



TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 1^{er} au 5 juin 1971

ETUDE D'ECHOS DE SOUS-MARINS CORRESPONDANT A DES IMPULSIONS F.M.
DE FAIBLE DUREE.

ISC MANOTTE de l'E.C.A.N. SAINT-TROPEZ.

RESUME

Des expériences sont réalisées à l'E.C.A.N. Saint-TROPEZ pour étudier des échos de sous-marins correspondant à des émissions modulées linéairement en fréquence, pendant une durée relativement courte (20 à 100 ms).

Ces échos peuvent être traités par un filtre adapté au signal d'émission ou par un détecteur non cohérent. On n'observe une supériorité du traitement cohérent que dans le cas particulier du sous-marin vu par le travers. Dans le cas général cet avantage disparaît.

SUMMARY

The E.C.A.N. Saint-TROPEZ makes experimental investigations of short, frequency linear modulated pulses reflected by submarines. The pulse length varies from 20 to 100 milliseconds.

These echoes may be processed by a non coherent system or by a matched filter.

The superiority of the coherent process is seen in the peculiar case of a beam aspect submarine; Otherwise this advantage disappears.



INTRODUCTION

Des essais en mer sont réalisés par l'E.C.A.N. de St-TROPEZ pour étudier la réponse des sous-marins à des impulsions modulées linéairement en fréquence. Les impulsions utilisées sont nécessairement courtes (20 à 100 ms).

Dans ce cas, l'expérience montre que la performance du filtre adapté au signal d'émission n'est supérieure à celle des détecteurs non cohérents, que dans le cas particulier du sous-marin vu par le travers.

Après avoir décrit sommairement les conditions expérimentales, nous donnerons les principaux résultats.

Nous verrons que l'hypothèse essentielle pour la théorie du filtre adapté (à savoir, l'assimilation d'un écho au signal d'émission) n'est pas en général justifiée. Nous proposerons une autre hypothèse, plus réaliste.

Dans tout ce qui suit, nous appellerons signal le signal d'émission ou toute copie de ce signal, et écho la réponse du sous-marin.



DESCRIPTION DES ESSAIS

Les échos sont enregistrés en mer suivant le schéma de la figure 1.

Un ensemble émission DUPE 1 X est installé à bord d'un bâtiment immobile ou dérivant lentement.

Les hydrophones sont immergés à une profondeur de 50 ou 100 mètres et maintenus à peu près verticaux. Leur diagramme de directivité est donné figure 2. Le niveau d'émission est de 97 dB. La fréquence moyenne d'émission est 32 kHz.

Le sous-marin, de type DAPHNE, décrit une trajectoire rectiligne, à vitesse lente (3 ou 4 noeuds) et à une immersion de 100 m. Il est ainsi possible d'avoir une valeur approchée de l'inclinaison θ .

Avant de préciser le détail des mesures, rappelons l'hypothèse essentielle faite pour justifier le choix du filtre adapté. L'écho à traiter est grossièrement identique au signal d'émission, ou à une succession de 2 ou 3 signaux faciles à séparer, provenant de points brillants. Le filtre adapté restitue l'énergie du signal de durée T pendant un temps t appelé durée de l'impulsion comprimée. Tout se passe comme si la puissance du signal avait été multipliée par le rapport T/t.

Pour vérifier cette hypothèse, le dépouillement des enregistrements est effectué à l'aide du montage figure 3.



Les échos sont traités simultanément :

- par une ligne dispersive adaptée au signal d'émission, de caractéristiques $B = 5 \text{ kHz}$ $T = 20 \text{ ms}$ (référence 1)
- par l'amplificateur A de bande passante B permettant la mesure de la puissance moyenne des échos.

Soit U_L la sortie de la ligne dispersive et U_A la sortie de l'amplificateur A.

Si nous appliquons à l'entrée commune un signal, il y a entre U_L et U_A un rapport K de 20 dB, représentatif du taux de compression.

Il n'en est pas de même, et de fort loin, si le signal est remplacé par des échos, ainsi que le montrent les résultats suivants.



RESULTATS

La figure 4 représente le gain en puissance K fonction de l'inclinaison θ .

- Le gain "théorique" de 20 dB est presque obtenu pour quelques échos, si θ est voisin de 90° , c'est à dire lorsque le sous-marin est vu par le travers (ce qui montre, s'il en était besoin, que l'expérience est correcte).

- En moyenne, sur 50 échos correspondant à $\theta \neq 90^\circ$, K est inférieur à 5 dB : 15 dB de moins que pour un signal, ce qui est beaucoup.

L'assimilation des échos au signal d'émission n'est donc pas dans le cas général, confirmée par l'expérience.

Il est permis d'avancer une hypothèse plus réaliste. Tout se passe comme si un écho était formé d'une suite de signaux. La ligne dispersive utilisée délivre à sa sortie une suite d'impulsions correspondant à chacun de ces signaux (figure 5).

La puissance à la sortie du filtre à large bande est la somme des contributions des différents signaux présents en même temps à l'entrée. Deux signaux sont présents en même temps à l'entrée s'ils proviennent de points réflecteurs dont la différence des distances d au détecteur est inférieure à $ct/2$ (c étant la vitesse du son dans l'eau de mer).



Le nombre N de signaux présents en même temps à l'entrée du filtre croît alors avec T . Il est raisonnable de penser que la puissance d'un écho croît avec N , donc avec T . Il y a bien sûr une limite à cela : d est nécessairement inférieur à la longueur apparente d_M du sous-marin cherché, ce qui correspond à une limite pour T de 20 à 50 ms environ.

Les figures 6 et 7 illustrent ce qui vient d'être dit.

L'hypothèse faite plus haut, confirmée par l'expérience nous permet d'écrire la loi expérimentale suivante, relative à la puissance moyenne d'un écho de sous-marin.

Pour des durées d'impulsions T inférieures à 20 ou 50 ms, la puissance moyenne d'un écho de sous-marin est une fonction croissante de T . Si T est inférieur à 10 ou 20 ms, cette puissance est à peu près proportionnelle à T .

La puissance moyenne ne suffit pas à identifier un écho : il faut aussi donner son spectre.

L'expression bande B d'un signal modulé en fréquence définit généralement l'excursion de fréquence pendant la durée T . Appelons bande instantanée du signal, pendant un temps t aussi petit que l'on désire, l'excursion de fréquence pendant le temps t . Dans le cas de la modulation linéaire de fréquence on a $b = B t/T$.

La bande d'un écho de sous-marin est B , mais il est facile de voir, d'après ce qui précède, que sa bande instantanée b_e peut être beaucoup plus grande que b .

La limite supérieure de b_e est B . Cette limite peut être atteinte si $d_M \geq cT/2$
($d_M \geq 15$ mètres pour $T = 20$ ms). Ce phénomène peut être mis en évidence par de nombreuses expériences.



Nous en citerons deux :

- Soit le montage de la figure 8

Les bandes passantes des filtres F_1 et F_2 sont disjointes et appartiennent à la bande B d'émission. Nous appliquons à l'entrée un signal ou un écho. Nous observons les tensions détectées U_1 et U_2 à la sortie des deux filtres et le produit $U_1 U_2$ de ces tensions.

Dans le cas du signal, le produit $U_1 U_2$ est à peu près nul, puisque par définition les fréquences F_1 et F_2 ne peuvent exister en même temps. Dans le cas de l'écho, le produit $U_1 U_2$ n'est pas nul. Ce type d'expérience permet, avec des moyens simples, d'estimer la bande instantanée d'un écho.

Avec $B = 3\ 000$ Hz, $T = 100$ ms, nous déduisons l'ordre de grandeur de la bande instantanée b_e de l'écho :
1 500 Hz environ.

- Dans une deuxième série d'expériences,

nous appliquons un signal ou un écho à l'entrée d'un détecteur du genre convoluteur hétérodyne (Référence 2). Un résultat typique est donné figure 9. Le signal apparaît sur un seul des filtres mobiles. L'écho apparaît sur 5 ou 6 des filtres mobiles, décalés en temps de 12 ms les uns par rapport aux autres.

Avec $B = 3\ 000$ Hz, $T = 100$ ms, on retrouve 1 500 Hz pour l'ordre de grandeur de la bande instantanée de l'écho.



CONCLUSIONS

Nous devons tenir compte de ces résultats pour choisir le type de traitement réalisé par nos détecteurs, et pour identifier un écho moyen.

Choix du type de traitement

Si, pour des raisons diverses, nous pouvons assurer que le sous-marin cherché est vu par le travers, il faut adopter sans hésiter le traitement cohérent.

Dans le cas général, le gain apporté par le traitement cohérent est illusoire : 5 dB au lieu de 20, qui sont largement compensés par l'intégration à la sortie du détecteur non cohérent, qui mérite ainsi d'être choisi.

Tout ceci est valable seulement pour des impulsions de faible durée. Si T est grand, le traitement cohérent a peut-être de l'intérêt, mais les résultats obtenus pour des impulsions courtes permettent de prévoir l'existence d'une limite supérieure du taux de compression possible.

Identification d'un écho moyen

Identifier un écho, c'est donner un modèle mathématique le décrivant en fonction de paramètres assez bien définis. Ce modèle permet des calculs susceptibles d'aider l'expérience et sert de base à la définition de générateurs d'échos absolument nécessaires pour l'étude, le réglage ou la maintenance de détecteurs.

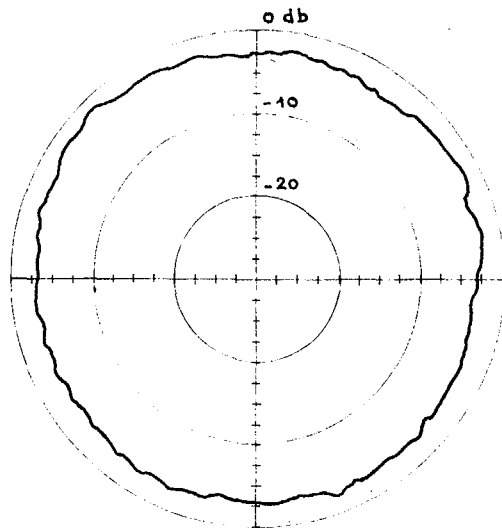
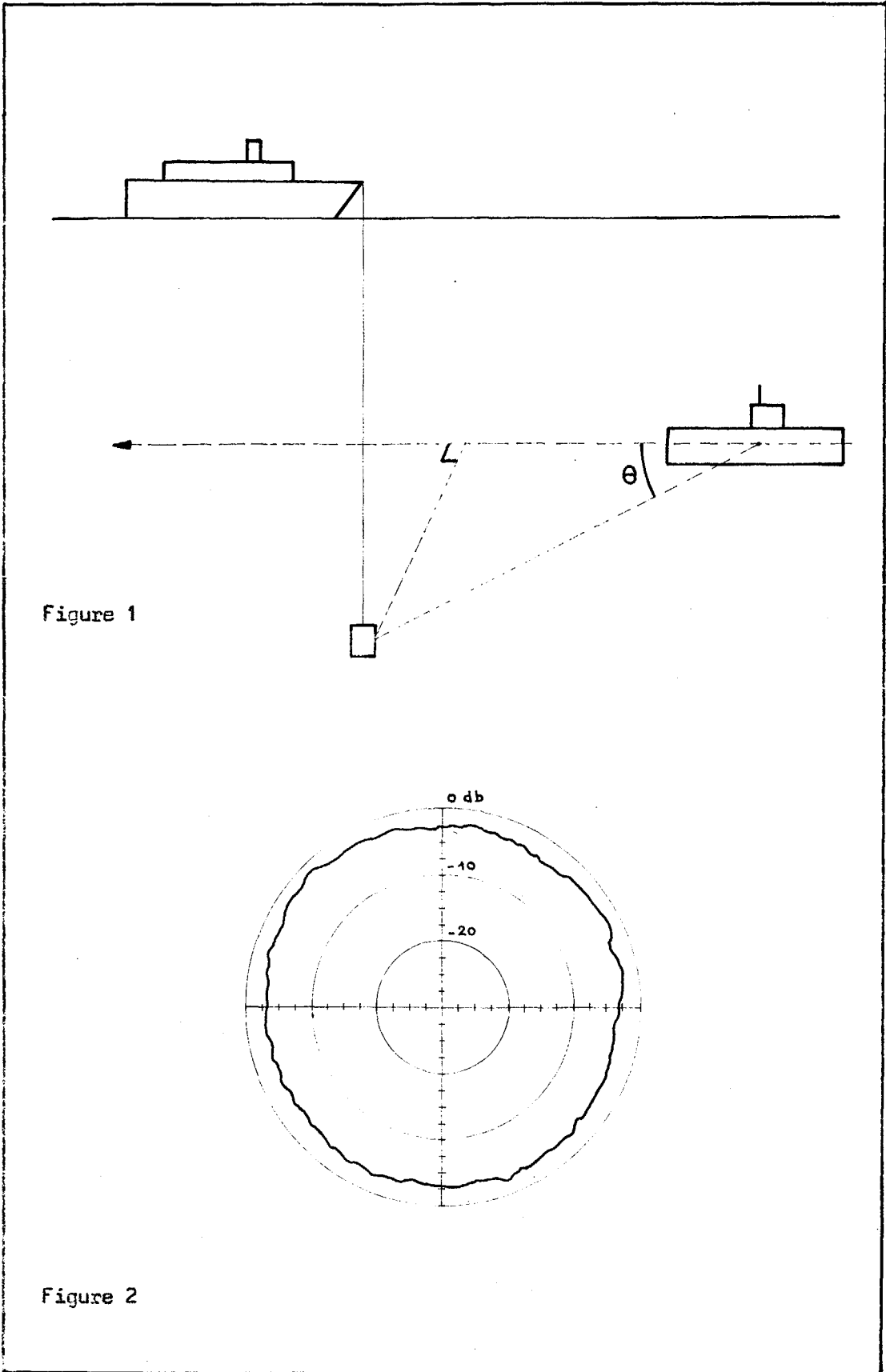
Généralement, un écho est assimilé au signal d'émission, et cette identification peut entraîner des erreurs importantes. En particulier, le traitement du signal par un détecteur ne constitue pas toujours un test de bon fonctionnement.



Nous essayons d'identifier un écho moyen, à partir d'observations d'échos réels. Un écho réel quelconque est en général différent de cet écho moyen, mais si les erreurs ainsi introduites sont plus faibles que celles qui sont dues à l'assimilation d'un écho au signal, nous aurons réalisé un progrès.

Nous connaissons l'allure des fonctions reliant la puissance et la bande instantanée d'un écho moyen aux caractères de l'émission. Il est trop tôt pour préciser les coefficients de ces fonctions. Il nous serait agréable de recevoir le concours de personnes travaillant dans le même sens.

- [1] TOURNOIS (P). Les lignes à retard acoustiques dispersives pour la compression d'impulsion (Colloque de NICE - 1967).
- [2] MERNIZ (H). Quelques aspects des techniques du filtre adapté (Colloque de NICE - 1967).



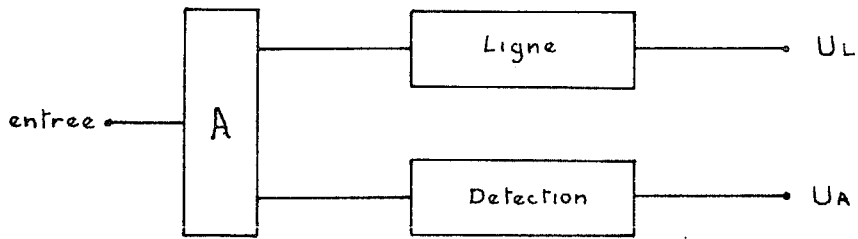


Figure 3. mesure de K

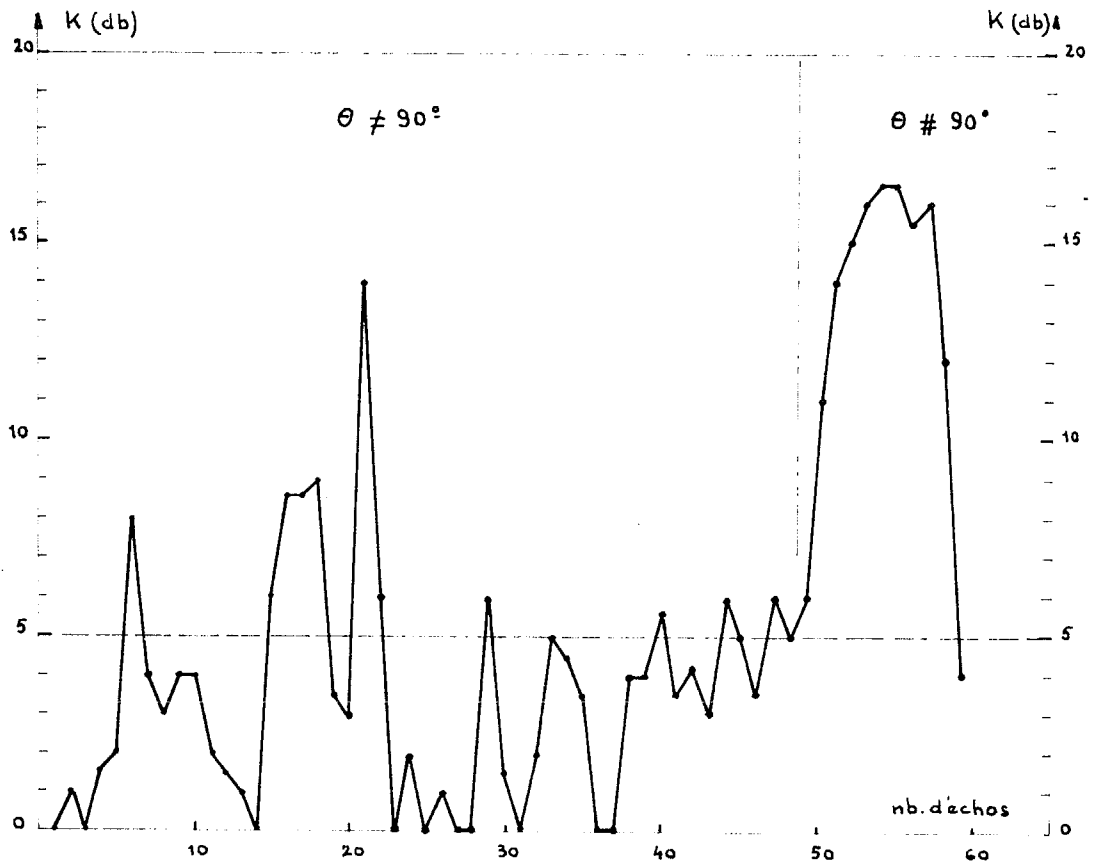


Figure 4. $K = f(\theta)$

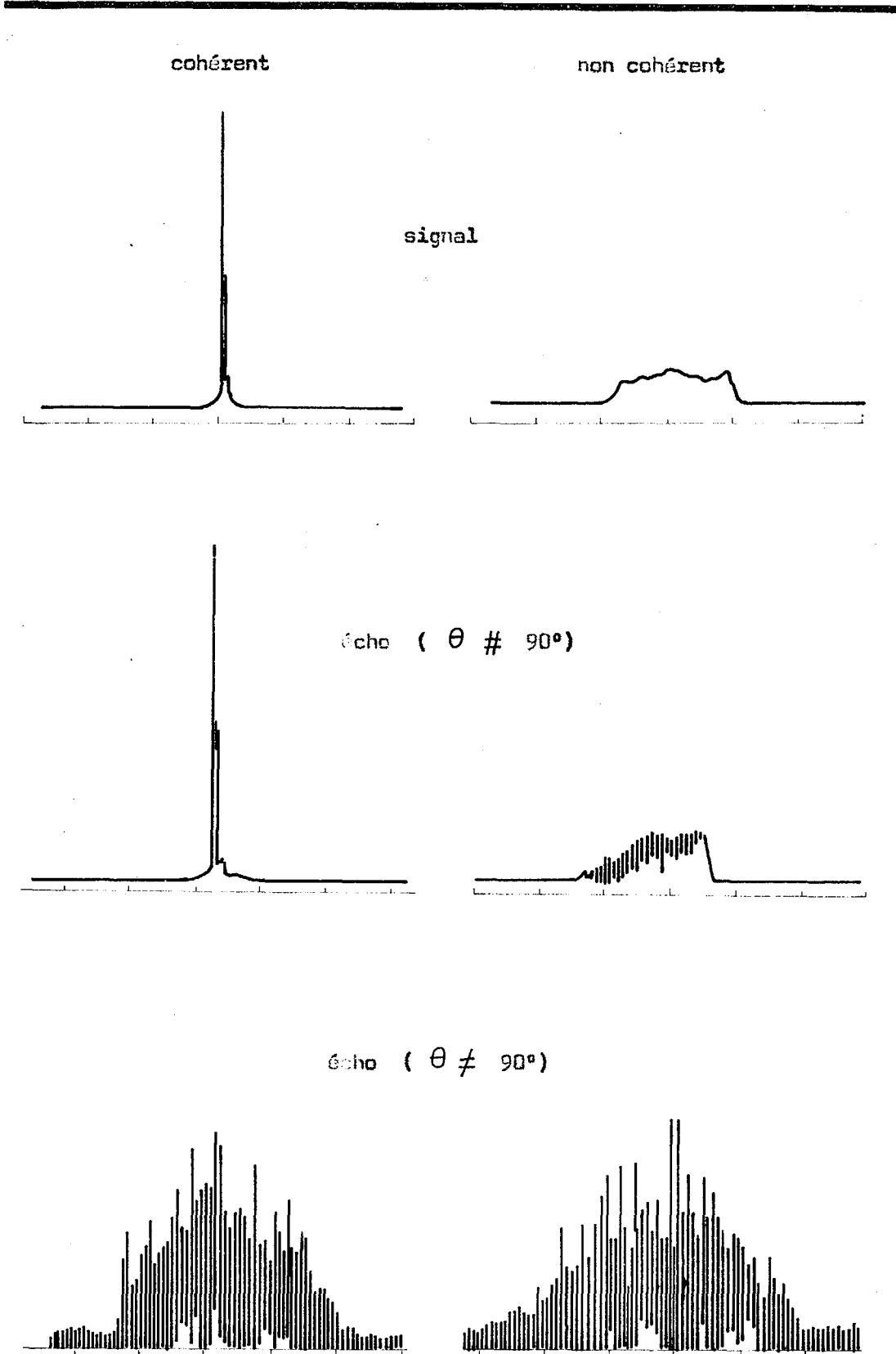


Figure 5

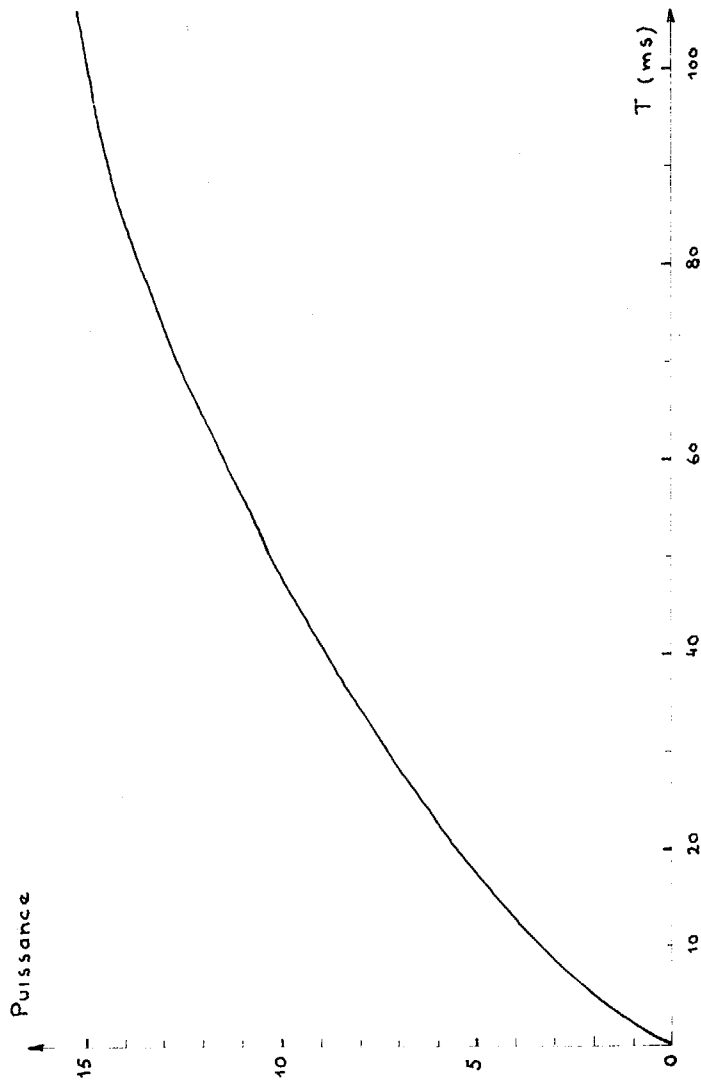


Figure 6. Puissance d'echos en fonction de T

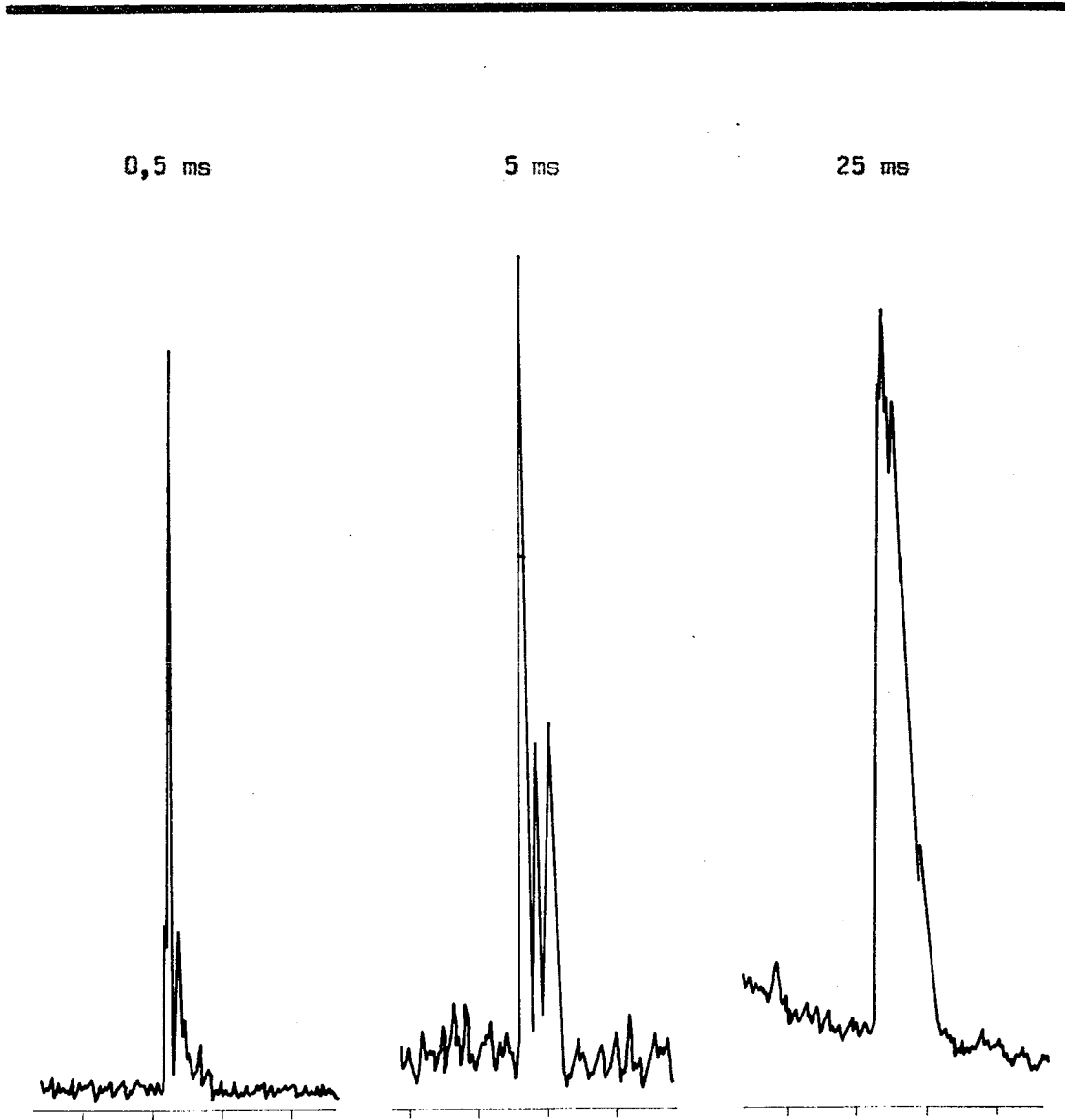


Figure 7a. Mesure de la puissance d'échos en fonction de T
(θ voisin de 90°)

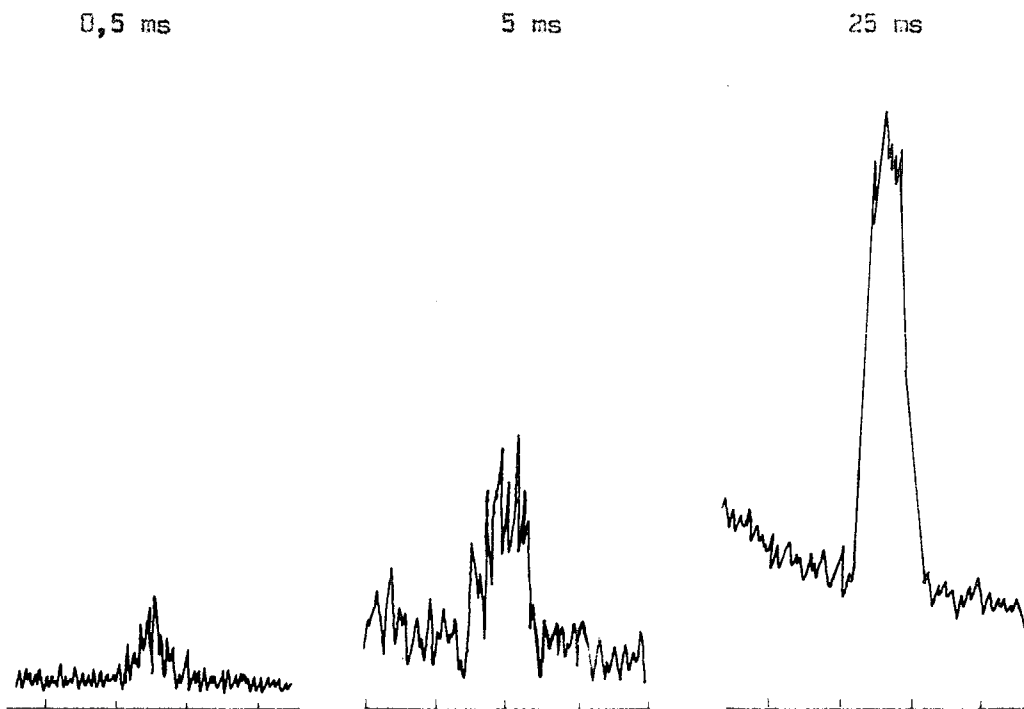
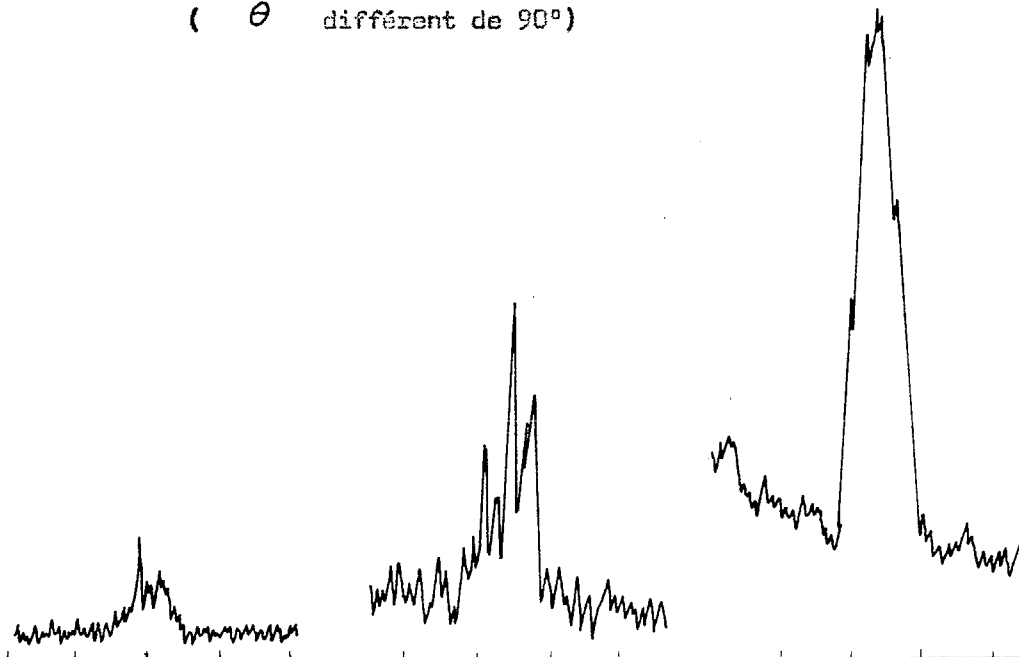
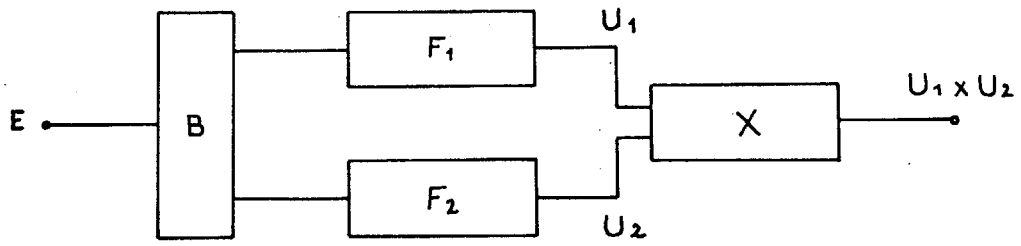


Figure 7b. Mesure de la puissance d'échos en fonction de T
(θ différent de 90°)





signal

écho

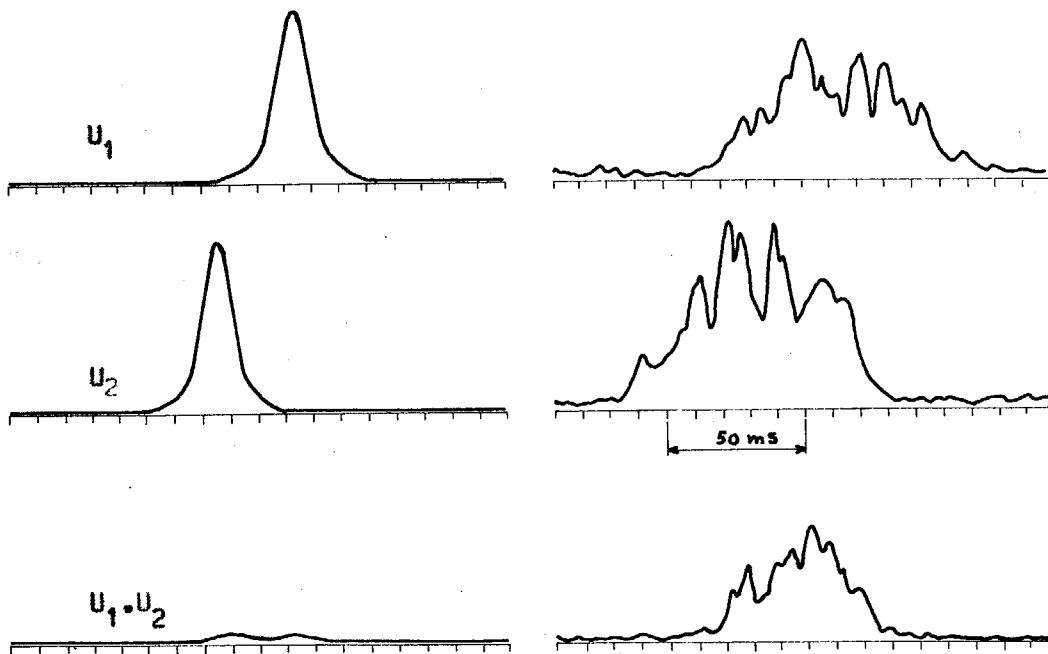


Figure 8. Evaluation de b_e à l'aide de filtres fixes

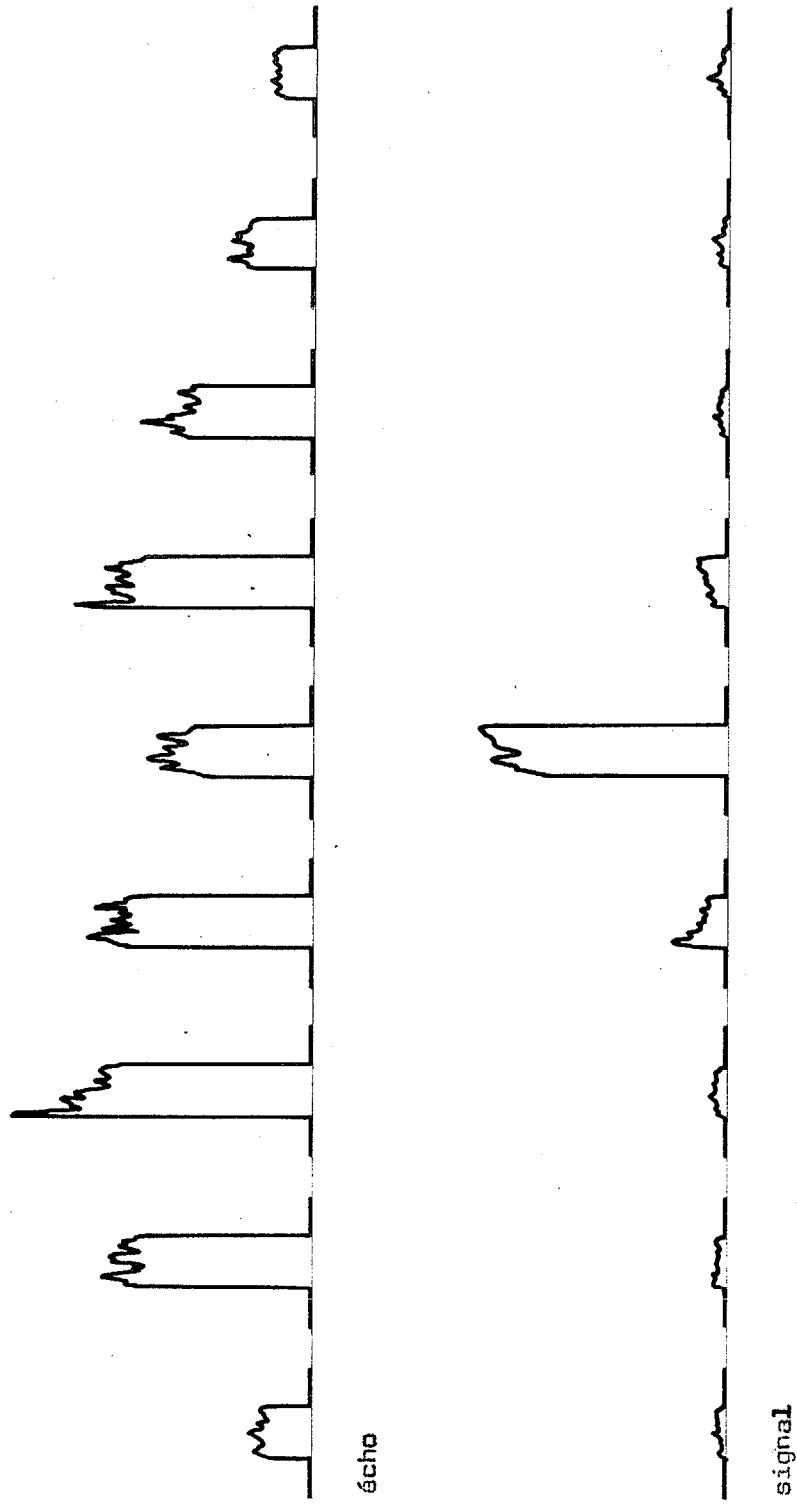


Figure 9. Evaluation de b_e à l'aide de filtres mobiles