

# COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

100/1



NICE du 26 au 30 AVRIL 1977

SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.

M. CHIOLLAZ\* M. DECOUVELAERE\*\* B. ESCUDIE\*

\*Laboratoire de Traitement du Signal I.C.P.I. LYON \*\*E.N.S. Télécommunications PARIS

## RESUME

Les signaux SONAR impulsifs émis par certains animaux marins, possèdent une surface d'Ambiguïté faisant apparaître une quasi invariance à l'effet DOPPLER qu'ils soient ou non modulés en fréquence et amplitude. L'étude théorique du comportement de la Surface d'Ambiguïté au voisinage de son arête fait apparaître l'influence des moments du signal liés à l'inclinaison de la trace de l'arête dans le plan retard-Doppler et à la rapidité de variation de l'arête en fonction du retard et de la vitesse relative. Parmi les moments du signal, la recherche d'une valeur minimale des moments liés à la pente de la trace, à énergie et bande énergétique imposée, conduit à un signal dépendant des fonctions de Bessel. La minimisation d'un des moments liés à la rapidité de décroissance de l'arête conduit à un signal de modulation de fréquence homographique. La condition de quasi invariance de la surface impose une contrainte sur le nombre de périodes émises à taux de modulation de fréquence fixé. La comparaison de divers signaux impulsifs de modulations quelconques fait apparaître des propriétés très voisines de l'invariance, ceci pour différents signaux émis par des mammifères marins.

## SUMMARY

Ambiguity function of sonar pulses emitted by marine mammals is a nearly Doppler invariant function, even if the pulses are amplitude or frequency modulated ones. Signal's moments can be derived from the ambiguity function expansion along the surface's main ridge. These moments are related to the slope of the main ridge of the Ambiguity Function in the delay Doppler representation. Minimizing the moments related to the slope of the ridge and the derivative of Ambiguity function under energetic and bandwidth constraints generates an amplitude and frequency modulated signal. Amplitude modulation is related to Bessel function and frequency modulation is an hyperbolic function. Given the frequency modulation, the constraint rules the number of the signal's zero crossing. Some examples of sonar pulses emitted by marine mammals are very near the optimum ones derived with the energetic and bandwidth constraints.



SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.

INTRODUCTION :

L'étude systématique des signaux SONARS émis par les Mammifères marins fait apparaître des propriétés remarquables de ce type de signal [1].

Quelque puisse être l'animal considéré, (Delphinidés Odontocètes, ou même certains Mysticètes), le signal SONAR (ou observé comme tel [2]) possède une nature de type "impulsionnelle" ou "transitoire". La caractéristique de tels signaux est le faible nombre de périodes ou d'oscillations qu'ils contiennent, comme le montrent les deux exemples de signaux représentés figure 1. De tels signaux peuvent être considérés comme le résultat de la modulation en amplitude et fréquence (ou phase) de quelques périodes d'une onde porteuse de fréquence haute ou basse. Malgré des aspects divers, une propriété commune à tous ces signaux apparaît dans l'étude de leur Surface d'Ambiguïté. Cette dernière est en effet constituée principalement d'une "arête centrale" très lentement décroissante et très peu inclinée par rapport à l'axe d'homothétie DOPPLER, comme le montre la figure 2. Cette étude tente de relier cette propriété à la nature impulsive de ces signaux et de déterminer s'il existe des signaux OPTIMAUX compte tenu d'un CRITERE de QUASI-INVARIANCE à l'effet DOPPLER et de contraintes énergétiques et spectrales.

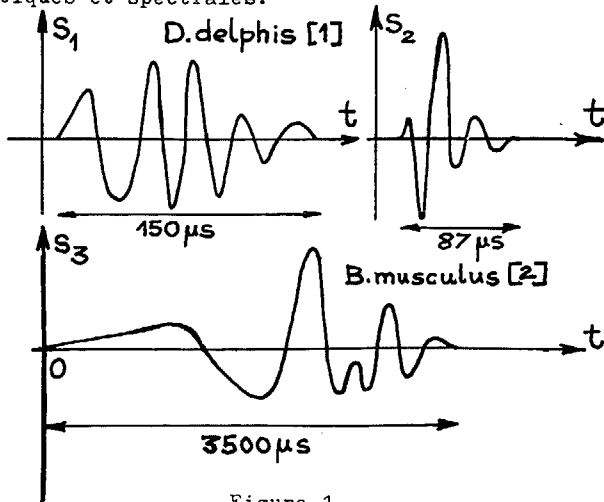


Figure 1

1) Description de la Surface d'Ambiguïté d'un signal SONAR impulsif :

Si nous étudions par exemple la surface  $\chi_s(\tau, \eta)$  associée au signal  $S(t)$  représenté figure 1 avec la convention :

$$\chi_s(\tau, \eta) = \sqrt{\eta} \int_{\mathbb{R}} S(t) S(\eta(t-\tau)) dt, S \in L^2_{\mathbb{R}}$$

on remarque que  $\chi_s$  se caractérise par une arête de trace  $\tau_m(\eta)$  et une faible variation tout au long de cette arête comme l'indique la figure 2.

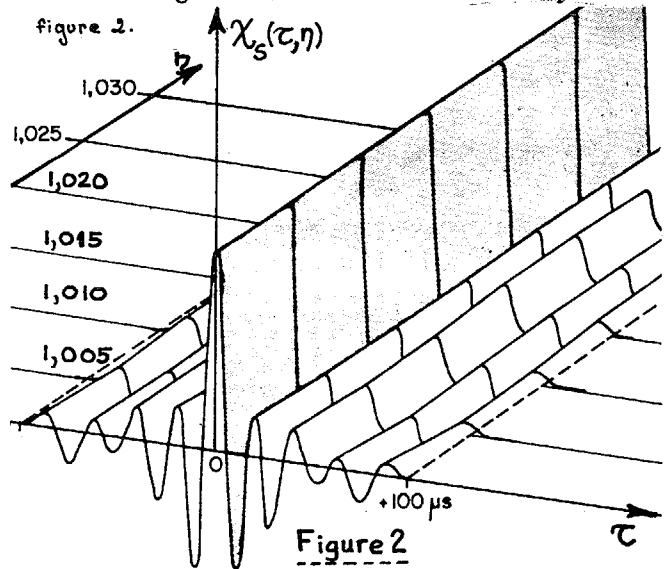


Figure 2

Nous pouvons donc supposer que :

- $\tau_m \approx a_m(\eta - 1)$  a m faible
- $\left(\frac{\partial \chi_s}{\partial x}\right)_{x=0} \approx 0, x^2 = \tau^2 + (\eta - 1)^2$

Ceci nous suggère de représenter le comportement de  $\chi_s$  tout au long de la trace  $\tau_m(\eta)$  à l'aide d'un développement en série de Taylor à deux variables :

$$\chi_s(\tau, \eta) = \chi_s(0, 1) + \tau \left(\frac{\partial \chi_s}{\partial \tau}\right)_{0,1} + (\eta - 1) \left(\frac{\partial \chi_s}{\partial \eta}\right)_{0,1} + \frac{\tau^2}{2} \left(\frac{\partial^2 \chi_s}{\partial \tau^2}\right)_{0,1} + \frac{(\eta - 1)^2}{2} \left(\frac{\partial^2 \chi_s}{\partial \eta^2}\right)_{0,1} + \tau(\eta - 1) \left(\frac{\partial^2 \chi_s}{\partial \tau \partial \eta}\right)_{0,1}$$



SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.

que l'on pourra par exemple limiter au second ordre. Le calcul des dérivées successives de  $\chi_s$  à partir de son expression conduit à définir les coefficients suivants sous l'hypothèse de CAUSALITE de S et de valeur nulle à l'instant origine  $S(0) = 0$  :

$$\left(\frac{\partial \chi_s}{\partial \tau}\right)_{0,1} = 0, \quad \left(\frac{\partial \chi_s}{\partial \eta}\right)_{0,1} = 0, \quad \left(\frac{\partial^2 \chi_s}{\partial \tau^2}\right)_{0,1} = D = -\int_{\mathbb{R}} |\dot{S}(t)|^2 dt$$

$$\left(\frac{\partial^2 \chi_s}{\partial \eta^2}\right)_{0,1} = G = \int_{\mathbb{R}} t^2 S \ddot{S} dt, \quad \left(\frac{\partial^2 \chi_s}{\partial \tau \partial \eta}\right)_{0,1} = K = \int_{\mathbb{R}_+} t |\dot{S}|^2 dt$$

Les deux hypothèses de valeur nulle et de CAUSALITE traduisent les conditions pratiquement rencontrées dans l'observation des signaux émis. En supposant que les signaux sont normés :

$$\langle S, S \rangle = E_s = 1$$

et en utilisant le paramètre  $\alpha_s^{(1)}$  défini par R.A. ALTES et E.L. TITLEBAUM [3] il vient :

$$G = \frac{1}{4} - \alpha_s^{(1)}, \quad \alpha_s^{(1)} = \int_{\mathbb{R}} t^2 |\dot{S}|^2 dt$$

on remarque que :

$$-D = \Delta = \int_{\mathbb{R}} |\dot{S}|^2 dt = 4\pi^2 \int_{\mathbb{R}} \nu^2 \mathcal{V}_s(\nu) d\nu = 4\pi^2 \Delta_s^2$$

où  $\mathcal{V}_s(\nu)$  est la densité spectrale énergétique de S :  $\mathcal{V}_s(\nu) = |\mathcal{A}(\nu)|^2$ ,  $S(t) \hat{=} \mathcal{A}(\nu)$  et  $\Delta \nu_s^2$  est le carré de l'épanouissement spectral au sens de GABOR.

L'étude du lieu des points où  $\chi_s$  est extremal fournit la trace d'équation  $\tau_m$  :

$$\tau_m(\eta) = -\frac{K}{D}(\eta-1) = \frac{K}{D}(1-\eta) = \frac{K}{\Delta}(\eta-1)$$

En utilisant les coordonnées définies à la figure 2 il vient :

$$a = \operatorname{tg} \beta = \frac{K}{\Delta}$$

$$\chi_s(x) \approx \chi_s(0,1) + \frac{1}{2} \left[ G - \frac{K^2}{D} \right] \frac{x^2}{1 + K^2/\Delta^2}$$

soit vu l'expression de G :

$$\chi_s(x) \approx 1 - \frac{1}{2} \left[ \alpha_s^{(1)} - \frac{1}{4} - \frac{K^2}{\Delta} \right] \frac{x^2}{1 + K^2/\Delta^2}$$

Obtenir l'INVARIANCE du signal à l'effet DOPPLER pour une réception cohérente par filtre adapté (hypothèse faite pour l'animal et de nature vraisemblable) conduirait à trouver  $S(t) \in L^2_{\mathbb{R}}$  CAUSAL et de valeur initiale

nulle tel que :

$$\operatorname{tg} \beta = 0 = \frac{K}{\Delta}$$

$$\alpha_s^{(1)} = \frac{K^2}{\Delta} + \frac{1}{4}$$

La première condition conduit à  $K=0$  ou  $\Delta \rightarrow \infty$  et ne correspond pas à une solution physique sauf dans le cas du signal nul. Elle ne pourra donc qu'être approchée. La seconde conduit à une solution générale dont nous allons discuter ci-après. Le critère de QUASI INVARIANCE consistera donc à MINIMISER  $\operatorname{tg} \beta$  et le coefficient du terme quadratique de l'expression de  $\chi_s(x)$ .

## 2) QUASI-INVARIANCE à l'effet DOPPLER :

2a) Remarques au sujet de l'annulation du terme  $G + \frac{K^2}{\Delta}$

Au vu des expressions analytiques des trois paramètres  $K, \Delta, G$  on peut remarquer que  $|\dot{S}(t)|^2 \geq 0$  et faire l'analogie entre  $|\dot{S}|^2$  et une densité de probabilité en supposant que :

$$\Delta = \int_{\mathbb{R}} |\dot{S}(t)|^2 dt = \Delta_0 = 1 \quad (\text{contrainte})$$

Dans ce cas,  $G + K^2/\Delta = 0$  conduit à identifier une densité à l'aide de l'égalité de deux de ses moments:  $K = \int_{\mathbb{R}} t |\dot{S}(t)|^2 dt$  et  $G = \frac{1}{4} - \alpha_s^{(1)}$  sous la contrainte que cette densité diffère de zéro pour  $t \in \mathbb{R}_+$ .

Un tel problème est très général et ne peut être résolu sans contraintes additionnelles. Celles-ci vont tenir compte de plusieurs faits traduisant la situation réelle.

2b) Contraintes physiques relatives au cas pratique :

En pratique les signaux observés sont de durée finie T, tels que :

$$S(0) = S(T) = 0 \quad \text{et d'énergie finie } E_s = \langle S, S \rangle = 1$$



SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.

Une contrainte possible peut porter sur le paramètre  $\Delta$ . Dans ce cas la recherche d'un signal S optimal doit rendre extrémaux les paramètres  $\alpha_s^{(1)}$  et K. Pratiquement la contrainte sur le paramètre  $\Delta$  imposera des contraintes sur la fréquence centrale  $\nu_c$  de la densité spectrale et sur la bande passante énergétique du signal.

2c) Nécessité de la définition de QUASI INVARIANCE à l'effet DOPPLER :

a) Inexistence du signal rendant  $\alpha_s^{(1)} - \frac{E_s}{4} - \frac{K^2}{\Delta}$  minimal à pente donnée :

Comme nous l'avions fait remarquer auparavant la solution du problème de l'INVARIANCE à l'effet DOPPLER nécessite que :

$$\alpha_s^{(1)} - \frac{1}{4} - \frac{K^2}{\Delta} = 0, E_s = 1$$

étant donné le paramètre  $\mu = \frac{K}{\Delta}$ . Supposons que S(t) soit un signal CAUSAL, dérivable deux fois et de durée finie. L'équation ci-dessus devient :

$$\begin{cases} \alpha_s^{(1)} - \frac{E_s}{4} = \mu^2 \Delta \\ \mu \Delta = K \end{cases}$$

car  $\alpha_s^{(1)} - \frac{E_s}{4} - \mu^2 \Delta > 0$  vu les propriétés de  $\chi_s(\tau, \eta)$ .

En utilisant la méthode de Lagrange et en définissant  $\lambda$  paramètre associé au terme  $\mu = \frac{K}{\Delta}$

il vient : 
$$S(t) = \alpha' P_{-\frac{1}{2}}\left(\frac{2t+\lambda}{2\mu+\lambda}\right) + \beta' Q_{-\frac{1}{2}}\left(\frac{2t+\lambda}{2\mu+\lambda}\right)$$

où  $P_{-\frac{1}{2}}(u)$  est la fonction de Legendre d'ordre  $-\frac{1}{2}$ .

Dans ce cas  $\mu \in [0, \tau]$  les valeurs de l'argument contiennent la valeur 1 et comme les fonctions  $P_{-\frac{1}{2}}$  et  $Q_{-\frac{1}{2}}$  sont respectivement croissantes et décroissantes sur l'intervalle  $[0, 1]$ , S ne peut s'annuler comme le prévoit l'hypothèse de départ.

b) Recherche du même minimum à paramètre  $\Delta$  fixé :

Sous les mêmes conditions rendons  $\alpha_s^{(1)} - \frac{E_s}{4} - \frac{K^2}{\Delta}$  minimal à  $\Delta = \Delta_0$  fixé. Nous devons distinguer en fonction du paramètre de Lagrange  $\mu$  relatif à  $\Delta$  trois cas différents :

•  $\mu - \mu^2 = 0$  : pas de solution S devient à valeur infinie quand :  $t \in [0, \tau]$

•  $\mu - \mu^2 < 0$  : il existe une solution générale :

$$S(t) = \alpha'' P_{-\frac{1}{2}}\left(\frac{t-\mu}{\sqrt{\mu^2-\mu}}\right) + \beta'' Q_{-\frac{1}{2}}\left(\frac{t-\mu}{\sqrt{\mu^2-\mu}}\right)$$

la valeur de l'argument passant par zéro en décrivant le support  $[-1, +1]$  il n'est pas possible de trouver deux zéros dans le même intervalle à bornes exclues. Il n'existe pas de solution physiquement acceptable.

•  $\mu - \mu^2 > 0$  : la solution est du même type avec argument complexe.

Ces résultats nous montrent que nous devons nous contenter d'une QUASI INVARIANCE portant seulement sur un des paramètres tels que  $\alpha_s^{(1)}$  ou K.

2d) Signal de paramètre  $\alpha_s^{(1)}$  minimal

à énergie donnée :

Tout d'abord remarquons que  $\chi_s(\tau, \eta)$  au long de l'arête  $\tau_m$  est tel que :

$$\alpha_s^{(1)} - \frac{1}{4} \geq \frac{K^2}{\Delta}, |\chi_s| \leq \chi_s(0, 1)$$

Si nous rendons  $\alpha_s^{(1)} - \frac{1}{4}$  minimal à énergie donnée cela entraînera des valeurs de  $\alpha_s^{(1)} - \frac{1}{4} - \frac{K^2}{\Delta}$

faibles mais pas forcément minimales.

La variation  $\Delta \chi_s(x) = \chi_s(0) - \chi_s(x)$  sera faible par rapport à  $\chi_s(0)$ . Introduisons la contrainte de durée finie en écrivant :

$$\alpha_s^{(1)} = \int_{t_0}^{t_0+\tau} t^2 |\dot{S}(t)|^2 dt$$

La contrainte énergétique  $E_s = 1$  entraîne

$$\alpha_s^{(1)} - \frac{E_s}{4} = \alpha_s^{(1)} - \frac{1}{4}$$

d'où en définissant le paramètre de Lagrange  $\lambda$  pour la recherche du signal optimal on obtient la relation d'Euler Lagrange :

$$\left(\lambda - \frac{1}{4}\right) S - 2t\dot{S} - t^2\ddot{S} = 0$$

avec  $\lambda = -\alpha^2 < 0$  il vient :

$$S(t) = At^{-1/2} \cos(\alpha \text{Log} t + \varphi)$$

avec :

$$A^2 = \frac{2}{\text{Log}(1 + \frac{\tau}{t_0})}, \varphi = \frac{\pi}{2} - \alpha u_0 \pmod{\pi}$$

$$a = \frac{m\pi}{\mu_1 - \mu_0}, \mu_0 = \text{Log} t_0, \mu_1 = \text{Log}(t_0 + \tau)$$

**SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.**

dans ce cas on a :  $\alpha_s^{(1)} = \frac{m^2 \pi^2}{\text{Log} \alpha_0} + \frac{1}{4}, \alpha_0 = 1 + \frac{T}{t_0}$

$$S(t) = \left( \frac{2}{\text{Log} \alpha_0 \cdot t} \right)^{\frac{1}{2}} \sin \left( \frac{m \pi}{\text{Log} \alpha_0} \text{Log} \frac{t}{t_0} \right)$$

Ce signal est modulé en amplitude selon la loi  $t^{-1/2}$  et est modulé hyperboliquement en fréquence. Ceci nous conduit à la valeur suivante de coefficient du terme quadratique du développement en série de  $\chi_s$ :

$$\left| \frac{G+K^2}{\Delta} \right| = \frac{m^2 \pi^2}{\text{Log}^2 \alpha_0} \left[ 1 - \frac{2}{\text{Log} \alpha_0} \frac{\alpha_0 - 1}{\alpha_0 + 1} \left( \frac{1 - \frac{1}{4} \text{Log}^2 \alpha_0}{m^2 \pi^2 + \frac{5}{4} \text{Log}^2 \alpha_0} \right) \right]$$

$m$  est le nombre de demi périodes du signal  $S$  dans la durée définie par le support  $[t_0, t_0+T]$ . La figure 3 représente  $G+K^2/\Delta$  en fonction des différents paramètres et fait apparaître le peu de dépendance de  $G+K^2/\Delta$  avec  $\alpha_0$ . Le terme  $K/\Delta$  relatif à ce type de signal possède des valeurs faibles comme indiqué à la figure 3.

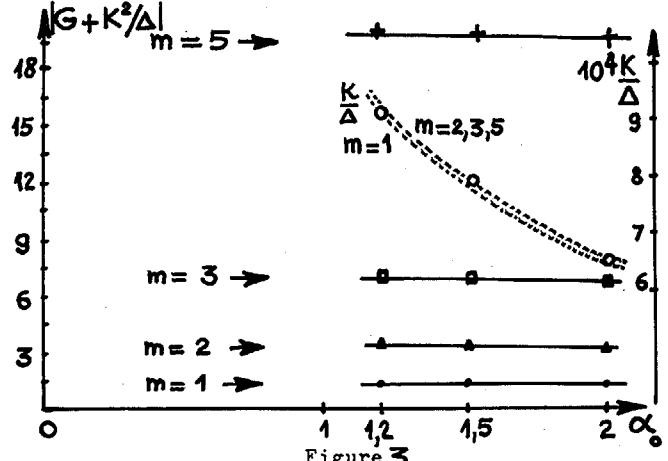


Figure 3

2e) Signal de paramètre K minimal

sous contraintes énergétiques et spectrales :

Une autre approche du critère de quasi invariance consiste à essayer de minimiser le terme  $\frac{K}{\Delta}$  à énergie et paramètre  $\Delta$  fixés. Ceci revient à minimiser  $K$  puisque  $\Delta = \Delta_0$ . L'emploi de la méthode variationnelle nous conduit à l'équation d'EULER-LAGRANGE suivante:

$$\lambda \dot{S} - (t+\mu) \ddot{S} - \dot{S} = 0$$

avec les paramètres  $\lambda$  et  $\mu$  paramètres de LAGRANGE associés aux contraintes imposées.

Une solution générale s'écrit :

$$S(t) = Z_0(2\sqrt{-\lambda(t+\mu)}) \quad t \in [0, T]$$

avec  $Z_0(v) = A_1 J_0(v) + B_1 Y_0(v)$  où  $J_0$  et  $Y_0$  sont les fonctions de BESSEL de première et deuxième

espèce d'ordre zéro. Ceci nous conduit aux conditions limites suivantes :

$$\begin{aligned} J_0(\varepsilon) Y_0(\delta) &= J_0(\delta) Y_0(\varepsilon), \quad \varepsilon = 2\sqrt{-\lambda\mu} \\ A_1 J_0(\varepsilon) + B_1 Y_0(\varepsilon) &= 0, \quad \delta = 2\sqrt{-\lambda(\mu+T)} \\ 4\alpha^2 &= \delta^2 Z_1^2(\delta) - \varepsilon^2 Z_1^2(\varepsilon), \quad \lambda = -\alpha^2 \\ \Delta_0 &= \alpha^2 [Z_1^2(\varepsilon) - Z_1^2(\delta)] \end{aligned}$$

ce qui permet de déterminer  $S$  possédant le paramètre  $K$  minimal à  $\Delta$  et  $E$  fixés:

$B_1 = 0$ $4 \frac{1}{2}$ périodes sur $[0, T]$	}	$T = 200 \mu s$ $\alpha = 685, \mu = 410^{-5}, A_1 = 485$ $\Delta = 4,8 \cdot 10^9, K = 2,77 \cdot 10^5$ $\mu = \frac{K}{\Delta} = 5,76 \cdot 10^{-5}$ $\alpha_s^{(1)} = 29,6, G+K^2/\Delta = -13,4$
		$T = 200 \mu s$ $\alpha = 1722, \mu = 6,310^{-6}, A_1 = 676$ $\Delta = 8,240^{10}, K = 2,45 \cdot 10^6$ $\mu = 2,97 \cdot 10^{-5}, G+K^2/\Delta = -1393$ $\alpha_s^{(1)} = 242$

3) Etude de divers signaux SONAR im-

pulsifs émis par les animaux marins :

3a) Divers types de signaux étudiés:

Afin de comparer les signaux réellement émis par les animaux et les signaux correspondant à un paramètre minimal, nous avons calculé directement les quantités suivantes:

$$G + \frac{K^2}{\Delta}, \frac{K}{\Delta}, \alpha_s^{(1)}, \nu_c, \Delta \nu_s^2$$

pour une collection de signaux émis par des Mammifères marins. Ces signaux sont très divers et possèdent des durées allant de  $50 \mu s$  à  $12 ms$  et des fréquences centrales allant de  $120 kHz$  à  $1000 Hz$ . Le nombre de périodes émises est toujours inférieur à 10. [4] à [10]

3b) Résultats obtenus :



SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.

$G + \frac{K^2}{\Delta}$  ne dépend pratiquement que du seul paramètre M nombre de demi périodes émises comme le montre la figure 4. La "brièveté" ou durée courte d'un signal n'implique pas que le paramètre  $G + \frac{K^2}{\Delta}$  soit proche de zéro. C'est M qui règle cette valeur, or M dépend de T et de  $v_c$ .

$\frac{K}{\Delta}$  paramètre réglant la pente de la trace  $\tau_m$  dépend essentiellement de la durée T, comme le prouve la courbe représentée figure 5.

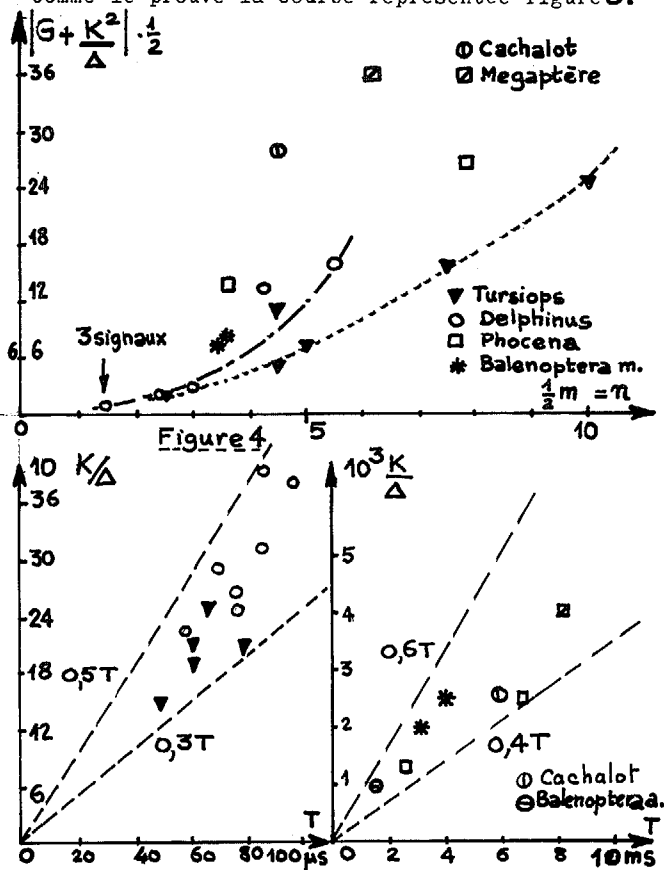


Figure 5 Remarquons au vu des figures 4 et 5 que les signaux émis par une même espèce animale (Delphinus delphis ou Tursiops truncatus [4][7] possèdent des propriétés identiques ou voisines et ont des lois de variation très semblables. Pour une valeur  $\eta-1=3\%$ , la perte de performances sur le maximum de  $\chi_s$  est inférieure à 1,5 %. Citons le cas très particulier du Signal SONAR émis par la Baleine bleue (Balenoptera musculus) où  $T=3,5\text{ms}$ ,  $v_c=1,5\text{kHz}$ ,  $G + \frac{K^2}{\Delta} = 14$ ,  $t_g \beta = \frac{2}{1000}$  et dont l'erreur d'estimation en distance

$\tau_m = 6 \cdot 10^{-5} \text{ s} \approx 2 \cdot 10^{-2} T$  pour  $\eta-1 = 3 \cdot 10^{-2}$  et dont la perte de performances est de l'ordre de 1% [4]. Il apparaît donc que les performances excellentes de ce signal sont liées à son caractère impulsif et non pas à la valeur de sa fréquence centrale ou à sa durée.

CONCLUSION:

Le problème général de la recherche du signal optimal possédant une trace et une loi de variation du maximum de sa Surface d'Ambiguïté n'est pas de solution aisée compte tenu des contraintes pratiques. Une approche consiste donc à définir une QUASI INVARIANCE en minimisant certains des paramètres caractéristiques du signal. Cette approche sous optimale recoupe les résultats d'une étude portant sur un ensemble de signaux impulsifs émis par des Mammifères marins. Il apparaît que la pente de la trace de la surface d'Ambiguïté est directement proportionnelle à la durée du Signal. La perte de performances due au comportement de la Surface tout au long de son arête dépend essentiellement du caractère impulsif lié au nombre de périodes émises.

Remerciements :

Les auteurs ont conduit ce travail dans le cadre du Groupe d'Etudes des SONARS biologiques (GESB) avec l'aide et l'appui de la DRME et du CNRS qu'ils tiennent à remercier pour leur participation matérielle.

Les documents utilisés l'ont été avec l'accord de leurs auteurs et les membres du GESB tiennent à remercier plus spécialement le Professeur WINN (Univ. Rhode Island U.S.A) de son obligeante collaboration pour l'étude des signaux de la baleine à bosse.



SUR LA PROPRIETE DE QUASI INVARIANCE A L'EFFET DOPPLER  
DES SIGNAUX SONAR IMPULSIFS EMIS PAR DES ANIMAUX MARINS,  
COMPARAISON AVEC CERTAINS SIGNAUX OPTIMAUX.

- [1] A. DZIEDZIC et al. 7 oct. 1974  
Comptes Rendus Acad. Sc. Paris  
Série D, Tome 279, p. 1313-1316
- [2] P. BEAMISH 1975  
Bio Contribution Rept. Bedford Inst.  
Oceanography Dartmouth Canada
- [3] R.A. ALTES 1971  
Methods of wide band Signals design  
for Radar and Sonar Systems  
Thèse Univ. Rochester U.S.A.
- [4] A. DZIEDZIC 1972  
Communication privée sur des signaux  
émis par D. delphis recueillis dans  
la campagne de mesure Malaga
- [5] J.K. DIERKS et al. 1971  
Research Briefs Journ. Acoust. Soc. Am.  
Vol. 49, n° 6, part 1, p. 1729-1732
- et J.K. DIERKS 1974  
Communication privée sur signaux du  
Tursiops truncatus
- [6] P. BEAMISH E. MITCHELL 1974  
Deep Sea Research Oceanographic  
Abstracts, Vol 20, n° 4, p. 375-386
- [7] W.W.L. AU et al. 1974  
Journ. Acoust. Soc. Am. vol 56  
n° 4, p. 1280-1289
- [8] A. DZIEDZIC et al. 1977  
à paraître ACUSTICA  
Sur quelques propriétés des signaux  
SONAR basse fréquence du dauphin  
Phocena Phocena
- [9] H.E. WINN P.J. PERKINS 1970  
Stamford Research Institute  
Proc. 7th Conf. Biological Sonar
- [10] H.E. WINN nov. 1975  
Communication privée au Groupe GESB  
Jouy en Josas