

# SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

---

CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ADAPTE EN  
PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
BIOLOGIQUES  
SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICA-  
TION TO CETACEAN ECHOLOCATION SIGNALS.

M. DECOUVELAERE

DEPARTEMENT SYSTEMES ET COMMUNICATIONS  
ENST. 46 rue Barrault, 75634 PARIS - Cedex 13

---

## RESUME

Le système SONAR des mammifères marins s'est révélé posséder des performances remarquables, notamment en détection active en présence de réverbération. Cependant, l'hypothèse d'un traitement par filtrage adapté n'est pas rejetée à l'heure actuelle. On s'intéresse donc ici, dans un but de comparaison, aux signaux optimaux pour le critère du rapport signal sur bruit, en sortie d'un filtre adapté à l'écho d'une cible ponctuelle, en présence de bruit blanc et d'un bruit de réverbération de moyenne et covariance connues. Le signal optimal vérifie une équation intégrale non linéaire faisant intervenir sa fonction d'inter-ambiguïté en compression avec la réponse d'un diffuseur élémentaire. On résout numériquement cette équation dans un espace restreint de solutions, en exprimant le signal cherché sous la forme d'une combinaison linéaire finie de fonctions orthonormées. La méthode employée est générale. Cependant, avec des contraintes spécifiques représentant de manière simplifiée le cas des mammifères marins, on a pu obtenir, même avec des fonctions de base simples, des signaux comparables aux signaux émis observés, du point de vue du critère de performance et, dans une certaine mesure, de la forme.

## SUMMARY

Marine mammals have shown good performance in SONAR detection with reverberation noise. In order to compare the emitted signals, we seek optimal signals for maximum output signal-to-noise ratio when the receiver is a matched filter detector and there is a reverberation noise component of which the expectation and covariance are known. The optimal signal satisfies a non linear integral equation. We solve it numerically, writing the signal as a linear combination of  $M$  orthonormal functions. This method is general. It is used here with specific constraints and yield waveforms which bear good comparison with observed emitted signals.



CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ADAPTE EN  
PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
BIOLOGIQUES  
SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICATION  
TO CETACEAN ECHOLOCATION SIGNALS.

### Introduction

Le système SONAR des mammifères marins possède, les expériences de comportement l'on prouvé, des performances remarquables. Pour tenter de caractériser les signaux émis, on est amené à prendre en compte le mieux possible les conditions extérieures auxquelles ces animaux sont confrontés lors de leurs opérations de détection ou de reconnaissance de cibles. Nous nous intéressons ici au problème de la détection en présence de réverbération, tenant donc compte, au moins partiellement, des particularités du milieu marin. Nous présentons une méthode numérique de synthèse des signaux qui, appartenant à une certaine classe de signaux admissibles, luttent le mieux contre le bruit de réverbération lorsque la réception est effectuée par filtrage adapté à l'écho de la cible à détecter. (on verra plus loin comment cette hypothèse se justifie pour le cas qui nous concerne).

Cette méthode de conception du signal est générale ; nous l'appliquons ici en utilisant un modèle simplifié du cas réel et comparons les signaux obtenus à certains signaux émis par les animaux.

### Détection en présence de réverbération

Considérons la situation de détection suivante : soit  $s(t)$  le signal, réel et de durée  $T$ , émis à l'instant 0 dans le milieu marin. Ce signal est réfléchi par la cible, lorsqu'elle est présente, mais aussi par des diffuseurs parasites présents dans le milieu. Le récepteur reçoit le signal  $y(t)$  défini par :

- (1)  $y(t) = n(t) + r(t)$  : hypothèse "cible absente"  
 $y(t) = c(t) + n(t) + r(t)$  : hypothèse "cible présente"

où .  $t \in [T_i, T_f]$  intervalle d'observation  
 .  $n(t)$  est un bruit gaussien centré supposé blanc dans la bande de fréquences utile, de variance  $\frac{N_0}{2}$ , représentant le bruit de fond marin.  
 .  $r(t)$  est le bruit de réverbération, indépendant de  $n(t)$ , supposé gaussien, de moyenne  $m_r(t)$  et de covariance  $\Gamma_r(t,u)$  connues en fonction de  $s$ .  
 .  $c(t)$  est l'écho provenant de la cible. La transformation  $s(t) \rightarrow c(t)$  est supposée déterministe et connue.

On est ici confronté au problème de la détection d'un signal connu dans un bruit gaussien non stationnaire et non centré. La structure du récepteur optimal

pour le critère de Neyman-Pearson a été développé dans [1]. On montre en particulier que seul le seuil dépend de la moyenne  $m_r(t)$  ; en revanche, le filtre et les performances de réception dépendent à la fois du signal émis et de la covariance du bruit total.

Nous considérons ici le récepteur (R) -sous-optimal- qui ne tient pas compte a priori du bruit de réverbération ; le test effectué est

- (2) comparer  $l = \int_{T_i}^{T_f} c(t) y(t) dt$  à un seuil.

La performance de ce récepteur est caractérisée par le rapport signal sur bruit à sa sortie

$$(3) \quad \rho = \frac{E_c^2}{\frac{N_0}{2} E_c + \int_{T_i}^{T_f} c(t) \Gamma_r(t,u) c(u) dt du}$$

où  $E_c = \int_{T_i}^{T_f} c^2(t) dt$  est l'énergie de l'écho.

$\rho$  est toujours inférieur ou égal au rapport signal sur bruit en sortie du filtre optimal. D'autre part, on a toujours  $\rho \leq \frac{2E_c}{N_0}$ , cette borne supérieure étant atteinte dans le cas du bruit blanc gaussien seul, pour lequel (R) est le récepteur optimal.

Nous cherchons à rendre  $\rho$  le plus grand possible ; il est clair qu'il ne suffit pas d'augmenter l'énergie émise (donc  $E_c$ ), car alors la variance du bruit de réverbération augmente simultanément. La forme de  $s(t)$  intervient également ; c'est pourquoi, après avoir précisé les hypothèses faites sur le bruit de réverbération et sur l'écho de la cible, nous présentons une méthode de recherche des signaux qui rendent  $\rho$  maximal.

Remarquons auparavant que l'hypothèse de détection par corrélation avec l'écho de la cible est fondée dans les deux situations suivantes :

- soit la structure du récepteur est imposée comme telle (les connaissances biologiques actuelles concernant le traitement des échos par les mammifères marins ne permettent pas de statuer sur ce point, en revanche les propriétés remarquables de la fonction d'ambiguïté des signaux émis conduisent à considérer cette hypothèse [2])

- soit on ne connaît pas, ou peu, les propriétés statistiques du bruit de réverbération, auquel cas on se limite à un récepteur plus simple que l'optimal ; en revanche on choisit le signal émis en fonctions d'hypothèses plausibles.



CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ADAPTE EN  
PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
BIOLOGIQUES  
SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICATION  
TO CETACEAN ECHOLOCAION SIGNALS.

De plus, on peut montrer que dans certains cas, notamment celui de signaux émis à large bande et d'un bruit  $r(t)$  localement stationnaire [3], le gain du filtre optimal par rapport au récepteur (R) n'est pas très grand. (Ceci est confirmé par les résultats obtenus par R.A. ALTES [4] dans un contexte analogue : les filtres optimaux ne sont pas très différents des filtres adaptés aux signaux émis).

Modèle du bruit de réverbération

Précisons les caractéristiques du bruit  $r(t)$  : le modèle utilisé a été développé, en particulier pour le milieu marin, par Mme G. JOURDAIN [5]. Il a été choisi ici parce qu'il rend compte de l'effet Doppler en tant que véritable compression du signal, réel, émis. Nous ne pouvons en effet, dans le cas des signaux émis par les dauphins, à faible produit bande passante  $\times$  durée WT, représenter l'effet Doppler par un déplacement de fréquence, étant données les valeurs possibles de la vitesse relative émetteur-cible par rapport à la vitesse du son dans l'eau.

Les diffuseurs sont supposés être des cibles ponctuelles de vitesses relatives constantes et les coefficients de réflexion correspondant sont des variables aléatoires réelles non corrélées (hypothèse WSSUS). Lorsque  $s(t)$  est émis, chaque diffuseur renvoie l'écho élémentaire

$$(4) \quad G(\lambda, \xi) \sqrt{\lambda} s(\lambda(t-\xi))$$

où  $\xi$  est le retard et  $\lambda$  le taux de compression Doppler. On a alors

$$(5) \quad r(t) = \iint_{\Omega} G(\lambda, \xi) \sqrt{\lambda} s(\lambda(t-\xi)) d\lambda d\xi$$

$\Omega$  étant le domaine de répartition des diffuseurs.

En outre les observations expérimentales du bruit de réverbération conduisent à le supposer gaussien.

La covariance  $\overline{r}(t, u)$  s'écrit :

$$(6) \quad \overline{r}(t, u) = \iint_{\Omega} \sqrt{\lambda} s(\lambda(t-\xi)) E_r \Delta(\lambda, \xi) \sqrt{\lambda} s(\lambda(u-\xi)) d\lambda d\xi$$

où  $\Delta(\lambda, \xi)$  est la fonction de diffusion du milieu normée par

$$(7) \quad \iint_{\Omega} \Delta(\lambda, \xi) d\lambda d\xi = 1$$

Signal optimal

Avec ce modèle de bruit de réverbération, et supposant de plus que l'écho de la cible s'écrit

$$(8) \quad c(t) = a \sqrt{\eta} s(\eta(t-\tau))$$

où  $a$ ,  $\eta$  et  $\tau$  sont connus du récepteur, nous pouvons écrire le rapport signal sur bruit

$$(9) \quad \rho = \frac{2E_c^2}{N_o E_c + E_r \beta}$$

avec

$$(10) \quad \beta = 2 \iint_{\Omega'} \Delta(\eta\lambda, \frac{\xi}{\eta} + \tau) |\chi_s(\lambda, \xi)|^2 d\lambda d\xi$$

$$(11) \quad E_c = a^2 \int_0^T s^2(t) dt = a^2 E_s$$

et où

$$(12) \quad \chi_s(\lambda, \xi) = \int_0^T s(t) \sqrt{\lambda} s(\lambda(t-\xi)) dt$$

est la fonction d'ambiguïté en compression du signal émis  $s(t)$ .

L'énergie  $E_s$  et la durée  $T$  d'émission étant fixées,  $\rho$  dépend de la forme de  $s(t)$ , par l'intermédiaire de la fonction d'ambiguïté  $\chi_s$ .

$$\text{Posons (13) } s(t) = \sqrt{\frac{E_s}{T}} u\left(\frac{t}{T}\right); \int_0^1 u^2(t) dt = 1$$

$\rho$  s'écrit alors

$$(14) \quad \rho = \frac{2E_s a^2}{N_o} \frac{1}{1 + \frac{E_r E_s}{N_o a^2} \beta_u}$$

avec (15)  $\beta_u = 2 \iint |\chi_u(\lambda, \xi)|^2 D(\lambda, \xi) d\lambda d\xi$

$$(16) \quad D(\lambda, \xi) = T \Delta\left(\eta\lambda, \frac{T\xi}{\eta} + \tau\right)$$

où  $\lambda$  et  $\xi$  sont désormais des variables réduites représentant le taux de compression par rapport à celui de la cible et le retard, par rapport à  $T$  et à celui de la cible.

Nous cherchons la fonction  $u(t)$ , déterminant la forme du signal émis, qui, étant donnée  $D(\lambda, \xi)$  rend  $\beta_u$  minimum.



CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ACAPTE EN  
PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
BIOLOGIQUES  
SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICATION  
TO CETACEAN ECHOLOCATION SIGNALS.

L'équation que doit vérifier  $u(t)$  pour rendre  $\beta_u$  minimum à énergie fixée est la suivante :

$$(17) \quad 0 = z u(t) + \iint D(\lambda, \xi) \chi_u(\lambda, \xi) \left[ \sqrt{\lambda} u(\lambda(t-\xi)) + \frac{1}{\sqrt{\lambda}} u\left(\frac{t}{\lambda} + \xi\right) \right] d\lambda d\xi$$

où  $z$  est un paramètre de Lagrange dont la valeur est déduite de la contrainte d'énergie. Au vu de cette équation, il n'apparaît pas de méthode simple de détermination analytique du signal optimal.

L'approche proposée est donc de résoudre numériquement l'équation (17) dans un espace restreint de solutions.

#### Synthèse numérique du signal

Nous cherchons  $u(t)$  dans l'espace des fonctions admissibles engendré par les fonctions  $\varphi_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, M$  de  $L^2[0,1]$  continues, dérivables et constituant un système orthonormé.

$$(18) \quad \text{On écrit : } u(t) = \sum_{i=1}^M a_i \varphi_i(t) \quad t \in [0,1]$$

Le choix des fonctions  $\varphi_i(t)$  influe bien évidemment sur la solution trouvée. En particulier, nous pouvons imposer d'emblée à ces fonctions des contraintes que nous désirons voir remplies par  $u(t)$ .

Le problème initial, trouver  $u(t)$ , dans l'espace admissible, qui rend  $\rho$  maximal, se ramène donc à la détermination du vecteur  $a = (a_1, \dots, a_M)$  unitaire (c.a.d.  $\|a\| = 1$ ) et qui rend minimale la quantité

$$(19) \quad \iint D(\lambda, \xi) \left[ \sum_{i,k=1}^M a_i a_k \int_0^1 \sqrt{\lambda} \varphi_i(t) \varphi_k(\lambda(t-\xi)) dt \right]^2 d\lambda d\xi$$

Les conditions nécessaires d'optimalité sont :

$\exists \alpha \in \mathbb{R}$  tel que

$$(20) \quad \alpha a_j - \sum_{i,k=1}^M a_i a_k a_l (C_{kl}^{ij} + C_{kj}^{il}) = 0 \quad j=1, \dots, M$$

$$\sum_{i=1}^M a_i^2 - 1 = 0$$

$$\text{où } (21) \quad C_{kl}^{ij} \triangleq \iint D(\lambda, \xi) \chi_{ik}(\lambda, \xi) \chi_{jl}(\lambda, \xi) d\lambda d\xi$$

$$(22) \quad \chi_{ik}(\lambda, \xi) \triangleq \sqrt{\lambda} \int_0^1 \varphi_i(t) \varphi_k(\lambda(t-\xi)) dt$$

On vérifie aisément que le critère choisi conduit à minimiser

$$\alpha = \beta_u = 2 \iint |\chi_u(\lambda, \xi)|^2 D(\lambda, \xi) d\lambda d\xi$$

Par conséquent, nous opérons de la manière suivante :

Etant donné une fonction  $D(\lambda, \xi)$  et un système de fonctions de base  $\varphi_i(t)$   $i = 1, \dots, M$  : on résout le système d'équations (20) à  $M+1$  inconnues  $a_1, a_2, \dots, a_M, \alpha$  et on retient comme solution possible au problème initial le vecteur  $\hat{a}_1 \dots \hat{a}_M$  qui conduit à la plus petite valeur de  $\alpha$ .

$$\text{Alors } \hat{u}(t) = \sum_{i=1}^M \hat{a}_i \varphi_i(t) \text{ est la forme d'onde désirée.}$$

$\hat{u}(t)$  est alors un des signaux de l'espace vectoriel engendré par les fonctions  $\varphi_i(t)$ ,  $i = 1 \dots M$  qui luttent le mieux contre le bruit de réverbération caractérisé par la fonction  $D(\lambda, \xi)$  lors de la détection d'une cible par filtrage adapté à l'écho.

Nous remarquons ici que la méthode préconisée pour la conception du signal  $s(t)$  répond à un problème plus général que la caractérisation des signaux émis par les mammifères marins. Cependant, nous voyons maintenant l'utilisation qui peut en être faite dans le cas des mammifères marins, pour la synthèse des signaux émis.

#### Application : cas des mammifères marins

On a appliqué la méthode décrite précédemment au cas des signaux émis par les dauphins. Bien évidemment, la situation de détection en présence de réverbération considérée ici n'est qu'un problème précis parmi tous ceux auxquels l'animal évoluant dans la mer doit faire face. D'autre part, nous n'incluons pas ici de contraintes d'ordre biologique, celles-ci étant mal précisées à l'heure actuelle et en tous cas difficiles à inclure dans un modèle mathématique.

#### Choix de $D(\lambda, \xi)$

Une des caractéristiques des signaux émis par les dauphins, observée sur leur fonction d'ambiguïté en compression, est la quasi-invariance de celle-ci en fonction de  $\lambda$  au voisinage de son maximum  $\chi_S(1,0)$ . Nous interprétons ici cette propriété de la fonction d'ambiguïté de la manière suivante :

CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ADAPTE EN  
 PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
 BIOLOGIQUES  
 SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICATION  
 TO CETACEAN ECHOLOCATION SIGNALS.

On se souvient que dans le plan  $(\lambda, \xi)$  la cible que l'on cherche à détecter est située au point  $\xi=0, \lambda=1$ . Les diffuseurs parasites se trouvent eux dans un voisinage de ce point. La quasi-invariance de  $\chi_s$  en fonction de  $\lambda$  traduit l'impossibilité pour l'animal de distinguer la cible des diffuseurs parasites à l'aide d'une différence de vitesse ; ceci dans le cas où il utilise le filtrage adapté pour la détection de la cible à partir d'un seul signal émis. En effet, dans ce cas, la valeur du test qu'il emploie pour la décision ne dépend pas de  $\lambda$ . On peut donc penser que, dans ces conditions, il ne cherche pas à lutter contre une réverbération qui privilégie certaines valeurs de  $\lambda$ .

La fonction  $D(\lambda, \xi)$  sera donc supposée uniforme en  $\lambda$  dans un voisinage de  $\lambda = 1$  ; les vitesses relatives de la cible -proie- et des diffuseurs ne sont pas très différentes car le terme prépondérant est dans les deux cas la vitesse -absolue- du dauphin lui-même. Nous ne considérons  $D(\lambda, \xi)$  non nulle que dans un voisinage de  $\lambda = 1$ . D'autre part, les valeurs de  $\chi_s(\lambda, \xi)$  et  $\chi_s(\frac{1}{\lambda}, -\lambda\xi)$  sont égales, donc contraindre  $\chi_s(\lambda, \xi)$  pour  $\xi > 0$  entraîne le même type de contrainte pour  $\xi < 0$ . Nous supposons ici  $D(\lambda, \xi)$  nulle pour  $\xi < 0$ . Nous avons utilisé essentiellement deux types de fonctions de diffusion :

$$1/ D_1(\lambda, \xi) = \text{constante} \quad \begin{matrix} \lambda \in [1-\Sigma_1, 1+\Sigma_1] \\ \xi \in [\Sigma_2, 1] \quad \Sigma_1, \Sigma_2 > 0 \end{matrix}$$

L'énergie réfléchiée par les diffuseurs est ici uniformément répartie dans un domaine proche de la cible.

$$2/ D_2(\lambda, \xi) = \text{cte } x(e^{10\xi^2} - 1) \quad \begin{matrix} \lambda \in [1-\Sigma_1, 1+\Sigma_1] \\ \xi \in [0, 1] \end{matrix}$$

Dans ce cas, les diffuseurs sont quasiment concentrés sur une surface située derrière la cible par rapport à l'émetteur-récepteur.

Dans ces deux cas, nous forçons la fonction d'ambiguïté à n'avoir des valeurs importantes que le long de l'axe  $\xi = 0$ .

Choix des  $\varphi_i$

Celui-ci est motivé par les contraintes dues à l'origine physique du problème, et par l'observation des signaux effectivement émis. Ceux-ci sont en général à large bande mais de produit  $WT$  faible : ils ne comportent que quelques alternances. Nous donnons ci-

dessous (figures 1 à 4) quelques exemples de signaux émis par les dauphins *Delphinus Delphis* (d'après A. DZIEDZIC [7]) et *Tursiops Truncatus* (d'après W. L. AU et AL [8]) dans des circonstances où ils avaient à détecter des objets (obstacles ou objets à distinguer) en mer.

Nous avons utilisé trois familles de fonctions de base orthonormées, ayant la propriété commune

$$(23) \quad \varphi_i(0) = \varphi_i(T) = 0 :$$

- a)  $\varphi_{ai}(t) = \sqrt{2} \sin \pi m_i t \quad i = 1 \dots M \quad t \in [0, 1]$
- b)  $\varphi_{bi}(t) = \frac{\sqrt{2}}{\|S_{oi}\|} S_{oi}(10, 2t-1) \quad i = 0, M-1$

où les  $S_{oi}(c, u)$  sont les fonctions harmoniques elliptiques (Angle Prolate Spheroidal Wave functions) [8]. Ces fonctions de base ont été choisies car, pour une durée  $T$  et une largeur de bande  $W$  données elles permettent, avec  $M = 2WT + 1$  d'approcher au mieux au sens de la distance de  $L^2[0, T]$  toute fonction  $f(t)$  de  $L^2[0, T]$  et d'énergie concentrée dans la bande  $[-W, +W]$ . Ici  $c = \pi WT = 10$  donc  $WT \approx 3,5$  ce qui est du même ordre que les valeurs observées. Pratiquement on s'est limité à  $M \leq 4$  pour respecter la condition (23).

$$c) \quad \varphi_{cm}(t) = A_m D_m(7(2t-1)) \quad \begin{matrix} t \in [0, 1] \\ m = 0, \dots, M-1 \end{matrix}$$

où  $D_m(x) = 2^{-m/2} e^{-\frac{x^2}{4}} H_m(\frac{x}{\sqrt{2}})$  est la fonction de Weber-Hermite de degré  $m$ . Ces fonctions interviennent comme fonctions élémentaires pour la représentation de l'information contenue dans un signal [9].

Résultats

Les figures 5 à 10 donnent des exemples de signaux localement optimaux obtenus. Le système d'équations (20) est résolu par la méthode de Newton-Raphson à partir d'au moins trois vecteurs  $(a_1 \dots a_M, \alpha)$  initiaux. Nous résumons les paramètres des signaux représentés figure 1 à 10 dans le tableau ci-dessous, en donnant pour chaque cas la valeur du critère  $\alpha$  ; pour les signaux calculés on donne la valeur de  $\alpha$  correspondant à la fonction de diffusion qui a permis de les obtenir comme signaux localement optimaux.



CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ADAPTE EN  
 PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
 BIOLOGIQUES  
 SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICATION  
 TO CETACEAN ECHOLOCATION SIGNALS

	$D_1(\lambda, \xi) \Sigma_2=0,04$		$D_2(\lambda, \xi)$		Figure
	$\Sigma_1=0,025$	$\Sigma_1=0,125$	$\Sigma_1=0,025$	$\Sigma_1=0,125$	
D.Delphis	0,136	0,140	$8,22 \cdot 10^{-5}$	$8,16 \cdot 10^{-5}$	1
D.Delphis	0,112	0,119	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	2
T.Truncatus	0,0455	0,0463	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$9,85 \cdot 10^{-5}$	3
T.Truncatus	0,1065	0,1064	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,68 \cdot 10^{-5}$	4
$\varphi_{b, M=3}$	0,20				5
$\varphi_{b, M=4}$				$6,6 \cdot 10^{-5}$	6
$\varphi_a ; m_i = 4,5,6,7,8,9$			$4,3 \cdot 10^{-9}$		7
$\varphi_a ; m_i = 4,5,6,7,8,9$		0,086			8
$\varphi_c ; n = 3,4,5$		0,037			9
$\varphi_c ; n = 0,1,2,3,4,5$				$2,6 \cdot 10^{-6}$	10

On voit que les performances des signaux calculés sont du même ordre que celles des signaux expérimentaux dans les mêmes conditions. Pour ce qui est de la forme du signal, on ne peut ici évoquer que l'analogie -et non l'identité- des signaux observés avec les signaux calculés.

Ceci provient surtout à notre avis, de la méconnaissance des contraintes biologiques de génération du signal, qui n'ont donc pas été incluses dans le modèle utilisé.

Il n'en resté pas moins que, utilisant des fonctions de diffusions très schématiques, et même avec des fonctions de base très simples (sinusoïdales) on a pu obtenir des signaux comparables aux signaux typiquement observés, ce qui confirme a posteriori, l'intérêt de la méthode utilisée.

#### Conclusion

On a présenté ici une méthode numérique de conception du signal pour la détection active en présence de réverbération lorsque le traitement est effectué par filtrage adapté à l'écho de la cible cherchée. En utilisant un modèle ne représentant que de manière partielle et simplifiée les conditions que rencontrent les mammifères marins, on a pu, appliquant cette méthode, obtenir des signaux comparables à des signaux typiques observés.

#### Remerciements

Ce travail a été effectué à l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, dans le cadre du groupe d'Etude des Sonars Biologiques. L'auteur tient à remercier les autres membres du groupe, notamment B. ESCUDIE et Y. BIRAUD, pour leur collaboration au cours de nombreuses discussions, et M. CHIOLLAZ, pour l'étude des signaux expérimentaux.

#### Références

- [1] G. JOURDAIN, J. MUNIER. Colloque Nat. sur le Traitement du Signal, Nice 1975, p. 603
- [2] Z.A. DZIEDZIC et AL. Comptes Rendus Acad. Sc. Paris, 7-10-1974, Série D-Tome 279, p. 1313
- [3] G. JOURDAIN, G. LOUBET. Rapport CEPHAG n° 48177, Grenoble, Octobre 1977
- [4] R.A. ALTES, Ph. D. Dissertation - University of Rochester, 1970
- [5] G. JOURDAIN. Thèse de Doctorat d'Etat, Grenoble 15-09-1976
- [6] M. CHIOLLAZ et AL. Coll. Nat. sur le Traitement du Signal, Nice 1977, n° 100
- [7] Z.A. DZIEDZIC. Thèse de Doctorat d'Etat, 14-12-1978, Université de PARIS VII
- [8] W.L. AU et AL. JASA Vol 56 n° 4, Octobre 1974, p. 1280
- [9] T.W. BARRETT. J. Life Sciences, 1971, I, 129-135

CONCEPTION DU SIGNAL POUR LA DETECTION ACTIVE PAR FILTRAGE ADAPTE EN  
 PRESENCE DE REVERBERATION : APPLICATION A L'ETUDE DES SIGNAUX SONAR  
 BIOLOGIQUES  
 SIGNAL DESIGN FOR MATCHED FILTER DETECTION WITH REVERBERATION : APPLICA-  
 TION TO CETACEAN ECHOLOCATION SIGNALS.

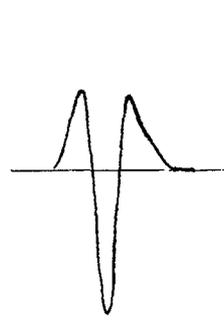


Figure 1.  
 - Signaux de Delphinus delphis  
 d'après A. DZIEDZIC [7]

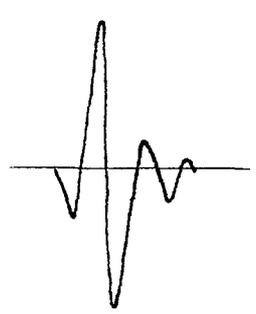


Figure 2.

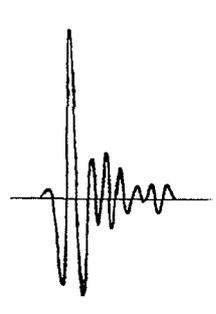


Figure 3.

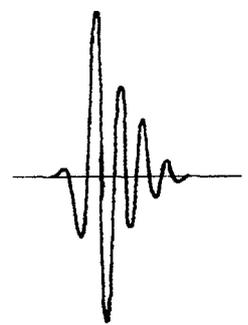


Figure 4.

- Signaux de Tursiops truncatus  
 d'après W.L. AU [8]

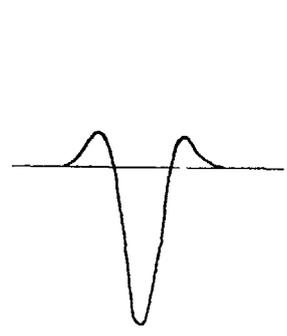


Figure 5.  
 - Signaux obtenus à partir des PSWF  
 $(\varphi_b(t))$

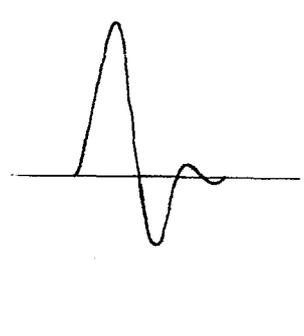


Figure 6.

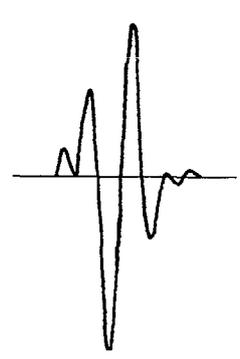


Figure 7.

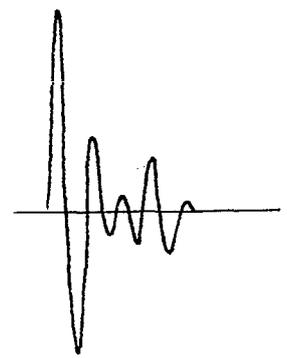


Figure 8.

- Signaux obtenus à partir des  
 fonctions sinus  $(\varphi_a(t))$

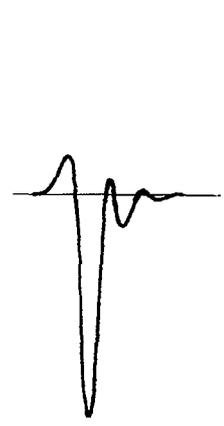


Figure 9.  
 - Signaux obtenus à  
 partir des fonctions  
 de Weber-Hermite



Figure 10.  
 - Signaux obtenus à  
 partir des fonctions  
 $(\varphi_c(t))$