

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



EXPERIMENTATION D'UN TRAITEMENT SONAR ADAPTATIF A LARGE BANDE *

EXPERIMENTATION OF A WIDE BANDWIDTH ADAPTIVE SONAR PROCESSING

G. BIENVENU - C. LEGAY

Thomson-C.S.F. - Division des Activités Sous-Marines
06802 - Cagnes-sur-Mer - France

RESUME

On présente l'expérimentation d'un traitement d'antenne adaptatif à large bande en vue de l'estimation d'un signal inconnu sauf en direction, l'application de ce traitement étant faite ici dans le domaine de l'écoute passive en sonar. Les expériences, conduites sur les bases d'essai des lacs de Chaudanne et de Castillon, étaient destinées à comparer les performances du traitement adaptatif et du traitement classique dans des conditions réelles suffisamment stables et connues pour qu'on puisse effectuer des mesures significatives.

Le dispositif expérimental qui comprend une maquette de traitement en temps réel, est décrit brièvement. Les résultats obtenus dans diverses configurations de champs de bruit illustrent tout l'intérêt du traitement adaptatif. On observe un gain sensible en pouvoir de perception d'un signal en présence de brouilleurs, une forte élimination des brouilleurs à large bande ainsi qu'une nette amélioration du pouvoir séparateur angulaire.

SUMMARY

This paper presents the experimentation of an adaptive antenna processing for the estimation of an unknown wide bandwidth signal arriving from a known direction. This processing is applied here to passive listening in sonar. The trials took place on the lakes of Chaudanne and Castillon and they were aimed to compare the performance of the adaptive processing versus that of the classical one in a real environment but with sufficiently stable and known conditions in order to obtain significant measurements.

The experimental equipment comprising a real time processing mock-up is briefly described. The results obtained in various configurations of the noise field show the very advantage of the adaptive processing. One observes a noticeable gain in the perception of a signal in the presence of interfering noise sources ; a strong elimination of wide-bandwidth interfering noise sources as well as a marked improvement of the angular resolution.

* Etude financée par la Direction de Recherches et Moyens d'Essais - Paris (France)



1. - INTRODUCTION.

L'étude des traitements optimaux de détection ou d'estimation en sonar actif ou passif, a montré [1][2] que l'on pouvait utiliser comme traitement spatial commun l'estimation optimale d'un signal inconnu sauf en direction qui constitue une généralisation de la notion d'antenne. La réalisation adaptative à large bande de ce traitement dans le cas où le milieu est inconnu et lentement non stationnaire, a été étudiée précédemment d'un point de vue théorique et par simulation sur ordinateur [1] et a reçu le nom "d'antenne adaptative". On présente ici son expérimentation en passif au moyen d'une maquette de traitement en temps réel sur bases d'essai des lacs de Chaudanne et Castillon. Le but de ces essais est de déterminer les performances de l'antenne adaptative dans des conditions réelles mais toutefois suffisamment stables, connues et aisément modifiables. Les performances sont appréciées par le gain par rapport à une antenne classique en pouvoir de perception d'un signal en présence de brouilleurs et en pouvoir séparateur angulaire.

2. - MISE EN OEUVRE DE L'EXPERIMENTATION.

2.1. Réalisation du traitement adaptatif.

Le traitement adaptatif est destiné à donner la meilleure estimation d'un signal $s(t)$ caractérisé par le fait qu'il est identique sur les K capteurs de l'antenne de réception. On suppose donc que les temps de retard d'arrivée de l'onde acoustique sur les différents capteurs ont été rattrapés préalablement. L'estimation optimale du signal $s(t)$ (au sens du maximum de vraisemblance ou des moindres carrés), se traduit par la minimisation de la puissance de sortie de l'antenne soumise à la contrainte que le signal $s(t)$ n'est pas modifié. La réalisation adaptative de

ce traitement est effectuée ici par l'introduction derrière les différents capteurs de l'antenne de réception de filtres numériques travaillant sur les signaux d'entrée échantillonnés. Leurs pondérations \vec{W} sont corrigées en permanence de manière itérative en fonction d'une estimation instantanée de la matrice de corrélation des échantillons d'entrée \vec{X} [1]. Le traitement est dit en temps réel dans la mesure où les nouvelles pondérations \vec{W}_{n+1} sont calculées en fonction de \vec{W}_n et \vec{X}_n à chaque période d'échantillonnage des signaux d'entrée.

Un schéma synoptique simplifié de la maquette de traitement est donné Fig. 1. Elle effectue le traitement classique (simple sommation des signaux issus des capteurs) et le traitement adaptatif pour une voie d'écoute passive dans la bande 2-4 kHz avec une antenne comportant 12 capteurs. Les filtres numériques possèdent jusqu'à 32 pondérations pour chaque entrée. La maquette est en outre dotée de divers dispositifs destinés à faire varier les paramètres du traitement adaptatif.

2.2. Dispositif d'expérimentation.

L'expérimentation a été conduite sur les bases d'essai de la Marine Nationale des lacs de Chaudanne (présentant de bonnes propriétés de stabilité du bruit de fond) et de Castillon (avantageux pour le faible niveau de réverbération).

Le dispositif expérimental comprend (Fig.2):

- Des bases d'émission large bande de niveau d'émission réglable disposées en divers points autour du chaland.
- Une antenne de réception orientable comportant 12 capteurs équidistants (séparés de $\frac{\lambda}{2}$ à 4,6 kHz) et focalisée mécaniquement sur les bases d'émission.

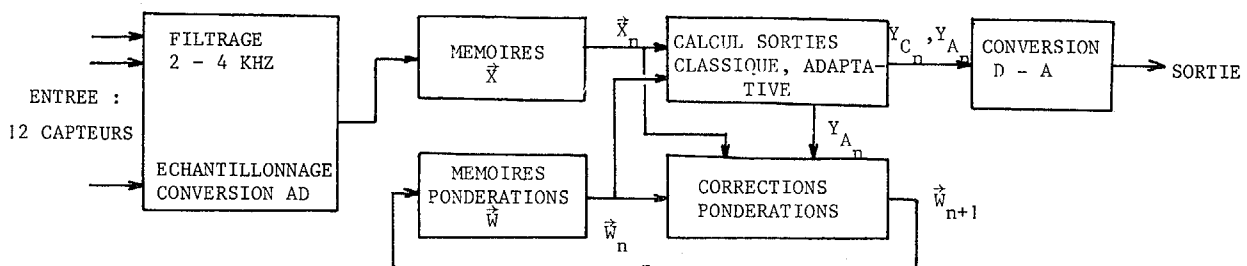


FIGURE 1 : MAQUETTE DE TRAITEMENT



EXPERIMENTATION D'UN TRAITEMENT SONAR ADAPTATIF A LARGE BANDE

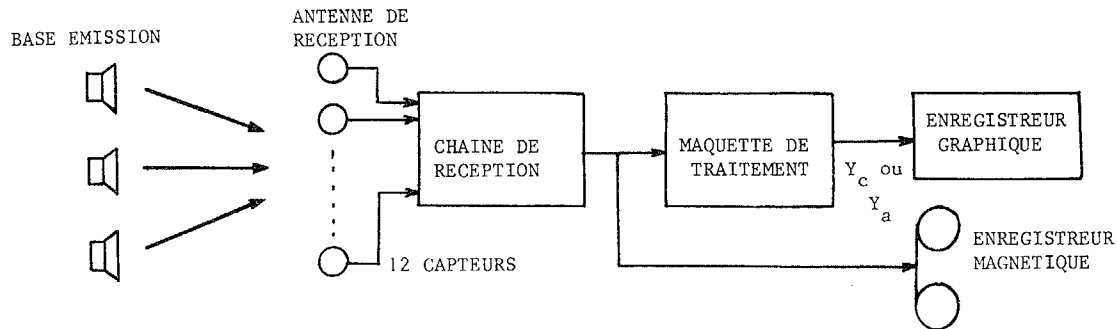


FIGURE 2 : DISPOSITIF EXPERIMENTAL

- Une chaîne électronique de réception comprenant des amplificateurs, des filtres et des cellules de correction d'amplitude et de temps de retard en vue d'ajuster l'identité du signal reçu sur les différents capteurs.
- La maquette de traitement.
- Un enregistreur graphique couplé sur l'antenne de réception en vue du tracé de cartes de champ de bruit.

3. - RESULTATS.

L'expérimentation a porté sur une comparaison entre les traitements classique et adaptatif pour ce qui est de la perception d'un signal en présence de brouilleurs, de l'élimination de brouilleurs large bande et du pouvoir séparateur angulaire dans diverses configurations de champ de bruit en niveau et en position.

3.1. Gain de perception d'un signal.

Le gain de perception entre les deux traitements traduit l'apport énergétique relatif dû au signal par rapport aux brouilleurs en sortie d'antenne. Pour l'obtenir, on mesure les niveaux de sortie des deux traitements en fonction du rapport signal à bruit à l'entrée. Le niveau de perception pour un type de traitement, est le rapport signal à bruit d'entrée qui donne en sortie un niveau supérieur de 3 dB à celui que l'on a sans signal. La différence entre les niveaux de perception des traitements adaptatif et classique, constitue le gain de perception. Le tableau I résume les gains de perception obtenus dans diverses configurations de brouilleurs (angle, rapport S/B d'entrée, nature).

Nature du signal	Brouilleur (s)			Gain de perception
	Angle	Niveau	Nature	
Large bande	10°	0 dB	Large bande	6 dB
		10 dB		11 dB
Large bande	20°	0 dB	Large bande	1,5 dB
		10 dB		3 dB
Large bande	10°	0 dB	Large bande	5,5 dB
		+20°		5 dB
Large bande	10°	10 dB	Large bande	8,5 dB
		+20°		
Large bande	10°	0 dB	3,2 kHz + 2,3 kHz	6 dB
		10 dB		13,5 dB
Sin 3 kHz	10°	0 dB	4 raies	8 dB
		10 dB		13 dB

TABLEAU I

On constate que le gain est d'autant plus élevé que le brouilleur est plus fort et plus près de l'axe de l'antenne. La légère baisse de performance pour un brouilleur large bande à 10° et 10 dB par rapport au brouilleur sinusoïdal est à attribuer à l'augmentation du bruit isotrope apporté par la réverbération sur les parois du lac qui n'est pas sensible pour un signal sinusoïdal où toutes les réflexions parasites sont à la même fréquence.

3.2. Élimination de brouilleurs large bande.

Afin d'illustrer les performances d'élimination de brouilleurs directifs large bande par le traitement adaptatif, on présente sur la Fig. 3 l'analyse spectrale de la sortie des deux traitements dans les cas suivants :

- a) Signal sinusoïdal 3 kHz, niveau 0 dB
Brouilleur à raies à 10°, niveau 18 dB
- b) Signal sinusoïdal 2,5 kHz, niveau 0 dB
Brouilleur large bande à 10°, niveau 12 dB

EXPERIMENTATION D'UN TRAITEMENT SONAR ADAPTATIF A LARGE BANDE

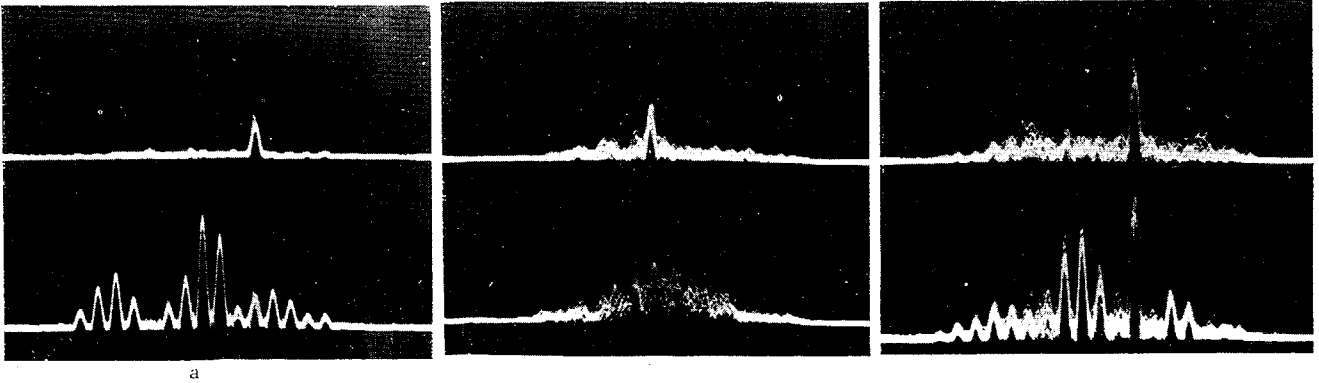


FIGURE 3 : ELIMINATION DE BROUILLEURS LARGE BANDE.

c) Signal sinusoïdal 3 kHz, niveau 0 dB
Brouilleur à raies à 10°, niveau 8 dB.

Ces expériences montrent la puissance d'élimination des brouilleurs de raies en particulier que possède le traitement adaptatif (oscillogramme du haut).

3.3. Gain en pouvoir séparateur.

Dans un contexte d'écoute passive, le pouvoir d'élimination des brouilleurs ne doit pas être considéré seulement en soi, mais aussi dans l'optique de la détection et de la séparation des diverses sources de bruit dans le champ de l'antenne. A titre d'exemple, l'importante réduction d'un brouilleur de fort niveau proche de la direction d'observation où se trouve un faible signal, ne garantit aucunement la perception de ce dernier. Il convient donc d'analyser les performances du traitement adaptatif sur le plan de la limitation de l'ambiguïté spatiale et du pouvoir séparateur angulaire.

Une étude précédente avait montré que le pouvoir séparateur de l'antenne adaptative dépend du niveau des sources et augmente avec lui. On présente ici des cartes de champ de bruit obtenues sur le lac de Castillon. On a disposé des sources en divers points de l'azimut, certaines proches (à une vingtaine de mètres de l'antenne de réception), et d'autres lointaines (base d'émission sur un autre chalant notée NR ou source de bruit "naturelle" créée par les vannes d'écoulement du barrage). Leur nature (large bande : L.B. ; brouilleur de raies : RAIES, sinusoïde) ainsi que leur niveau énergétique N_E estimé par rapport au bruit isotrope, sont reportés sur les différents graphiques de la Fig. 4. Le tracé des cartes de champs de bruit a été effectué en faisant tourner l'antenne de réception en gisement dans une plage de 180°, suffisamment lentement pour ne pas

gêner l'adaptation (0,25° par seconde). On distingue sur les tracés de la Fig. 4 de nombreuses bouffées de pointes de bruit dues à des risées ou à des chocs non loin de l'antenne de réception, qui ont des allures différentes sur les tracés classique et adaptatif, ceux-ci ayant été réalisés l'un après l'autre.

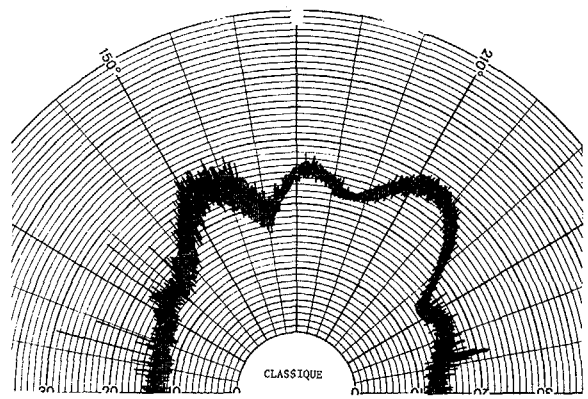
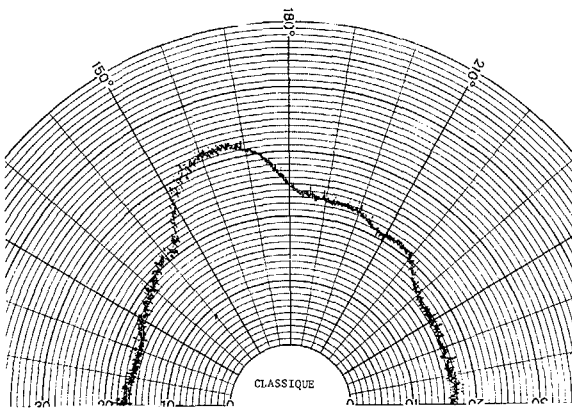
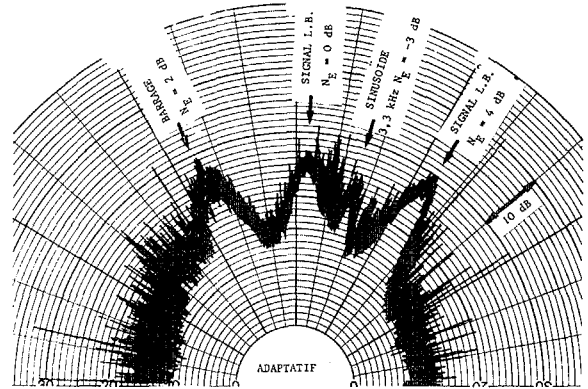
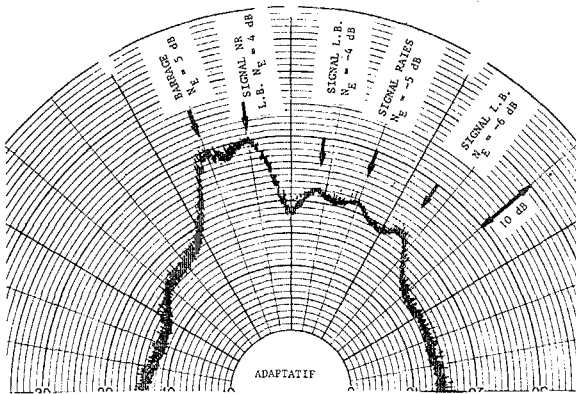
Les cartes de champs de bruit montrent tout l'intérêt de l'antenne adaptative, que ce soit pour la séparation de sources de même niveau (Fig. 4 a), la mise en évidence de signaux faibles cachés par des signaux forts (Fig. 4 a et 4 c) ou la suppression de fausses sources créées par les lobes secondaires de l'antenne classique (Fig. 4 c et 4 d). On observe une notable amélioration du pouvoir séparateur, la largeur à 3 dB de l'image d'une source passe de 15° à environ 7° pour un signal à large bande de niveau d'entrée 0 dB (Fig. 4 c) alors que pour la très forte source sinusoïdale (3 kHz) de la Fig. 4 d, le gain en directivité est considérable.

Il est à noter toutefois que l'on observe sur la Fig. 4, une légère baisse (de 1 à 2 dB) du niveau obtenu pour les différentes sources en sortie de l'antenne adaptative par rapport à l'antenne classique.

Ceci est dû aux imperfections du plan d'onde provoquées par des phénomènes de trajets multiples et réflexions diverses particulièrement sensibles dans le lac où notamment les parois qui sont relativement proches de l'antenne de réception, créent des trajets multiples en gisement. Ces phénomènes dégradent l'identité du signal sur les différents capteurs surtout pour des signaux sinusoïdaux pour lesquels les interférences dues aux trajets multiples sont fortement corrélées avec le trajet principal alors que les divers trajets peuvent être décorrélés pour des signaux à large bande du fait de la différence de temps de parcours. Il en résulte une tentative d'élimination de la source par le traitement adaptatif qui explique la baisse de

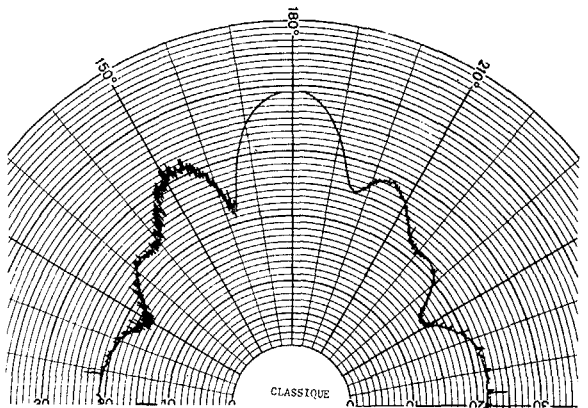
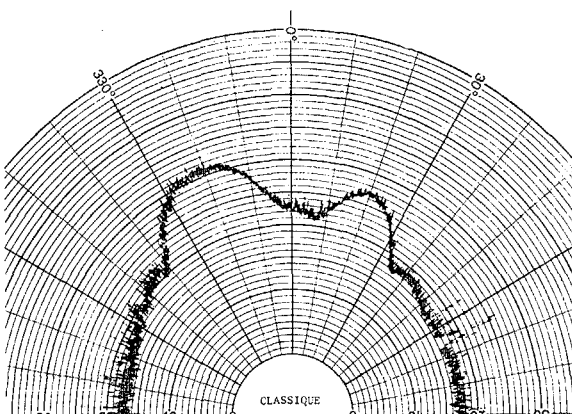
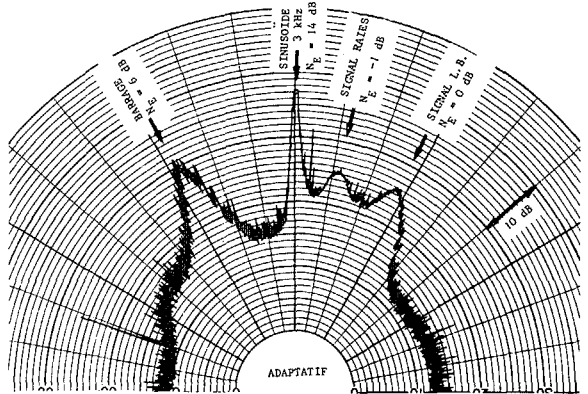
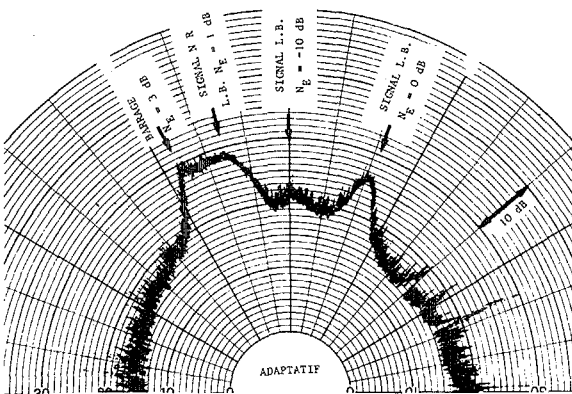


EXPERIMENTATION D'UN TRAITEMENT SONAR ADAPTATIF A LARGE BANDE



A)

B)



C)

D)

FIGURE 4 : CARTES DE CHAMPS DE BRUIT

EXPERIMENTATION D'UN TRAITEMENT SONAR ADAPTATIF À LARGE BANDE

niveau, cet effet étant d'autant plus prononcé que le rapport entre les densités spectrales du signal et du bruit est élevé. Dans le contexte de l'écoute passive, où les signaux reçus sont de bas niveau, cet effet reste peu important ainsi qu'en témoignent les tracés de la Fig. 4, et se trouve largement compensé par l'amélioration du pouvoir séparateur et la forte réjection des brouilleurs.

4. - CONCLUSION.

L'expérimentation du traitement adaptatif à large bande en passif a confirmé par ses résultats dans des conditions réelles sur base d'essai, la nette amélioration des performances du traitement classique que laissaient présager l'étude théorique et la simulation sur ordinateur. L'antenne adaptative semble constituer une étape importante dans le traitement sonar destiné à l'écoute passive.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. BIENVENU "Traitement d'antenne adaptatif à large bande pour les sonars actifs ou passifs" Quatrième Colloque sur le traitement du signal et ses applications (1973).
- [2] G. BIENVENU "Détection passive de sources ponctuelles dans un bruit isotrope" Cinquième Colloque sur le traitement du signal et ses applications (1975).