

SYSTEME DE REDUCTION DE BRUIT POUR ANTENNE DE TORPILLE

J.M. WAGNER, G. DENIAU (*) M. FAVRE (**)

(*) DCN Saint Tropez,
CD 98 A, Gassin, BP 168,
83996 Saint Tropez Cedex

(**) SINAPTEC
Parc Club des Prés, 16 rue Papin,
59658 Villeneuve d'Ascq Cedex

Dans la conception d'antenne acoustique, le transducteur élémentaire est classiquement utilisé dans la configuration suivante : sa partie arrière est fixée sur une structure mécanique résistant à la pression et sa partie avant est en contact avec l'eau et constitue sa face parlante. Les vibrations de la structure mécanique, qui sont transmises par l'arrière, génèrent donc du bruit lorsque le transducteur fonctionne en réception, et dégradent ainsi les performances de l'antenne dans son ensemble. Le système de réduction de bruit, objet de cette présentation, consiste à soustraire le bruit induit par les vibrations mécaniques au signal acoustique qu'on veut écouter, en insérant un capteur de pression entre la structure mécanique et le transducteur.

I. INTRODUCTION

En acoustique sous-marine dans le domaine des antennes émission/réception, plus particulièrement dans le cadre de celles utilisées dans le corps des torpilles actuelles, un des problèmes importants qui se pose, est le bruit provoqué par les vibrations mécaniques du support de l'antenne (lié au corps de la torpille) : ce dernier gêne particulièrement la bonne écoute des transducteurs qui constituent ces antennes et ainsi limite leur portée de détection.

Plusieurs solutions sont apportées à ce problème: Les plus courantes sont des solutions mécaniques qui cherchent à découpler le plus possible le support du corps de la torpille, d'autres solutions peuvent être des solutions de découplage actif qui, par la mise en oeuvre de systèmes capteur-actionneur piézoélectriques répartis sur la structure mécanique, cherchent à contrôler le mouvement de cette structure en lui imposant une vibration contraire à celle mesurée. Les premières ne sont pas suffisamment satisfaisantes dans le cas des antennes de torpille: Elles n'améliorent pas suffisamment le rapport Signal sur Bruit. Les secondes ne sont pas faciles à mettre en oeuvre, compte tenu de la miniaturisation de l'antenne et de l'espace

In the design of underwater antenna, the elementary transducer is usually used as follow: Its back is fixed to a mechanical structure which is pressionproof and its head is in contact with water and constitutes its speaking face. The vibrations of the mechanical structure are transmitted via the back to the sensitive part of the transducer and then generate noise when this one works particularly in reception mode. So they reduce the antenna performances.

The reducing noise device, subject of this paper, consists in substracting the noise generated by the mechanical vibration from the acoustic signal which must be listened. This is realized by inserting a pression sensor between the mechanical support and the transducer.

disponible dans le cadre d'une tête de torpille.

La solution proposée par la DCN St TROPEZ est une solution qu'on pourrait classer solution de découplage passif; en effet elle consiste à insérer un capteur de pression entre la structure mécanique support des transducteurs et chacun des transducteurs constitutifs de l'antenne. Pour chaque unité transducteur, on mesure alors deux signaux en mode réception du transducteur: un sur le capteur et un sur le transducteur qui permettent d'effectuer la soustraction du bruit mécanique.

Des premières expériences ont montré que cette soustraction permet effectivement d'améliorer de façon significative le rapport Signal sur Bruit.

Pour comprendre et améliorer ce concept, une étude théorique de caractérisation (basée sur le modèle des ondes planes) associée à une étude comparative expérimentale est en cours de réalisation. Elle a permis jusqu'ici de valider ce concept de soustraction et doit permettre avec l'expérimentation de la structure test (évaluée théoriquement) de bien cerner les caractéristiques à optimiser.

L'objectif de cet article est de présenter la recherche sur ce concept; il s'organise de la manière suivante:

- la présentation du concept,



- la présentation des premières expérimentations,
- l'approche théorique basée sur le modèle des matrices de transfert,
- les résultats théoriques et la poursuite de la recherche.

II. PRESENTATION DU CONCEPT

Il consiste donc à insérer comme présenté sur la figure 1 un capteur entre la structure support et le capteur. Le transducteur, dans le cas considéré d'un petit Tonpilsz formé d'un contremasse, d'un empilement de céramiques (moteur) et d'un pavillon (face parlante). Le capteur est placé à l'arrière du transducteur sur la contremasse et une interface mécanique permet de l'adapter sur la partie support.

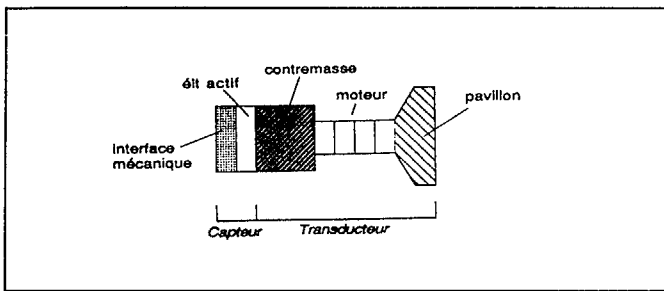


Figure 2.1 : Eléments constitutifs du système

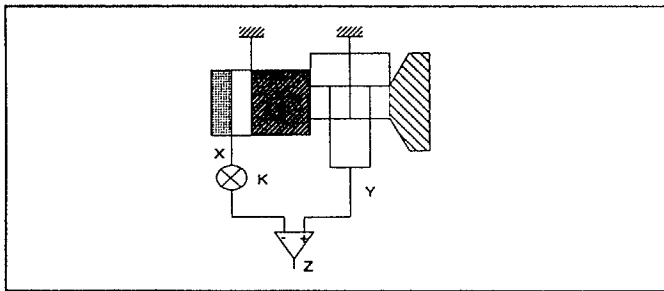


Figure 2.2 : Principe de soustraction

Si on adopte les notations suivantes :

- H_{AC}^X, H_{AC}^Y : Les fonction de transfert respectivement du signal x et du signal y pour le signal acoustique (s),
- H_{MEC}^X, H_{MEC}^Y : Les fonction de transfert respectivement du signal x et du signal y pour le signal mécanique (B),

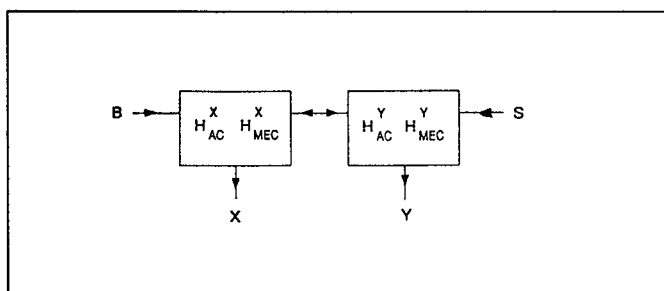


Figure 2.3 : Schéma du concept

L'équation matricielle du problème (constantes et variables complexes) peut alors s'écrire :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{MEC}^X & H_{AC}^X \\ H_{MEC}^Y & H_{AC}^Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ S \end{bmatrix}$$

Domaine de validité ou existence d'une solution au problème :

$$(1) \frac{H_{MEC}^X}{H_{MEC}^Y} \neq \frac{H_{AC}^X}{H_{AC}^Y}$$

$$(2) Z = (Y - KX) \\ Z = (H_{MEC}^Y - KH_{MEC}^X) B + (H_{AC}^Y - KH_{AC}^X) S$$

On cherche à ne garder que la partie signal acoustique. Ceci permet d'évaluer κ le coefficient complexe à choisir

$$K = \frac{H_{MEC}^Y}{H_{MEC}^X}$$

κ doit donc être relativement constant en phase et en module dans la bande de fréquence de travail.

- (3) La source du bruit doit essentiellement être les vibrations mécaniques de la structure sur laquelle le transducteur est monté.

III. PRESENTATION DES PREMIERES EXPERIMENTATIONS

La configuration d'essai qui a permis une première validation du concept est présentée dans la figure 3.1 :

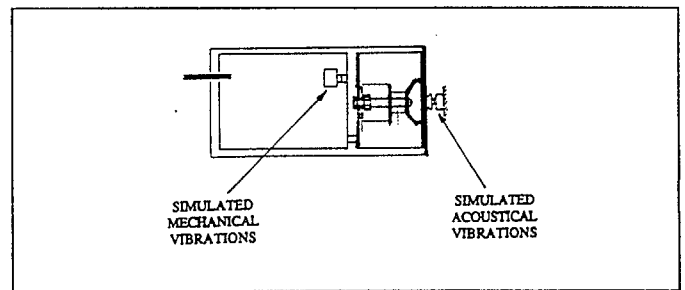


Figure 3.1 : Essais dans l'air

Les essais en piscine ont posés quelques problèmes: En effet l'environnement offert par la piscine étant trop peu étendu, les échos du signal acoustique sur les surfaces de la piscine se sont superposés à la vibration mécanique. Les essais dans l'air ont permis par contre d'avoir une bonne

idée des améliorations apportées par le concept.

Les figures présentées ci-dessous permettent de le constater dans le cas d'un signal acoustique à 20 kHz et d'un bruit mécanique dans la bande 18-22 kHz.

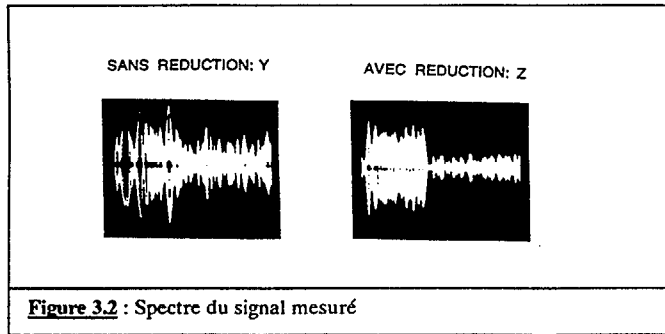


Figure 3.2 : Spectre du signal mesuré

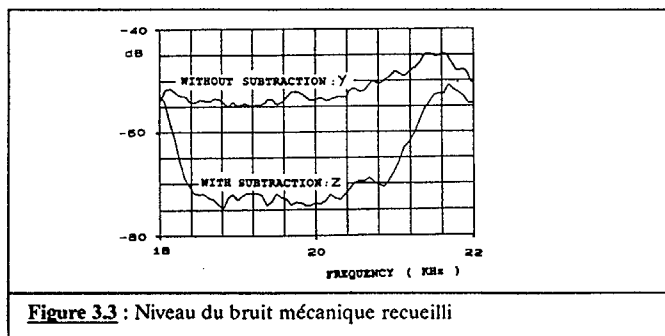


Figure 3.3 : Niveau du bruit mécanique recueilli

De plus, on constate que la sensibilité au signal acoustique du transducteur n'a pas été trop endommagée en effet si on représente le module du rapport sensibilité avec réduction sur sensibilité sans réduction on conserve une valeur assez proche de 1.

IV. APPROCHE THEORIQUE BASEE SUR LE MODE DE MATRICES DE TRANSFERT

IV.1. Rappel sur le principe du modèle

Le modèle des matrices de transfert est basé sur l'hypothèse d'un fonctionnement en ondes planes : c'est à dire une formulation unidimensionnelle où toutes les grandeurs physiques caractéristiques du mouvement (déplacement, vitesses, contraintes et pression...) sont supposées se propager le long de la structure en ayant la même valeur en tout point de la section droite (perpendiculaire à cet axe). La structure étudiée est modélisée par un certain nombre de blocs élémentaires pour lesquels on calcule "la matrice de transfert" qui permet d'exprimer les grandeurs de sa face droite (notée (+)) en fonction des grandeurs de sa face gauche (notée (-)).

Le bloc élémentaire peut être schématisé ainsi avec les conventions de sens suivants :

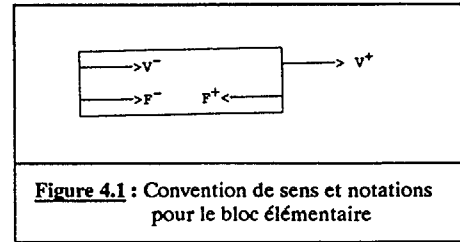


Figure 4.1 : Convention de sens et notations pour le bloc élémentaire

L'expression matricielle associée est :

- dans le cas d'un élément mécanique :

$$\begin{bmatrix} F^+ \\ v^+ \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} F^- \\ v^- \end{bmatrix}$$

- dans le cas d'un élément piézoélectrique :

$$\begin{bmatrix} F^+ \\ v^+ \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} F^- \\ v^- \end{bmatrix} + \begin{matrix} t \phi \\ \sim \end{matrix}$$

et

$$i = \alpha \phi + k_{33} (v^- - v^+)$$

où :

- F^+, v^+ sont les force et vitesse sur la face (+)
- F^-, v^- sont les force et vitesse sur la face (-)
- $[T]$ est la matrice de transfert qui a une expression bien déterminée suivant qu'il s'agisse d'un élément mécanique, piézoélectrique, d'une forme cylindrique, conique
- ϕ scalaire correspondant au potentiel mesuré ou appliqué aux bornes de l'élément piézoélectrique
- i courant électrique circulant dans l'élément
- α coefficient scalaire lié aux caractéristiques du matériau céramique
- k_{33} coefficient scalaire de couplage 33 (cf caractéristiques de la céramique)
- t vecteur de transfert
- \sim



IV.2. Application au système de réduction de bruit - notations

Le système étudié comporte deux parties actives indépendantes, il peut être décrit par bloc de la façon suivante :

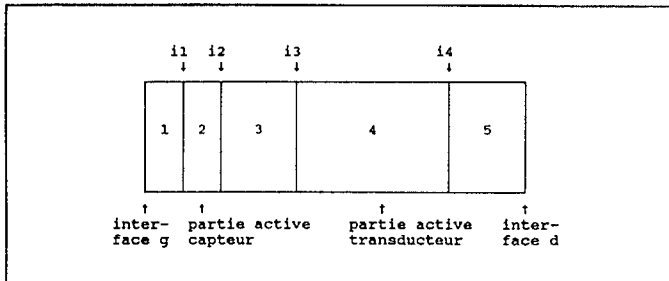


Figure 4.2 : Système étudié

où les éléments sont repérés de la façon suivante :

- élément 1 : Interface mécanique entre structure support et capteur
- élément 2 : Élément actif du capteur-céramique piézoélectrique (céramique A1)
- élément 3 : Contremasse transducteur
- élément 4 : Moteur piézoélectrique transducteur (céramique A2)
- élément 5 : Pavillon transducteur

IV.3. Mise en équation

Le modèle des matrices de transfert permet d'écrire une relation matricielle pour chaque bloc. Ces relations sont associées de proche en proche en tenant compte des conditions aux limites du système dans son ensemble :

A gauche : une vibration extérieure mécanique. On se place donc dans une condition d'accéléromètre qui paraît la plus réaliste. Le signal bruit appliqué par l'intermédiaire de la vibration mécanique du support va donc être comparable à une accélération extérieure qui sera notée g_{og} .

A droite : Une vibration acoustique émanant de la structure extérieure qu'on veut détecter. Notre système se trouve en effet en mode réception, la vibration acoustique est donc comparable à la pression extérieure du fluide, qui va s'appliquer sur la surface du pavillon, dépendante de l'onde reçue. Le signal acoustique est donc représenté par une pression extérieure qui sera notée P_{od} .

On peut donc schématiser l'entrée gauche de ce système par un générateur de courant (analogie vitesse) et l'entrée droite par un générateur de tension (analogie force) de la manière suivante :

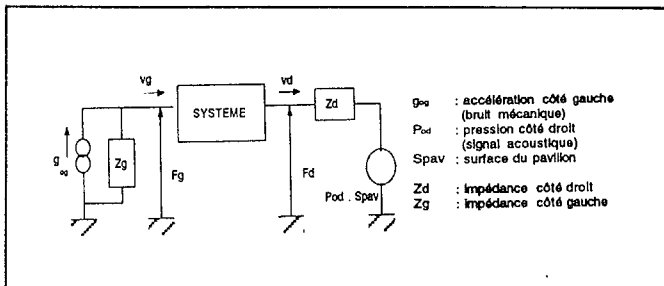


Figure 4.3 : Schéma du système étudié

V. LES RESULTATS THEORIQUES ET LA POURSUITE DE LA RECHERCHE

Plusieurs calculs ont été menés avec des géométries de capteur très différentes. On considère en effet dans un premier temps que la partie transducteur est relativement figée.

Ils ont montré qu'effectivement ce concept de système de réduction par adjonction d'un capteur doit permettre d'améliorer de façon intéressante le rapport signal sur bruit. En effet, dans tous les cas de figure étudiés le rapport signal sur bruit est amélioré (figure 5.1). Les différences apparaissent surtout dans la modification de la sensibilité du transducteur qui est liée à la géométrie du transducteur et à la masse mise en oeuvre au niveau du capteur. Cette sensibilité peut se trouver en effet plus ou moins dégradée.

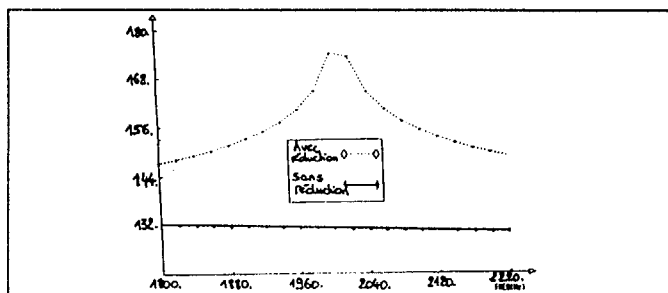


Figure 5.1 : Module (dB) du rapport du coefficient du Signal sur le coefficient du Bruit

Ce modèle par matrices de transfert a donc permis de caractériser plusieurs cas de figures et de se définir une structure test. Cette structure est en cours de réalisation et d'expérimentation pour permettre une comparaison théorie-expérience et une meilleure définition des caractéristiques à privilégier.