

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

56/1



NICE du 26 au 30 AVRIL 1977

UTILISATION D'UNE LIGNE A RETARD ACOUSTIQUE DANS UN SYSTEME DE
FORMATION DE VOIES D'ANTENNE ACOUSTIQUE *

USE OF AN ACOUSTIC DELAY LINE FOR BEAM FORMING IN AN ACOUSTIC ANTENNA

Jean DESBOIS - Pierre TOURNOIS

Thomson-C.S.F., Division A.S.M. 06802 Cagnes-sur-Mer
(France)

Thomson-C.S.F., A.S.M. Division 06802 Cagnes-sur-Mer
(France)

RESUME

Le traitement des signaux d'une antenne acoustique par un système utilisant une ligne à retard acoustique à prises transversales, permet de réaliser simultanément la formation et le balayage de voies angulaires. Les principaux avantages de ce procédé par rapport à la formation de voies en parallèle par cellule de phase sont :

- ses possibilités de variation rapide de la distance de focalisation qui permettent de bénéficier d'un niveau de lobes secondaires égal au minimum théorique dans une grande gamme de portée
- son encombrement beaucoup plus faible et son moindre coût.

Une maquette du dispositif a été réalisée. On a mesuré en laboratoire des lobes secondaires inférieurs à -22 dB. Une meilleure conception de la ligne à retard devrait permettre de les abaisser à -30 dB. Des mesures en bassin ont permis de démontrer les possibilités de focalisation.

SUMMARY

The signal processing of an acoustic antenna with a tapped acoustic delay line enables us to get at the same time the beamforming and the beam scare. The main assets of such a system compared to the parallel beam forming by using phase cells are :

- Fast changes of focal depth, which enable us to get theoretical side lobe levels for a great range
- Compactness of the device and low cost.

An experimental system has been built. Side lobe levels less than -22 dB were measured. A better design of the delay line should enable us to get -30 dB side lobe levels. Experiments in a pool showed the focalisation properties of the system.

* Etude financée par la D.R.M.E. Paris (France)



UTILISATION D'UNE LIGNE A RETARD ACOUSTIQUE DANS UN SYSTEME DE
FORMATION DE VOIES D'ANTENNE ACOUSTIQUE

USE OF AN ACOUSTIC DELAY LINE FOR BEAM FORMING IN AN ACOUSTIC ANTENNA

INTRODUCTION.

En 1972, J.F. Havlice publiait les premiers résultats obtenus avec un système traitant les signaux d'un réseau de transducteurs électroacoustiques, et utilisant une ligne à retard acoustique (L.A.R.) à onde de surface [1].

Les avantages des dispositifs de traitement à L.A.R. sont essentiellement :

- la rapidité de traitement
- le faible encombrement
- la souplesse de traitement : le même dispositif est susceptible de réaliser plusieurs fonctions (lecture des signaux d'antenne, directe ou après transformation du type Fresnel ou Fourier). Il suffit pour cela de modifier les signaux de traitement qui se propagent dans la L.A.R. [2].

Nous décrirons ici le principe et les résultats expérimentaux d'un système réalisant la formation et le balayage de voie angulaires.

1. - DESCRIPTION DU DISPOSITIF. PRINCIPE.

La Fig. 1 est un schéma de principe du dispositif. Les signaux, $S_m(t)$, des M colonnes d'une antenne

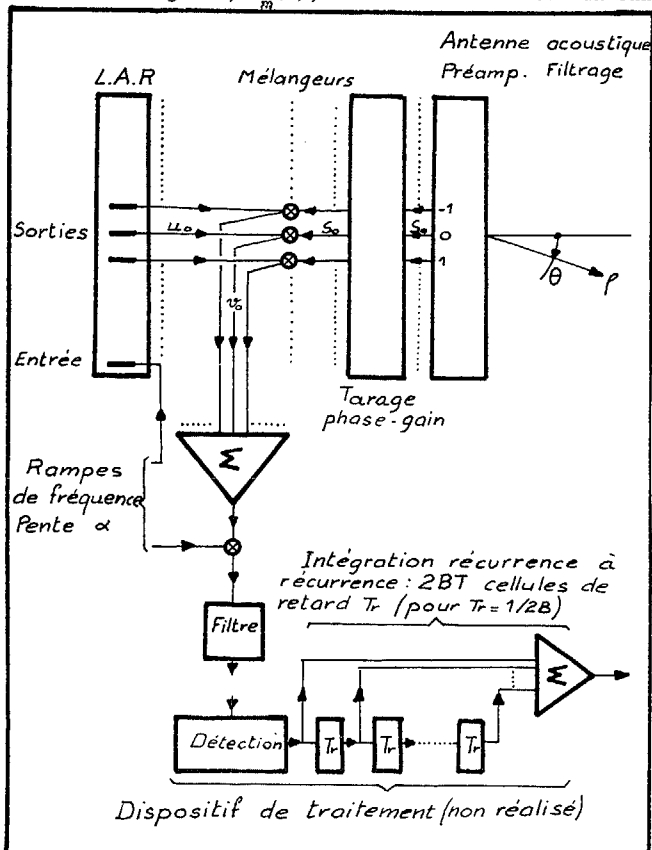


Fig. 1 : Schéma de principe

acoustique sont respectivement mélangés, après préamplification et filtrage, avec les M signaux de sortie, $u_m(t)$, d'une L.A.R. à prises transversales. Pour une source acoustique située à une distance ρ dans la direction θ , émettant à la fréquence F, les signaux d'antenne sont de la forme :

$$S_m(t) = \overline{S}_m \exp \{j(2\pi Ft + \phi_m)\} \quad (1)$$

avec :

$$\phi_m = \phi_0 + 2\pi \frac{d}{\Lambda} (\sin \theta_m - \frac{d \cos^2 \theta}{2\rho} m^2) \quad (2)$$

d est la distance entre deux capteurs consécutifs, $\Lambda = \frac{v}{F}$ est la longueur d'onde de la fréquence F pour une vitesse de propagation acoustique v . \overline{S}_m , l'amplitude du signal, est indépendante de m si on considère les signaux à la sortie des colonnes d'antennes, avec une source suffisamment éloignée pour pouvoir négliger l'atténuation par divergence. Si on considère les signaux après amplification et filtrage, \overline{S}_m peut inclure un terme de pondération destiné à abaisser le niveau des lobes secondaires. ϕ_0 est la phase du signal de la colonne n° 0.

On applique au transducteur d'entrée de la L.A.R.* un signal d'amplitude constante, modulé linéairement en fréquence. Soit $u_0(t) = \exp [j\psi_0(t)]$ le signal de sortie de la prise n° 0. Le signal $u_m(t)$ est de la forme :

$$u_m(t) = \exp [j\{\psi_0(t - m\tau)\}] \quad (3)$$

avec :

$$\psi_0(t) = \overline{\psi}_0 + 2\pi (\overline{f}_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}) \quad (4)$$

$$f_0(t) = \overline{f}_0 + \alpha t \quad (5)$$

τ est la différence de retard entre deux prises consécutives ; \overline{f}_0 est la fréquence instantanée, à l'instant $t = 0$, du signal $u_0(t)$; α est la pente de la rampe de fréquence. En sortie des mélangeurs, les signaux v_m sont de la forme :

$$v_m = \overline{S}_m \exp (j \beta_m) \quad (6)$$

avec :

$$\beta_m = \psi_0(t - m\tau) + (2\pi Ft + \phi_m) \quad (7)$$

Soit, d'après (2) et (4) :

$$\beta_m(t) = \psi_0(t) + 2\pi \overline{f}_0 t + 2\pi \overline{m} \left[\frac{d}{\Lambda} \sin \theta - (\overline{f}_0 + \alpha t) \tau \right] - \frac{m^2}{2} \left\{ + \frac{d^2 \cos^2 \theta}{\Lambda \rho} - \alpha \tau^2 \right\} \quad (8)$$

* Pour une description de ce type de composant acoustique, se reporter à la référence [3].



UTILISATION D'UNE LIGNE A RETARD ACOUSTIQUE DANS UN SYSTEME DE
FORMATION DE VOIES D'ANTENNE ACOUSTIQUE
USE OF AN ACOUSTIC DELAY LINE FOR BEAM FORMING IN AN ACOUSTIC ANTENNA

Ces signaux sont sommés. Le signal de sortie sera maximum si tous les signaux u_m s'additionnent en phase, soit d'après (8), pour :

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d} \alpha \tau \quad (9)$$

$$\rho = \frac{d^2}{\lambda \alpha \tau^2}$$

Les relations (9) ont été obtenues :

- en faisant $\overline{f}_0 \tau = p$, p étant un nombre entier (ce qui signifie que la longueur d'onde de la fréquence \overline{f}_0 est un sous-multiple de la distance entre prises)
- en retenant la détermination + de la relation (8) (ce qui signifie que la détection s'effectue autour de la fréquence somme, $\overline{f}_0 + F$, et que la fréquence $\overline{f}_0 - F$ est éliminée par filtrage)
- en admettant $\cos \theta \approx 1$ ($\theta \ll 1$)

Les relations (9) montrent que :

- Le champ angulaire est balayé avec une vitesse proportionnelle à α , la pente de la rampe de fréquence
- La focalisation s'effectue à une distance ρ inversement proportionnelle à α .

Cette interdépendance entre vitesse de balayage et distance de focalisation peut être gênante, par exemple dans le cas où l'on désire un balayage rapide et une focalisation à grande distance. On peut s'affranchir de cette contrainte en pratiquant une pondération quadratique de phase des amplitudes complexes \overline{S}_m , ce qui permet de faire varier la distance de focalisation tout en conservant la même pente α .

En principe ce type de traitement a, en ce qui concerne la résolution en gisement, le même comportement que la formation de voie en parallèle : la résolution en gisement ne dépend que des paramètres d'antenne ; le niveau des lobes secondaires peut être abaissé par pondération des \overline{S}_m . Cependant, les défauts de la L.A.R. peuvent entraîner une dégradation des performances, notamment en ce qui concerne le niveau des lobes secondaires. L'analyse des divers défauts de la L.A.R. et de leur influence sur les performances est décrite en Réf. [4]. On a pu montrer en particulier que la perturbation de phase amenée par la présence des transducteurs de sortie sur le trajet de l'onde de surface, pouvait élever le niveau des lobes secondaires, et qu'il fallait, pour diminuer cette perturbation, que le rendement de transduction ξ soit faible. On a pu mettre en évidence la relation :

$$S(\text{dB}) = 2\xi(\text{dB}) + 20 \log M - 16,4 \quad (10)$$

avec : S = niveau des lobes secondaires.

La propagation d'ondes parasites dans la ligne à retard (ondes de volume, modes guidés par la métallisation des transducteurs) provoque également l'apparition de lobes secondaires parasites.

Un avantage du traitement par L.A.R. est de permettre une variation rapide de la distance de focalisation, au moyen de la pente de la rampe ce qui permet de maintenir les lobes secondaires à un niveau faible dans une grande gamme de portée.

Nous avons vu que le traitement impliquait la séparation des fréquences somme et différence. La Fig. 2 représente les diagrammes fréquence-temps des divers signaux. Il apparaît qu'à tout instant, les fréquences

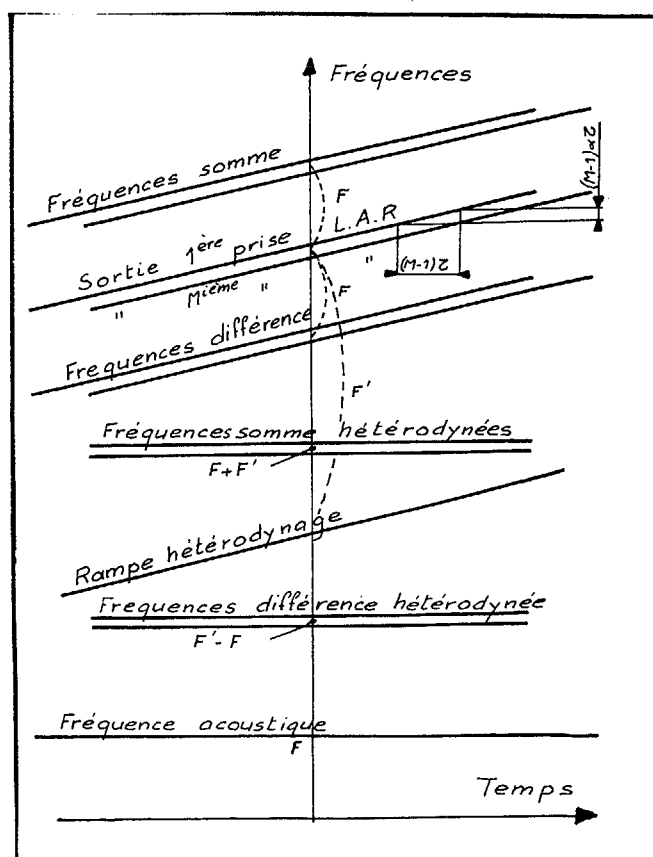


Fig. 2 : Diagrammes fréquence-temps

somme et différence sont respectivement réparties dans les plages de fréquences de largeur $(M-1)\alpha\tau$, dont la distance centre à centre est égale à $2F$. Leur séparation implique donc la condition :

$$\alpha < \frac{2F}{(M-1)\tau} \quad (11)$$



UTILISATION D'UNE LIGNE A RETARD ACOUSTIQUE DANS UN SYSTEME DE
FORMATION DE VOIES D'ANTENNE ACOUSTIQUE

USE OF AN ACOUSTIC DELAY LINE FOR BEAM FORMING IN AN ACOUSTIC ANTENNA

La fréquence moyenne de ces plages de fréquence varie linéairement avec le temps. Pour les séparer, il est donc nécessaire de pratiquer un hétérodynage avec une rampe de fréquence de même pente, avant de filtrer les signaux (voir Fig. 1).

Les relations (9) et (11) montrent que la vitesse de balayage ne peut pas dépasser une certaine valeur maximum. Tout calcul fait, on trouve que le temps consacré à balayer un champ angulaire Θ , comprenant N voies indépendantes résolues ($N = \Theta \frac{(M-1)d}{\lambda}$), doit être au moins égal à $N/2$ fois la période de la fréquence F . Autrement dit la fréquence d'échantillonnage de chacune des directions du champ angulaire est au plus égale à $\frac{2F}{N}$. Pour ne pas perdre d'information, la largeur de bande des signaux acoustiques devra donc être inférieure à $\frac{F}{N}$, ce qui limite la résolution en distance à $N \lambda/2$.

On peut éventuellement s'affranchir de cette limitation en pratiquant un changement de fréquence sur les signaux de colonnes d'antenne, préalablement à leur introduction dans le système de traitement. Ceci nécessite M mélangeurs et M filtrages supplémentaires.

En ce qui concerne le rapport signal à bruit, ce procédé donne le même résultat qu'un système à formation de voies en parallèle utilisé avec une impulsion d'émission de produit bande-durée $BT = 1$, dans la mesure où :

- la condition $\frac{F}{N} > B$ est respectée
- le filtrage des signaux de colonne supprime tous les bruits extérieurs à la bande B
- leur préamplification a un gain suffisant pour que la participation au bruit de sortie des diverses sources de bruit existant dans le système de traitement soit négligeable devant celle du bruit d'entrée.

Les performances en signal à bruit d'un système à formation de voies parallèle peuvent être améliorées en utilisant une impulsion d'émission de produit $B \times T$ supérieur à 1, et en disposant, à la sortie de chacun des circuits de formation de voies un dispositif de traitement. Par exemple, une détection en sortie, suivie d'une intégration récurrence à récurrence (voir Fig. 1) donnerait des résultats équivalents à ceux de la détection intégration après formation de voies en parallèle. L'intégration récurrence à récurrence peut être très simplement réalisée en utilisant la rémanence du tube cathodique de visualisation.

2. - RESULTATS EXPERIMENTAUX.

2.1. Description des dispositifs réalisés.

Nous avons utilisé pour ces expériences une antenne acoustique qui nous a été prêtée par le GESMA. Cette antenne a une fréquence de travail de l'ordre de 400 kHz, et possède 100 colonnes. Elle contient des préamplificateurs accordés, qui réalisent ainsi le filtrage des signaux d'entrée. Les signaux sont appliqués, à travers des circuits de tarage de phase et d'amplitude, à une entrée des mélangeurs. Les mélangeurs sont des circuits intégrés actifs, équilibrés par rapport aux deux entrées. La ligne à retard est constituée d'un monocristal de niobate de lithium de $120 \times 20 \times 6 \text{ mm}^3$. Sa fréquence centrale est de 20 MHz, le retard entre prises est 200 ns. Les sorties des mélangeurs s'effectuent sur des collecteurs en l'air, et leur sommation est simplement réalisée en les réunissant. Le filtre de sortie est un filtre L.C, du type Tchebyshev-Cauer. L'ensemble des circuits et la L.A.R sont contenus dans un bac à cartes de 10 litres de volume.

2.2. Expériences en laboratoire.

Elles ont été menées en appliquant aux 100 entrées du système de traitement le même signal de fréquence 400 kHz. On simulait ainsi les signaux d'une antenne acoustique idéale recevant une onde plane ($\rho \rightarrow \infty$) sous incidence normale. Les différentes entrées sont ensuite tarées en amplitude et phase. On observe ensuite le signal de sortie obtenu avec diverses valeurs de la pente de la rampe de fréquence appliquée à l'entrée de la L.A.R. Lorsque la distance de focalisation tend vers l'infini, la pente α tend vers zéro. On peut montrer que les distorsions dues au fait que la pente a une valeur finie, sont négligeables pour une pente inférieure à 2,16 kHz/ μs . La photo 1 (Fig. 3) est relative à une pente de 0,22 kHz/ μs . Le diagramme est très proche du $\sin x/x$ théorique. Les défauts sont mieux perceptibles sur la photo 2, prise avec la même pente de rampe, mais avec un balayage horizontal plus lent et avec deux sensibilités verticales (différence de sensibilité de -22,3 dB). Les lobes parasites situés à plus ou moins deux carreaux du lobe principal sont donc à un niveau relatif de -22,3 dB. Ce chiffre est cohérent avec la mesure du taux d'ondes parasites dans la L.A.R. Une meilleure conception de la ligne à retard devrait permettre de ramener ce taux de parasites autour de -30 dB : c'est l'ordre de grandeur du niveau de lobes secondaires que l'on peut espérer obtenir avec ce type de traitement, moyennant une pondération adéquate. Les

UTILISATION D'UNE LIGNE A RETARD ACOUSTIQUE DANS UN SYSTEME DE
FORMATION DE VOIES D'ANTENNE ACOUSTIQUE
USE OF AN ACOUSTIC DELAY LINE FOR BEAM FORMING IN AN ACOUSTIC ANTENNA

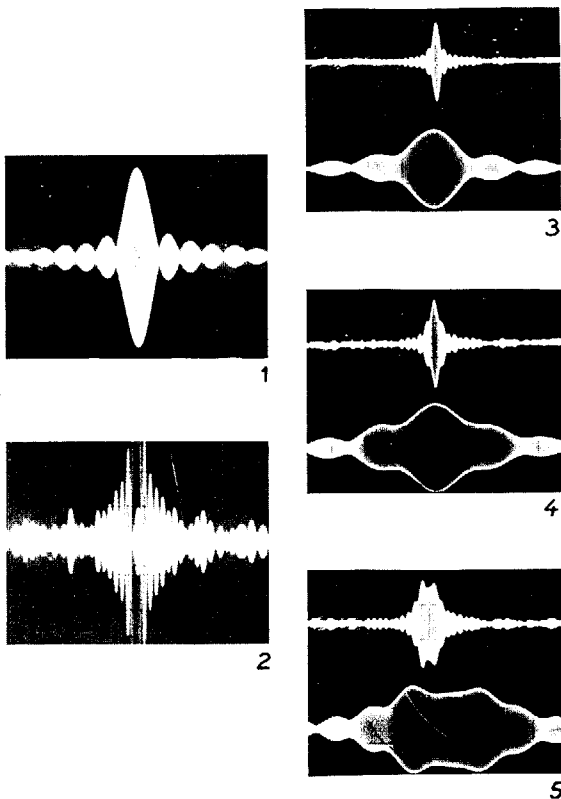


Fig. 3 : Essais en laboratoire

photos 3, 4 et 5 montrent les diagrammes, en forme de figures de Fresnel, obtenus avec des pentes de rampe de valeurs respectivement égales à 2,2 ; 4,4 ; 8,3 kHz/ μ s.

2.3. Expériences en bassin.

Elles ont été conduites au bassin du COB à Brest. Elles consistaient à mesurer le signal de sortie de traitement avec une source acoustique située à diverses distances, dans diverses directions par rapport à l'antenne acoustique et pour diverses valeurs de la pente de la rampe de fréquence. La photo n° 1 (Fig. 4) montre le diagramme obtenu lorsque la source est située à une distance de 47 m, sensiblement sur l'axe de l'antenne, et pour une pente adaptée à la distance (21,2 kHz/ μ s). Le diagramme obtenu est de qualité nettement moins bonne que ceux obtenus en laboratoire, le niveau des lobes secondaires parasites étant de -15 dB. Ceci est dû au fait que les tarages en amplitude et phase ont été réalisés dans de mauvaises conditions et avec une précision insuffisante. Les tarages réalisés en laboratoire ont dû être repris pour prendre en compte les défauts de phase et d'amplitude de l'antenne acoustique et de ses préamplificateurs. La photo n° 2 est obtenue dans les mêmes conditions, mais pour diverses directions de source. Le champ angulaire

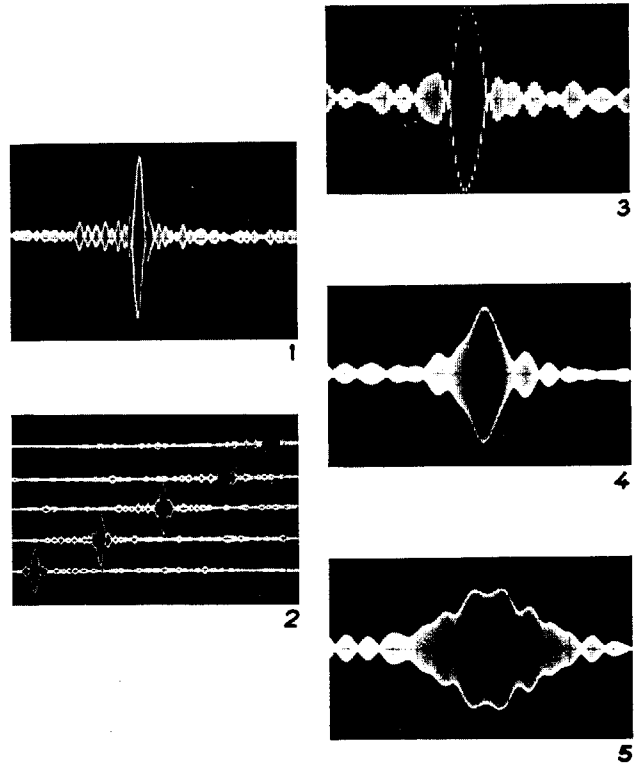


Fig. 4 : Essais en bassin

exploré entre traces supérieure et inférieure, est de 9°. Ce champ est balayé en 123 μ s.

Les photos 3, 4 et 5 sont obtenues en faisant varier la distance source antenne (39, 29 et 22 m). Des diagrammes d'allure similaire ont été obtenus en modifiant la rampe de la pente de fréquence.

CONCLUSION.

Cette étude a permis de démontrer la faisabilité de systèmes de formation de voies par L.A.R. On aboutit à un matériel de faible encombrement. Le signal de sortie se présente sous une forme telle qu'il est directement applicable au système de visualisation. Les performances obtenues sont comparables à celles obtenues par formation de voies en parallèle, mise à part une limitation de la largeur de bande des signaux acoustiques. Il faut cependant noter que cette limitation en largeur de bande peut être repoussée à condition de réaliser un changement de fréquence des signaux de colonnes avant leur traitement par le dispositif.

Les principaux avantages de ce type de traitement sont le faible encombrement du matériel et la faculté qu'il offre de pouvoir rapidement changer la distance de focalisation au cours de la réception.



UTILISATION D'UNE LIGNE A RETARD ACOUSTIQUE DANS UN SYSTEME DE
FORMATION DE VOIES D'ANTENNE ACOUSTIQUE
USE OF AN ACOUSTIC DELAY LINE FOR BEAM FORMING IN AN ACOUSTIC ANTENNA

REFERENCES.

- [1] J.F. Havlice and T.M. Reeder
"Scanning of acoustic array" Ultrasonics Symposium Proceedings, 1972 pp 463-466
- [2] J. Desbois et P. Tournois
"Lecture d'images ou de transformées d'images au moyen de lignes à retard acoustique" 5ème Colloque GRETSI pp 687-694 (1975)
- [3] W.D. Squire, H.J. Whitehouse and J.M. Alsup
"Linear signal processing and ultrasonic transversal filters" IEEE Trans. 1969 MTT-17 pp 1020-1040.
- [4] J. Desbois
Rapport final étude DRME n° 74/695
Réf. DASM 77/06/023 JD.

-:-:-:-