

# HAUT-PARLEURS ET ENCEINTES ACOUSTIQUES

Bien que connue dès 1924 avec un premier brevet de P.G.A. VOIGT (21), l'idée d'englober le haut-parleur dans une boucle de réaction négative appliquée à un amplificateur de commande pour améliorer la linéarité de l'un

comme de l'autre, ne connut de réalisation concrète qu'à partir des années 50, époque où apparurent les premiers modèles de haut-parleurs conçus spécialement pour cet usage.

Cette forme de contre-réaction, à laquelle on a souvent donné le nom de contre-réaction de mouvement, consiste à engendrer un signal électrique constituant une mesure du signal acoustique émis par le haut-parleur. Si on abandonne le recours à un microphone en raison du déphasage introduit par le trajet acoustique, on peut déduire des mouvements de la bobine une tension applicable sous forme différentielle à l'entrée de l'amplificateur. Cette tension peut être obtenue de trois manières :

- soit qu'on la déduise du mouvement de la bobine, par recours à des capteurs de proximité (méthode capacitive) ;
- soit qu'on la déduise de la vitesse de déplacement de la bobine (méthode inductive) ;
- soit qu'on la déduise de l'accélération en utilisant les forces d'inertie.

Seules les deux dernières méthodes permettent de s'affranchir des corrections statiques et ont connu de véritables applications. Ajoutons que seul le troisième procédé dispense complètement de référence fixe pour l'origine des mouvements.

On peut donc, en résumé, concevoir un asservissement :

- soit à partir d'un haut-parleur électrodynamique tout à fait classique, à la condition de l'insérer dans un montage qui fasse apparaître une tension proportionnelle au déplacement. Dans ce cas, le haut-parleur ne comporte aucun capteur ;

- soit à partir d'un haut-parleur modifié avec capteur incorporé. Cette deuxième solution a conduit aux principales réalisations décrites ci-après, dont une caractéristique commune à tous les systèmes asservis est qu'ils ne fonctionnent comme tels qu'aux basses fréquences, là où le haut-parleur est supposé travailler en piston, en raison de la difficulté de maîtriser les déphasages qui naissent.

Une autre caractéristique inhérente aux techniques d'asservissement est la modification des caractéristiques électromécaniques du système mobile, en particulier de sa fréquence de résonance principale et de son amortissement. Ce qui peut conduire tout naturellement à concevoir des haut-parleurs spécialement adaptés pour cet usage, en notant par exemple que :

- la contre-réaction d'accélération abaisse la fréquence de résonance, mais en renforce l'acuité (Q augmenté) ;

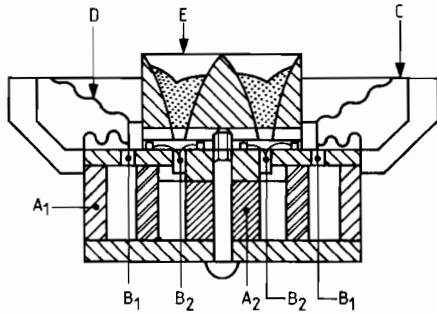
- la contre-réaction de vitesse (méthode en pont) ne change pas la fréquence de résonance, mais augmente le terme d'amortissement (Q diminué) ;

- la contre-réaction de déplacement augmente à la fois la fréquence de résonance et la surtension.

D'où l'idée d'utiliser une combinaison de plusieurs techniques.

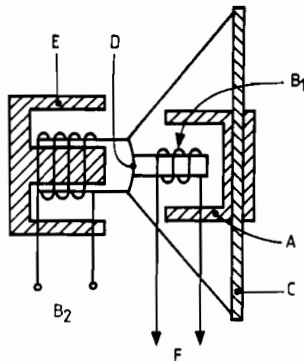
## VI.1 Haut-parleurs à capteur magnétique

La tension d'asservissement cinétique peut être obtenue directement aux bornes d'une bobine mobile auxiliaire (caprice) solidaire, au même titre que la bobine principale (motrice), des mouvements du diaphragme. Tel est le cas de la réalisation Integrand (Tannoy - 1957) à circuit magnétique unique, inspirée du brevet anglais de A.F. SYKES (1926) et qui implique le recours à un enroulement compensateur minimisant le couplage mutuel entre les deux bobines (fig. 73). Cet asservissement de vitesse n'est convenablement maîtrisé qu'à la condition d'obtenir un déplacement de la bobine auxiliaire dans un champ parfaitement constant,



◀ FIGURE 73. – Haut-parleur pour asservissement électrocinétique (modèle à deux bobines à circuit magnétique unique).

- A<sub>1</sub> : aimant du haut-parleur médial
- A<sub>2</sub> : aimant du tweeter
- B<sub>1</sub> : bobines caprices
- B<sub>2</sub> : bobines motrices
- C : anneau d'amortissement
- D : diaphragme du haut-parleur
- E : tweeter.



◀ FIGURE 74. – Haut-parleur pour asservissement électrocinétique (modèle à deux bobines à circuits magnétiques séparés).

- A : aimant auxiliaire
- B<sub>1</sub> : bobine caprice
- B<sub>2</sub> : bobine mobile
- C : méplat support
- D : dôme cache-noyau
- E : moteur principal
- F : signal d'asservissement en vitesse.

sous peine de non-linéarité prenant son origine dans le capteur même et impossible à corriger. Tel n'est pas le cas des solutions à circuits magnétiques séparés (fig. 74), où les réalisateurs ont toute facilité de linéariser le fonctionnement du circuit auxiliaire (G. Gogny – 1954, Esart – 1970), notamment en faisant déplacer la bobine caprice dans un entrefer très large. La complexité et le coût liés au capteur constituent néanmoins des handicaps qui ont fait abandonner aujourd'hui des fabrications hors-série.

En effet, de grandes difficultés apparaissent toujours au niveau du capteur magnétique et qui sont liées :

- 1° aux déphasages intervenant dans la boucle de contre-réaction. Ainsi, à la fréquence de résonance, la tension motrice est déphasée de 90° en avance par rapport au mouvement de la membrane. Il faudra donc procéder à des corrections de phase rendues délicates si on doit tenir compte d'une certaine dispersion dans les caractéristiques des haut-parleurs utilisés (inductance propre de la bobine-fréquence de résonance) ;
- 2° aux non-linéarités imputables à la non-homogénéité du champ magnéti-

que dans l'entrefer du circuit magnétique auxiliaire (cf § III.3), lesquelles risquent de rendre la correction de la distorsion aléatoire ;

3° aux vibrations parasites du saladier ou de la culasse du haut-parleur qui peuvent « induire » des fréquences de résonance renforcées par l'asservissement lui-même.

## VI.2 Haut-parleurs à capteur piézoélectrique

Cette technique est inspirée du fait que la pression acoustique est, aux basses fréquences, proportionnelle à l'accélération de l'équipage mobile (voir § II.3). Une contre-réaction d'accélération est donc de nature à linéariser la caractéristique d'amplitude. Cette idée était déjà dans l'air vers les années 30, et en particulier signalée dans les travaux de M. Trouton cité par Harwood [22].

Pour un système mécanique du 2<sup>e</sup> ordre, on a l'équation de mouvement :

$$F = m \gamma + rv + sx$$

avec :

- F = force s'exerçant sur la bobine,
- m = masse mobile totale,
- r = résistance de frottement,
- s = coefficient de rappel d,
- $\gamma = dv/dt$  = facteur d'accélération,
- v =  $dx/dt$  = vitesse de déplacement.

Par l'effet de contre-réaction, le courant traversant la bobine mobile, et par conséquent, la force F qui lui est proportionnelle, se trouvera diminué d'un terme proportionnel à  $\gamma$ . Soit k le facteur de proportionnalité, l'équation du mouvement devient :

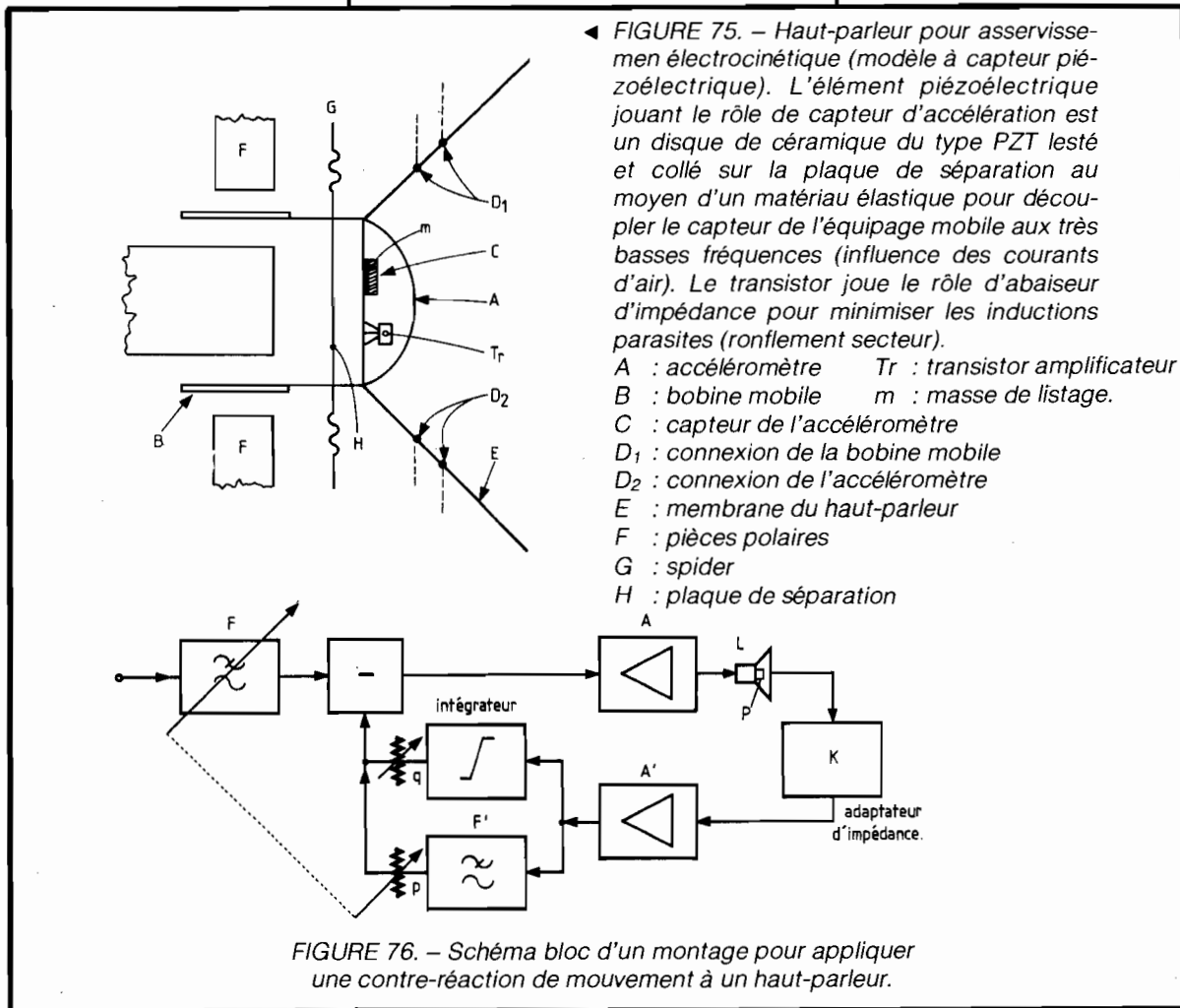
$$m\gamma + rv + sx = F - k\gamma$$

soit :

$$(m + k) \gamma + rv + sx = F$$

Apparemment la masse du système mobile a augmenté. La simple adjonction de l'accéléromètre entraîne elle-même une masse supplémentaire qui diminue le rendement ; d'où l'intérêt de choisir un accéléromètre de faible masse (typiquement moins de 1 g).

Klaassen et Moning ont mis au point un système de capteur piézoélectrique à céramique jouant le rôle de capteur d'accélérateur [24]. Ce dernier est constitué d'un disque céramique mince (0,5 mm environ –  $\varnothing = 5$  mm) lesté sur



la face opposée au support servant de cache noyau (voir fig. 75). Afin d'éviter une sensibilité à des forces non axiales, ce capteur est fixé au moyen d'une colle élastique, le tout étant emprisonné dans un boîtier qui élimine l'influence des variations de pression atmosphérique (courants d'air).

L'amortissement des mouvements contrôlés par l'inertie de la masse de lestage n'est finalement pas très critique du fait même qu'on travaille très en dessous de la fréquence de résonance propre de l'accélérateur. L'adaptation à l'électronique d'asservissement (amplificateur-correcteur) se fait au moyen d'un transistor à effet de champ choisi pour sa haute impédance d'entrée. Il convient en effet de ne pas dégrader la sensibilité en basse fréquence, compte tenu du fait qu'un tel capteur est assimilable à une force électromotrice pure, en série avec une capacité de quelques

centaines de picofarads. En disposant cette électronique à proximité immédiate de la céramique, on évite les capacités parasites de câble et les effets de triboélectricité dus à des contraintes mécaniques exercées sur le câble lui-même.

Comme il a été mentionné au début, ce type de contre-réaction augmente la surtension de la résonance principale, c'est pourquoi un tel asservissement d'accélération gagne à être doublé d'un asservissement en vitesse obtenu simplement en faisant suivre le capteur piézo-électrique d'un intégrateur. On obtient dès lors le schéma de la figure 76 où les atténuateurs p et q, ainsi que le filtre passe-bas F, jouent le rôle de correcteurs de stabilité au sens du critère de Nyquist. Cette solution a été perfectionnée récemment par Cabasse, qui l'a appliquée à des haut-parleurs de grand diamètre dont le comportement

en régime transitoire a été considérablement amélioré (voir chapitre des enceintes acoustiques asservies).

(A suivre)  
**P. LOYEZ**

## Bibliographie

– CHAPITRE V :

(20) E.A. Neppiras : « New materials for the detection and excitation of vibrations ». *Journal of Physics E : Scientific Instruments*. 1973. Vol. 6.

– CHAPITRE VI

(21) R. Lafaurie : « Haut-parleurs et rétroaction cinétique : Précisions historiques et évolution ». *Revue du Son* n° 254 (juin 1974).

(22) H.D. Harwood : « Motional feedback in Loudspeakers ». *Wireless World* (mars 1974).