

TRAITEMENT ET ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE SIGNAUX
"LARGE-BANDE" RECUS SUR UNE ANTENNE LONGUE EN A.S.M.

G. JOURDAIN - B. FAURE - F. VIAL

CEPHAG, INPG/IEG, UA 346, BP 46 - 38402 ST-MARTIN-D'HERES Cédex (FRANCE)

RESUME

On s'intéresse à l'identification active du milieu marin modélisé par un filtre linéaire à 1 entrée (émetteur E) et N sorties (N traces ou capteurs R_j de l'antenne de réception). Pour estimer "la réponse impulsionnelle spatio-temporelle" du milieu ainsi défini, on utilise la méthodologie optimale, au sens de l'erreur quadratique, pour chaque couple E-R_j ; émission de signaux adéquats, et intercorrélation entrée-sortie.

Cette méthode est mise en oeuvre dans une expérience d'acoustique sous-marine (a.s.m) à grande distance (environ 230 km entre l'émetteur et le récepteur) avec une antenne de réception très longue (95 traces). On met en évidence les trajets multiples de propagation.

Pour chacun des trajets mis ainsi en évidence, on étudie ses fluctuations de position le long de l'antenne par l'intermédiaire de formations de voies associées à des "sous-antennes" (groupement de traces). On déduit la déformation spatiale de l'antenne - ou plutôt la déformation relative source-antenne. Les résultats montrent que la déformation de l'antenne est identique pour chaque trajet, et que, en compensant cette déformation, on obtient un gain de traitement cohérent proche de celui théorique.

I - INTRODUCTION

On s'intéresse à l'identification active du milieu marin considéré comme filtre linéaire entre l'émission E et la réception R. Dans le cas présent, le milieu a une entrée et N sorties car le récepteur est une antenne à 95 capteurs (traces). On s'intéresse à la réponse spatio-temporelle du milieu ainsi défini. Cette analyse a différents buts : étude de la propagation E-R, et comparaison avec les prévisions données par les diverses solutions des équations de propagation ; analyse du comportement des signaux reçus le long de l'antenne, et étude des déformations "spatiales". De plus en excitant périodiquement le milieu, on obtient l'évolution temporelle et/ou statistique des différents paramètres de la réponse.

Le & II donne la méthodologie de l'estimation de la réponse spatio-temporelle, et sa mise en oeuvre dans le cas a.s.m. présenté. On obtient ainsi, et ceci est très nouveau, des réponses spatio-temporelles réelles de canal marin.

Le & III développe l'exploitation qui a été faite de cette réponse spatio-temporelle : groupement de traces et formation de voies associées.

Le & IV montre les résultats obtenus, et en particulier la déformation d'antenne déduite des mesures de rapport S/B correspondant aux différentes formations de voies.

SUMMARY

We are interested in the active identification of the underwater channel which is represented by a one input - N output linear filter (one emitter E, N receivers R_j). In order to estimate the impulse response of this filter, the minimum mean-square error identification method is used for each channel E-R_j : emission of well adapted signals and input-output correlation.

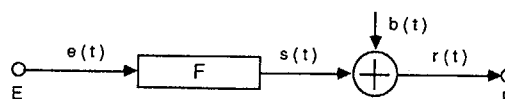
This method is applied to a long distance underwater experiment (about 230 km between the emitter and the receivers) using a very long reception antenna (95 sensors). Multipath propagation is well exhibited.

The time fluctuations of each path are studied along the reception antenna by means of sub array beam-formers.

The array space deformation -or rather the source-array relative space deformation- is deduced. The results show that the deformation is identical for each path. By taking account of this deformation we obtain an array gain close to the theoretical one.

II - IDENTIFICATION ACTIVE D'UN FILTRE SPATIO-TEMPOREL

II-1 Rappel de la méthodologie



On modélise le milieu de transmission entre l'émetteur E et le récepteur R par un filtre linéaire F de réponse impulsionnelle (r.i) H(τ) auquel se superpose du bruit b(t)

$$s(t) = (H * e)(t) \quad r(t) = s(t) + b(t) \quad (1)$$

En identification active, on dispose de e(t) (ou sa copie), et de r(t). On sait qu'alors le filtre H(τ) qui minimise l'erreur quadratique de sortie

$$J^2 = \int |r(t) - (H * e)(t)|^2 dt \quad (2)$$

doit satisfaire (principe d'orthogonalité)

$$\int r_e(\tau) = (H * \int_e)(\tau) \quad (3)$$

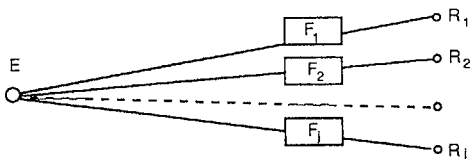
où $\int_e(\tau)$ et $\int_{r_e}(\tau)$ sont les fonctions de corrélation de e(t) et d'intercorrélation de r(t) et e(t). La mise en oeuvre de l'équation (3) conduit à utiliser des signaux e(t) tels que

$$\int_e(\tau) \sim \gamma_0 \int(\tau) \quad (4)$$

Alors l'intercorrélation $\int_{r_e}(\tau)$ fournit directement, à une constante près, la r.i. cherchée $\underline{H}(\tau)$ du filtre.



II-2 Cas spatio-temporel 1 Entrée - N sorties



On estime simultanément les N réponses $H_i(\tau)$ des N filtres E-R_i. Par la méthode rappelée ci-dessus, on obtient ainsi un vecteur $\underline{H}(\tau)$ réponse spatio-temporelle du milieu E-R..

Rappelons que la seule hypothèse faite dans ce type d'identification non paramétrique est la linéarité de F vis-à-vis des signaux d'entrée. Dans (1) on a supposé $H(\tau)$ non variable avec t, et certain, mais on peut généraliser ; voir [1].

II-3 Mise en oeuvre en a.s.m.

Le support expérimental de cette étude est une campagne de mesures en mer faite avec le concours du GERDSM et de l'IFP mettant en oeuvre deux bateaux [2]. Ceux-ci suivent des routes à cap constant faisant un angle de 45° entre elles. L'un tracte une antenne longue de type flûte sismique constituée de 95 traces, elles-mêmes constituées de somme de capteurs qui leur confère une directivité de $\pm 20^\circ$. L'autre traîne la source sonore qui se trouve théoriquement toujours sur la normale au réseau récepteur et quasi à la même immersion. Pour la séquence étudiée, la distance entre l'émetteur et les récepteurs est de 230 km environ.

Schéma des conditions expérimentales

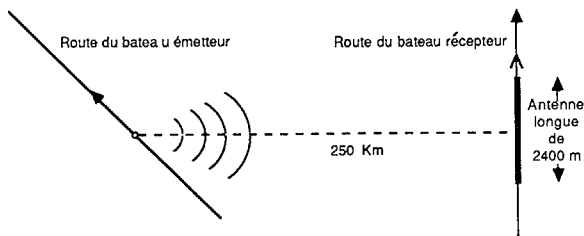


Figure 1

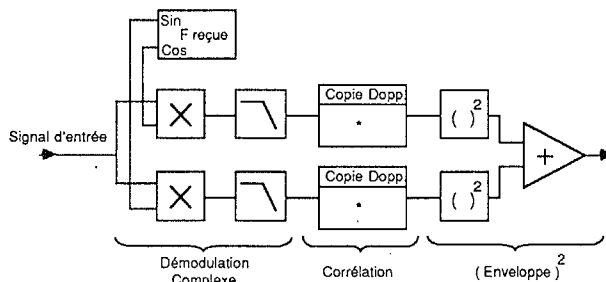
Le signal émis est un signal à fort pouvoir de résolution temps-fréquence de façon à valider les hypothèses théoriques précédemment décrites (équation 4). Il s'agit d'un signal de type PSK (Phase Shift Keying) constitué d'une séquence binaire de longueur optimale de produit $B \times T = 255$. Celle-ci module la phase de la fréquence porteuse à raison de 4 périodes par pas élémentaire du code (la fréquence porteuse étant égale à 82 Hz). Les caractéristiques [3] d'un tel signal sont : une durée $T = 12,43$ secondes, une "bande passante" $B = 20,5$ Hz. Ce qui permet une résolution

$$\text{en temps } \Delta T = \frac{1}{B} = \theta = 48 \text{ ms}$$

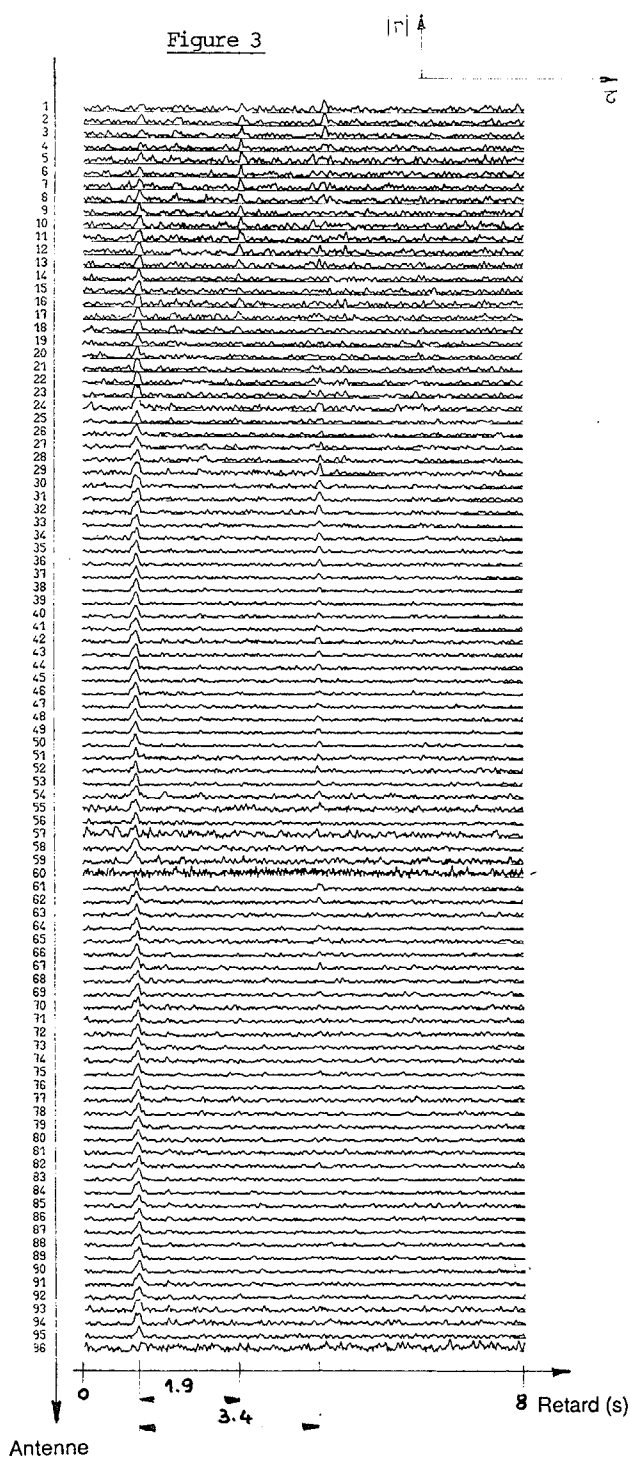
$$\text{et une résolution en fréquence } \Delta F = \frac{1}{T} = 80 \text{ mHz}$$

Le traitement proposé consiste à réaliser pour chaque trace, l'intercorrélation ou filtrage adapté avec le signal émis, en tenant compte auparavant du glissement de fréquence lié au mouvement relatif des deux bateaux. Le filtrage adapté est réalisé classiquement sur le code c'est-à-dire la partie basse fréquence du signal émis, ce qui nécessite une phase de démodulation complexe du signal reçu (voir figure 2).

Figure 2 : Schéma synoptique du traitement



Lorsque l'on applique ce traitement aux 95 traces de l'antenne, on obtient la réponse spatio-temporelle; la figure 3 présente un exemple du module de celle-ci.



Le support temporel des retards est de 8 secondes avec un échantillonnage en retard $\Delta \tau = 16$ ms. On constate que le début de flûte est plus bruité que la queue de flûte, et que la trace 60 est défectueuse. Nous observons la présence d'un pic principal, certainement constitué de la somme de plusieurs trajets très proches, compte-tenu de sa déformation. Nous observons également des trajets secondaires à retards assez grands $\tau_1 = 1,9$ s, $\tau_2 = 3,4$ s. Toutefois, ces trajets ne sont pas présents tout au long de l'antenne. Notons ici que le modèle de tracés de rayons prévoit des dates d'arrivée pour les différents trajets sensiblement conformes à celles trouvées.

III - EXPLOITATION DES REPONSES SPATIO-TEMPORELLES

Rappelons globalement les buts poursuivis de façon générale.

* La connaissance du milieu

Ceci conduit à un modèle paramétrique, de type par exemple à trajets multiples, dont on peut vouloir déterminer les amplitudes et les retards des trajets [1].

* La connaissance de la déformée de l'antenne

Physiquement une telle antenne, longue, souple, libre à une extrémité, a de très fortes chances d'osciller et il est fondamental de pouvoir séparer lors de l'analyse des signaux reçus, la contribution propre de l'antenne de façon à accéder aux informations sur le milieu. En détection optimale, la connaissance de la déformation due au milieu, ou à l'antenne, est essentielle pour obtenir un gain de traitement optimal [4].

Nous présentons par la suite une étude de la déformation d'antenne obtenue par groupements de traces et formation de voies, en faisant l'hypothèse que la source est fixe, à l'infini, et que le trajet principal devrait donc arriver de façon simultanée sur toutes les traces.

La résolution en retard, donnée par le traitement, est de $\Delta \tau = 16$ ms, alors que le support du pic de corrélation, donné par la durée du pas élémentaire du code est de 48,8 ms. Cela conduit à un manque de précision quant à la connaissance directe des retards relatifs entre traces (τ_i).

D'autre part, le diagramme de directivité d'une trace est de $+ 20^\circ$. Si l'on effectue la sommation cohérente sur les 95 traces, le diagramme de directivité de l'antenne est alors de $+ 0,5^\circ$.

Par ailleurs, le signal reçu est échantillonné à la fréquence de 500 Hz, donc le plus petit retard entre traces que l'on peut prendre en compte dans une formation de voies est de 2 ms ce qui conduit à une inclinaison de l'antenne de $6,8^\circ$.

En choisissant des groupements de 6 traces, on obtient une directivité de 7° . Ainsi, suivant les retards de compensation que l'on utilise pour les différents groupements, on réalise des "sous antennes" de directivité 7° , dans des directions adjacentes de $6,8^\circ$. Par la suite, on choisit comme orientation de chaque "sous antenne", celle qui maximise le rapport S/B sur le sous-ensemble. On en déduit ainsi dans un premier temps, la déformée de l'antenne. Il est à noter que l'on peut faire ce traitement pour les différents trajets.

IV - RESULTATS

IV-1 Présentation de l'évolution des rapports S/B obtenus pour les différentes compositions des sous-antennes figure 4.

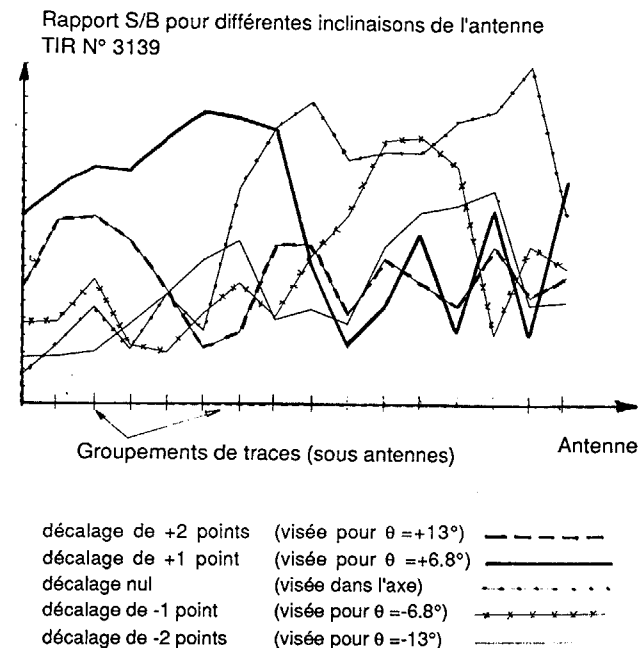


Figure 4

IV-2 Déformation de l'antenne obtenue pour l'analyse du trajet principal de l'exemple traité figure 5.

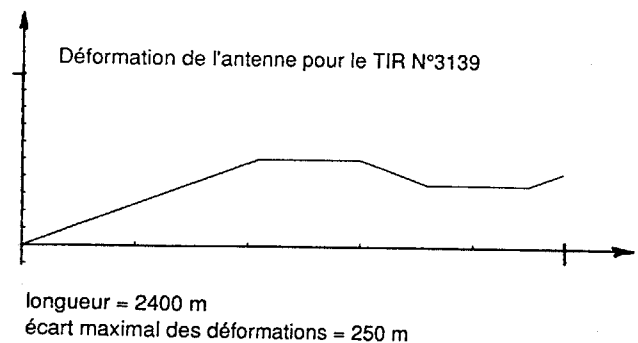


Figure 5

IV-3 L'illustration du gain d'antenne est présentée figure 6

On montre le signal après traitement d'une voie figure 6 (a) ; puis le résultat de la sommation cohérente sans compensation de retard figure 6 (b) ; puis le résultat de la sommation cohérente en ayant tenu compte de la déformation de l'antenne donnée par la figure 6(c).

Le gain de traitement est de $29,5 - 17 = 12,5$ dB, le gain théorique serait de 20 dB. On peut imputer une part de responsabilité à l'estimation approchée de l'antenne et par ailleurs, le signal ne reste vraisemblablement pas cohérent totalement dans la transmission.

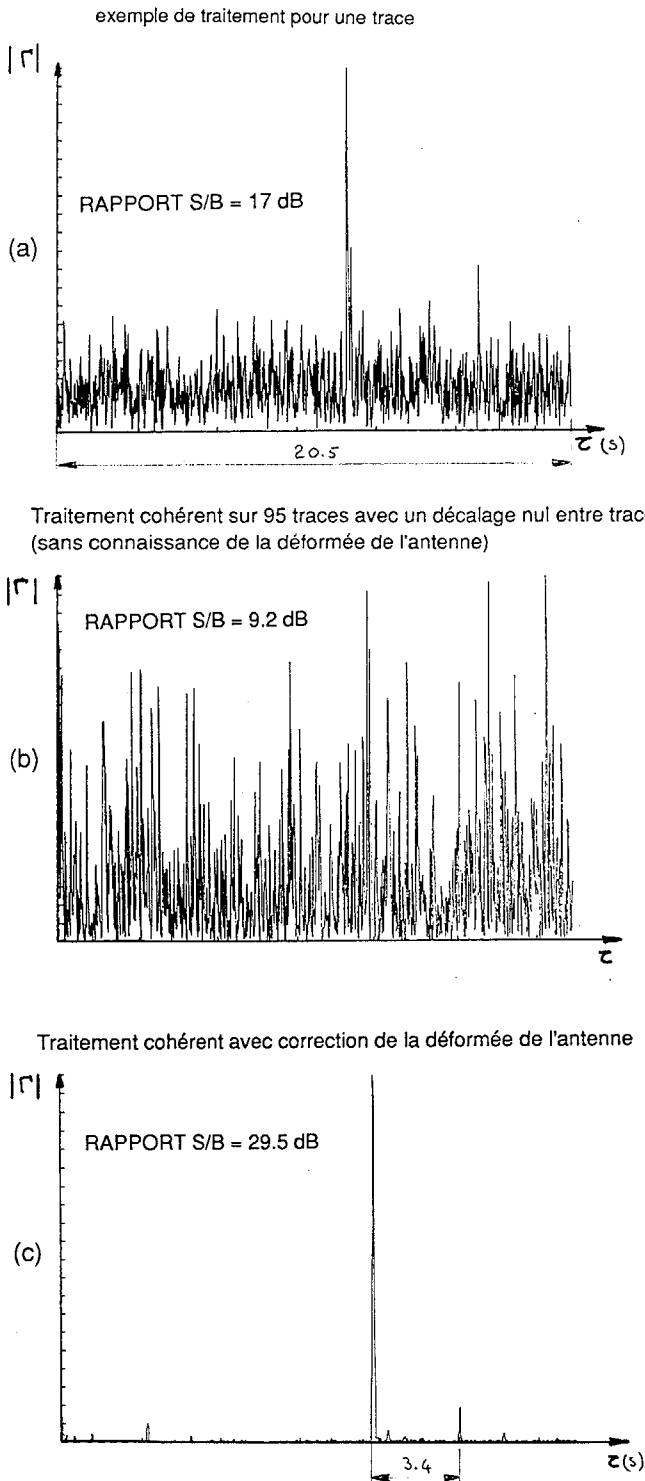


Figure 6

V - CONCLUSION

Cette étude a permis d'estimer les déformations d'une antenne longue tractée en utilisant une excitation de type large bande. Les résultats obtenus sont tout à fait conformes à ceux trouvés lors d'une excitation monochromatique [5]. Elle a permis de mettre en évidence la présence de trajets multiples dont les retards étaient prévus très approximativement par le modèle de tracés de rayons. Nous avons montré [6] sur quelques exemples que les différents trajets sont vus de la même façon par l'antenne. Ce qui montre effectivement des retards d'arrivée dans le plan vertical entre l'émetteur et les récepteurs. Dans une étape ultérieure on étudiera la déformation de l'antenne au cours du temps et l'on essaiera de séparer les contributions propres à l'antenne de celles du milieu.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] G.JOURDAIN, M.A.PALLAS : Multiple Time Delay Estimation in Underwater Acoustics Propagation, in "Lecture notes in control and information Sciences". Vol 85, C.R.BAKER éd. SPRINGER-VERLAG 1986.
- [2] B.FAURE, F.VIAL : Traitement des signaux PSK de la campagne de mesures flûte pétrolière IFP 85, Rapport CEPHAG n° 53/86.
- [3] P. LAMBERT : Contribution par l'étude de la phase transmise à la modélisation du milieu acoustique sous-marin. Thèse de Docteur Ingénieur, INPG-1983.
- [4] Y.LABASQUE : Traitement d'antenne en présence d'un signal imparfaitement cohérent. Colloque GRETSI Juin 79 pages 82/1 - 82/9.
- [5] B. FAURE : Analyse temporelle et spatiale de l'onde reçue sur une grande antenne à longue distance en a.s.m. 7ème JESPA Juin 86, p.XIV.2.1 à XIV.2.10.
- [6] B.FAURE, F.VIAL : Traitement des signaux PSK de l'expérimentation IFP 85. Tracé des surfaces d'onde relatives à différents trajets. Rapport CEPHAG 4/87.

Cette étude à été conduite avec le soutien de la DCAN