laboratoire de chaque compensateur élémentaire à deux entrées.



Les éléments fonctionnels entrant dans la composition des ensembles 1 à 5 ont été réalisés sous forme de cartes de circuits imprimés de dimensions standardisées 120 x 115 mm, raccordées au panier support par l'intermédiaire de connecteurs enfichables de 25 ou 29 points.

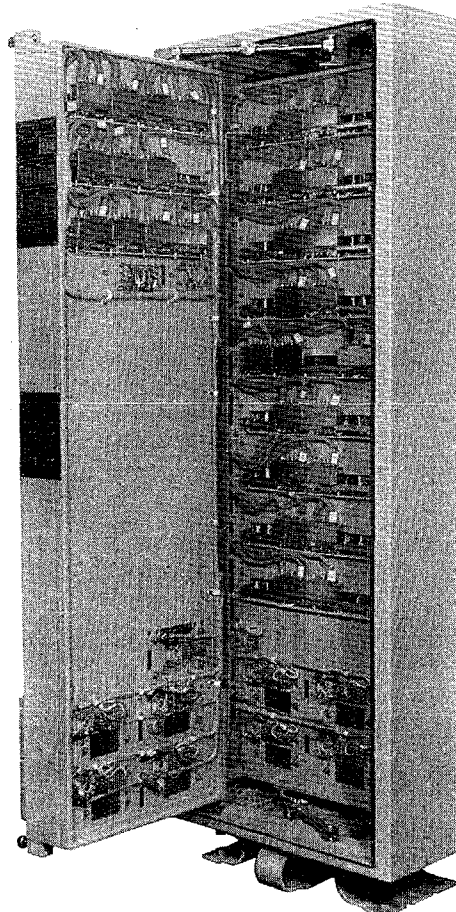


Figure 6

Armoire de soute portes ouvertes

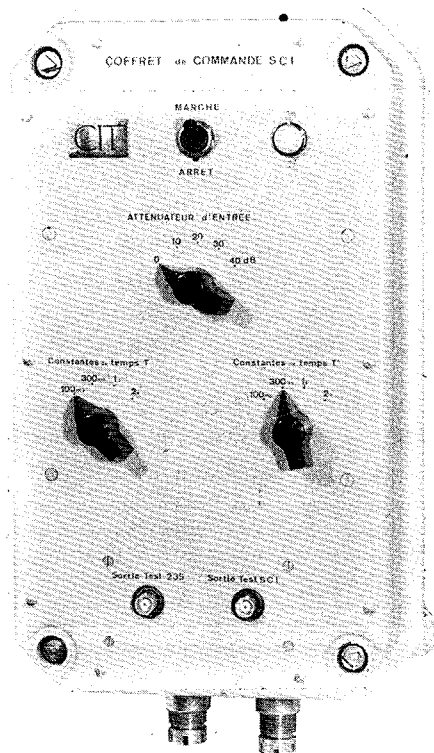


Figure 7
Coffret opérationnel
Face avant

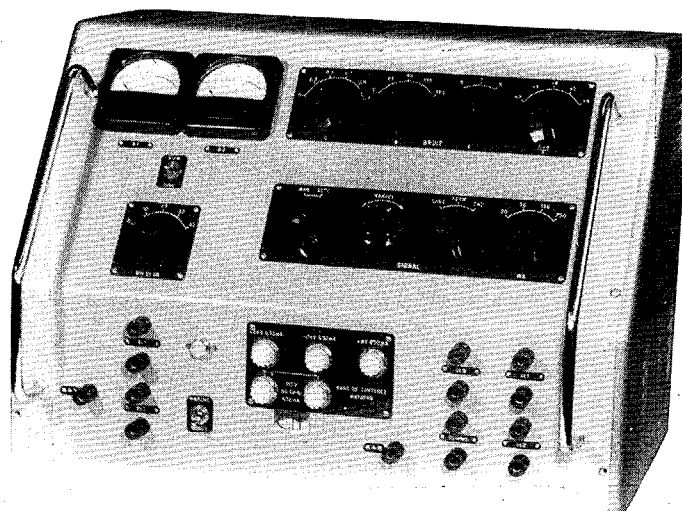


Figure 8
Banc d'essais - Face avant -



L'alvéole également standard, permet de recevoir 25 cartes disposées au pas de 15 mm; lorsque les cartes comportent des éléments volumineux, elles sont placées tous les 2 ou 3 pas. Le câblage entre les cartes est réalisé sur l'alvéole. Le raccordement entre le panier et le câblage fixe des panneaux de l'armoire s'effectue au moyen de fichiers amovibles. Dans le cas du compensateur élémentaire à deux entrées (ensemble 2) et du traitement commun (ensemble 3), une technologie particulière a été choisie afin d'occuper au maximum le volume disponible : l'élément fonctionnel est un assemblage constitué par une carte mère, sur laquelle viennent se monter des modules de petites dimensions réalisés sur circuits imprimés et placés perpendiculairement à la carte mère. Chaque module accomplit une fonction simple du schéma de principe : écrêteur, modulateur, intégrateur, correcteur sinus, etc... De même, chaque assemblage remplit une fonction complexe, telle que :

- mesure du coefficient complexe d'intercorrélacion.
- élaboration des tensions de commande.
- traitement des bruits d'entrée et normalisation du signal de sortie.
- traitement du signal d'un compensateur.
- traitement commun.

Les trois premiers de ces assemblages constituent un compensateur élémentaire; ils occupent un volume d'environ 1,2 dm³. La puissance dissipée en chaleur pour chaque compensateur à deux entrées est d'environ 7 watts. Il y a autant de cartes de traitement du signal que de compensateurs (6 ou 11), la carte de traitement commun est unique.

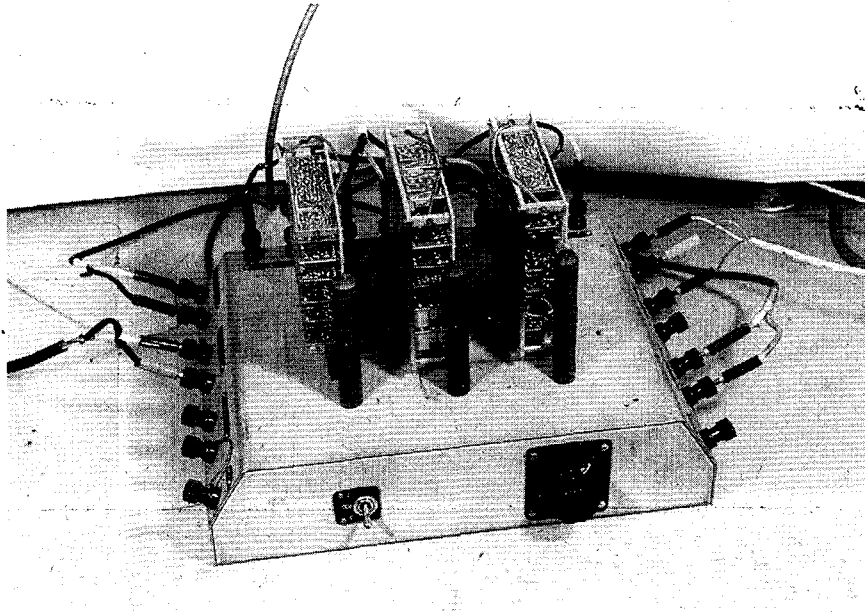


Figure 9

Compensateur élémentaire à deux entrées en cours de
contrôle sur banc de raccordement

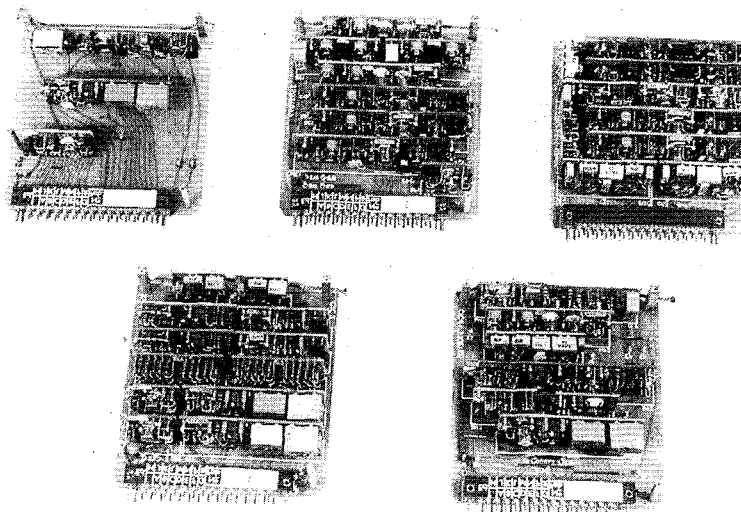


Figure 10

Cartes constituant les ensembles 2 et 3

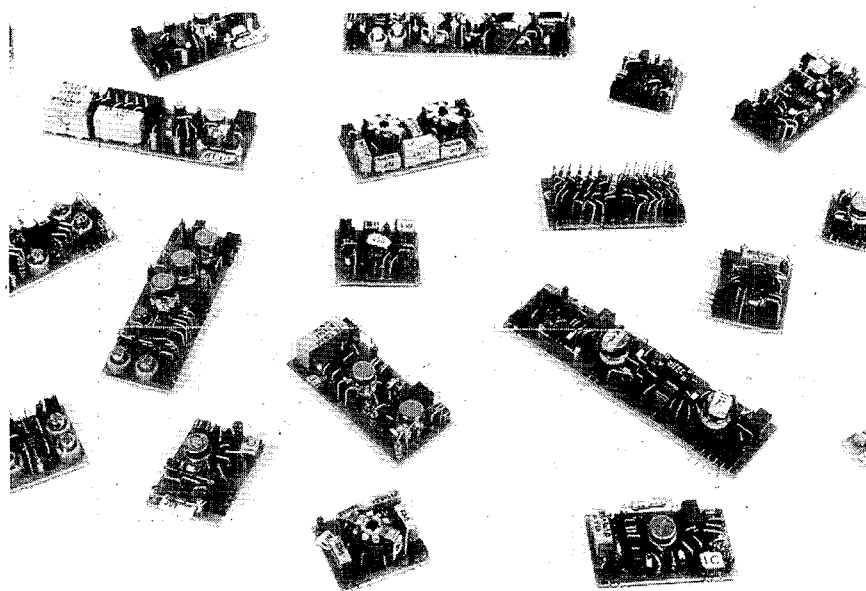


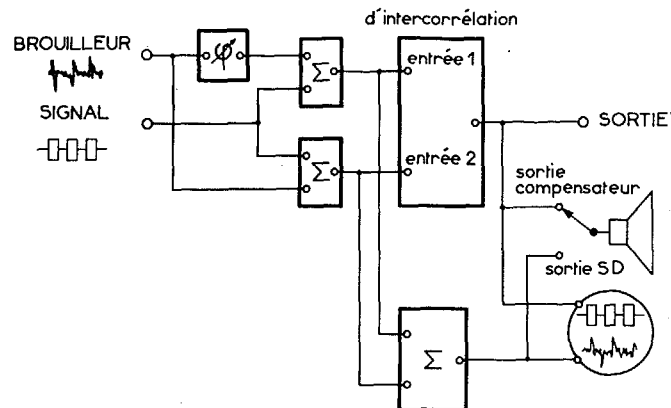
Figure 11

Quelques modules entrant dans la composition des cartes des ensembles 2 et 3

Etant donné la complexité du schéma de principe et la précision requise par certaines fonctions, le stade de miniaturisation obtenu est très acceptable pour une maquette traitant une seule voie Sonar. Si le système s'avère intéressant et qu'il soit envisagé d'équiper toutes les voies d'un Sonar de compensateurs d'intercorrélation, il est possible pour une fabrication de série de diminuer encore notablement l'encombrement et la consommation. L'expérience acquise à ce sujet montre que dès maintenant, ce projet ne serait pas utopique.

9. - PERFORMANCES D'UN COMPENSATEUR A DEUX ENTREES

Une manipulation permet de mettre en évidence les résultats obtenus avec un compensateur élémentaire à deux entrées.



LE SIGNAL EST CADENCÉ ET MODULÉ EN FRÉQUENCE
DANS LA BANDE 4,7 A 5,2 KHz.

LE BROUILLEUR EST UN BRUIT GAUSSIEN, DANS LA
BANDE 4,7 A 5,2 KHz.

LE DÉPHASAGE φ EST VARIABLE DE 0 A 360°.

Figure 12

Schéma de principe de la manipulation

Un générateur de bruit blanc filtré dans la bande utile $4900 \text{ Hz} \pm 150 \text{ Hz}$ est appliqué avec la même amplitude et une phase variable sur les deux entrées d'un compensateur élémentaire. On lui superpose un signal modulé en fréquence et cadencé, occupant la même largeur de bande. Le rapport signal/bruit est inférieur à l'unité (- 4 dB).

Un oscilloscope à double trace permet de comparer le signal issu du compensateur et celui délivré par un circuit effectuant la somme directe des informations présentes sur les deux entrées de ce même compensateur.

Les oscillogrammes montrent la forme des signaux que l'on obtient pour différents déphasages du bruit. La trace supérieure représente le signal de sortie du compensateur.

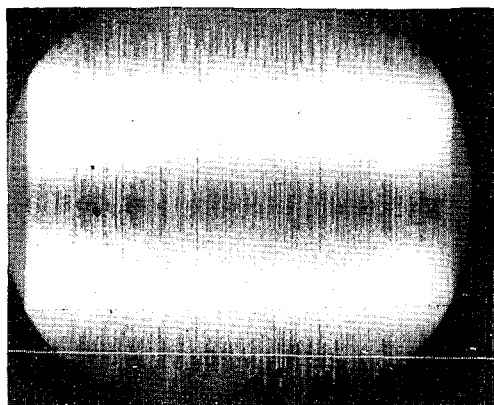


Figure 13 a)

$$\varphi = \pm 1^\circ$$

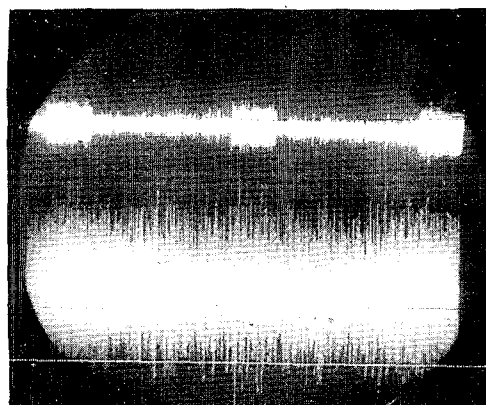


Figure 13 b)

$$\varphi = \pm 15^\circ$$

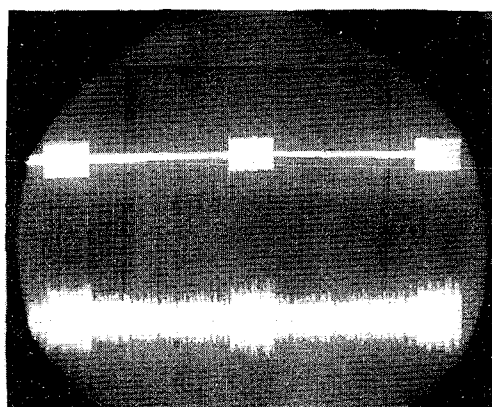


Figure 13 c)

$$\varphi = \pm 160^\circ$$

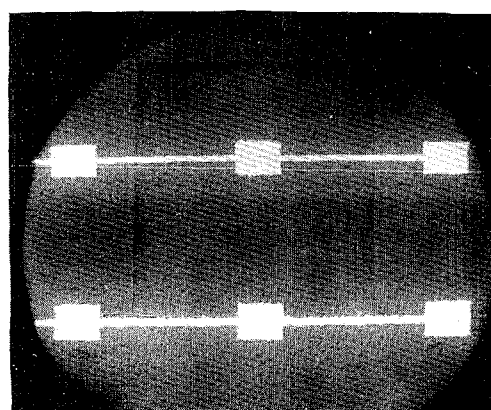


Figure 13 d)

$$\varphi = \pm 180^\circ$$

Oscillogrammes de comparaison entre la
sortie d'un compensateur élémentaire et
la sortie de la somme directe



On observe que lorsque le signal et le bruit proviennent de la même direction, le résultat obtenu est identique sur les deux traces. Par contre, le compensateur apporte un gain appréciable (≥ 20 dB), lorsque le déphasage des bruits présents sur les deux entrées varie de 15° à 345° , alors que ce gain n'est obtenu en sortie somme directe, que pour la valeur particulière de $\varphi = 180^\circ$, pour laquelle il y a en principe élimination complète des bruits.

Naturellement, le brouilleur peut être une fréquence pure dans la bande utile, il en est de même pour le signal qui peut même être permanent si l'on travaille avec des rapports signal/bruit très faibles (≤ 1).

Le domaine d'application des compensateurs d'inter-corrélation n'est pas limité à l'acoustique sous-marine, il peut rendre les mêmes services dans le domaine radio, pour lutter contre des brouilleurs mobiles ou difficilement localisables.



BIBLIOGRAPHIE

- H. MERMOZ - Filtrage adapté et utilisation optimale d'une antenne. Cours d'été consacré au traitement du signal - Grenoble 14-26 Septembre 1964.
- H. MERMOZ - Signaux faibles et antennes composées. Annales des Télécommunications Juillet-Août 1963.
- H. MERMOZ - Détection des signaux faibles en présence de bruits corrélés. Compensateur d'inter-corrélation. Annales des Télécommunications Janvier-Février 1966.
- G. LEVASSEUR - Multiplieur analogique. Brevet français PV n° 87 322 - n° 1 511 035.
- G. LEVASSEUR - Circuit de multiplication analogique.
C. LE DILY - Brevet français PV n° 93 280 - n° 1 517 023.
- C. LE DILY - Calculateur analogique à grande dynamique. Brevet français PV n° 152 146.
- C. LE DILY - Quadripôle fournissant un déphasage constant dans une large bande, du 17 Mai 1968. Brevet français PV n° 136 579 du 18.1.1968.
-