

## ANALYSE FREQUENTIELLE APPLIQUEE A LA CLASSIFICATION D'EMISSIONS SONAR SEMBLABLES

A.C. PEREZ- PIGNOL Université de Toulon et du Var BP 132 83957 La Garde Cedex FRANCE

### 1- INTRODUCTION

La détection et la classification de signaux transitoires ou stationnaires est une préoccupation dans les domaines de la physique où l'analyse des signaux apporte des informations précises sur la nature des sources vibratoires, et sur celle du milieu dans lequel les vibrations se propagent. Ces analyses sont de première importance en acoustique sous-marine, et plus particulièrement en classification d'échos sonar. En effet, l'évolution technologique est telle que les émetteurs sonar sont capables de générer des signaux dont les caractéristiques peuvent varier d'une émission à l'autre, et même peuvent ressembler à celles d'un autre émetteur.

Dans la plupart des situations de l'interception sonar, la discrimination des signaux est réalisée à partir de comparaisons entre des paramètres tels que la fréquence et la durée et du contexte dans lequel les signaux sont enregistrés. De ce fait, des confusions sont probables lorsque des sources distinctes émettent des signaux semblables.

Cet article va montrer que la classification d'émissions sonar semblables, mais appartenant à deux familles distinctes, est possible, en réalisant une analyse expérimentale "fine".

Pour cela on dispose de deux classes d'émissions sonar appelées "type un" et "type deux". Chacune de ces familles contient un ensemble de signaux de nature différente: un ou plusieurs étages où un étage est constitué soit d'une fréquence pure, soit d'une modulation de fréquence. La création d'une modulation de fréquence ou d'une fréquence pure ne nécessitant le même type d'appareillage, chaque type d'étage doit faire l'objet d'une étude spécifique. [1,2,10]

L'étude se décompose en deux parties :

La première s'intéresse à la partie "la montée en puissance" du signal sonar constitué d'une fréquence pure. Une décomposition sur des fonctions à support borné particulières sera réalisée .

La seconde concerne plus particulièrement les modulations de fréquence, car ces signaux sont plus complexes à réaliser, et donc peuvent contenir des parasites dus à l'électronique .

### 2- ETUDE DE LA MONTEE EN PUISSANCE D'ETAGES NON MODULES

#### 2-1- Utilisation de la Transformation en ondelettes

Une émission sonar se caractérise par trois phénomènes: la montée en puissance, le régime permanent, et la descente en puissance . On comprend aisément, que les parties les plus riches en informations sont les phases transitoires de début et de fin d'étage. En effet, la montée en puissance peut caractériser la mise en route du système résonant et la descente en puissance, l'arrêt de l'appareil.

Une représentation temps-fréquence des signaux est réalisée afin de déduire les caractéristiques de base : durée et fréquence.

En se plaçant dans la philosophie de la transformation en ondelettes, on va chercher à réaliser une décomposition des signaux sur des fonctions qui caractérisent le phénomène de montée en puissance .

Mais avant toute chose, rappelons le principe de cette transformation .

CLASSIFICATION D'EMISSIONS SONAR SEMBLABLES

La transformation en ondelettes, introduite par MORLET [6,7,8] réalise sur un signal  $x(t)$  l'opération suivante

$$(1): C_x(t, a) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) g_a^*(\tau-t) dt \quad \text{avec} \quad g_a(\tau-t) = \sqrt{a} g(a(\tau-t))$$

le paramètre "a" joue le rôle d'un coefficient de compression et le paramètre "t" un rôle de retard temporel [5].  $g(t)$  est appelée ondelette analysante ou ondelette mère. Elle doit être centrée, d'énergie finie.

L'avantage de cette transformation est que l'on projette le signal sur des fonctions se déduisant de  $g(t)$  par simple compression ou dilatation.

La qualité de la transformation est donc liée au choix de l'ondelette mère, c'est à dire au processus à mettre en évidence.

Une étude expérimentale des signaux disponibles a permis de constater que l'enveloppe de la phase de montée en puissance pouvait être approximée par la partie croissante d'une gaussienne, sur un nombre de périodes très court. On choisit donc dans une première approche une ondelette mère de la forme:

$$g(t) = e^{-\alpha t^2} e^{2i\pi f_0 t} \quad (1)$$

où  $f_0$  est la fréquence moyenne des émissions sonar, et où  $\alpha$  est lié à leur montée en puissance.

Un bon choix de  $\alpha$  correspond à une durée de l'ondelette égale approximativement à  $x/f_0$  ( $x=5$  pour les signaux étudiés) Ceci se traduit par la relation,

$$e^{-\alpha(\frac{x}{2f_0})^2} = \frac{1}{N}, N \text{ arbitraire} \quad \text{soit} \quad \alpha = \left(\frac{2f_0}{x}\right)^2 \ln N \quad (2).$$

Si on appelle  $x(t)$  le signal, sa transformation correspond au produit de convolution :

$$d(t, a) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(v) g_a(v-t) dv, \quad \text{qui peut être écrit}$$

$$d(t, a) = \int_{-T_a}^{T_a} x(u+t) g_a(u) du \quad (3) \quad \text{avec} \quad T_a = \frac{2,5}{af_0}$$

L'énergie de la fonction  $g_a(u)$  change avec a. L'énergie de  $x(t)$  dans l'intervalle  $[-T_a, T_a]$  change aussi dans la phase transitoire de montée en puissance. Pour mettre en évidence des phénomènes inclus dans la montée en puissance, il est souhaitable de remplacer  $d(t,a)$  par la fonction de cohérence définie par

$C(t, a) = C_1(t, a) + i C_2(t, a)$ , où

$$C_i(t, a) = \frac{\int_{-T_a}^{T_a} x(t+u) e^{-\alpha au^2} h_i(2\pi af_0 u) du}{\sqrt{\int_{-T_a}^{T_a} x^2(t+u) du} \sqrt{\int_{-T_a}^{T_a} e^{-2\alpha au^2} h_i(2\pi af_0 u)^2 du}} \quad (4) \quad \text{avec} \quad \begin{matrix} h_1(t) = \cos t \\ h_2(t) = \sin t \end{matrix}$$

Les représentations graphiques choisies, montrent sous forme de courbes de niveau, l'évolution au cours du temps du module au carré de  $C(t,a)$ . On remarque alors qu'un glissement de fréquence apparaît au départ des émissions de type "un" ( cf fig 1,2). Ce phénomène ne se rencontre généralement pas pour les signaux de type "deux" ( cf fig 3,4).

2-2- La fonction analysante contient une modulation de fréquence

L'intérêt de la transformation en ondelettes est de décomposer un signal sur un ensemble de fonctions à support borné. Appliquée aux signaux sonar, elle permet de caractériser l'une des deux catégories de bruiteurs examinés

# Proceedings of the Institute of Acoustics

## CLASSIFICATION D'EMISSIONS SONAR SEMBLABLES

par une modulation de fréquence accompagnant la montée en puissance. On peut donc envisager d'inclure cette modulation dans la création de l'ondelette mère en la supposant linéaire.

On définit pour cela une fonction de la forme :

$$g(t) = e^{-\alpha t^2} e^{i(2\pi f_m(1+k)t)}, \quad \text{dont la fréquence instantanée est } f_i = f_m + 2k f_m t.$$

où  $\alpha$  est l'amortissement arbitraire dépendant du nombre de périodes de l'ondelette,  $k$  est le coefficient d'accroissement de la modulation, et  $f_m$  la fréquence moyenne de la modulation.

Pour définir la modulation de fréquence associée à une famille d'émetteurs, on isole un signal de bon rapport signal sur bruit et on déduit les fréquences  $f_d$  de début et  $f_f$  de fin de la modulation, ainsi que le nombre de périodes pour atteindre la fréquence finale. La modulation étant linéaire, le système va mettre un nombre  $x$  de périodes, de durée moyenne  $T_m$ . ( $T_m = 1/f_m$ ) pour atteindre  $f_f$ .

Le paramètre  $k$  est alors défini par la relation :  $k = \frac{f_f - f_d}{2x}$ .

Les études expérimentales et la période d'échantillonnage ont montré sur les échantillons examinés que le nombre moyen de périodes pour atteindre  $f_f$  est de cinq.

L'amortissement  $\alpha$  se déduit alors par la relation :  $\alpha = \left(\frac{2}{x T_m}\right)^2 \ln(N)$ .

L'ondelette mère est de la forme :  $g(t) = e^{-\left(\frac{2}{x T_m}\right)^2 \ln(N) k^2} e^{i\left(2\pi f_m \left(1 + \frac{f_f - f_d}{2x} t\right) t\right)}$

Pour s'affranchir du paramètre amplitude des signaux on utilise le même processus de transformation et de représentation que précédemment. On constate encore que la montée en puissance des signaux de type 1 disponibles se caractérise par un glissement de fréquence (cf fig 5,6). Ceci ne se rencontre pas pour les signaux de la catégorie deux. (cf fig 7,8)

### 3 - ANALYSE DES ETAGES MODULES EN FREQUENCE

#### 3-1 - Principe

La modulation de fréquence est par définition complexe à réaliser et nécessite un appareillage élaboré qui peut être source d'apparition de processus parasites non perceptibles par une simple transformation de Fourier. Par ailleurs, des études antérieures [10] ont montré que ce type d'appareillage était capable de générer des signaux quasi-sinusoidaux, mais dont le spectre révélait la présence d'harmoniques non négligeables au voisinage de la fréquence porteuse. On définit donc une nouvelle représentation temps-fréquence afin de suivre l'évolution de ces parasites au cours du temps. Pour cela, on s'affranchit de la fréquence porteuse du signal en réalisant une technique de 'blanchiment' [10].

Le blanchiment du sonogramme de l'émission se déroule de la façon suivante:

Toutes les  $t=6,52$  millisecondes, on réalise un spectre du signal (par FFT), sur une durée limitée à  $5t=33,41$  millisecondes. Par ailleurs, on simule un train sinusoidal de même durée, dont la fréquence centrale correspond à l'estimation de la fréquence du signal. Cette hypothèse est satisfaisante car les modulations de fréquence des étages sont si lentes qu'elles ne peuvent pas être mises en évidence sur cet intervalle de temps d'analyse. Le blanchiment consiste alors à diviser le module du spectre du signal par le module du spectre du train sinusoidal simulé.

#### 3-2 - Résultats

Les modulations de fréquence sont très caractéristiques: l'évolution des raies spectrales suffit pour discriminer. On mesure le rapport  $R$  entre la variation fréquentielle de l'étage et celle des raies spectrales. On remarque pour les signaux de type 1 que généralement  $|R| \approx 1$  (cf fig 9), sauf pour un exemple où  $R=4,63$  (cf fig 10).

# Proceedings of the Institute of Acoustics

## CLASSIFICATION D'EMISSIONS SONAR SEMBLABLES

Pour les signaux de type 2, soit on ne visualise pas de raies, soit ce rapport  $R$  vérifie  $4,5 \leq |R| \leq 17$  (cf fig 11,12).

### 4- CONCLUSION

Ces deux méthodes d'analyse fréquentielle sont intéressantes car elles permettent de discriminer les échos sonar par mise en évidence des imperfections des émetteurs.

La décomposition des signaux sur des ondelettes contenant une modulation de fréquence permet de localiser un transitoire accompagnant la montée en puissance des signaux appartenant à la catégorie 1. D'où un premier moyen de différenciation.

La représentation temps-fréquence des signaux blanchis montre qu'il n'est pas aisé de générer une modulation de fréquence sans faire apparaître des irrégularités. D'où une seconde méthode de discrimination.

### 5-BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.C. PIGNOL-PEREZ 'Identification expérimentale de signaux acoustiques par des décompositions sur des fonctions à support borné' thèse 1991.
- [2] C. BERNERDINI 'Méthodes expérimentales de détection et d'identification de signaux acoustiques à bande étroite, basée sur une interprétation des fréquences instantanées' thèse 1991.
- [3] R. KRONLAND-MARTINET, J. MORLET, A. GROSSMAN 'Analysis of sound patterns through wavelets transforms' Centre de Physique théorique, CNRS Luminy Marseille, Janvier 1987
- [4] B. TORRESANI 'Wavelet analysis : a tool for signal processing mathematics and physics' Centre de physique théorique CNRS Luminy 1989
- [5] Y. MEYER, S. JAFFARD, O. RIOUL 'L'Analyse par ondelettes' Pour la science, Septembre 87, pp 28 - 87
- [6] I. DAUBECHIES 'The wavelet transform, Time-frequency localization and signal analysis' IEEE 1990
- [7] A. GROSSMAN, M. HOLSCHNEIDER, R. KRONLAND-MARTINET, J. MORLET 'Detection of abrupt changes in sound signal with the help of wavelet transform' Centre de Physique théorique, CNRS Luminy, Marseille
- [8] Y. MEYER 'Les Ondelettes' CEREMADE, Université de Paris-Dauphine et Ecole Polytechnique.
- [9] I. DAUBECHIES, A. GROSSMAN, Y. MEYER 'Painless nonorthogonal expansion' Journal Math-Physique (USA) Vol.27, N° 5, p 1271 à 1273, mai 1986
- [10] A.C. PIGNOL-PEREZ 'Classification of two kinds of almost similar signals within the framework of sonar interception' Sonar Signal Processing Vol 13 Pt9 1991 pp 200-205

Figure 1 : Transformation de Aa11

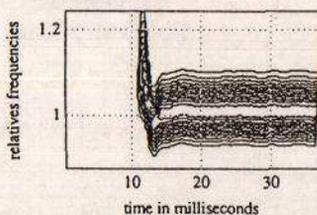


Figure 2 : Transformation de Ab1

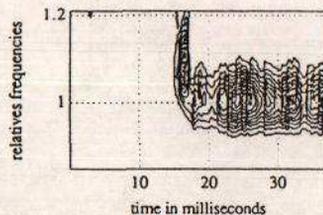


Figure 3 : Transformation de Bq1

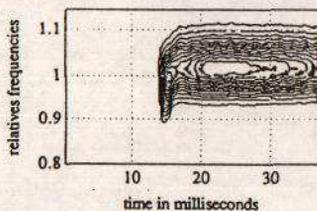


Figure 4 : Transformation de Bu41

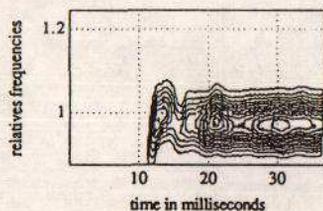


Figure 5 : Transformation of Aa11

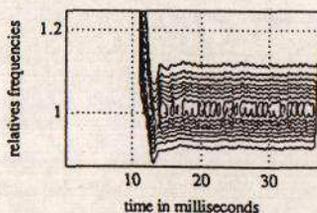


Figure 6 : Transformation of A15a1

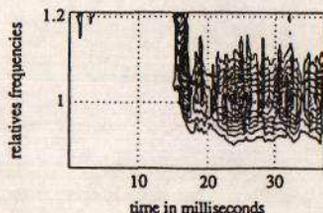


Figure 7 : Transformation of Bq1

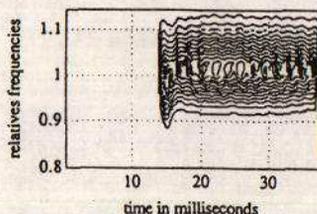


Figure 8 : Transformation of Bu1

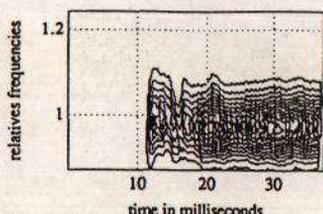


Figure 11 : Lofargramme blanchi de B53a1

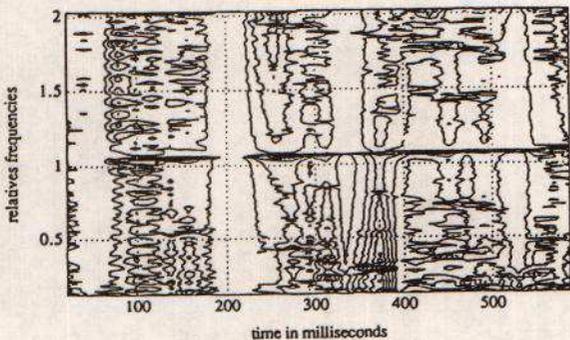


Figure 12 : Lofargramme blanchi de Bu41

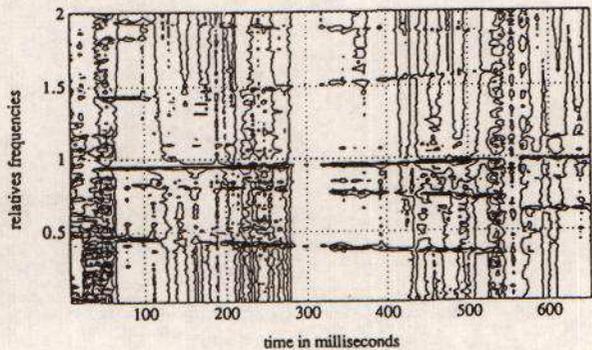


Figure 9 : Lofargramme blanchi de A95c

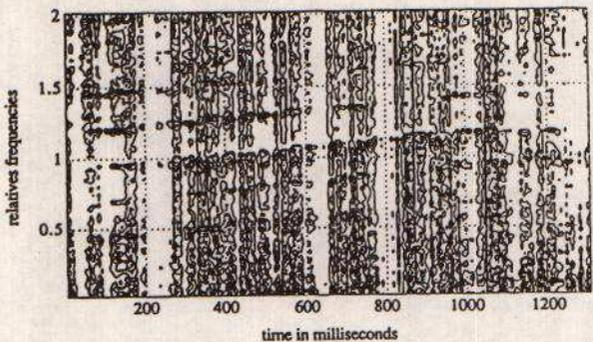


Figure 10 : Lofargramme blanchi de A2a1

