

# NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 20 MAI 1983

---

DETECTION ET COMPTAGE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE.  
POSSIBILITES DE RECONNAISSANCE DES ESPECES ET D'ESTIMATION DE LA TAILLE.

M.ZAKHARIA<sup>+ x</sup>

J.M. PEY<sup>x</sup>

+Institut de Chimie et Physique Industrielles de LYON (I.C.P.I)  
laboratoire de Traitement du Signal .  
25 rue du Plat - 69288 LYON CEDEX 02

x Université Catholique de Lyon  
Laboratoire d'Ichtyologie  
25 rue du Plat - 69288 LYON CEDEX 02

---

## RESUME

Nous avons mis au point, dans nos laboratoires, un prototype de sonar de pêche en vue de la détection, la localisation et le comptage de poissons en milieu fluvial et lacustre.

Le choix de l'architecture du récepteur sonar, ainsi que celui du signal émis, doivent permettre de répondre aux différentes exigences et contraintes de traitement des échos dans un environnement naturel.

Les situations rencontrées en pêche sont très similaires à celles auxquelles sont confrontés les mammifères aériens utilisant un sonar comme moyen de perception du monde extérieur, de détection d'obstacles et de poursuites de proies. Les idées mises en application seront, de ce fait, inspirées de la connaissance que nous avons de ces systèmes biologiques.

Les solutions que nous préconisons ne se prétendent aucunement exhaustives. Elles tentent d'établir un compromis entre les différentes contraintes imposées par le traitement des échos, les possibilités techniques de traitements et le "comportement acoustique" d'un poisson dans son environnement naturel.

Partant de ce comportement, nous explorons les possibilités de reconnaissance de formes (déjà mises au point sur des cibles fixes de formes simples) en vue de l'identification des espèces et de l'estimation de la taille des poissons.

## SUMMARY

We have manufactured, in our laboratories, a fishing sonar prototype with a view to detecting, locating and counting fishes in rivers and lakes.

The choice of the sonar receiver architecture and of the emitted signal must help in complying with the requirements and constraints of processing echoes in natural environment.

The situations encountered in fishing are very similar to those mammals are faced to while using a sonar as a way to perceive their surrounding world, to detect obstacles and to chase their preys. The methods used are, therefore, inspired from the knowledge we have of those bionic systems.

The solutions we propose do not claim to be, in any way, unique. They try to establish a compromise between the various constraints prescribed by the processing of echoes the technological limitations on manufacturing the processing chain, and the "acoustical behaviour" of a fish in its natural environment.

From the observation of that behaviour, we will try to see the possibilities and the limitations of the applying the shape recognition methods (already used with still, simple shaped targets) to species identification and size estimation of fishes.



DETECTION ET COMPTAGE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE.  
POSSIBILITES DE RECONNAISSANCE DES ESPECES ET D'ESTIMATION DE LA TAILLE.

1) INTRODUCTION

La reconnaissance de formes en sonar de pêche doit être effectuée sous les diverses contraintes de propagation en milieu naturel : bruit, réverbération, cibles rapprochées, position sonar-cible, mouvement de la cible (et du sonar)... De ce fait, on ne peut espérer une reconstruction géométrique de l'obstacle. Pour obtenir une classification des cibles en milieu naturel, on dispose uniquement d'une information reliée à leur "signature spectrale". Nous avons vu, dans des études effectuées sur des formes simples [1][2][3][4], qu'une telle information pouvait être suffisante pour établir un critère élémentaire de "ressemblance spectrale" reliée à une "ressemblance géométrique". Pour pouvoir établir une telle étude sur des poissons, il faudra effectuer un traitement identique à celui utilisé pour des cibles fixes de forme simple, dans les conditions de propagation en milieu naturel citées plus haut. Ceci rend le problème d'autant plus difficile que ces conditions conduisent parfois à des contraintes apparemment différentes, voire même contradictoires. Il faudra tenter d'établir un compromis entre ces différentes contraintes tout en tenant compte du comportement du poisson dont nous ne pouvons maîtriser les paramètres .

2) NECESSITE DU FILTRAGE ADAPTE

L'écho d'un poisson est "perturbé" par divers bruits d'origines différentes : bruit de vagues, formation de bulles de gaz, bruits extérieurs (usines bateaux...), bruits provoqués par le mouvement des poissons (nageoires, machoires...) bruit des capteurs piezo-électriques, bruit thermique de la chaîne de traitement ... Ces bruits seront supposés additifs gaussiens et localement stationnaire du deuxième ordre. Ils viendront détériorer les performances de détection du récepteur sonar. Si l'on se fixe comme critère de détection le maximum de vraisemblance, on peut montrer que le filtre optimal de l'écho reçu est le filtre adapté au signal émis.

L'utilisation de signaux dits à "large bande" permet à un tel filtrage de procurer, en plus, une amélioration du rapport signal sur réverbération [5]. La réverbération est supposée additive et non stationnaire ; elle est spectralement distribuée dans la bande du signal émis et augmente avec l'énergie de ce dernier. Un moyen simple pour augmenter le rapport signal sur bruit serait d'augmenter le niveau

d'émission (dans les limites possibles de linéarité du milieu considéré) ; cette augmentation a, malheureusement pour effet d'augmenter le niveau de la réverbération. Le filtrage adapté apparaît encore plus utile dans le cas de milieux réverbérants (et bruités).

Supposons que la réverbération soit spatialement isotrope ; on peut alors augmenter le rapport signal sur réverbération en utilisant, en plus du filtrage adapté, un "traitement d'antenne" approprié ; on émet le signal avec une faible directivité (émission omnidirectionnelle) et on reçoit les échos avec une forte directivité, en préformant un certain nombre de voies de façon à couvrir le champ utile. Nous avons développé cette méthode dans le prototype mis au point en utilisant une structure d'interféromètre à corrélation [6] décrite plus loin (§ 5.1). Dans le cas où on connaît la provenance de la réverbération (réverbération de fond ou de surface du dioptré eau-air par exemple) on peut aussi réduire considérablement son niveau par un traitement d'antenne permettant de réduire l'importance de ces sources, par un choix judicieux de la cadence d'émission et une pondération temporelle permettant d'éliminer certains échos fixes.

Notons par ailleurs, un dernier avantage du filtre adapté : la compression d'impulsion qui procure une amélioration de la résolution en distance tout en utilisant des signaux de grande durée et donc "fortement énergétiques". En effet, si  $B$  est la bande du signal émis, on sait que le premier zéro de l'enveloppe de la fonction d'autocorrélation (critère de Rayleigh) est de l'ordre de  $1/B$ . A durée donnée, plus on augmente la bande du signal émis, plus on améliore la résolution en distance. Cette augmentation se heurte cependant à des limitations technologiques du nombre d'échantillons significatifs que l'on pourra afficher sur la réponse du filtre adapté et des transducteurs électro-acoustiques utilisables.

3) FILTRAGE A Q CONSTANT RELIE A UN MODELE DE CIBLE FIXE

Une cible sonar peut-être considérée comme un filtre spatio-fréquentiel dont le signal émis est l'entrée et l'écho la sortie [1]. La modélisation d'une telle cible par un filtre transversal généralisé permet de décrire, d'une façon simple, divers mécanismes mis en jeu lors de la formation d'un écho. [1] [2] [7] [20]. La réponse impulsionnelle d'un tel filtre s'écrit :

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

L'écho reçu s'écrit alors :

$$E(t) = \sum_{m=1}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h_{nm} S^{(n)}(t - \tau_m)$$

où  $h_{nm}$  et  $\tau_m$  sont des constantes réelles ( $\tau_m > 0$ ). Ce modèle consiste à remplacer la cible par un ensemble de "points brillants colorés" répartis dans l'espace et possédant une position et une coloration caractéristique de la cible considérée. Une telle modélisation peut être justifiée par diverses propriétés de causalité et de stabilité d'un système de filtrage électro-acoustique [1] [9].

L'architecture d'un récepteur sonar, utilisable pour la caractérisation de la "signature spectrale" d'une cible quelconque, est construite autour de ce modèle. Il s'agit d'une batterie de filtres adaptés aux différentes composantes de l'écho [1] [3] :

$$S^{(n)}(t) : \begin{array}{l} \text{dérivée ou intégrale d'ordre} \\ \text{n du signal émis } S(t). \end{array}$$

$$S^{(0)}(t) = S(t)$$

Des contraintes de simplification du récepteur conduisent à l'expression fréquentielle du signal à émettre :

$$\underline{z}(\nu) = A \cdot \exp[-\log^2(\nu/\nu_0)/2 \log g] \cdot \exp[-2i\pi b \log(\nu/\nu_0)/\log g] \cdot U(\nu)$$

$$A, \nu_0, g \in \mathbb{R}^+ \quad g > 1 \quad b \in \mathbb{R}^-$$

Pour un tel signal toute dérivation (ou intégration) temporelle d'ordre n peut être ramenée à une compression (ou dilatation) de taux  $g^n$ .

$$Z^{(n)}(t) = \alpha(n) \cdot Z(g^n t)$$

$Z(t)$  est le signal analytique associé à  $S(t)$ .

On définit ainsi un filtrage (adapté) de l'écho reçu par une batterie de filtres à facteur de surtension Q constant [1]. Le signal émis  $S(t)$  peut être calculé par une méthode d'approximation du type "phase stationnaire" [1] [8]:

$$Z(t) = B_0 \exp[-\log^2(t/t_0)/2 \log g] \cdot \exp[-2i\pi c \log(t/t_0)/\log g] \cdot U(t)$$

$$B_0 \in \mathbb{C} \quad t_0 \in \mathbb{R}^+$$

avec la condition :  $2\pi g \nu_0 t_0 \gg 1$

C'est un tel signal que nous allons utiliser dans le prototype de sonar de pêche mis au point:  $\text{Re}[Z(t)] = S(t)$

#### 4) CHOIX DU SIGNAL EMIS

Nous avons vu que nous avons intérêt à augmenter au maximum la bande fréquentielle du signal émis et ce pour diverses raisons : lutte contre la réverbération, résolution angulaire, connaissance plus complète du comportement acoustique de la cible en vue de reconnaître sa forme. Par ailleurs, nous avons aussi intérêt à augmenter la durée du signal et de ce fait son énergie (à amplitude constante limitée par la linéarité du système d'émission et du milieu de propagation) et ce pour améliorer le rapport signal sur bruit en sortie du filtre adapté.

L'utilisation de signaux à grand produit bande-durée BT se heurte cependant à des limitations dues aux technologies utilisées (ou utilisables) pour la construction de la chaîne de réception et de traitement. Les deux principales limitations sont dues aux transducteurs électro-acoustiques et au filtrage adapté.

Il est en effet difficile de disposer de transducteurs électro-acoustiques sous-marins possédant à la fois une large bande utile et un rendement électroacoustique élevé. On sera donc obligé de sacrifier l'un de ces deux éléments au profit de l'autre ; nous avons choisi de passer outre le rendement électro-acoustique en utilisant un dispositif d'émission approprié.

Les filtres adaptés ont été construits à partir de lignes à retard à sorties multiples, utilisant une technologie de circuits à transfert de charge (B.B.D).



DETECTION ET COMPTAGE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE.  
POSSIBILITES DE RECONNAISSANCE DES ESPECES ET D'ESTIMATION DE LA TAILLE.

On peut ainsi obtenir, à partir d'un seul circuit, 32 copies échantillonnées (cadence  $F_e$ ) et retardées (retard entre deux voies successives  $T_e = 1/F_e$ ) du signal d'entrée [10]. En pondérant les 32 sorties et en les additionnant on peut ainsi construire un filtre transversal à réponse impulsionnelle finie (en temps) :

$$H(t) = \sum_{q=1}^{32} h_q \delta(t - qT_e)$$

On peut ainsi synthétiser une réponse impulsionnelle quelconque et, en particulier, celle du filtre adapté au signal émis ( $S(-t)$ ).

Pour des raisons technologiques (inefficacité de transfert et dynamique de l'ensemble) le nombre d'échantillons utilisables est limité à  $N = 96$  points (3 circuits en cascade). Soit  $T$  la durée utile du signal émis et  $B$  sa bande utile on a alors :

$$B = \nu_2 - \nu_1$$

$\nu_1, \nu_2$  fréquences limites de la bande.

Pour simplifier le filtrage et réduire le nombre d'échantillons nécessaires à définir la réponse impulsionnelle du filtre adapté, on peut, par hétérodynage, ramener le signal dans la bande  $[0, B]$ . Il faudra alors au minimum  $N_{\min} = 2 BT$  échantillons pour définir la réponse impulsionnelle du filtre adapté à  $S_H(t)$ , le signal hétérodyné.

Le produit  $BT$  du signal utilisable est donc limité à 48 :  $BT < 48$

Le choix de la "fréquence centrale" du signal émis et des limites de la bande sont déterminées par le "comportement acoustique" du poisson dans cette gamme de longueurs d'ondes ainsi que par les conditions de propagation :

- \* limitation haute fréquence du fait de l'absorption de l'eau [12] et de la portée désirée (100 m).
- \* limitation basse fréquence du fait des "anomalies" de propagation par petits fonds (1 à 10m) en utilisant des transducteurs de dimensions "raisonnables" [11]

Les fréquences utilisables se trouvent donc dans la bande :

$$30 \text{ kHz} < \nu < 150 \text{ kHz}$$

$$50 \text{ mm} < \lambda < 10 \text{ mm}$$

Ces limitations ne sont pas "strictes" mais indiquent les valeurs à partir desquelles on risque d'observer des "perturbations importantes" de l'écho du fait des "anomalies" de propagation.

Compte-tenu de toutes ces remarques, nous avons choisi un signal du type décrit au paragraphe 3 et possédant les caractéristiques suivantes :

- \* étendue spectrale (à - 40dB) :  
 $50 \text{ kHz} < \nu < 75 \text{ kHz}$
- \* bande utile (à - 40 dB) :  
 $B = 25 \text{ kHz}$
- \* durée utile (à - 40 dB) :  
 $T = 1,28 \text{ ms}$ .

Le produit bande - durée de ce signal est donc :

$$BT = 32 (< 48)$$

Ses paramètres caractéristiques sont :

$$g = 1,004472$$

$$t_0 = 3,15 \text{ ms}$$

$$\nu_0 = 61,2 \text{ kHz}$$

$$b = -0,86$$

La figure 1 donne l'allure d'un tel signal La figure 2 nous montre la réponse du filtre adapté au signal hétérodyné  $S_H(t)$ . Ce signal est ramené dans la bande  $[2, 27 \text{ kHz}]$  par une porteuse à 48 kHz. La figure 3 montre un exemple d'entrée et de sortie du filtre adapté.

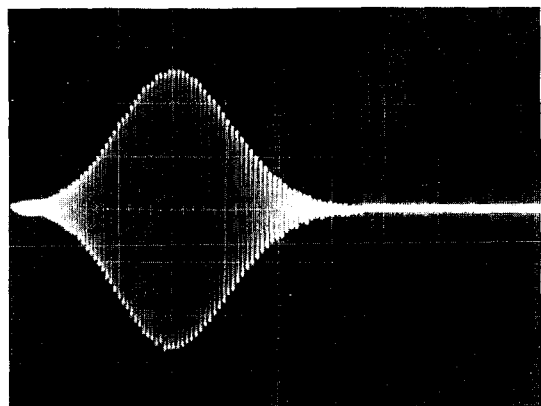


fig. 1 signal émis (0,2 ms/division)



DETECTION ET COMPTAGE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE  
POSSIBILITES DE RECONNAISSANCE DES ESPECES ET D'ESTIMATION DE LA TAILLE

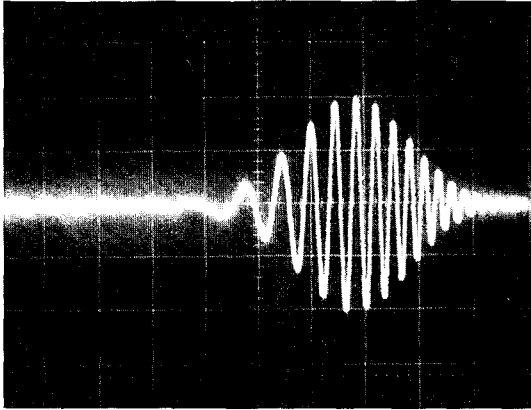


figure 2 - Réponse du filtre adapté (0,2 ms/division)

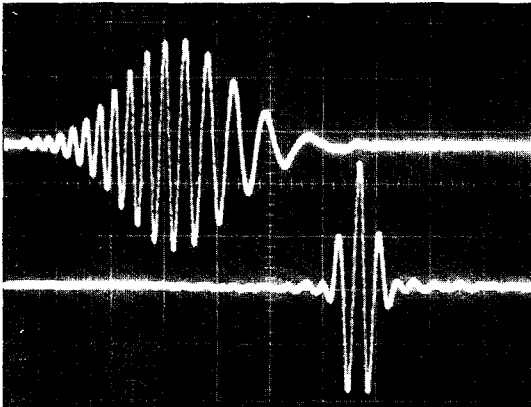


figure 3 : haut : entrée du filtre adapté  $S_H(t)$   
bas : sortie du filtre adapté  $I_{S_H}^H(t)$   
(0,2 ms/division)

5) LIMITATIONS RENCONTREES DANS LE CAS DE CIBLES NATURELLES

5-1 - Introduction

Les diverses perturbations de l'écho d'un poisson en milieu naturel sont résumées dans la figure 4 :

- \* bruit
- \* réverbération
- \* séparation de cibles rapprochées
- \* distance sonar-cible
- \* mouvement radial sonar-cible
- \* position du poisson par rapport à l'axe acoustique

\* mouvement du poisson autour de lui-même .

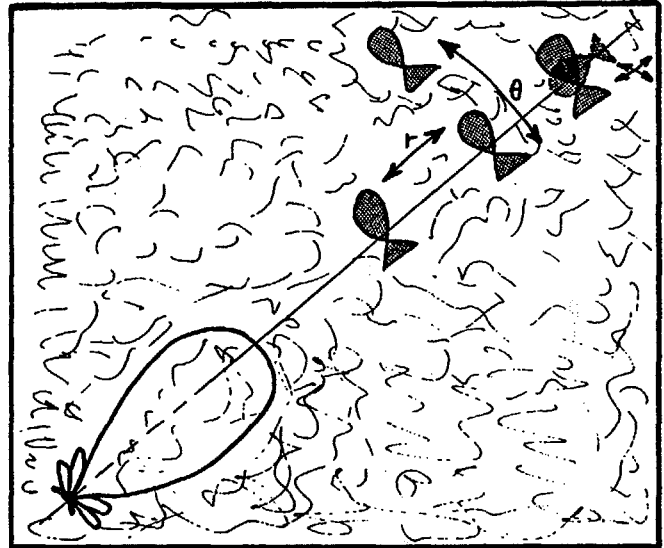


figure 4 : Perturbations de l'écho d'un poisson en milieu naturel.

Nous avons vu, au paragraphe 2, les problèmes dus au bruit et à la réverbération et les solutions que l'on peut procurer par le filtrage adapté et le traitement d'antenne. L'élargissement de la bande spectrale du signal émis semble être un facteur important d'amélioration des performances d'un sonar de pêche. Par ailleurs, cet élargissement permet aussi d'affiner la résolution en distance et de pouvoir, de cette façon, séparer des cibles très rapprochées. On pourra ainsi observer le poisson en tant qu'individu dans un ensemble plus complexe (banc de poissons). Nous allons nous intéresser, maintenant, aux diverses perturbations dues au mouvement relatif sonar-cible.

5-2) Distance sonar-cible

Du fait de la directivité des transducteurs d'émission et de réception, une cible de forme et de taille données, placée dans l'axe acoustique du système, renverra un écho d'autant plus important que la distance sonar-cible sera petite. En supposant la vitesse du son  $c_0$  constante dans l'eau, on peut relier simplement la distance sonar-cible  $r$  à un retard  $\tau$  de propagation :

$$\tau = r/c_0$$

La perte par divergence géométrique peut donc être compensée par une amplification variant avec le temps.



La modélisation de l'onde émise (ou reçue) par une onde sphérique ou cylindrique permet de prévoir théoriquement cette perte [12] [13]. Ces méthodes sont valables sous certaines approximations de champ lointain. L'approximation d'une onde de courbure simple perd de sa validité pour des faibles distances sonar-cible. Il est donc nécessaire d'effectuer un étalonnage en cuve expérimentale du sonar étudié. L'ajustement de la courbe expérimentale obtenu (1 à 50 m) nous conduit à une expression de l'atténuation de l'amplitude reçue [14] :

$$A(r) = A_0 (r + r_0)^{3/2}$$

avec  $A_0 = 0,3$  et  $r_0 = 0,8$  m

Cette expression est intermédiaire entre celle qu'on aurait eu avec une modélisation sphérique et celle d'une modélisation cylindrique. On peut donc construire la fonction de compensation  $C(t)$  :

$$C(t) = 1/A(t) = 1/A(r/c_0)$$

Celle-ci permet d'avoir, pour une cible donnée, un niveau constant de l'écho quelle que soit la distance sonar-cible  $r$ .

### 5-3) Mouvement radial sonar-cible

Du fait du mouvement radial sonar-cible, l'écho renvoyé peut être comprimé ou dilaté en temps. Cette homothétie temporelle peut introduire un biais sur l'estimation de la date d'arrivée de l'écho. En effet, la sortie du filtre adapté n'est plus la fonction d'autocorrélation (décalée du retard de propagation) du signal émis mais une coupe de la fonction d'ambiguïté compression  $\chi_s$  (dite de Kelly Wishner) prise pour une valeur du paramètre  $\eta$  de compression correspondant à une vitesse  $V_R$  sonar-cible :

$$\eta = \frac{1 + V_R/c_0}{1 - V_R/c_0}$$

$$\chi_s(\eta, t) = \sqrt{\eta} \int_{\mathbb{R}} S^*(u-t) S(\eta(u-t_0)) du$$

L'utilisation de signaux dont la phase fréquentielle est logarithmique permet d'annuler le biais sur l'estimation de la date d'arrivée de l'écho  $t_0$ . En effet, soit  $s(\nu)$  ce signal [21] [22]

$$s(\nu) = a(\nu) \exp(i\alpha \log(\nu)) \cdot U(\nu)$$

avec  $a(\nu)$  une fonction réelle positive.  $\alpha \in \mathbb{R}$   
L'écho reçu pourra s'écrire :

$$\begin{aligned} S(\eta(t-t_0)) &\Leftrightarrow \frac{1}{\eta} s(\nu/\eta) \exp(-2i\pi\nu t_0) \\ &= \frac{1}{\eta} \cdot a(\nu/\eta) \exp(i\alpha \log(\nu/\eta)) \cdot \exp(-2i\pi\nu t_0) \end{aligned}$$

La fonction d'ambiguïté aura pour transformée de Fourier :

$$\chi_s(\eta, t) \Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{\eta}} a(\nu) a(\nu/\eta) \exp(i\alpha \log \eta) \exp(2i\pi\nu t_0)$$

$$a(\nu) \cdot a(\nu/\eta) = |w(\nu)|^2 \Leftrightarrow \Gamma_w(t)$$

$f(\nu) = a(\nu) \cdot a(\nu/\eta)$  est une fonction réelle positive.  $F(t)$  a donc une structure de fonction d'autocorrélation. La sortie du filtre adapté sera donc :

$$\chi_s(t, \eta) = [F(t, \eta) \exp(-i\alpha \log \eta) \cdot \sqrt{\eta}] * \delta(t-t_0)$$

L'enveloppe de la fonction d'ambiguïté sera donc toujours maximale à la date  $t_0$ . La phase de la fonction  $\chi_s(t, \eta)$  à  $t = t_0$  est nulle si  $\eta = 0$  (fonction d'autocorrélation). La phase pour  $\eta$  quelconque sera :

$$\Phi = -\alpha \log \eta$$

On peut donc estimer la vitesse sonar-cible à partir de cette phase. La phase peut être connue à  $2k\pi$  près.

Pour le signal décrit au paragraphe 3 cette indétermination apparait à partir d'un taux Dopplèr  $\eta = g^4$ . Pour le signal que nous avons utilisé ceci correspond à une vitesse sonar-cible de l'ordre de 50 km/heure. Si l'on désire mesurer des vitesses supérieures, (ce qui ne semble pas indispensable pour les poissons), il suffit de disposer, en plus, d'un filtre adapté à  $S(g^4 t)$  (ceci donne des vitesses allant jusqu'à 100 km/h). La multiplication de ces filtres est limitée par la dynamique de l'ensemble, l'énergie interspectrale entre  $S(t)$  et  $S(g^n t)$  diminue avec l'ordre  $n$  de dérivation.

Sous des conditions d'approximation de type "phase stationnaire", on obtient des signaux temporels modulés hyperboliquement en fréquence :

$$S(t) = D \cdot A(t) \cdot \exp(i \alpha \log t) \cdot U(t)$$

$$D \in \mathbb{C} \quad A(t) \in \mathbb{R}^+$$

$$v_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt} = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot \frac{1}{v}$$

Le signal que nous avons choisi répond donc aux besoins de tolérance à l'effet Doppler (constant). M.MAMODE montre, de plus, la tolérance à l'accélération (constante) de tels signaux [15]. La seule manifestation de l'effet Doppler en sortie du filtre adapté sera une atténuation du niveau de l'enveloppe. Cette atténuation sera d'autant plus faible (à  $\eta$  donné) que le signal est à large bande i.e. que  $s(v)$  et  $s(\eta v)$  ont une énergie interspectrale commune.

5-4) Position du poisson par rapport à l'axe acoustique

Du fait de la directivité des transducteurs, il est évident que l'écho d'une cible située dans l'axe acoustique à une distance  $r_0$  sera plus faible que celui de la même cible située à la même distance  $r_0$  mais à un angle  $\theta$  différent (cf. fig. 4). Cette atténuation est fonction de l'angle  $\theta$  et de la fréquence du signal émis. Pour compenser cette atténuation, nous nous proposons d'utiliser une structure d'interféromètre à corrélation [6] (cf. figure 5).

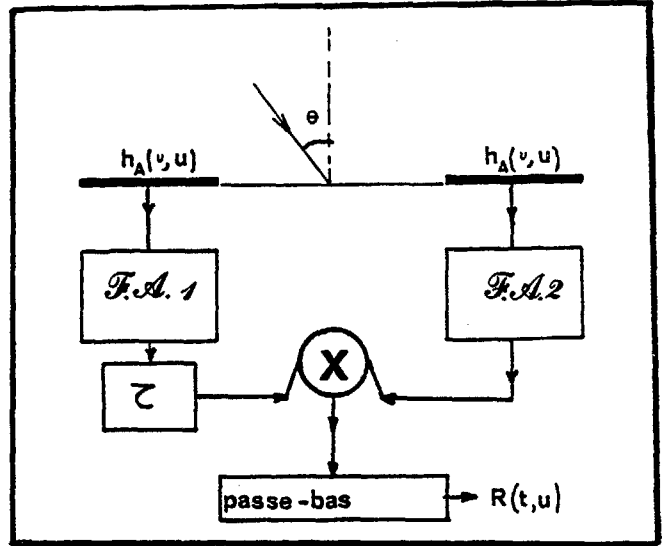


figure 5 - Principe de l'interféromètre à corrélation

$h_A(v, u)$  est le gain spatiofréquentiel de l'antenne de réception.  $u$  est la variable réduite d'espace  $u = \sin \theta / c_0$

On peut avoir, de cette façon, une directivité assez importante dans l'axe acoustique avec deux antennes de réception qui peuvent, elles, être omni-directionnelles. On peut aussi, par un retard entre les deux voies, effectuer une rotation électronique de l'axe de l'interféromètre.

De cette façon, on peut, explorer un grand champ angulaire par petits secteurs (voies préformées) et compenser la directivité des transducteurs dans chaque voie. Nous avons ainsi mis au point un interféromètre à 33 voies couvrant  $\pm 45^\circ$  par rapport à l'axe principal. L'utilisation de l'interféromètre permet aussi d'augmenter, dans chaque secteur, le rapport signal sur réverbération (cf § 2).

5- 5 - Mouvement du poisson autour de lui-même

Le mouvement du poisson autour de lui-même peut affecter considérablement l'écho reçu (dans les gammes de fréquences utilisées). En effet, les diagrammes de directivité de poissons, en haute fréquence, possèdent de nombreuses irrégularités [13] [16] [17]. Le mouvement du poisson est un paramètre que nous ne pouvons maîtriser et qui est essentiellement relié au comportement de ce dernier dans son environnement.



Plusieurs équipes de recherche se sont intéressées à l'estimation de la section efficace d'un poisson in-situ [18][19]. Ces études modélisent le poisson comme un ensemble de points brillants mobiles. Cette modélisation n'est valable que si le poisson a des dimensions de quelques longueurs d'onde (sonar haute fréquence). Ces études ont été menées en utilisant des signaux émis à fréquence fixe ; elles ont donné des résultats intéressants sur l'estimation de la taille de population [18][19].

L'approche du problème est de nature probabiliste. Il ne s'agit pas d'estimer la taille d'un poisson à partir d'un paramètre caractéristique d'un seul écho donné : amplitude de l'enveloppe du signal reçu, mais à partir des propriétés statistiques de ces paramètres extraits pour de nombreux échos.

La méthode que nous nous proposons de mettre au point essaye de faire le lien entre les travaux de ces laboratoires et les études que nous avons faites sur la classification de cibles immobiles de formes simples [1][20]. Il s'agit donc de reprendre le modèle de filtre transversal généralisé présenté au paragraphe 3 et de l'utiliser pour mobiliser chacun des nombreux échos renvoyés par le poisson.

Au lieu de nous intéresser à la valeur des paramètres extraits pour un écho (comme dans le cas de cibles fixes), nous allons nous intéresser aux propriétés statistiques des divers paramètres  $h_n$  et  $\tau_m$  extraits du filtrage à Q constant. Cette généralisation de la méthode statistique au cas des signaux large bande permet d'affiner le classement en s'intéressant simultanément aux diverses composantes spectrales présentes dans le signal émis et l'écho.

## 6 - CONCLUSION

Nous avons passé en revue les principales caractéristiques et performances du sonar de pêche que nous avons mis au point. Nous avons essayé de trouver un compromis qui puisse satisfaire au mieux les contraintes de milieu naturel. Les solutions apportées sont fortement liées à la nature de ces contraintes et ne se prétendent pas générales. La reconnaissance des espèces et l'estimation de la taille des poissons semble possible. Pour pouvoir établir une telle classification des poissons, il est indispensable d'effectuer un grand nombre d'essais sur des poissons de différentes tailles et espèces. On pourra ainsi établir une sorte de "catalogue" de paramètres caractéristiques de poissons permettant de pouvoir comparer un poisson inconnu à un autre déjà "catalogué" au moyen de critères statistiques de "ressemblance spectrale". Pour avoir des données statistiquement significatives il faut avoir plusieurs poissons dans chaque classe et faire des études des paramètres de plusieurs dizaines d'échos. Ceci impose un nombre considérable d'échos à traiter. Une automatisation complète de l'extraction des paramètres en temps réel est indispensable.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été entrepris avec la collaboration de l'équipe Ultrasons du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (L.M.A. CNRS Marseille) dans le cadre de la "Recherche Coopérative sur Programme" RCP 445 et du GRECO 45, avec le soutien du Conseil Supérieur de la pêche (C.S.P), de la Compagnie Nationale du Rhône (C.N.R) et du Ministère de l'Environnement.



DETECTION ET COMPTAGE DE POISSONS PAR SONAR HAUTE FREQUENCE  
POSSIBILITES DE RECONNAISSANCE DES ESPECES ET D'ESTIMATION DE LA TAILLE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ZAKHARIA M. : contribution à la caractérisation et à l'identification de formes simples par sonar actif : application à un sonar de pêche. Thèse Docteur Ingénieur Université d'Aix-Marseille II-Juin 1982
- [2] ZAKHARIA M., SESSAREGO J.P. : "Target classification using a coherent echo processing" IEEE, IC-ASSP, Paris, May 1982.
- [3] ZAKHARIA M., ESCUDIE B., SESSAREGO J.P.: "Analyse conjointe en temps et fréquence adaptée à des signaux échos et classification de cibles en sonar actif : application à la reconnaissance de poissons par sonar haute fréquence". Colloque GRETSI, Nice 1981.
- [4] ZAKHARIA M. "Utilisation de la fonction de transfert de cibles en vue de l'établissement d'une classification par sonar actif". Colloque J.E.S. P.A., LE HAVRE 1982.
- [5] DESSE J.F., ESCUDIE B.: "Réverbération et diffusion multiple par des objets mobiles : application au système sonar des chauves-souris en présence de réverbération". Revue du CETHEDDEC, 16è année N°60, 3ème trimestre 1979.
- [6] BARD C.: "Réponse angulaire des interféromètres acoustiques ou radioélectriques à corrélation pour des signaux à large bande". Thèse de Docteur Ingénieur, INPG, Grenoble, 1976.
- [7] ALTES R.A. : "Sonar for a generalised target description and its similarity to animal echolocation systems". J.Acoust. Soc. Am., VOL 59 n°1, Jan.76.
- [8] FLANDRIN P. : "Représentation des signaux dans le plan temps-fréquence". Thèse de Docteur-Ingénieur. INPG., Grenoble, Mai 1982
- [9] ZAKHARIA M., ESCUDIE B., SESSAREGO J.P., LEANDRE J., GAZANHES C. : "Essai d'identification de cibles par traitement cohérent en temps et en fréquence". Revue du CETHEDDEC, 17è année, NS 80-1, 2ème trimestre 1980.
- [10] RETICON EG & G : "TAD 32" Notice technique.
- [11] SESSAREGO J.P.: "Filtrage spatial des modes par petits fonds" Thèse de 3è cycle, Université de Provence-Marseille, 1977.
- [12] GUIESSE L., SABATIE P. : "Acoustique sous-marine" Dunod, 1963.
- [13] BURCZYNSKI J. Introduction à l'utilisation des systèmes sonar dans l'estimation de la biomasse en poissons. Traduit en français par E.MARCHAL. FAO document technique sur les pêches n°191. Révision 1.
- [14] ZAKHARIA M., ESCUDIE B., GOUBIER J., PEY J.M.: Sonar panoramique, rapport de synthèse. Rapport interne. Laboratoire d'Ichtyologie. (Université Catholique de Lyon) Fév. 83
- [15] MAMODE M.: "Estimation optimale de la date d'arrivée d'un écho sonar perturbé par l'effet Doppler ; synthèse de signaux "large bande" tolérants. Thèse de Docteur-Ingénieur, INPG, Grenoble, Mai 1981.
- [16] P.H. DAHL, O.A. MATHISEN Measurements of acoustic backscattering directivity and target strength of salmonids. University of Washington College of Fisheries report N° FRI UW 8126 December 81.
- [17] STEPHENS R.W.B.: "Underwater acoustics. (P129-199) Acoustic echoes from targets under water. by HASLETT T." Interscience, London 1970.
- [18] K.HUANG, C.S. CLAY Backscattering cross-sections of live fish : PDF and aspect J.Acoust. Soc. Am 67(3) Mar. 1980.
- [19] J.E.EHRENBERG A review of in situ target strength estimation techniques Symposium on Fisheries Acoustics Bergen Norway June 82.
- [20] ZAKHARIA M. : "Problèmes inverses en sonar de pêche : possibilités et limitations". Journées sur les problèmes inverses et applications. C.N.R.S., L.C.P.C. Janv. 83
- [21] ALTES R.A. "Communication privée".
- [22] ALTES R.A. SKINNER D.P. : "Sonar velocity resolution with a linear-period-modulated pulse". J.Acoust. Soc. Am. vol. 61 n°4 April 1977.