

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE ADAPTEE A DES SIGNAUX ECHOS ET
CLASSIFICATION DE CIBLES EN SONAR ACTIF : APPLICATION A LA
RECONNAISSANCE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE.

M. ZAKHARIA^x B. ESCUDIE^x J.P. SESSAREGO^{xx}

x I.C.P.I. Laboratoire Traitement du Signal 25 rue du Plat 69288 LYON Cedex 1
xx C.N.R.S. L.M.A. Laboratoire Ultra sons B.P. 71 13277 MARSEILLE Cedex 9

RESUME

Modéliser une cible SONAR par un filtre transversal généralisé décrit divers phénomènes acoustiques. Cette représentation utilise un nombre fini de "points brillants" répartis dans l'espace, chacun d'eux possédant une fonction de transfert associée stable. Le traitement des échos obtenus est effectué par filtrage adapté à diverses composantes. Cette analyse distribue l'énergie reçue en temps et fréquence par séparation temporelle des points brillants et par filtrage sélectif. Un tel traitement impose une contrainte pratique dans la synthèse du signal émis, en vue d'une complexité minimale du récepteur. Ceci définit un filtrage à surtension constante déterminant une représentation conjointe liée aux paramètres du signal. La solution fréquentielle de la synthèse est reliée simplement à la représentation temporelle dans le cas d'un produit "date centrale fréquence moyenne" grand. Dans ce cas la dérivation temporelle se confond avec une homothétie de rapport donné ; le signal est modulé hyperboliquement en fréquence.

Un tel signal, synthétisé par voie numérique, est émis sur des cibles cylindriques et sphériques. Une classification des échos est envisageable à l'aide de leurs paramètres caractéristiques. Un traitement linéaire peut estimer la fonction de transfert des cibles.

SUMMARY

Modelling a SONAR target by a generalised transversal filter makes easy the description of many acoustical phenomena. This modelling uses a finite number of "bright spots" distributed in space ; each spot has its own transfert function. The echo is processed by a set of matched filters ; each of them is matched to each echo component. Such a processing displays the received energy as a function of time and frequency, by temporal separation of bright spots and by selective frequency filtering. Such a receiver implies constraints on the emitted signal, to get a minimum complexity for the receiver structure. Under these constraints the processor defines a Q constant frequency filtering (Q = quality factor) which can determine a joint representation related to the signal parameters. The frequency representation of such a signal can be simply related to its temporal representation by an approximation method whenever the product of the "central frequency" by the "mean time" is large enough. In such a case time derivatives of the signal are equivalent to its time compressed copies. The signal is a wideband hyperbolically frequency modulated signal.

Such a signal has been synthesized by numerical techniques. It has been emitted on simple shape targets such as cylinders or spheres. An echo classification is possible with the use of their extracted parameters. The transfert function of the target could be obtained by a linear transformation.



ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE ADAPTEE A DES SIGNAUX ECHOS ET
 CLASSIFICATION DE CIBLES EN SONAR ACTIF : APPLICATION A LA
 RECONNAISSANCE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE.

INTRODUCTION :

Dans l'écho SONAR dû à un poisson, la contribution énergétique essentielle est due à la vessie natatoire à cause de la forte rupture d'impédance acoustique eau/air. Les différentes formes de vessie natatoire permettent d'effectuer un tri ou classification en fonction de la taille et des diverses espèces de poissons (1). Dans les conditions courantes d'utilisation du SONAR on admet que la cible est dans le champ lointain de l'émetteur. L'écho obtenu est directement lié à la figure de diffraction des ondes (planes) émises par le contour de l'objet (vessie).

Divers travaux montrent que le filtrage linéaire dû à la cible peut être caractérisé par la connaissance de sa réponse impulsionnelle spatio-fréquentielle $H(t, \alpha)$ (Cf. figure 1). Pour remonter à la forme exacte de la cible il est indispensable de connaître cette réponse quel que soit l'angle α d'observation et ce dans une bande fréquentielle infinie (2).

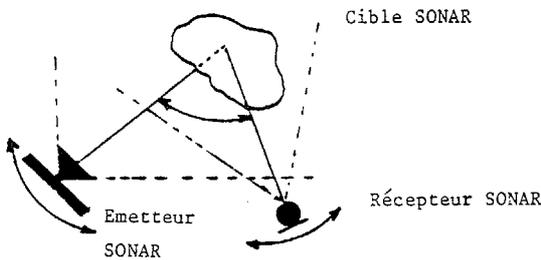


Figure 1 : Position relative SONAR-Cible

Les contraintes pratiques d'émission à bande limitée et d'observation sous quelques directions rendent ce "problème inverse" de solution très difficile (2) (3). En conséquence on est conduit à réaliser une "CLASSIFICATION" des cibles à l'aide de paramètres classifiants extraits de la signature spectrale des échos reçus (au lieu d'une reconstruction).

En pratique une telle technique doit prendre en compte les mouvements de la cible, les conditions aux limites du milieu de propagation, les parasites variés existant dans le milieu. De telles situations conduisent donc à utiliser un récepteur cohérent (filtre adapté ou corrélateur) permettant l'optimisation du rapport signal sur bruit compte tenu de ces contraintes. (4) (5)

1) MODELISATION DES CIBLES PAR FILTRE TRANSVERSAL GENERALISE :

Parmi les modèles de cible réelle connus, nous utilisons celui dû à R.A. ALTES (6). Cette représentation, illustrée à la figure 2, utilise une décomposition linéaire en "points brillants" distribués dans l'espace et possédant chacun sa propre fonction de transfert.

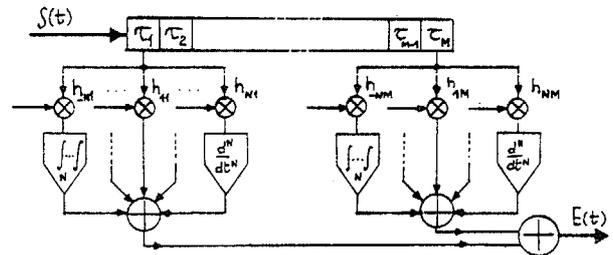


Figure 2 : Filtre transversal généralisé

La réponse impulsionnelle d'un tel filtre s'écrit :

$$H(t, \alpha_0) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h_{nm} \delta^{(n)}(t - \tau_m) \quad (1)$$

notons que cette réponse est associée à une position α_0 d'observation.

Le gain complexe est obtenu par transformation de Fourier :

$$H(t, \alpha_0) \xleftrightarrow[t \rightarrow \nu]{\nu} h(\nu, \alpha_0)$$

$$h(\nu, \alpha_0) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (2i\pi\nu)^n h_{nm} e^{-2i\pi\nu\tau_m} \quad (2)$$

Cette modélisation peut s'interpréter comme une décomposition de la fonction de transfert en série de Laurent autour de ses points singuliers (pôle ou zéro) (7).

L'avantage d'une telle description est de permettre une interprétation physique aisée des mécanismes de formation des échos (diffraction, ondes rampantes, réflexion optique) à l'aide d'un filtrage spatio-fréquentiel relié à un modèle propagatif.

D'autre part un tel modèle permet de décomposer une cible SONAR complexe en éléments simples et de les étudier séparément.

Le danger d'un tel modèle réside dans le fait qu'il permet de formuler une modélisation qui, bien que mathématiquement rigoureuse, peut perdre son



ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE ADAPTEE A DES SIGNAUX ECHOS ET CLASSIFICATION DE CIBLES EN SONAR ACTIF : APPLICATION A LA RECONNAISSANCE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE.

interprétation physique, dans le cas de filtres fréquentiels périodiques, par exemple.

2) TRAITEMENT COHERENT ET MODELE DE CIBLE :

a) Contraintes pratiques et nécessité du filtrage adapté :

Le caractère bruyant et réverbérant du canal de communication considéré impose de rendre maximal le rapport "Signal/Parasites". Dans une telle situation le filtrage adapté est une solution commode puisqu'il procure :

- un rapport signal sur bruit

$$\rho \leq \frac{E_s}{\sigma_0}, E_s = \langle S, S \rangle$$

(σ_0 : densité spectrale du bruit (blanc dans la bande)).

- une résolution en distance de l'ordre de $1/B$, (B) support spectral de l'émission.
- une immunité contre les parasites de type réverbérant (8).

En conséquence, pour profiter pleinement de l'effet de "compression d'impulsion" dû au filtrage adapté, le signal émis sera du type dit "à large bande" ou à grand produit BT (T durée du signal).

Les mouvements des cibles imposent donc, à performances de sortie constantes, la tolérance à l'effet DOPPLER et à l'accélération pour le signal émis, dans l'hypothèse d'un traitement cohérent. Divers travaux montrent que des signaux à large bande et à modulation hyperbolique en fréquence possèdent ces propriétés (9) (4) (10).

b) Filtrage adaptés aux composantes de l'écho :

Les grandeurs τ_m et f_{nm} caractérisant dans une direction α_0 la réponse impulsionnelle de la cible, il paraît utile que le récepteur adapté permette leur estimation de manière commode. La structure du récepteur adapté est donc celle d'une batterie de filtres adaptés aux dérivées et intégrales successives du signal $S(t)$, compte tenu de la relation (1) et du modèle de cible choisi (figure 2). La figure 3 définit un tel récepteur.

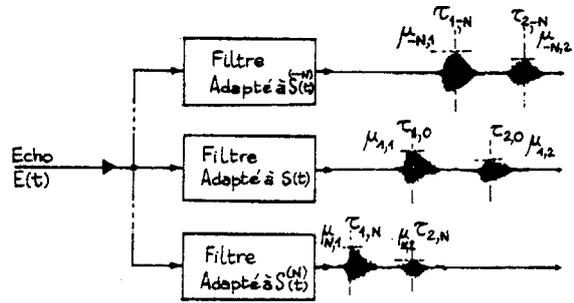


Figure 3 : Structure du récepteur

Cette structure peut être simplifiée en introduisant une contrainte spectrale :

"Tous les filtres sont à SURTENSION CONSTANTE ou ADAPTES à N signaux à produit BT constant". Cette contrainte traduite par une équation différentielle, conduit au signal analytique suivant : (6) (7)

$$z(\nu) = A_0 e^{-\frac{\text{Log}(\nu/\nu_0)/2 \text{Log} k_s}{\text{Log} k_s} - i2\pi t / \text{Log} k_s} \cdot \text{Log}(\nu/\nu_0) \cdot U(\nu) \otimes S$$

Remarquons que :

$$(2i\pi\nu)^n z(\nu) = \xi(n) \cdot z(\nu/k_s^n) \quad (4)$$

avec $k_s > 1$ (constante)

Cette propriété déduite de la contrainte ramène la dérivation ou l'intégration à une homothétie temporelle de taux k_s^n ou k_s^{-n} .

Dans le cas général où l'on écrit uniquement

$$z(\nu) = 2 U(\nu) \cdot \delta(\nu)$$

en notant que : $S(t) \in \mathbb{R}$

$$\delta(\nu) = \delta^*(\nu) = \delta^*(-\nu)$$

on a :

$$\int_{\mathbb{R}} \frac{|\text{Log} |\delta(\nu)|}{1+\nu^2} d\nu = \frac{\pi}{2} \text{Log}^2 \nu_0 + \frac{2\pi^3}{16} < \infty$$

ce qui prouve que $S(t)$, signal réel dont Z est le signal analytique, est CAUSAL vu la condition de PALEY WIENER (12).

Z(t) s'exprime à l'aide de la transformée de FOURIER de z(\nu) sous l'hypothèse de phase stationnaire se traduisant par :

$$Z(t) = \int_{\mathbb{R}} M(\nu) e^{i(-\frac{2\pi t}{\text{Log} k_s} \cdot \text{Log}(\nu/\nu_0) + 2\pi \nu t)} d\nu$$
$$Z(t) = \int_{\mathbb{R}} M(\nu) e^{i\mu d(\nu)} d\nu \quad (5a)$$



avec $\mu = -\frac{2\pi c}{\text{Log} k_s} = \frac{2\pi |c|}{\text{Log} k_s} \gg 1$

$$M(\nu) = A_0 e^{-\text{Log}(\nu/\nu_0)/2 \text{Log} k_s}$$

ce qui conduit dans le cadre de l'hypothèse de Signal dit à "large bande", ou asymptotique, à : (1)

$$Z(t) = D e^{-\text{Log}(t/t_0)/2 \text{Log} k_s} e^{-\frac{2i\pi c}{\text{Log} k_s} \text{Log} \frac{t}{t_0}} \cdot U(t)$$

Le signal $S(t) = A(t) \cos \Phi(t)$ est un signal à modulation de fréquence hyperbolique :

$$\nu_i(t) = \frac{\dot{\Phi}(t)}{2\pi} = \frac{|c|}{\text{Log} k_s} \cdot \frac{1}{t}, \quad 0 < t$$

Un tel signal appartient, vu la condition (5b), à la classe L^2_{BT} des signaux optimaux tolérant l'effet DOPPLER (constant ou à variation linéaire) pour l'estimation de la date sanscouplage avec les paramètres du mouvement (10) (5). Dans la classe L^2_{BT} le paramètre μ qui traduit le caractère asymptotique s'écrit :

$$\mu = \frac{2\pi |c|}{\text{Log} k_s} = 2\pi k_s \nu_0 t_0$$

où ν_0 et t_0 sont la fréquence et la date caractéristique du signal, comme les figures 4 le montrent. Il faut noter que μ ne s'identifie pas avec le produit BT comme on peut le montrer dans le cas de la modulation hyperbolique (11)

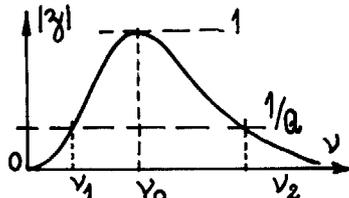
Les fréquences ν_1 et ν_2 telles que :

$$\frac{|\gamma(\nu_1)|}{|\gamma(\nu_0)|} = \frac{|\gamma(\nu_2)|}{|\gamma(\nu_0)|} = \frac{1}{Q}, \quad Q > 1$$

sont données par :

$$(9) \begin{cases} \nu_1 = \nu_0 \exp(-2\sqrt{2 \text{Log} k_s \text{Log} Q}) \\ \nu_2 = \nu_0 \exp(+2\sqrt{2 \text{Log} k_s \text{Log} Q}) \\ \nu_0 = \sqrt{\nu_1 \cdot \nu_2} \end{cases}$$

Figure 4a Module de $\gamma(\nu)$



les mêmes relations existent pour les dates t_0, t_1, t_2

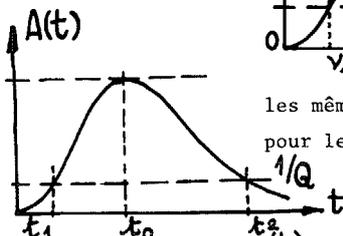


Figure 4b Enveloppe de $S(t)$

3) TRAITEMENT ADAPTE ET REPRESENTATION CONJOINTE :

a) Traitement adapté et fonction d'Interambiguïté :
 $\frac{d^n Z}{dt^n} = Z^{(n)}(t)$ étant proportionnel à $Z(t/k_s^n)$, construire le filtre adapté à la composante n de la réponse de la cible revient à réaliser le traitement :

$$\int_{\mathbb{R}} E(t') Z^*(\eta t' - \tau) dt' = \frac{1}{\sqrt{\eta}} \chi'_{EZ}(t, \eta) = \chi_{EZ}(t, \eta)$$

avec : $\eta = k_s^n, n \in \mathbb{Z}$

$\chi(t, \eta)$ la fonction d'interambiguïté au sens de KELLY WISHNER (13). Une telle grandeur peut être interprétée comme le filtrage linéaire du signal écho $E(t)$ par la batterie de filtres de réponses impulsionnelles

$H_n(t)$:

$$H_n(t) = Z^\#(\eta t) = Z^\#(k_s^n t) = Z^{(n)}(t) \quad (10)$$

b) lien avec la représentation conjointe :

L'interprétation précédente décrit la sortie du p^{ième} filtre adapté comme celle d'un filtre de réponse $Z_p(t)$:

$$Z_p(t) = Z^{(p)}(t) = Z(k_s^p t)$$

le signal de sortie s'écrit :

$$\int_{\mathbb{R}} H_n(t-t') E(t') dt' = \ell(t, n) = \ell(t, k_s^n) \quad (12)$$

où l'information contenue dans la variable n est relative à la fréquence caractéristique

$\nu_{0n} = \eta(n) \nu_0 = k_s^n \nu_0$. Cette grandeur s'interprète comme une représentation conjointe d'amplitude analogue à celles définies par divers auteurs (14) (15) (16). La nature hyperbolique de la modulation de fréquence :

$$\nu_i(t) = \frac{-c}{\text{Log} k_s} \cdot \frac{1}{t}, \quad t > 0$$

permet de définir T_r temps de relaxation et B_d bande dynamique tels que :

$$B_d \cdot T_r = 1 \quad \text{si} \quad 2\pi k_s \nu_0 t_0 \gg 1$$

$$B_d = \sqrt{\left| \frac{d\nu_i}{dt} \right|} = \sqrt{\frac{|c|}{\text{Log} k_s}} \cdot \frac{1}{t} \quad (13)$$

on a

$$\frac{B_d(t)}{\nu_i(t)} = \sqrt{\frac{\text{Log} k_s}{|c|}}$$

qui définit la surtension équivalente d'un filtre

ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE, CLASSIFICATION DE CIBLES ET RECONNAISSANCE DE POISSONS

possédant la bande passante Bd centrée autour de la fréquence $\nu_i(t)$. Cette propriété de localisation de l'énergie dans la cellule BdTr du plan (t, ν) met en évidence la "Surtension Constante" du filtre récepteur liée au caractère hyperbolique de la modulation.

4) METHODE D'ANALYSE ET CLASSIFICATION DE CIBLES :

a) Méthode d'analyse choisie :

Le procédé choisi consiste à former l'inter-corrélation entre $E(t)$, écho reçu et les diverses copies comprimées ou dilatées $S(k_s^n t)$, $n \in \mathbb{Z}$. Le schéma de principe de l'opération est représenté dans la figure 5a. L'affichage de $\eta = k_s^n$ s'effectue par voie numérique. En tenant compte de la relation (17) :

$$\chi_s'(\tau, \eta) = \chi_s'(-\eta\tau, \frac{1}{\eta}) \quad (14)$$

on peut se limiter aux valeurs de η inférieures à l'unité (dilatation).

La figure 5b montre un résultat de calcul obtenu sur le signal décrit au paragraphe c pour :

$$0,798 \leq \eta \leq 1,000$$

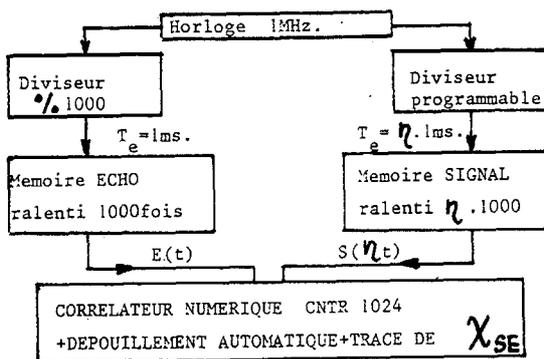


Figure 5a Schéma de principe de dépouillement

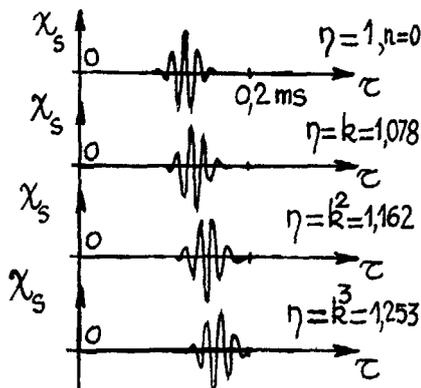


Figure 5b Fonction d'ambiguïté du signal émis

b) Paramètres caractéristiques et normalisation

On considère que la valeur extrême de la fonction d'interambiguïté correspond à l'énergie d'interaction entre $E(t)$ et $S(k_s^n t)$. Un circuit automatique recherche la valeur et la position de cet extremum. La figure 6 décrit le choix des paramètres.

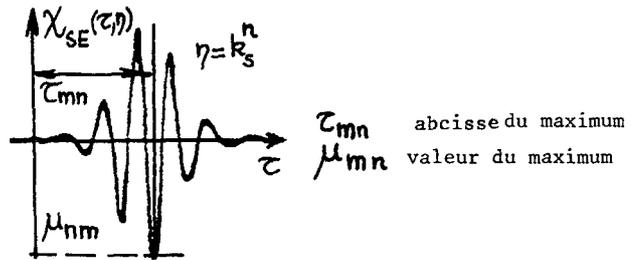


Figure 6 Choix des paramètres

Remarquons que, pour des signaux à bande pratiquement limitée ($k_s < \infty$) les différentes densités spectrales des signaux $S(k_s^n t)$ ne sont pas spectralement disjointes.

Ceci implique que la valeur du coefficient μ_{nm} du maximum de $\chi_{ES}(\tau, k_s^n)$ traduit la somme des contributions pondérées des différentes composantes de l'écho dans le filtre de rang n . μ_{nm} ne décrit pas seulement celle de la composante de rang n . L'origine de temps est fixée pour une cible donnée par la date d'arrivée de la composante de rang zéro de l'écho associé, c'est-à-dire par le maximum de la fonction d'intercorrélacion du signal et de l'écho :

$$\Gamma_{ES}(\tau) = \chi_{ES}(\tau, \eta = k_s^0 = 1)$$

La valeur de ce maximum μ_{m0} représente l'énergie renvoyée par la cible (au gain des amplificateurs près). Cette valeur étant connue, elle nous permet de normaliser les coefficients μ_{mn} : μ_{mn} / μ_{m0} . La bande spatio-fréquentielle des transducteurs d'émission et de réception affecte la fonction d'ambiguïté des échos. Pour tenir compte de cet effet on réalise un étalonnage préalable du système d'émission-réception. Cet étalonnage est fait sur la surface du dioptre eau-air (à la même distance que l'axe des cibles (1,34m)). Cette surface peut être considérée comme un réflecteur parfait compte-tenu de la forte rupture d'impédance eau-air et des dimensions relatives de la cuve et des longueurs d'ondes utilisées ($l = 3m$, $L = 6m$, $\lambda_0 \approx 10mm$).



ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE, CLASSIFICATION DE
CIBLES ET RECONNAISSANCE DE POISSONS

Le système acoustique d'émission-réception est mono-statique ; il observe la cible sur l'angle $\alpha = 0$.

$$h(\nu, 0) = 1, \forall \nu \in (\mathcal{B}), \alpha = 0 \text{ (pour la surface).}$$

c) Cibles étudiées et signal émis :

Les cibles étudiées sont creuses et remplies d'air. Elles sont réalisées en clinquant de laiton d'épaisseur $e = 0,4$ mm. Cette épaisseur e est très faible par rapport aux longueurs d'ondes utilisées ($\lambda_0 \simeq 10$ mm). Ces cibles peuvent donc être considérées comme acoustiquement rigides vu la rupture d'impédance eau/air.

Les formes choisies sont :

- sphères de diamètre $\Phi = 36, 31, 26, 15$ mm
- cylindres de diamètre $\Phi = h$
hauteur : $h = 36, 31, 26$ mm
- ensembles biboules $\Phi = 36 = \Phi'$
 $\Phi = 15,5, \Phi' = 10$ mm ; $\Phi = 26, \Phi' = 26$ mm

Ces cibles, notamment les cibles biboules, peuvent être assimilées en première approximation à des vessies natatoires de poissons d'eau douce. La figure 7 représente une telle vessie et un modèle biboule associé.

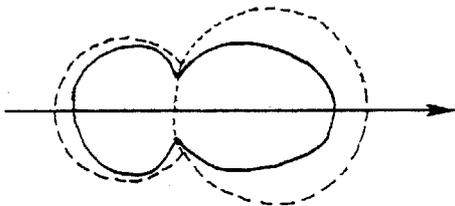


Figure 7 Modélisation d'une vessie natatoire

La figure 8a décrit le signal émis. Sa densité spectrale $\mathcal{T}_S(\nu)$ est donnée par la figure 8b. La figure 9 montre la fonction d'autocorrélation du signal et l'effet de "compression d'impulsion".

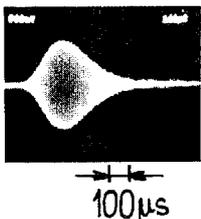


Figure 8a
Signal émis

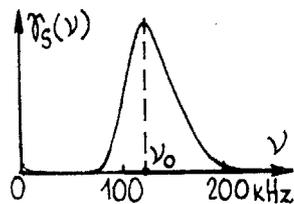


Figure 8b
Densité spectrale du
signal émis.

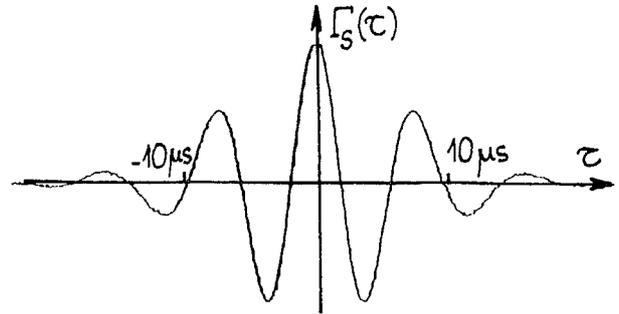


Figure 9 Fonction d'autocorrélation du signal émis

La fonction d'ambiguïté de ce signal est celle donnée par la figure 5b.

Les caractéristiques de ce signal sont :

$$\begin{aligned} \nu_0 &= 134,2 \text{ kHz} \\ k_s &= 1,078 \\ t_0 &= 391 \mu\text{s}, c = -4,2 \end{aligned}$$

Le paramètre d'approximation est égal à :

$$\frac{-2\pi c}{\text{Log } k_s} = 355 \gg 1$$

La bande définie à $-37,5$ dB est :

$$60 \text{ kHz} \leq \nu \leq 300 \text{ kHz}$$

La durée du signal à la même atténuation est :

$$T = 0,7 \text{ ms}$$

$$\text{d'où } BT = 168 < \frac{2\pi c}{\text{Log } k_s} = 355$$

Les longueurs d'ondes utilisées (dans l'eau) sont

$$5 \text{ mm} = \lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max} = 25 \text{ mm}$$

d) Résultats obtenus :

Il s'agit d'établir une sorte de "catalogue" de cibles de formes simples. Pour ce faire nous allons considérer des cibles fixes et un rapport signal/parasite élevé. Les paramètres obtenus ne seront donc pratiquement pas perturbés par les parasites. Leur estimation sera la moins biaisée possible et la variance d'estimation restera faible. Les figures 10 (a,b,c) décrivent des échos reçus :



Fig. 10a écho d'une sphère



Fig. 10b écho d'un biboule

ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE, CLASSIFICATION DE CIBLES ET RECONNAISSANCE DE POISSONS

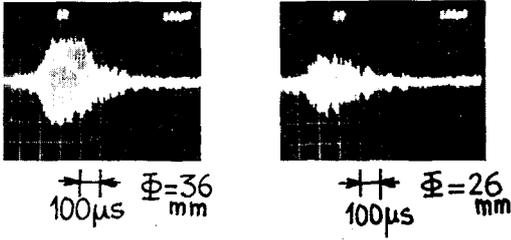


Figure 10c : Echos de cylindres $\Phi = 36 \text{ mm} = h$
 $\Phi = 26 \text{ mm} = h$

Les figures 11 (a,b,c,d) représentent le module carré du gain complexe spatio-fréquentiel des quatre sphères utilisées $|h(\nu, 0)|^2$

Ce gain est obtenu d'après :

$$|h(\nu, 0)|^2 = \frac{\gamma_e(\nu)}{\gamma_0(\nu)}$$

$\gamma_0(\nu)$ est la densité spectrale de l'écho dû à une cible parfaite dont la fonction de transfert est "constante" dans la bande du signal émis. Notons que le gain G affiché pour chaque cible (G_{sa}, G_{sb}, \dots) est le gain global de la chaîne d'analyse normé par rapport au gain de la chaîne pour le réflecteur parfait.

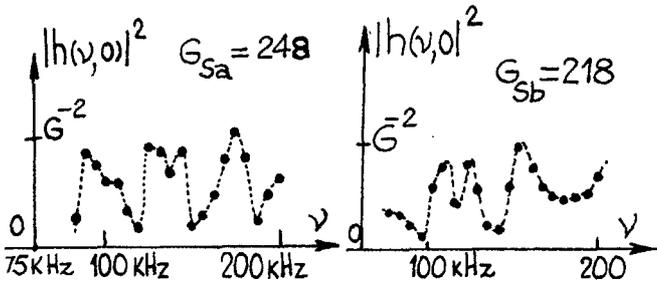


Fig 11a sphère $\Phi = 36 \text{ mm}$ Fig 11b sphère $\Phi = 31 \text{ mm}$

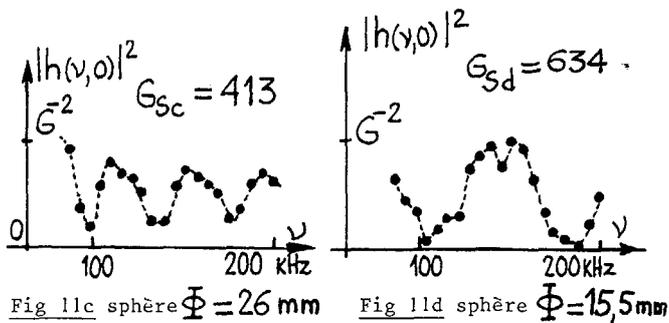


Fig 11c sphère $\Phi = 26 \text{ mm}$ Fig 11d sphère $\Phi = 15,5 \text{ mm}$

La figure 12 représente la fonction de transfert théorique (section efficace équivalente) d'une sphère de rayon a (18) en fonction de ka avec :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi\nu}{c_0}, \quad k: \text{nombre d'onde}$$

$$c_0: \text{célérité du son dans l'eau}$$

elle permet de situer les zones de cette courbe explorée par le signal émis et pour les différentes cibles utilisées.

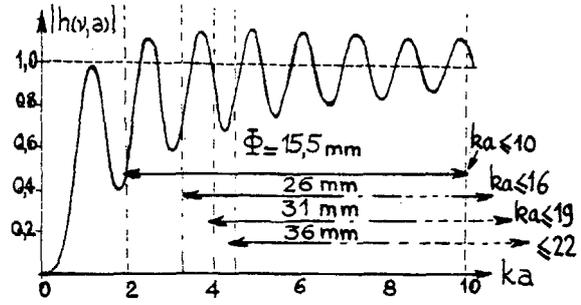


Figure 12 Fonction de transfert théorique d'une sphère (18)

Les figures 13 (a,b,c) représentent les fonctions de transfert des cibles biboules étudiées. La figure 13d représente la position de la cible biboule par rapport à l'émetteur.

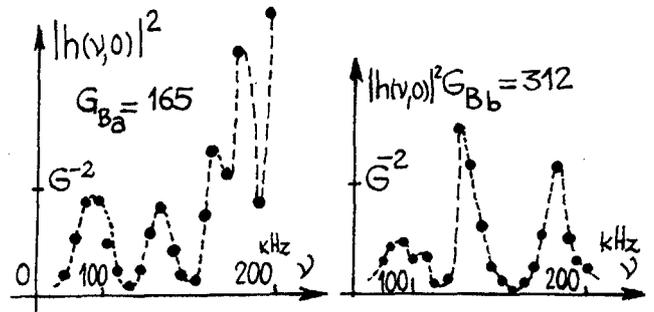


Fig 13a Biboule $\Phi = 36 \text{ mm} = \Phi'$ Fig 13b Biboule $\Phi = 26 \text{ mm} = \Phi'$
Fig 13c Biboule $\Phi = 15,5 \text{ mm}, \Phi' = 10$

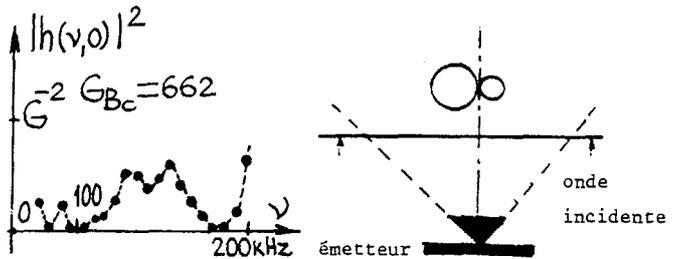
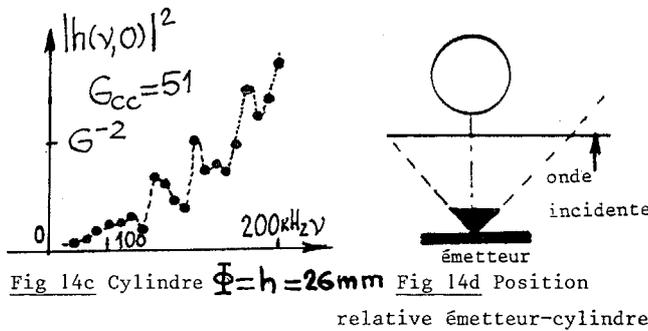
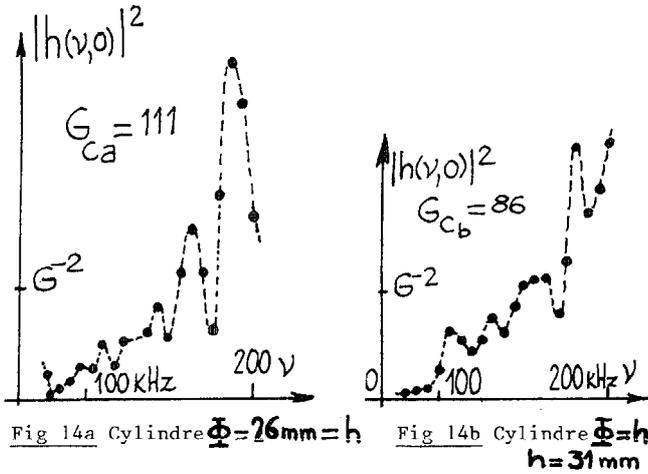


Fig 13d position relative émetteur-biboule

Les figures 14 (a,b,c) décrivent les fonctions de transfert des cylindres courts utilisés



ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE, CLASSIFICATION DE CIBLES ET RECONNAISSANCE DE POISSONS



Les cylindres sont observés dans le sens de la longueur (Cf. Fig 14d).

Il faut remarquer que toutes les cibles sont complètement insonifiées par l'émetteur.

Ces figures traduisent la "signature spectrale" des cibles c'est-à-dire leurs différences de comportement fréquentiel. Il est utile d'insister sur le fait que ce traitement n'est possible que pour des cibles fixes et dans le cas du rapport signal/parasites élevé. Il ne serait possible de l'utiliser sur des poissons placés dans leur habitat naturel.

Pour mettre en évidence cette "signature spectrale" nous allons utiliser la méthode, décrite au paragraphe a, et utilisable en milieu naturel sans inconvénients majeurs.

e) Tentative de classification :

Le premier critère de classification qui vient à l'esprit est de sélectionner les cibles suivant l'énergie qu'elles renvoient ; celle-ci, étant proportionnelle à leur section efficace, permet d'effectuer un classement grossier. Ce tri est possible en utilisant les différentes valeurs des gains portées sur les courbes des fonctions de transfert.

Ce classement peut être affiné en étudiant plus finement la fonction d'interambiguïté signal-écho.

Il est peu aisé de comparer directement en trois dimensions les surfaces d'ambiguïté dues aux différentes cibles ; nous allons uniquement observer les positions et les amplitudes normalisées des maxima des enveloppes des interambiguïtés, en tenant compte de toutes les hypothèses déjà exprimées. Les figures qui suivent donnent une ébauche de classification. Notons tout d'abord que cette classification n'est pas exhaustive, ni complète ; c'est seulement une ébauche. Les figures 15 (a,b,c,d) représentent les valeurs des maxima μ_{nm} en fonction de leur position τ_{mn} . Les cibles sont regroupées en fonction de leurs paramètres $\mu_{nm}(\tau_{mn})$. On constate sur les figures qu'à chaque "groupement" ou "amas" (cluster) de points correspond en fait, pour cet essai, un type de cible particulier.

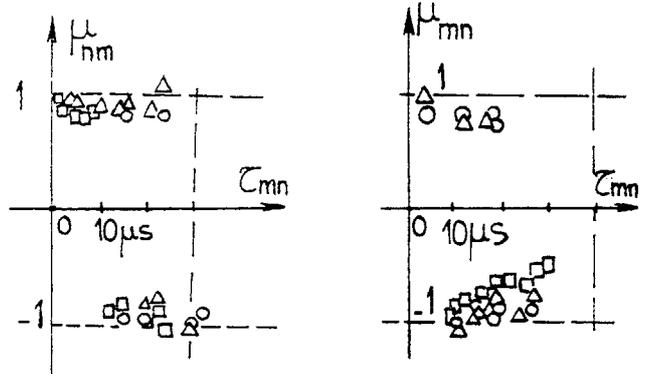


Fig 15a Premier groupement Fig 15b Deuxième groupement
 ○ sphère $\Phi = 36 \text{ mm}$ ○ cylindre $\Phi = h = 36 \text{ mm}$
 △ sphère $\Phi = 31 \text{ mm}$ △ cylindre $\Phi = h = 31 \text{ mm}$
 □ sphère $\Phi = 26 \text{ mm}$ □ cylindre $\Phi = h = 26 \text{ mm}$

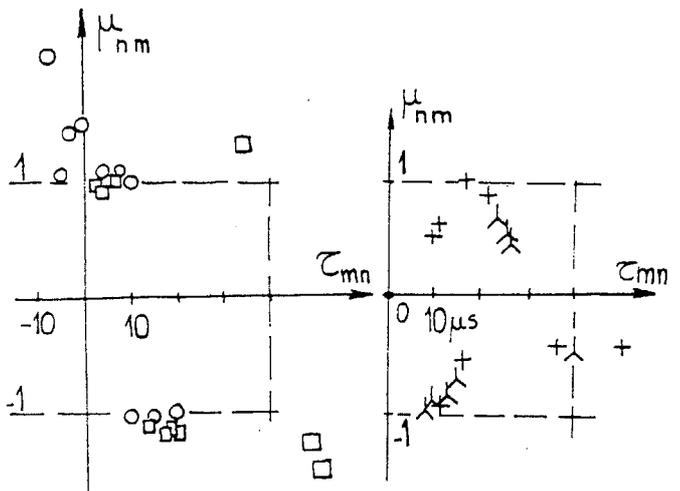


Fig 15c Troisième groupement Fig 15d Quatrième groupement
 ○ biboule $\Phi = 36 \text{ mm} = \Phi'$ 人 sphère $\Phi = 15,5 \text{ mm}$
 □ biboule $\Phi = 26 \text{ mm} = \Phi'$ + biboule $\Phi = 15,5, \Phi' = 10 \text{ mm}$



ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE, CLASSIFICATION DE
CIBLES ET RECONNAISSANCE DE POISSONS

Remarquons que ces courbes ne comportent aucune information sur l'ordre n du filtre considéré. Cette information pourrait être rajoutée dans le processus de classification.

Ces courbes donnent lieu à plusieurs remarques:

- Le comportement des cibles biboules se distingue des cylindres et des sphères de même diamètre. La forme biboule est donc "peu ressemblante" aux formes "sphères et cylindres" dans le cadre des critères choisis et du signal émis.

- Il serait facile de croire que le comportement d'un cylindre court est ressemblant à celui de la sphère du même diamètre. Cette erreur est vite dissipée en observant l'énergie relative des échos correspondants.

- Le comportement de la sphère de diamètre $\Phi = 15,5 \text{ mm}$ et la cible biboule $\Phi = 15,5 \text{ mm}, \Phi' = 10 \text{ mm}$ sont assez similaires entre eux et différent de ceux des autres sphères et biboules. Ceci se justifie quand on tient compte des longueurs d'ondes utilisées ($5 \leq \lambda \leq 25 \text{ mm}$). Ces cibles ont en effet des diamètres de l'ordre de celles-ci (faible valeur de ka).

Cette classification n'est qu'une première approche. Elle met cependant en évidence la différence entre des cibles de tailles voisines des longueurs d'ondes utilisées et celles de tailles supérieures. Elle reste cependant incomplète puisqu'elle ne tient pas compte du rang n du filtre considéré.

Nous orientons actuellement nos recherches vers un dépouillement systématique pour d'autres cibles. Ceci nous permettrait de faire des tests statistiques de ressemblance sur une population assez nombreuse. Cette étude tient compte à la fois des différents maxima $\mu_{n,m}$ et $\tau_{m,n}$, du rang n des filtres et de l'énergie des échos. Elle devrait permettre d'effectuer une classification plus fine et de construire un "critère de classification" plus sélectif.

CONCLUSION :

La recherche porte tout d'abord sur l'extraction des paramètres $\mu_{n,m}$ et $\tau_{m,n}$ caractéristiques de cibles de formes simples. Cette recherche de classification et d'extraction de paramètres significatifs doit être antérieure à toute reconnaissance à partir du catalogue ainsi constitué (19). Notons que ces

paramètres dépendent du signal émis considéré et que la même cible peut avoir des coefficients complètement différents pour différents signaux. Pour nous affranchir au mieux de l'émission (sans pour autant perdre de vue les dimensions relatives des cibles et des longueurs d'onde), nous essayons actuellement d'établir analytiquement la relation linéaire reliant ces coefficients estimés aux coefficients du développement limité de la fonction de transfert de la cible. Cette transformation (qui revient à résoudre un système linéaire dont les coefficients $\mu_{n,m}$ et $\tau_{m,n}$ seraient les "seconds membres") permettrait de rattacher ces coefficients directement à la fonction de transfert de la cible sans tenir compte du signal émis. Dans la mesure des relations existantes entre cette fonction de transfert et des constantes physiques de la cible cette transformation devrait permettre d'affiner cette classification.

D'autre part du point de vue général il est bien vérifié que la zone "acoustiquement intéressante" est la zone des faibles valeurs de ka ; malheureusement cette zone spectrale est difficile à exploiter en raison du faible rapport signal/parasite obtenu. Cette exploration est limitée par les conditions de propagation en petits fonds et en milieu réverbérant (20) que l'on rencontre dans les études pratiques de poissons en milieu fluvial ou lacustre.

REMERCIEMENTS :

Les auteurs tiennent à remercier vivement Mademoiselle E. GELIN et Monsieur V. PAUZAT pour leur participation efficace au dépouillement des essais.

Ce travail a été entrepris dans le cadre de la "Recherche Coopérative sur Programme" RCP 445 du CNRS. Cette recherche a bénéficié en outre de l'appui du Conseil Supérieur de la Pêche (CSP). Les auteurs tiennent à remercier de leurs suggestions tous leurs collègues qui ont bien voulu participer aux discussions portant sur cette recherche.



ANALYSE CONJOINTE EN TEMPS ET FREQUENCE, CLASSIFICATION DE
CIBLES ET RECONNAISSANCE DE POISSONS

BIBLIOGRAPHIE

- (1) a) K. FOOTE Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish.
J. ACOUST. SOC. AM. Vol 67 n°6 June 80 .
b) A. LØVIK and J.M. HOVEM An investigation on swimbladder resonance in fishes.
Proceeding of "Acoustics in fisheries"
Faculty of maritime and engineering studies
Hull College of higher education. Sept. 78
- (2) J.P. SESSAREGO Reconnaissance des formes dans le domaine de l'acoustique.
Revue du CETHEDDEC 16è année 3è trimestre 79 n°60
- (3) J.P. SESSAREGO Etude du problème inverse en acoustique. Reconstruction d'une cible à partir des réponses impulsionnelles observées suivant plusieurs directions. Revue du CETHEDDEC 17è année 2è trimestre 80 NS 80-1 .
- (4) M. MAMODE, B. ESCUDIE Signaux à grand produit durée-bande pour l'estimation optimale non corrélée de paramètres dépendants du type distance-vitesse ; comparaison avec les signaux SONAR de certaines chauve-souris, septième colloque sur le traitement du signal et ses applications.
GRETSI 1979 .
- (5) M. MAMODE, B. ESCUDIE Estimation optimale de la date d'arrivée d'un signal et conditions de découplage vis à vis de paramètres perturbateurs : Exemples de Signaux SONAR animaux à grand produit durée-bande. GRETSI 81.
- (6) R.A. ALTES Sonar for a generalised target description and its similarity to animal echolocation systems, J. Acoust. Soc. Am vol 59 n°1 Jan. 76 .
- (7) M. ZAKHARIA, B. ESCUDIE, J.P. SESSAREGO, J. LEANDRE et C. GAZANHES Essais d'identification de cibles par traitement cohérent en temps et en fréquence. Revue du CETHEDDEC 17è année 2è trimestre 1980 NS 80-1 .
- (8) J.F. DESSE et B. ESCUDIE Réverbération et diffusion multiple par des objets mobiles : application au système SONAR des chauves-souris en présence de réverbération. Revue du CETHEDDEC 16è année 3è trimestre 1979 n°60 .
- (9) R.A. ALTES and D.P. SKINNER SONAR velocity resolution with a linear-period modulated pulse.
J. Acoust. Soc. Am vol 61 n°4 April 77 .
- (10) M. MAMODE Thèse de Docteur-Ingénieur (à paraître) Institut National de Polytechnique de Grenoble .
- (11) P. FLANDRIN et B. ESCUDIE Géométrie des fonctions d'ambiguïté et des représentations conjointes de Ville : l'approche de la théorie des Catastrophes (à paraître) GRETSI 81 .
- (12) E. ROUBINE Introduction à la théorie des communications. tome I Masson éditeur Paris 1970 .
- (13) R.A. ALTES Methods of wideband signal design for RADAR and SONAR systems
P.H.D. Thesis Rochester University N.Y. 1971.
- (14) HELSTROM statistical theory of signal detection Pergamon Press Edition 1960.
- (15) HELSTROM IEEE transaction on information Theory vol IT 12 p. 81-82 Jan. 66 .
- (16) L.K. MONTGOMERY and I.S. REED Correspondance of IEEE transactions on information theory April 67 p. 344-345 .
- (17) M. CHIOLLAZ Fonction d'ambiguïté et tolérance à l'effet doppler de certains signaux émis par les systèmes SONAR biologiques aériens et marins. Thèse de docteur-ingénieur Institut National de Polytechnique de Grenoble 1979.
- (18) T.B.A. SENIOR and P.L.E. USLENCHI Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes. North Holland 1969 (p.416)
- (19) J.P. BENZECRI L'analyse de données .
Tome 1 et 2 Dunod 1980 .
- (20) J.P. SESSAREGO Filtrage spatial des modes par petits fonds. Thèse 3è cycle Université de Provence 1977.