



## **CORRECTION DES HAUT -PARLEURS EN BASSE FREQUENCE**

*M. Bachir Raho, A Kadri*

*Département de Physique, Faculté des Sciences, Université d'Oran, Algérie*

**Résumé:** Une technique de correction des haut-parleurs en basse fréquence destinée à obtenir une réponse en vitesse dépendant peu de la fréquence est proposée dans cette étude. Cette technique qui possède une très bonne réponse en phase, est basée sur l'utilisation simultanée de l'amélioration des caractéristiques mécaniques et d'un asservissement électronique. Les résultats obtenus permettent de maintenir une vitesse constante entre 50 Hz et 900 Hz sans perte de puissance avec une réponse en phase pratiquement linéaire.

**Mots-clés:** Correction haut-parleurs, asservissement électronique, fonction de transfert.

**Abstract :** A correcting technique of loudspeakers, in the low-frequency regime, in order to determine the response in terms of speed varying slowly with respect to frequency, is proposed. The technique, exhibiting a highly performing phase response, is developed in the mean time by using the optimization of mechanical characteristics of an electronic control. Within the present technique, the results allow to keep a constant speed comprise between 50 and 900 Hz without loss of power with a nearly linear phase response.

### **1, Introduction**

L'objet de cette étude est d'examiner une technique de correction destinée à obtenir une réponse en vitesse dépendant aussi peu que possible de la fréquence et possédant une très bonne réponse en phase dans le domaine des basses fréquences.

La correction proposée a permis de maintenir une vitesse constante entre 50 Hz et 900 Hz.

sans perte de puissance avec une réponse en phase pratiquement linéaire, elle est réalisée par l'utilisation simultanée de deux techniques: amélioration des caractéristiques mécaniques de départ par modification de la charge arrière, puis asservissement électronique. Il est apparu que chacune de ces techniques ne peut seule permettre d'obtenir le résultat désiré. En particulier l'asservissement

électronique ne peut fonctionner de façon stable sans modification de charge arrière.

### **2, Mesure des fonctions de transfert du haut-parleur**

La grandeur à contrôler étant la vitesse de la membrane, il est important de disposer d'une méthode de mesure fiable, simple et peu coûteuse.

La mesure indirecte de la vitesse par un pont d'impédances paraît donc la mieux placée. Elle présente en outre l'avantage de ne pas modifier

## CORRECTION DES HAUT-PARLEURS EN BASSE FREQUENCE.

le câblage traditionnel des haut-parleurs, le circuit de mesure et de correction éventuelle étant intégré à l'amplificateur. Rappelons que ce pont est constitué comme sur la figure 1.

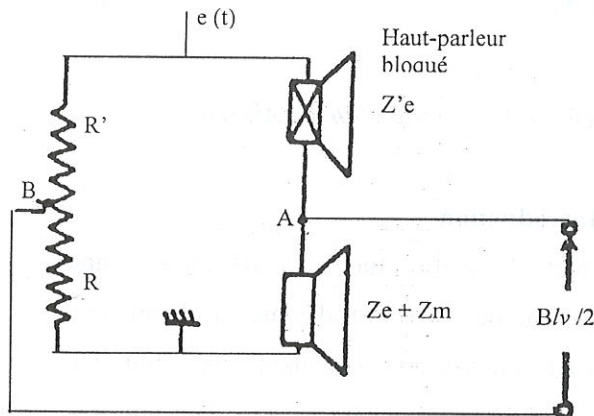


Fig 01 : Pont d'impédance destiné à la mesure de la vitesse  $v$  du diaphragme.

La branche  $R, R'$  représente la partie variable du pont. Dans l'autre branche, on trouve haut-parleur dont l'impédance est la somme obtenue d'une impédance motionnelle  $Z_m$  résultant du déplacement de la bobine. A ce haut-parleur est opposée une impédance électrique  $Z'_e$  semblable à  $Z_e$  impédance réalisée au laboratoire en bloquant un haut-parleur de même type que le premier. On montre facilement qu'à l'équilibre du pont la tension  $V_A - V_B$  est égale à la moitié de la force contre-électromotrice  $Blv$  du haut-parleur ( $B$  désignant l'induction,  $L$  la longueur du fil,  $v$  la vitesse de l'équipage mobile).

En pratique cette méthode est critiquable parce que  $Blv$  est petit devant  $e$ . Ce qui amplifie les erreurs dues au déséquilibre éventuel, et aussi parce que l'impédance électrique  $Z_e$  peut différer à chaque instant de sa valeur statique dans une proportion qui est mal connue. Il nous est donc apparu indispensable de contrôler cette mesure par une autre méthode

ce qui a été fait à l'aide d'un accéléromètre collé à l'équipage mobile du haut-parleur qui a été rigidifié comme indiqué sur le schéma de la figure 2 qui représente le montage expérimental utilisé.

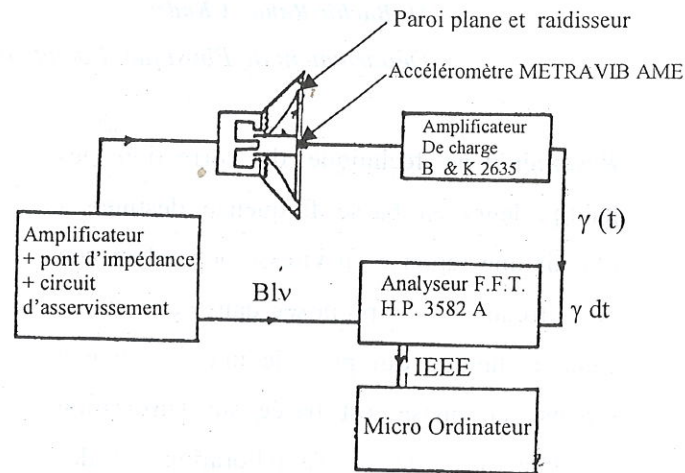


Fig. 2 : Montage expérimental pour l'étude des fonctions de transfert d'un haut-parleur

Les résultats reportés sur la (figure 03) montrent que le pont de mesure peut être réglé de façon à obtenir un bon accord entre les deux

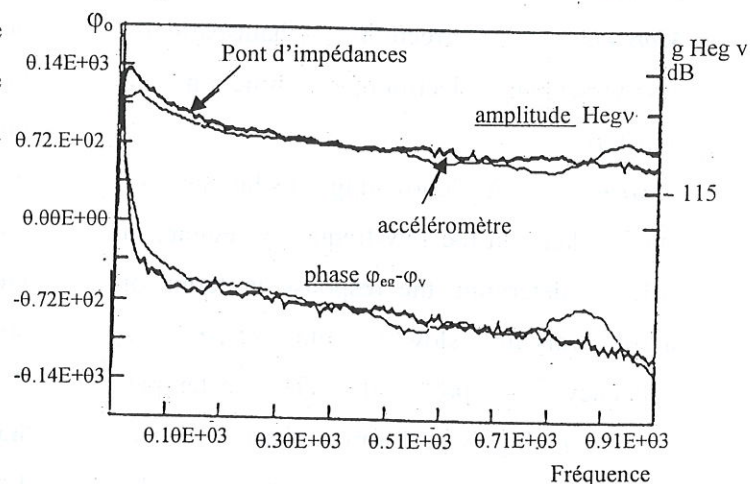


Fig. 03 : Comparaison des mesures de vitesse effectuées à l'aide d'un pont d'impédance et à l'aide d'un accéléromètre.

## CORRECTION DES HAUT-PARLEURS EN BASSE FREQUENCE.

Notons que l'accord est moins bon aux basses fréquences (résonance principale du haut-parleur) et au dessus de 600 Hz en raison d'une résonance amortie apparaissant sur la mesure obtenue par l'accéléromètre. Ces différences sont dues probablement à un défaut de rigidité de la fixation de l'accéléromètre, nous considérons les mesures faites avec le pont d'impédances comme correctes.

Lors des essais, on observe que les erreurs de phases deviennent très importantes en cas de réglage du pont, ce qui justifie l'enregistrement simultané des deux mesures pour la présente étude.

Pour les essais effectués, les fonctions de transfert sont obtenues avec un analyseur F.F.T et sont transférées sur une disquette à l'aide d'un mini-ordinateur, ce sont ces fonctions de transfert qui sont comparées au module décrit dans la paragraphe suivant.

### 3, Modélisation des fonctions de transfert

Pour interpréter les résultats des mesures, nous utilisons comme point de départ le module proposé par S. Zimmermann. D'autres modèles plus élaborés, comme celui de Bruneau peuvent sans doute permettre de mieux « coller » aux mesures en abandonnant la description de la représentation de chaque élément par une impédance localisée. Ce choix est effectué pour expliquer physiquement le mécanisme d'amortissement réalisé, plus que pour le prédire exactement.

Pour le haut-parleur standard, nous supposons que le diaphragme est un piston sur lequel s'exercent les forces liées à la suspension centrale (bobine, spider); à la suspension

périphérique et celles dues à la charge acoustique. Pour le haut-parleur modifié, nous ajoutons les effets d'une charge arrière variable.

Etablissons d'abord le schéma équivalent qui traduit le couplage électromagnétique, l'équation électrique s'écrit :

$$e_g = (R_g + R + R') i + p (L + L') + Blv$$

$p$  désignant le nombre complexe  $j\omega$ ,  $Blv$  la force contre électromotrice  $e_g$  la tension du générateur,  $R_g$ ,  $R$ ,  $R'$  les résistances électriques du générateur, du haut-parleur et du haut-parleur bloqué,  $L$  et  $L'$  leurs selfs.

On peut également écrire l'équation mécanique :

$$vZ_m = Bl i$$

désignant l'impédance mécanique totale de l'équipage mobile. Ces deux équations conduisent à l'expression :

$$\frac{e_g Bl}{R_g + R + R'} = \frac{v}{1/Z_m} + \frac{vB^2 l^2}{R_g + R + R' + p(L + L')}$$

Si l'on considère la vitesse  $v$  comme tension (analogie électromagnétique, de type mobilité, C.F. Beranek), on donne le schéma d'addition

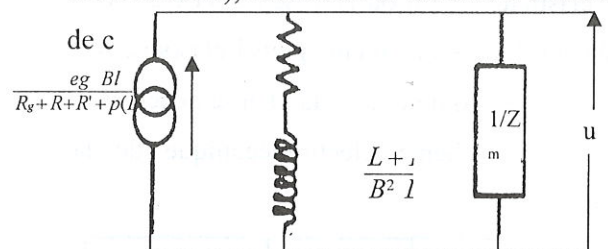


Fig. 04 : Schéma équivalent du couplage électromagnétique (analogie de type mobilité)

Il nous reste donc à modéliser l'admittance mécanique qui est constituée par une suite d'admittances en parallèles. Chaque élément

## CORRECTION DES HAUT-PARLEURS EN BASSE FREQUENCE.

correspond à un élément mécanique entraîne par le diaphragme à vitesse  $v$ . Cette opération est simple si l'on note que dans l'analogie électromécanique de type mobilité, les courant représentent les forces et les nœuds du circuit correspondant à des additions de forces.

On a ainsi la listes d'éléments suivante :

*Suspension principale*

Masse du diaphragme : capacité  $1/L_1$

élasticité de la suspension : self  $1/C_1$

amortissement de la suspension : résistance  $R_1$

résistance de rayonnement (Beranek) :  $R_1(\omega)$

*suspension périphérique (Cf. Zimmerman)*

élasticité de la liaison :  $1/C_3$

masse : capacité  $1/L_3$

amortissement : résistance  $R_3$

élasticité de la liaison (saladier) :  $1/C_4$

*Charge arrière*

Elasticité due au volume : self  $1/C_2$

résistance d'écoulement et rayonnement :

résistance  $R_2$

masse : self  $1/L_2$

Notons que la liaison diaphragme-suspension périphérique impose une différence de vitesse à l'élasticité  $1/C_3$  d'où la mise en série de cet élément. Il en est de même pour l'élasticité self  $1/C_2$  due au volume dans la charge arrière. On obtient le schéma électromécanique de la figure 5.

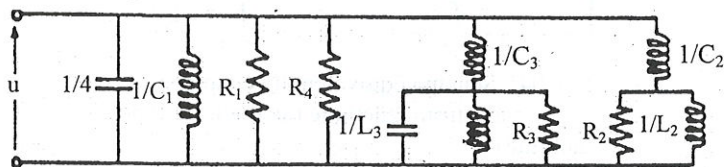


Fig 05. : Schéma équivalent de l'admittance mécanique (Analogie de type mobilité).

Le schéma équivalent global du haut-parleur s'obtient en combinant les schémas partiels des figures 4 et 5. pour revenir à une représentation plus naturelle dans laquelle le courant électrique simule en flux de vitesse, on revient à l'analogie du type impédance et on obtient le schéma dual de la figure 6, dans lequel l'effet de la charge arrière est schématisé par le circuit portant l'indice N° 2.

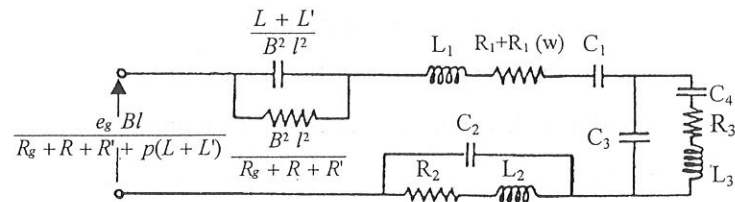


Figure 06 : Schéma équivalent global du haut-parleur (analogie type mobilité)

L'expression correspondance à  $v$  est alors :

$$v = \frac{e_g Bl/T}{T_1 + T_2 / (1 + pC_2T_2) + T_3 / (1 + pC_3T_3) + B^2 l^2 / T}$$

Dans laquelle :

$$T_1 = R_1 + R_1(\omega) + pL_1 + 1/pC_1$$

$$T_2 = pL_2 + R_2$$

$$T_3 = R_3 + pL_3 + 1/pC_4$$

$$T = R_g + R + R' + p(L + L')$$

### 4, Comparaison modèle -expérience

Si l'on neutralise le circuit représentant la charge arrière, le schéma équivalent doit représenter le comportement du haut-parleur standard. Cette comparaison est faite (fig. 7) où l'on observe un accord global assez bon.

## CORRECTION DES HAUT-PARLEURS EN BASSE FREQUENCE.

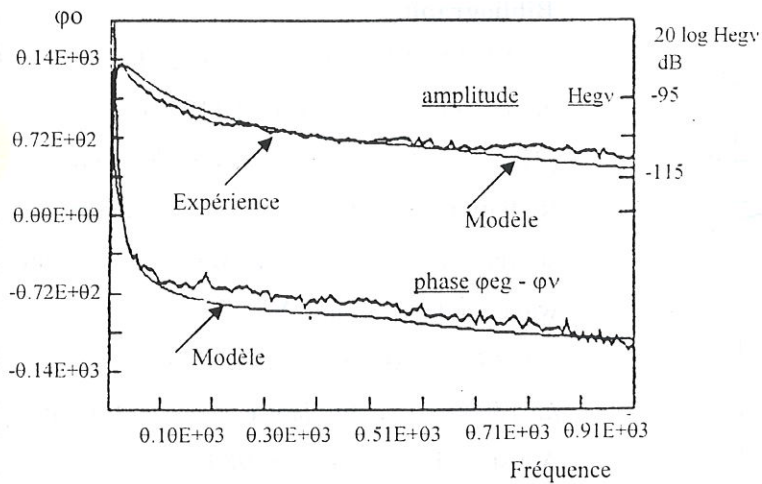


Figure 07 : Fonction de transfert tension d'entrée-vitesse pour un haut-parleur normal. Comparaison entre l'expérience et le modèle.

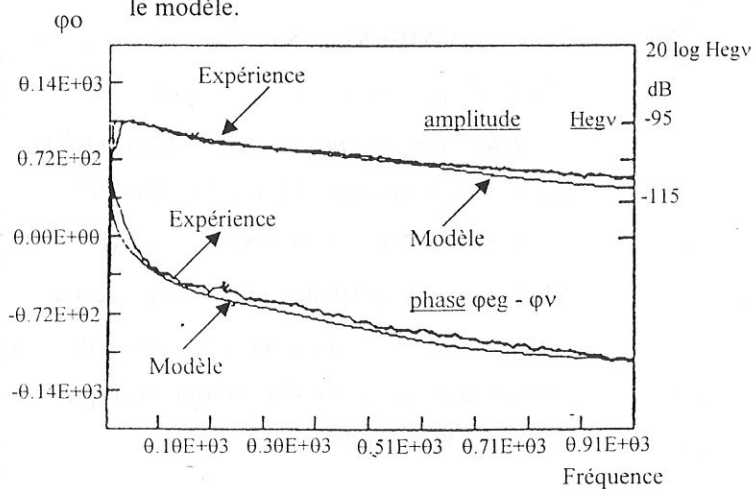


Figure 08 : Fonction de transfert tension d'entrée-vitesse pour un haut-parleur modifié mécaniquement. Comparaison entre l'expérience et le modèle.

Notons que pour ce modèle, on a utilisé :

- La valeur exacte des caractéristiques électriques  $B_l$ ,  $l$ ,  $R_g$ ,  $R_e$ ,  $R'_e$ ,  $L$ ,  $L'$  (unités électriques).
- La valeur donnée par le constructeur de l'élasticité de la suspension centrale  $C_l = 1.28 \cdot 10^{-3} \text{ m/N}$ .
- Une valeur estimée de sa masse  $L_l = 0.030 \text{ kg}$
- La suspension périphérique a été modélisée par sa masse  $0.002 \text{ kg}$ , son

coefficient d'amortissement  $\epsilon_3 = 0.3$ ,  
sa fréquence naturelle  $550 \text{ Hz}$ .

Si l'on ajoute le circuit portant l'indice N° 2 (sans changer les valeurs ci-dessus) avec les caractéristiques suivantes :

- masse  $0.006 \text{ kg}$ .
- Amortissement  $\epsilon_2 0.55$
- Elasticité  $C_l = 2.6 \cdot 10^{-5} \text{ m/N}$

On remarque encore (fig.8), un bon accord entre les fonctions de transferts calculées et mesurées, ce qui montre bien la nature « dynamique » de l'amortissement réalisé.

Notons que le volume d'air nécessaire pour réaliser l'élasticité  $C_l$  correspond approximativement au volume réellement utilisé soit  $0.7 \text{ l}$ . On a en effet  $C_2 = V/\gamma P_0 S^2$  où  $S$  représente la surface du diaphragme en contact avec le volume  $V$  avec  $S = 0.014 \text{ m}^2$ , on a  $C_2 = 2.12 \cdot 10^{-5} \text{ m/N}$ .

Quant à l'amortissement donnant la valeur  $R_2$ , il est utilisé par viscosité suivant le principe indiqué par Rocard.

la figure 9 représente les trois fonctions de transfert signal entrée-vitesse du diaphragme  $He_g v$  correspondant à un haut-parleur donné, pour un même niveau d'excitation.

La fonction du haut-parleur standard présente une résonance à  $25 \text{ Hz}$  coïncidant approximativement avec le passage à zéro de la phase. La fonction de transfert du haut-parleur modifié montre l'amortissement de cette résonance.

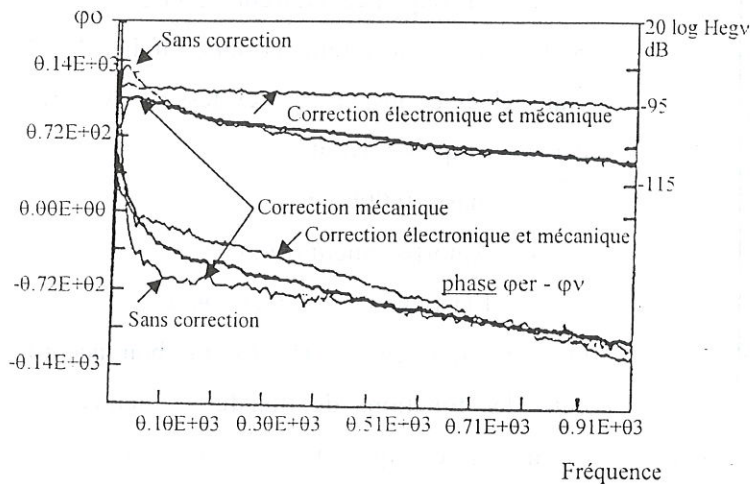


Figure 09 : Comparaison des fonctions de transfert tension d'entrée vitesse dans les trois cas suivants : - haut-parleur normal, haut-parleur modifié mécaniquement, haut-parleur modifié et asservi

## Conclusion

La correction proposée a permis de maintenir une vitesse constante entre 50hz et 900 hz sans perte de puissance. On remarque également un bon accord entre les fonctions de transfert calculées et mesurées ; ce qui montre bien la nature « dynamique » de l'amortissement réalisé.

La fonction de transfert du système complet (incluant un circuit d'asservissement) montre donc la qualité du résultat final obtenu : un niveau constant à  $\pm 0.5$  dB, réponse en phase quasi-linéaire.

## Bibliographie

- [1] BERANEK L. L., Acoustics, Mc Graw-Hill book company, New York (1954).
- [2] BERENGIER M. and ROUGE Radiation impedance of one or several sources mounted in hard-walled rectangular wave guide, J. Sound. Vib. 71, 3pp 389-398.
- [3] BRUNEAU A. M. et BRUNEAU M., La réponse en fréquence des haut-parleurs, Acustica 44 p, 308-313 (1980).
- [4] ROCARD Y., Dynamique générale des vibrations, Masson et Cie, Paris (1971).
- [5] ZIMMERMANN S., La courbe d'impédance motionnelle comme procédé d'étude des propriétés des haut-parleurs, Revues d'Acoustique 11, p. 311-318 (1970).
- [6] LACOUR O., THENAIL D., GALLAN M-A, contrôle actif des impédances de paroi d'une cavité. Troisième colloque groupement de recherche vibroacoustique. mars 3,4 Mars 1997.