

# LES HAUT- PARLEURS

par J.S. LIENARD

avec la participation  
de Mr J. LEON

Février 67 - n°26

# G A M

BULLETIN DU GROUPE D'ACOUSTIQUE MUSICALE  
Faculté des Sciences - 8 rue Cuvier - PARIS 5<sup>e</sup>

G.A.M.  
Groupe d'Acoustique Musicale  
Faculté des Sciences  
8, Rue Cuvier PARIS 5°

PARIS, le 5 Mai 1967

Adresse Postale  
9, Quai St-Bernard PARIS 5°

BULLETIN N° 26

Réunion du 23 Février 1967

Etaient présents :

M. le Professeur SIESTRUNCK, Président

M. L. GAUTHIER, Vice Doyen de la Faculté des Sciences de Paris  
M. CANAC Directeur honoraire du Centre de Recherche Physique de  
Marseille, nous avaient honorés de leur présence.

M. LEIPP Secrétaire général; Melle CASTELLENGO Secrétaire

Puis par ordre d'arrivée :

Mme CANAC; M. RUDRAUF (Prof. de musique); M. G. LEBOIS (violoniste);  
M. CLEAVER (Tambourinaire); M. GILOTAUX (Directeur Technique PATHE  
MARCONI); M. RISSET (Agrégé de Physique); M. CLIDI (Electronique Medi-  
cale); Mme et M. J.J. DUPARCQ (Directeur REVUE MUSICALE); M. DOR-  
GEUILLE (Docteur en médecine); M. GAUTHIER; M. POUBLAN (Médecin Bio-  
logiste); M. A. LIENARD (Etudiant); Melle M. MAYER (étudiante); Mme  
KADRI (Médecin Othophoniste); Melles Sylvie HUE (Conservatoire de  
Musique); Dr CLAVIE (Docteur en médecine); M. ANDRIEU (Labo. Acousti-  
que INRA); M. BREMOND (INRA); M. BORIS (Architecte); M. BERNARD (Mai-  
tre de Conférence à la Faculté de CAEN); M. PIVA (Etudiant en Méde-  
cine) et Madame PIVA; M. CHENAUD (Président de l'AFARP); M. CONDAMI-  
NES (Labo. Acoustique ORTF); M. URSIN (Air liquide); M. TRAN QUANG  
HAY (Etudiant); M. TRAN VAN KHE (Musicologue); Mme NYEKI (Discothèque  
Nationale); M. MOUTET (ONERA); M. CHAVASSE (Ingénieur en chef CNET);  
M. DUBUC (Ingénieur CNAM); Mme J.S. LIENARD.

Excusés : M. TOURTE; M. CARCHEREUX; Mme Yvette GRIMAUD; M. DUFOURCQ  
M. FAYEULLE; M. JUNCK; Melle Edith WEBER; M. FRANCOIS; M. WALTHER;  
M. ISOIR; Mme STRAUS; M. AGOSTINI; M. LYON; M. MALERNE; M. VALLAN-  
CIEN; M. BATISSIER; M. GRINDEL; Mme FULIN; Mme CHARNASSE; Mme METTAS;  
Mme BOREL MAISONNY; Melle MARSOIN; M. ABITEBOUL; M. COCHEREAU; M.  
CHAILLEY; M. BERTRAND; Mme de BOISSIEU;

## LES HAUT-PARLEURS

par J.C. LIENARD

Depuis une dizaine d'années on peut trouver sur le marché des chaînes de reproduction sonores dont la qualité électrique est excellente, moyennant un prix relativement élevé. Autrement dit le signal électrique sortant de l'amplificateur de puissance pour attaquer le haut-parleur est pratiquement identique au signal délivré par le microphone lors de la prise de son.

Il n'en va pas de même si l'on compare les signaux acoustiques délivrés respectivement par le haut-parleur et par le microphone, qui diffèrent sensiblement, principalement à cause du haut-parleur. Nous chercherons à définir ces différences, puis à les mesurer, enfin à les réduire. Mais nous verrons qu'il est nécessaire de situer le haut-parleur dans un cadre plus vaste que celui de la technique car c'est un instrument de musique dont la qualité est, en fin de compte, sanctionnée par l'oreille.

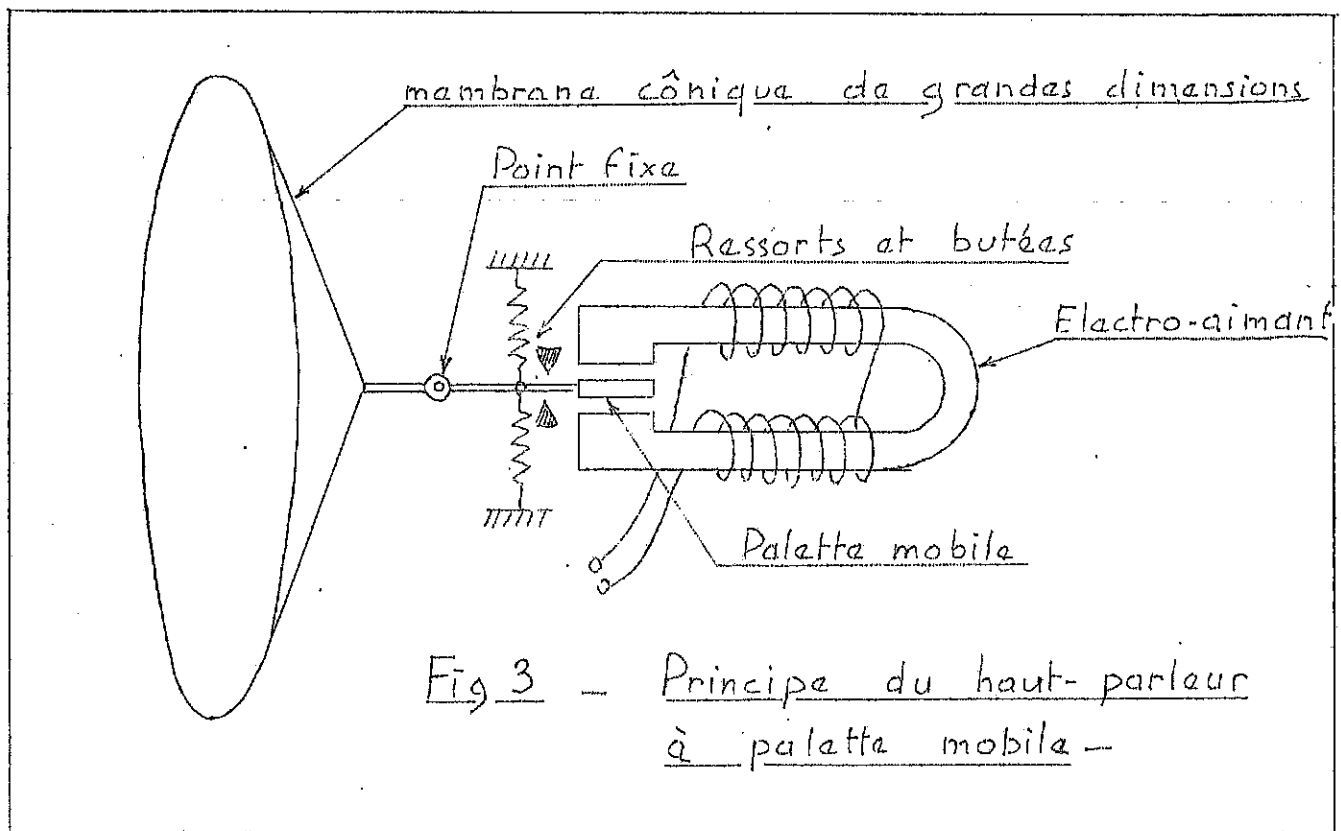
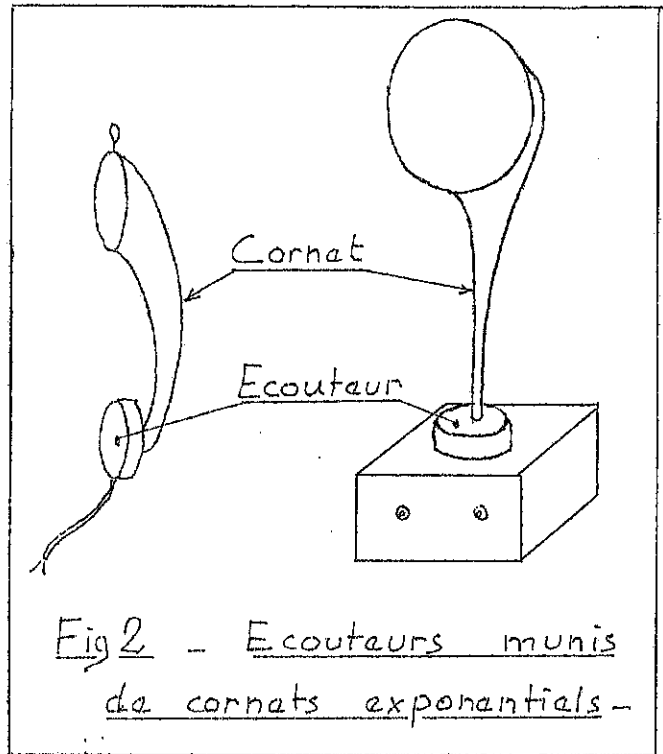
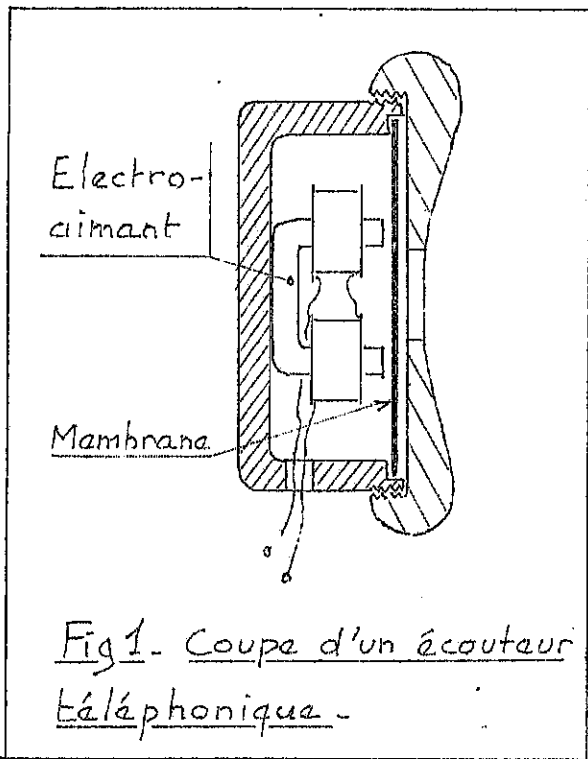
### EVOLUTION HISTORIQUE

L'écouteur téléphonique de la fin du 19<sup>e</sup> siècle ressemble beaucoup à celui que nous utilisons actuellement : un électro-aimant parcouru par un courant variable met en mouvement une fine membrane métallique qui reproduit des ondes acoustiques (fig.1). Mais cet instrument ne permet que l'écoute individuelle. Pour augmenter le niveau fourni on peut utiliser plusieurs dispositifs, dont le plus simple consiste à retourner l'écouteur dans un "saladier" : plusieurs personnes peuvent alors écouter simultanément, en tendant l'oreille... On a aussi songé à associer à l'écouteur une corne exponentielle (fig.2); bien étudiée elle donne à la transformation mécano-acoustique son meilleur rendement; mais il ne s'agit pas encore du haut-parleur.

Le niveau sonore fourni par les écouteurs est infiniment plus faible que celui délivré par les grammophones, surtout parce qu'ils ne permettent pas la reproduction des graves. Vers 1910 apparaît le haut-parleur à palette mobile, dans lequel une membrane conique de grand diamètre est excitée non plus par le mouvement d'une aiguille dans un sillon, mais par le mouvement d'une palette métallique soumise à un champ magnétique variable, dans l'entrefer d'un électro-aimant (fig.3).

Enfin vers 1930 apparaît le haut-parleur électrodynamique, à bobine mobile, sous une forme très proche de celle que nous connaissons actuellement.

...../



I - LE HAUT-PARLEUR ELECTRODYNAMIQUE

I.1. Principe et description (Bib. 1-2-3-4)

Ce type de haut-parleur est actuellement d'un usage quasi universel. Son principe repose sur l'action d'un champ magnétique sur un courant : un conducteur mobile, parcouru par un courant constant et placé dans un champ magnétique, p. ex. entre les pôles d'un aimant, prend une position d'équilibre qui est fonction de ce courant (fig.4) et du champ magnétique. Si le courant est variable et le champ constant, le mouvement du conducteur reflète les variations du courant. Pour fabriquer un haut parleur il suffit d'associer au conducteur une membrane capable de transmettre son mouvement à l'air ambiant et ainsi de créer une onde acoustique.

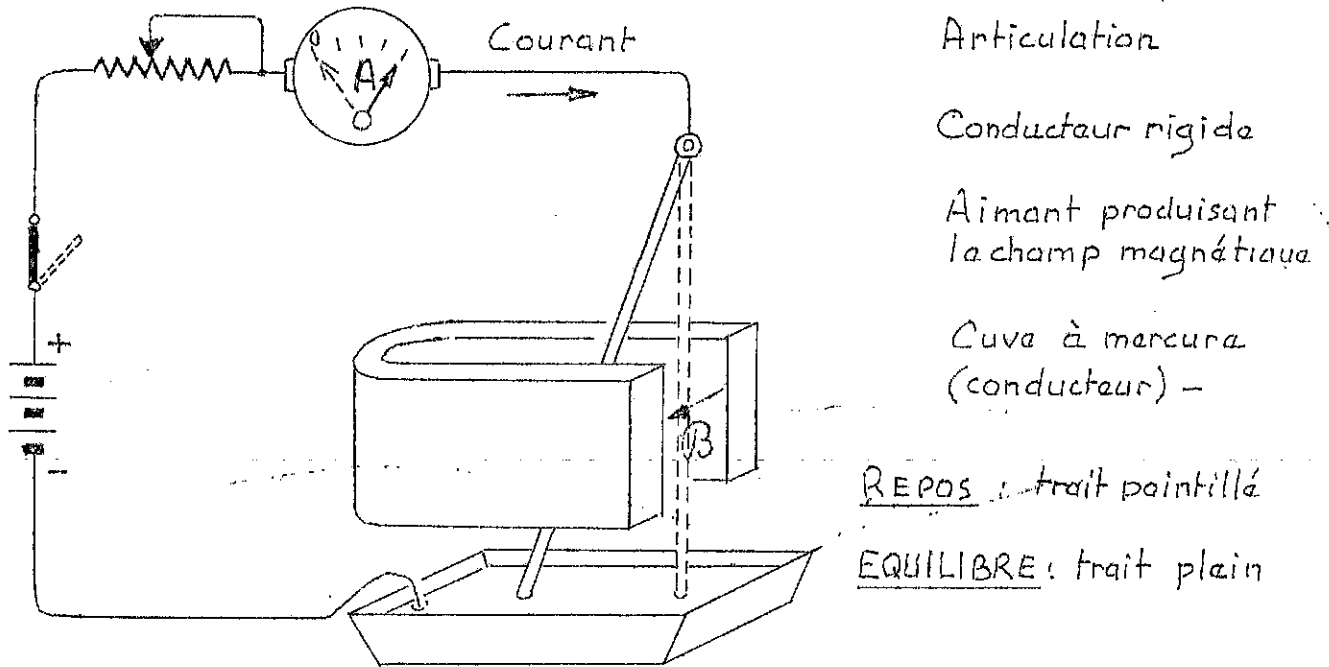


Figure 4

Pratiquement on utilise un aimant circulaire. Le conducteur, enroulé sous forme de bobine, se déplace dans l'entrefer concentrique. La membrane est solidaire de la bobine (fig.5). Cette disposition permet de soumettre au champ magnétique une longueur importante de conducteur et d'accroître le rendement de la transformation électromécanique. Dans le même but on réduit au maximum la largeur de l'entrefer. Par ailleurs la bobine doit circuler librement dans le sens de sa longueur, mais il est nécessaire qu'elle reste rigoureusement centrée pour ne pas frotter sur les pièces polaires. Ce centrage est assuré par la membrane tronç-cônique en carton léger, fixée à sa périphérie sur le darter (ou "saladier"). Le centrage est amélioré par une bague en papier fort (spider) mon-

- 3 bis -

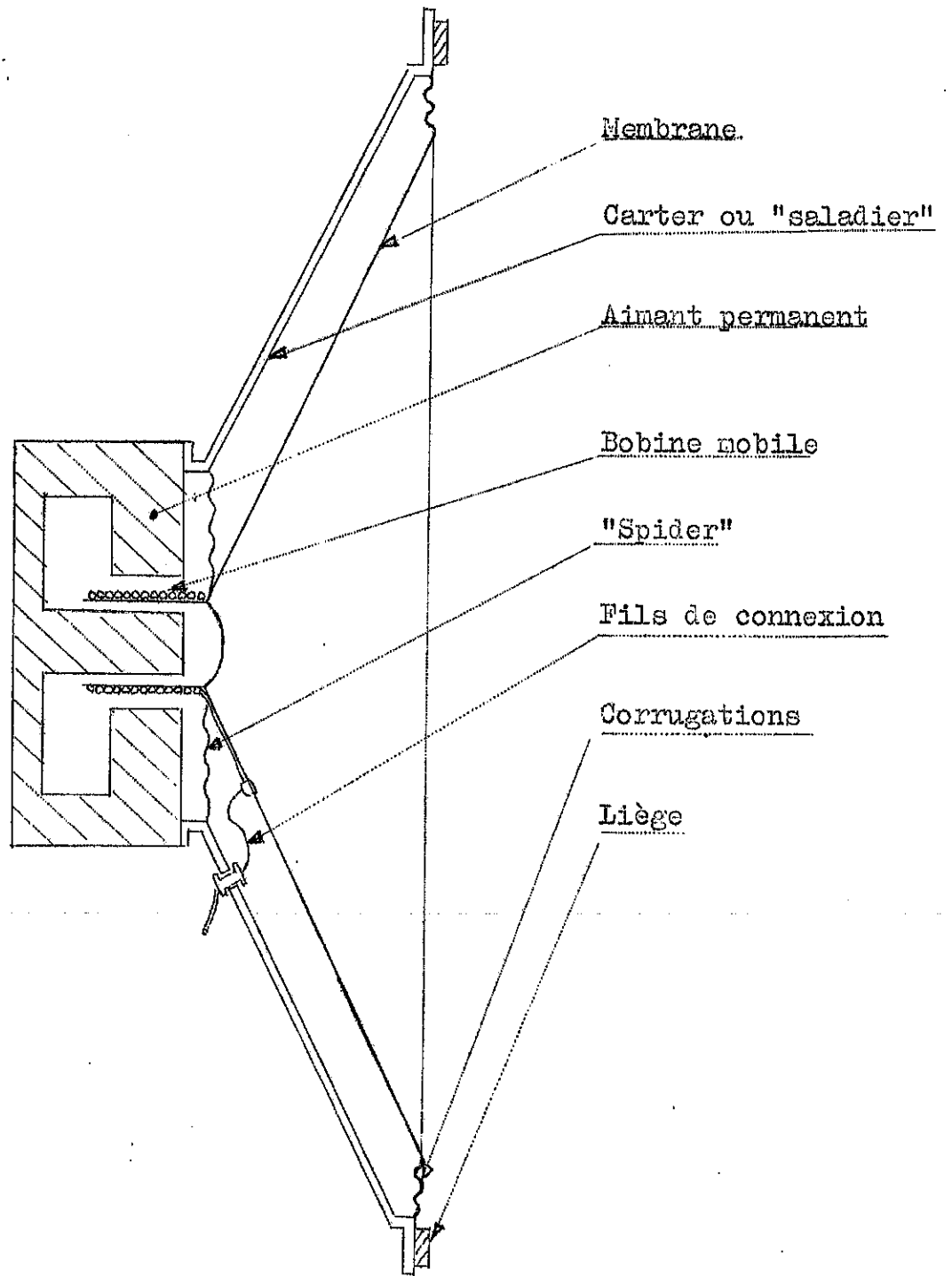
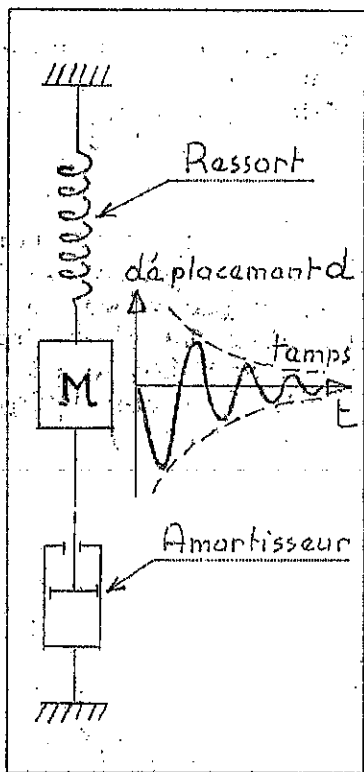


Fig 5 - Coupe d'un haut-parleur électrodynamique -

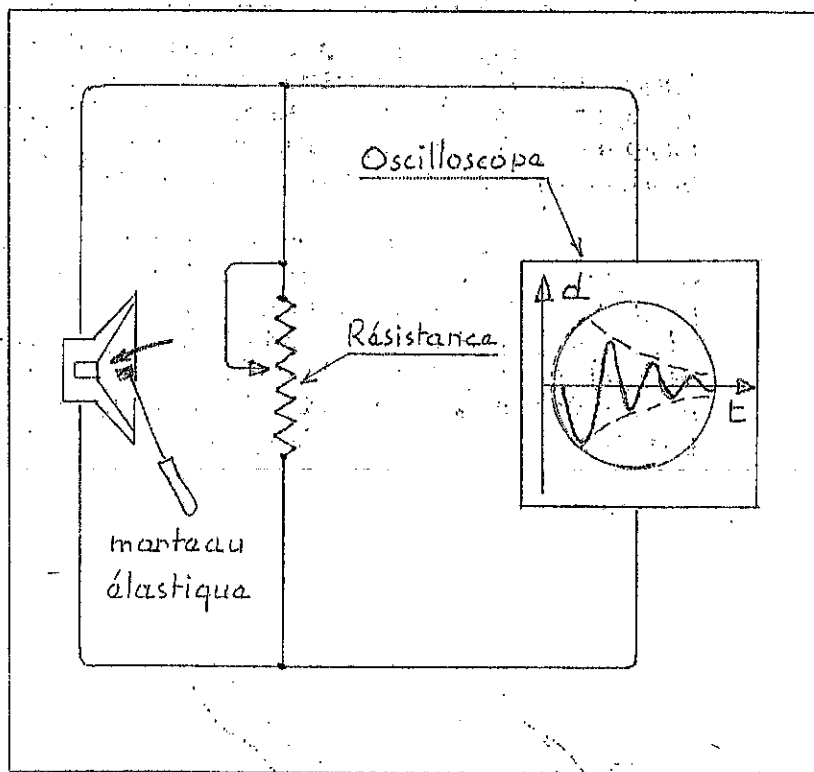
tée directement sur la bobine et découpée par des traits concentriques, de façon à ne permettre qu'un mouvement axial.

### I.2. Fonctionnement

Dans les très basses fréquences (50 à 500 Hz) on peut admettre que le haut-parleur se comporte comme tous les systèmes oscillants mécaniques : l'équipage mobile (bobine mobile et membrane) possède une masse qui n'est pas négligeable; il est soumis à une force de rappel (élasticité de la suspension) et à un facteur d'amortissement provenant de l'écoulement de l'air autour de la membrane, de son laminage dans l'entrefer, de déformations non élastiques dans la membrane, et de l'amortissement électrique. Autrement dit on peut comparer le haut-parleur à une masse suspendue à un ressort et reliée à un amortisseur (fig.6).



- Fig 6 -



- Fig 7 -

Lorsqu'on imprime manuellement à la masse M un mouvement alternatif régulier (mouvement sinusoïdal), ce mouvement prend une amplitude maximum pour une certaine fréquence appelée fréquence de résonance. Si au lieu d'un mouvement entretenu on applique au système une simple impulsion verticale, celui-ci, livré à lui-même, se met en oscillation à une fréquence proche de la fréquence de résonance, pendant un temps d'autant plus court que le système est plus amorti.

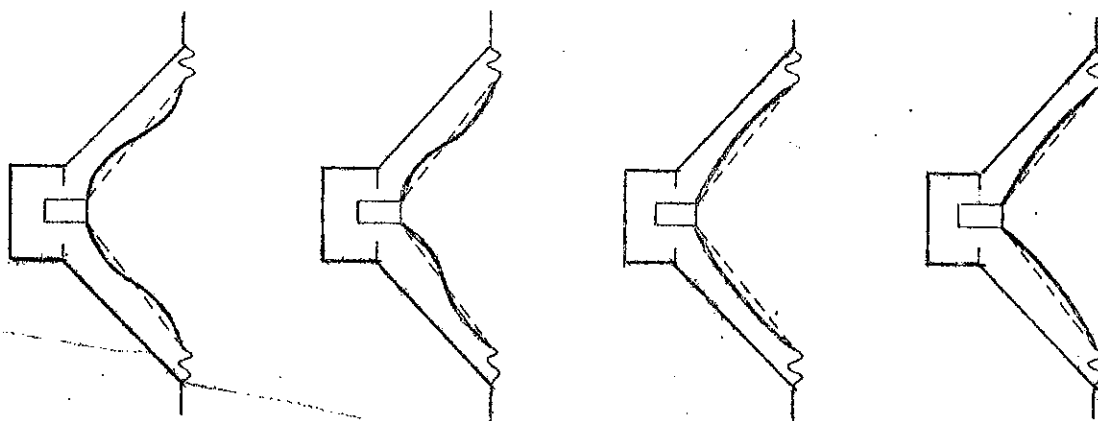
L'amortissement électrique peut être mis en évidence de la manière suivante : les bornes du haut-parleur sont reliées à une résistance variable et à un oscilloscope, et l'on applique des impulsions sur la membrane au moyen d'un petit marteau à manche élastique (fig.7). Les oscillations de l'équipage mobile ont une amplitude d'autant plus grande et durent d'autant plus longtemps que la résistance a une valeur élevée.

Un haut-parleur est caractérisé par son impédance ou rapport entre la tension et le courant à ses bornes; elle s'exprime en ohms comme une résistance électrique et varie suivant la fréquence. L'impédance d'un haut-parleur est donnée généralement à 400 Hz et a pour valeur de 2 à 50 ohms; Il importe que la sortie de l'amplificateur présente la même impédance, non seulement pour assurer le meilleur rendement de la transformation d'énergie, mais aussi pour augmenter le plus possible l'amortissement électrique du haut-parleur.

### I.3. Caractéristiques pratiques

Nous avons jusqu'ici supposé que la membrane se comportait comme un piston parfaitement rigide émettant des ondes planes, que le carter était lui aussi parfaitement rigide, que toutes les pièces composant le haut-parleur étaient parfaitement amorties et ne présentaient aucune résonance propre.

Mais la membrane n'est pas rigide. On cherche surtout à la rendre légère, de façon à lui faire suivre le mouvement de la bobine même aux fréquences hautes; sa forme tronc-cônique résulte justement d'un compromis entre rigidité (c'est-à-dire cône le plus fermé possible) et surface diffusante la plus grande possible, ceci pour une masse donnée. En fait la membrane vibre à différentes fréquences suivant des modes axiaux et radiaux compliqués (fig.8)



Quelques modes de vibration de la membrane, observables à l'aide d'un stroboscope -



Le carter doit être lourd et rigide, puisqu'il constitue l'ossature du haut-parleur; c'est pourquoi on le fait en métal. Mais toute pièce de métal rend un son lorsqu'on l'excite, par exemple avec un petit marteau. Les sons métalliques se situent dans les fréquences aiguës et sont d'autant plus gênants qu'ils se trouvent dans la zone sensible de l'oreille (entre 500 et 5000 Hz environ avec un maximum autour de 2000 Hz). L'expérience montre que le carter en tôle donne au haut-parleur des "formants" plus aigus (sonorité dure) que le carter moulé.

Les autres pièces du haut-parleur ont aussi leur importance. La suspension, que l'on cherche à rendre aussi souple que possible pour abaisser la fréquence de résonance, ne doit pas l'être trop, car l'équipage mobile risque alors de prendre des amplitudes trop grandes en basse fréquence et de ne plus suivre exactement le mouvement imposé par le courant variable. L'amortissement joue également un rôle important comme nous le verrons plus tard, ainsi que la forme du carter par rapport à la membrane, la disposition de la bobine mobile dans l'entrefer et le volume d'air enfermé dans l'aimant.

Le champ magnétique doit être le plus homogène possible sur toute la longueur de l'entrefer; la force appliquée sur la bobine en est une fonction directe ( $F = B.i.l$ ). Mais lors des grands déplacements en basse fréquence, la bobine risque de sortir de l'entrefer, ce qui introduit une distorsion importante. On adopte pour cette raison une bobine beaucoup plus courte ou beaucoup plus longue que l'entrefer (fig. 9) de façon qu'une même longueur de bobine soit toujours soumise au même champ magnétique.

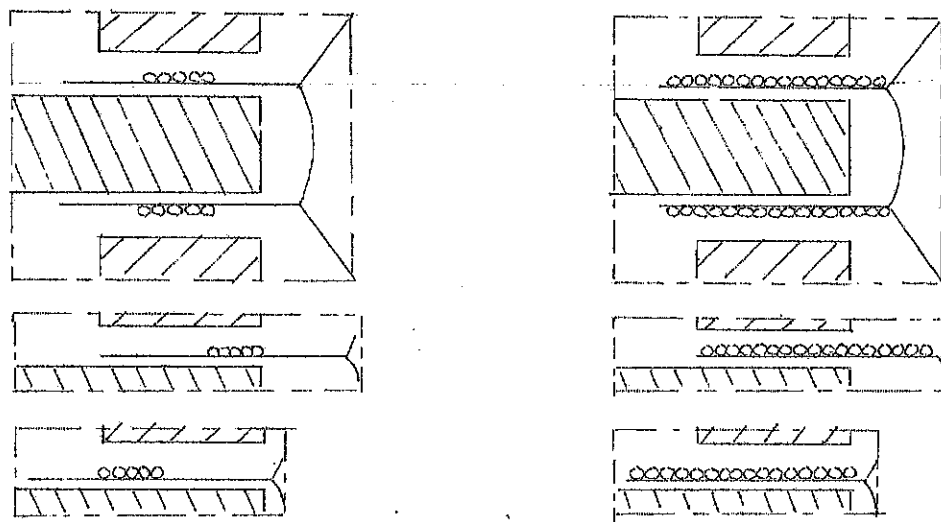


Figure 9

Les considérations précédentes ont pour seul objet de montrer que dès l'origine, un haut-parleur résulte d'un compromis entre de nombreuses données contradictoires: il est donc impossible de définir son fonctionnement par un simple système de deux équations. Tous les composants qui entrent en vibration et résonnent à des fréquences différentes "colorent" le son émis.

Le premier objectif à atteindre est de favoriser également toutes les fréquences audibles, soit environ dix octaves. On comprend la difficulté du problème si l'on songe à la complication et au volume d'un grand orgue, qui est le seul instrument à posséder véritablement cette étendue.... De plus, nous allons rencontrer d'autres problèmes : chute de niveau aux fréquences basses, difficulté de reproduire les phénomènes transitoires, directivité etc...

#### I.4. Courbe de réponse

Pour chiffrer la qualité d'un haut-parleur on l'excite à l'aide de sons sinusoïdaux de fréquence continuellement variable. On relève alors à l'enregistreur logarithmique les variations de niveau en décibels. C'est la " courbe de réponse ", qui sert de base à l'appréciation technique et commerciale du haut-parleur (bibl. 5).

Voici par exemple une courbe de réponse théorique donnée par un système oscillant entretenu (fig.10) et la courbe expérimentale relevée sur un haut-parleur (fig.11).

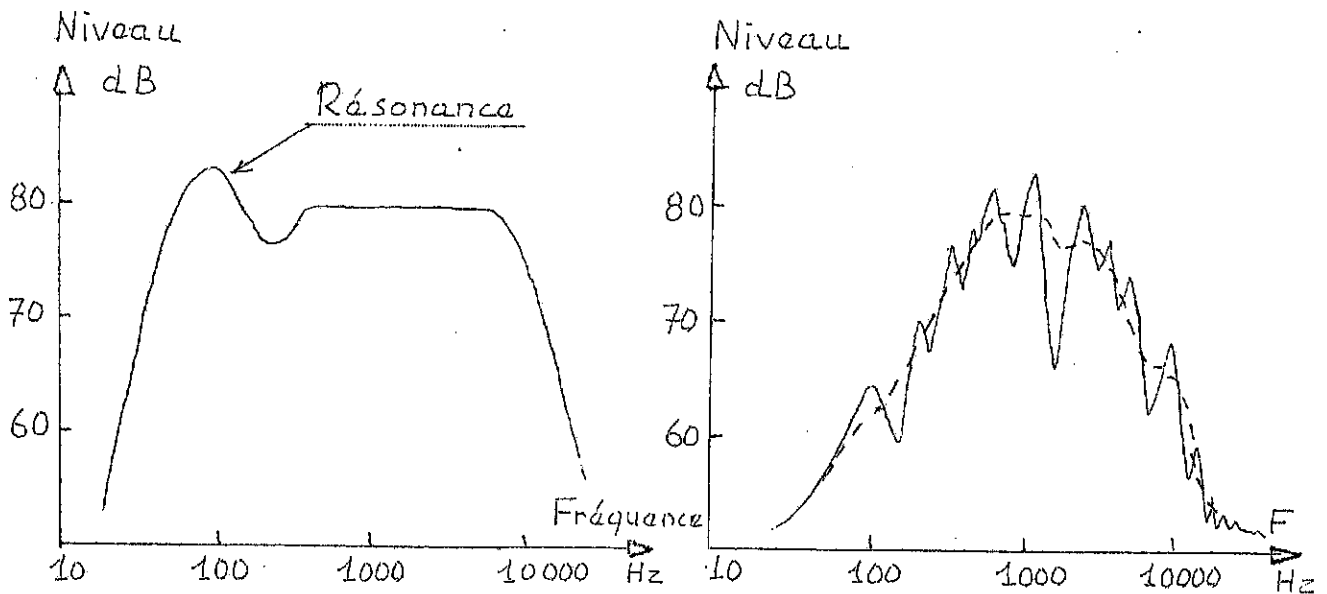


Fig. 10 et 11

Les deux courbes n'ont pas grand'chose de commun; il est même légitime de se demander dans ces conditions si la théorie est d'une quelconque utilité ! De plus la courbe expérimentale ainsi relevée est assez arbitraire. En effet elle est relevée en chambre sourde (ou donnée pour telle), à puissance moyenne (alors qu'un haut-parleur doit fonctionner à divers niveaux sonores), et dans l'axe (alors que tout change dès qu'on s'en écarte). Il faut encore préc...

..../

ser que, suivant l'amortissement de l'appareil enregistreur, la courbe est plus ou moins perturbée ; avec un fort amortissement on obtiendrait la courbe en pointillé, totalement différente.

Il semble bien inutile de chercher à faire coïncider la courbe expérimentale avec la courbe théorique. Etant donné la complexité du problème où les paramètres sont nombreux et réagissent les uns sur les autres, la construction d'un bon haut-parleur reste un art relevant de la " lutherie rationnelle " où l'on procède par corrections graduelles, en s'appuyant sur des méthodes objectives de mesure.

### I.5. La chute de niveau aux fréquences basses

Nous admettons qu'en basse fréquence la membrane se comporte comme un piston rigide : pendant une demi-période il comprime l'air qui est en avant et pendant la demi-période suivante il comprime l'air qui est en arrière (fig. 12)

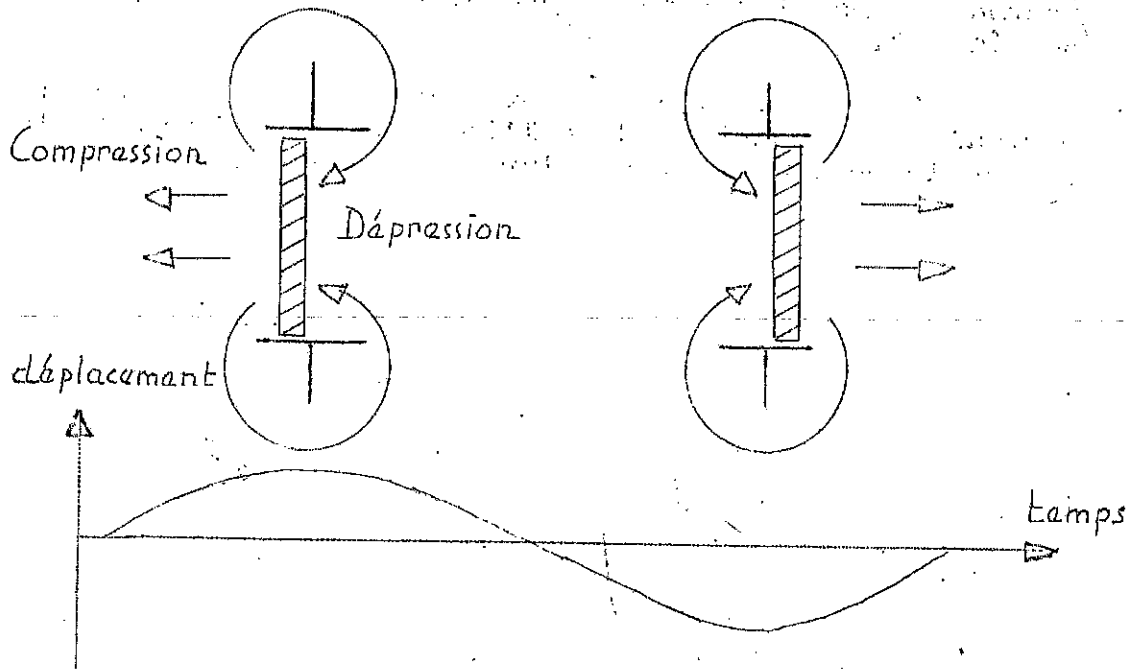


Figure 12

La compression avant se propage dans toutes les directions, à la vitesse de 340 m/s; elle " contourne " le haut-parleur et passe vers l'arrière d'autant plus facilement qu'il existe une dépression pour ce point. Ainsi lorsque le trajet T emprunté par la compression pour aller de l'avant vers l'arrière est d'une dizaine de centimètres, la durée de ce déplacement est de quelques millisecondes. Le phénomène se produit en sens inverse lors du retour du piston. Pour les basses fréquences, une bonne partie de la compres-

sion avant est pratiquement perdue puisqu'elle sert uniquement à compenser la dépression arrière, réalisant un véritable " court-circuit acoustique ". Il est évident qu'en augmentant la fréquence (en diminuant la longueur d'onde) le phénomène disparaît à un moment donné.

Prenons par exemple un haut-parleur de 20 cm de diamètre. Le trajet moyen emprunté par la compression dans son circuit extérieur est d'environ 30 cms et dure  $0,30/340$  seconde, soit environ une milliseconde. Tant que cette durée est très courte devant la période du piston, 10 fois plus petite par exemple (ce qui se produit vers 100 Hz), l'énergie rayonnée par le haut-parleur est très faible. Si la fréquence augmente, le court-circuit devient de moins en moins franc, pour devenir insensible entre 500 et 1000 Hz. Pour une fréquence donnée, lorsque le trajet dure exactement autant que la période, les compressions avant et arrière sont exactement en opposition (fig.13) et le niveau émis baisse considérablement. Le phénomène se produit ici vers 1000 Hz. Au delà de cette fréquence les effets du court-circuit acoustique prennent moins d'importance, pour les deux raisons suivantes :

1°) Les fréquences aiguës se propagent par ondes planes et non plus dans toutes les directions. La proportion d'énergie retournant vers l'arrière et produisant le court-circuit diminue par conséquent.

2°) La membrane ne vibre plus comme un piston : la partie centrale se spécialise dans l'émission des aigus, et le trajet à parcourir pour aller vers l'arrière augmente.

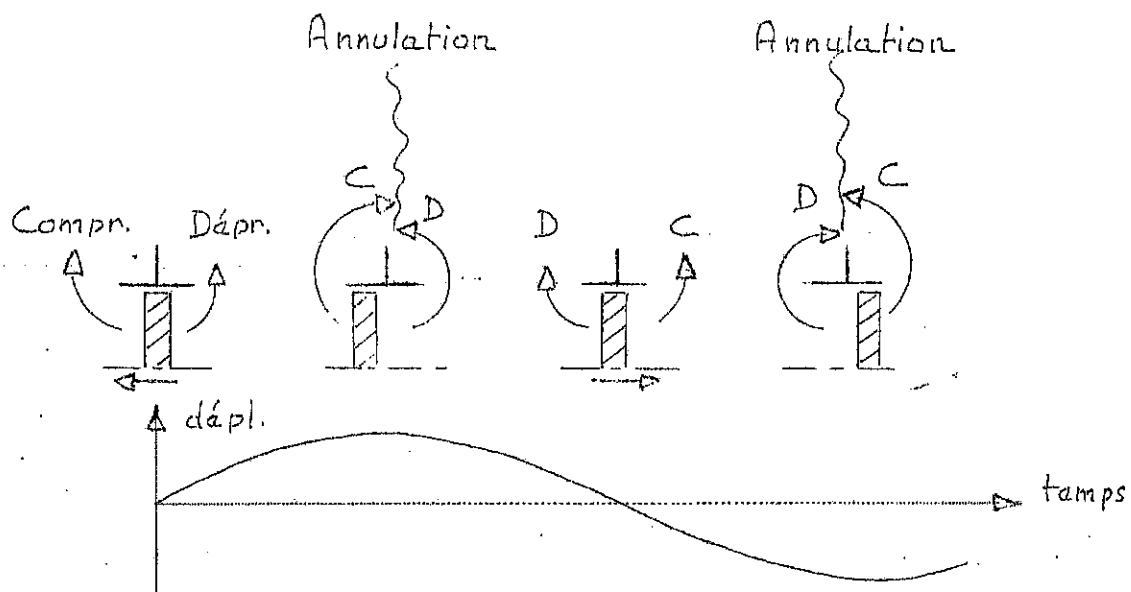


Figure 13

Résumons :

- a) Aux très basses fréquences on observe une tendance à l'équilibrage des pressions de part et d'autre de la membrane.
- b) Autour de 1000 Hz, on note une opposition de phase entre l'onde avant et l'onde arrière, produisant une " faille " à cette fréquence dans la courbe de réponse.

II - L'ECRAN ACOUSTIQUE OU " BAFFLE "

II.1. Baffle plan

Le remède aux maux qui viennent d'être exposés est simple : il consiste à allonger le trajet effectué par l'onde acoustique pour aller vers l'arrière. Pour cela on monte le haut-parleur sur un écran de grandes dimensions. Si, dans l'exemple précédent, le trajet à parcourir passe de 30 cm à 1,50 mètre, les fréquences défavorisées deviennent cinq fois plus basses (donc de 20 à 100 Hz) et sortent ainsi du domaine intéressant l'audition de la musique. Par contre la " faille " à 1000 Hz descend à 200 Hz et peut être ressentie comme un manque de " basses ". Ce " trou " dans la courbe de réponse disparaît lorsqu'on excentre le haut-parleur (fig.14). Une partie de la compression avant doit alors effectuer un trajet de 50 cm, une autre un trajet de 2 m. etc...; son action sur la dépression arrière se trouve échelonnée et devient négligeable.

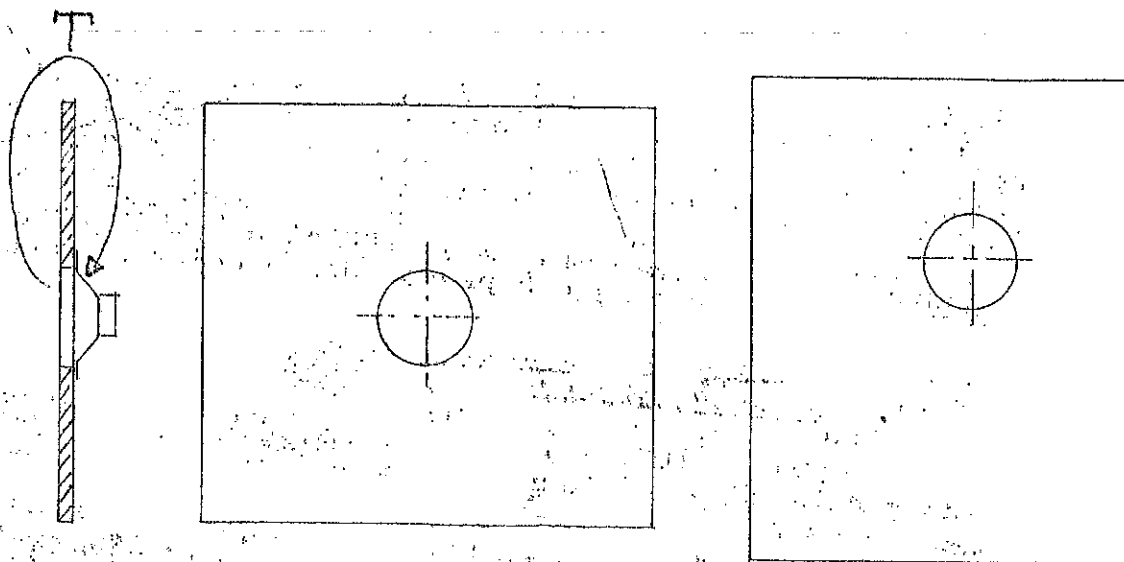


Figure 14

Le baffle plan permet de favoriser les basses du haut-parleur; il est malheureusement très encombrant puisque son efficacité est liée à ses dimensions. On obtient de bons résultats en utilisant un mur ou une cloison, mais on court le risque de détériorer le haut-parleur en fermant brusquement la porte d'un des deux locaux... Une solution moins encombrante est le baffle replié.

## II.2. Le baffle replié

Puisque le problème est d'allonger le trajet extérieur de l'onde sonore, il suffit de replier le baffle sur lui-même (fig.15). L'encombrement en surface diminue, mais c'est au profit de l'encombrement en profondeur.

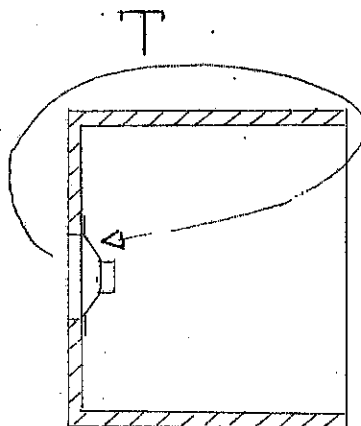


Figure 15

Mais, en faisant cette opération, on soulève une nouvelle difficulté : le volume d'air ainsi délimité est soumis dans chacune de ses dimensions à un ou plusieurs modes vibratoires qui s'ajoutent aux résonances du haut-parleur, aux vibrations des panneaux, et qui constituent un ensemble très difficile à maîtriser. Nous retrouverons souvent cette remarque à propos des enceintes acoustiques.

## II.3. La corne exponentielle arrière

Pour améliorer le baffle replié on a été amené à pratiquer un garnissage intérieur avec un matériau absorbant, en forme de corne exponentielle (fig. 16)

Ce système assure aux basses fréquences un couplage de l'onde arrière avec le milieu ambiant tel que l'énergie de celle-ci soit complètement absorbée; les fréquences élevées sont absorbées par le matériau.

..../

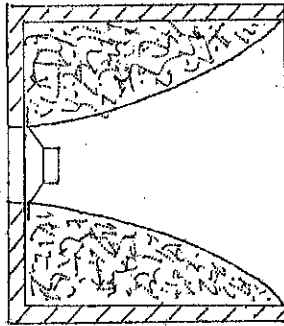


Figure 16

### III - LES ENCEINTES ACOUSTIQUES

#### III.1 L'enceinte " basse réflexe "

L'écran replié était un début d'enceinte acoustique. Pourquoi ne pas aller jusqu'au bout, et monter le haut-parleur dans une caisse dont on contrôle la fréquence de résonance à l'aide d'une ouverture ? C'est l'enceinte ouverte ou basse réflexe (fig. 17) qui permet de renforcer une bande de fréquence basse déficiente du haut-parleur et joue le rôle d'écran entre l'avant et l'arrière. Il faut évidemment que l'enceinte soit bien adaptée au haut-parleur.

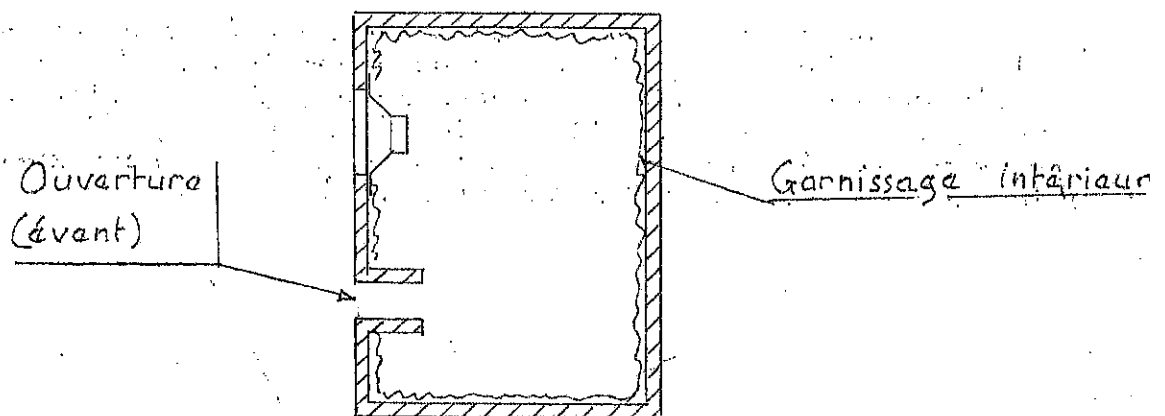


Figure 17

#### III.2 Le labyrinthe acoustique

Le but poursuivi ici est de ramener l'onde arrière vers l'avant après lui avoir fait parcourir un trajet suffisamment long pour la remettre en phase avec l'onde avant, ceci pour une fréquen-

ce basse choisie ou calculée d'après la fréquence de résonance du haut-parleur (fig.18).

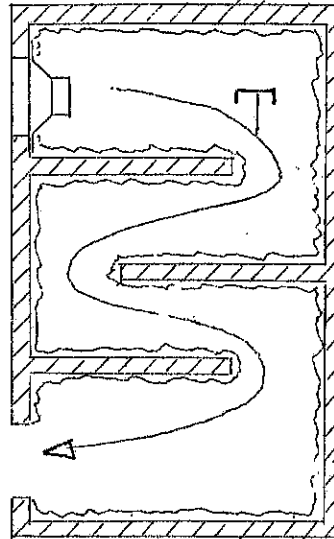


Figure 18

Cette idée est bien théorique ! En fait l'onde arrière est complètement absorbée avant de sortir de l'enceinte. De plus on introduit un grand nombre de phénomènes incontrôlés : couplage de plusieurs cavités, multiplication des panneaux et des sources de vibration etc....

### III.3 L'enceinte fermée

Avec ce type d'enceinte on cherche à étouffer complètement l'onde arrière. L'enceinte est donc complètement close et garnie intérieurement d'absorbant acoustique (fibre textile ou laine de verre). On cherche à utiliser la résonance de la cavité pour compenser les défauts du haut-parleur dans les basses fréquences, mais la mise au point est délicate (fig.19).

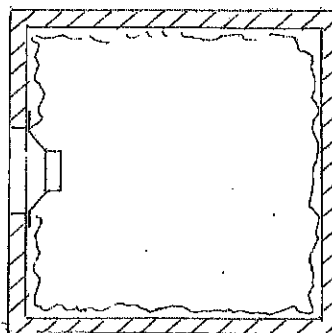


Figure 19

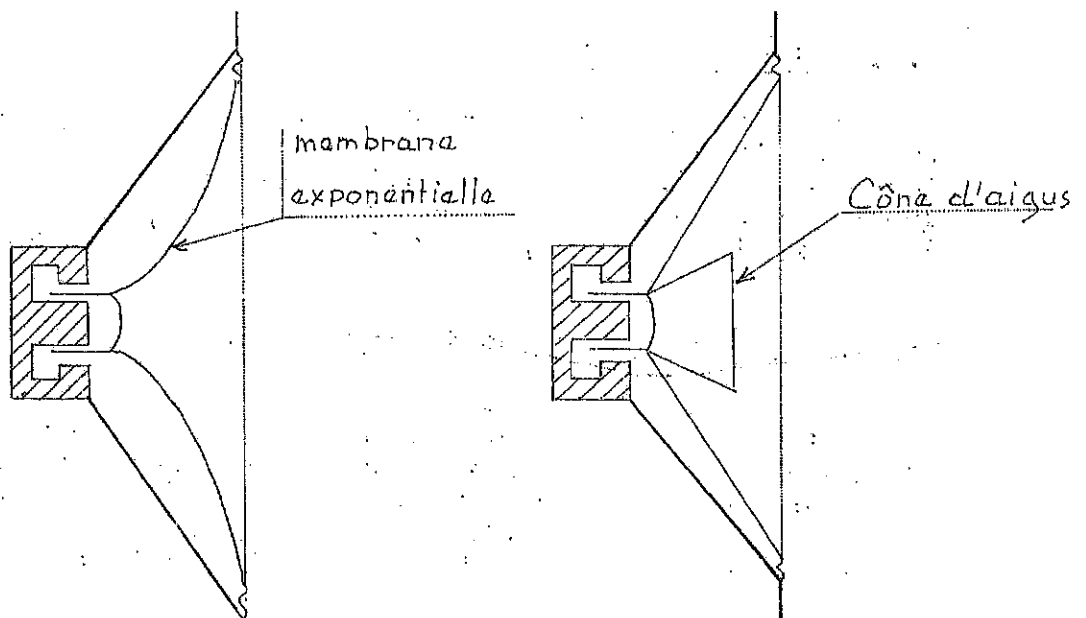


#### IV - LA REPRODUCTION DES FREQUENCES AIGUES

L'hypothèse que nous avons faite jusqu'ici, suivant laquelle la membrane du haut-parleur est rigide et se comporte comme un piston, n'est valable qu'aux fréquences basses. En réalité la membrane est le siège de vibrations diverses : des ondes se propagent du centre vers la périphérie à une vitesse différente de celles qui empruntent la voie aérienne. La membrane vibre non seulement suivant des modes axiaux ou radiaux mais aussi de façon compliquée suivant des modes dissymétriques ; la membrane en mouvement ressemble plus à une mer houleuse qu'à la surface rigide du piston théorique. Ceci explique en grande partie l'allure très accidentée de la courbe de réponse au dessus de 1000 Hz.

Pour améliorer la reproduction des fréquences élevées il faut donc augmenter la rigidité de la membrane. La solution consiste à réduire sa masse ou ses dimensions ; mais cette disposition est contraire à une bonne reproduction des graves, qui exige un grand diffuseur et de grands déplacements. Plusieurs solutions ont été préconisées :

- 1°) - L'enceinte comporte plusieurs haut-parleurs spécialisés dans la reproduction d'une bande de fréquence : grave ("boomer"), aiguë ("tweeter") et " médium ". L'ensemble doit comporter des filtres électriques qui délimitent la bande de fréquence à reproduire par chaque haut-parleur.
- 2°) - L'enceinte ne comporte qu'un haut-parleur, mais celui-ci est étudié de façon à reproduire les aigus, soit en donnant à la membrane un profil de plus grande résistance (exponentiel fig. 20), soit en disposant directement sur la bobine mobile un deuxième cône plus rigide, spécialisé dans la diffusion des aigus (fig.21). On utilise encore d'autres artifices, par exemple l'usage d'autres types de haut-parleurs.



Figures 20 et 21

## V - AUTRES TYPES DE HAUT-PARLEURS

Ils ont des caractéristiques très différentes de celles que nous avons vues jusqu'ici.

### V.1 Le haut-parleur électrostatique

Deux corps chargés d'électricité exercent entre eux une force d'attraction ou de répulsion d'autant plus forte que :

- la distance qui les sépare est faible
- la différence de potentiel est élevée
- les surfaces en regard ont de grandes dimensions

Les haut-parleurs basés sur ce principe se présentent sous la forme de deux plaques métalliques parallèles de grandes dimensions (50 cm à 1 mètre) dont l'une est fixée au bâti. La modulation électrique est appliquée à ces armatures sous forme d'une différence de potentiel. La plaque mobile entre en mouvement et diffuse le son.

Ce système est séduisant par sa simplicité, mais celle-ci n'est qu'apparente. Sans entrer dans le détail on peut remarquer que, d'une part, les amplitudes de la plaque mobile sont limitées par la nécessité de maintenir un champ électrique élevé, même dans les dispositifs les plus récents ("push-pull"), et que la reproduction des fréquences basses est ainsi défectueuse. D'autre part, la plaque mobile, nécessairement métallique, possède un ensemble de résonances propres qui se traduisent souvent par un "ferrailage" du haut-parleur, dès que la modulation appliquée est trop forte. Néanmoins un haut-parleur électrostatique associé à un haut-parleur électrodynamique de grandes dimensions peut donner de bons résultats.

### V.2. L'"ionophone"

Ce type de haut-parleur exploite les propriétés d'ionisation de l'air par un courant électrique. Il nécessite un appareillage compliqué, mais ne fonctionne correctement que pour les fréquences élevées, supérieures à 4000 Hz. C'est en fait un excellent émetteur d'ultra-sons, puisqu'il fonctionne jusqu'à 50.000 Hz.

### V.3. Chambre de compression et pavillon exponentiel

Il ne s'agit pas ici d'un principe électrique différent, mais d'un dispositif acoustique permettant de mieux utiliser l'énergie sonore délivrée par un système électroacoustique. Chacun sait qu'un cornet acoustique permet de mieux entendre, et que l'on fait un porte-voix avec un cône ou un pavillon plus ou moins évasé. Certains haut-parleurs utilisent un tel amplificateur sonore (fig.22)

.../

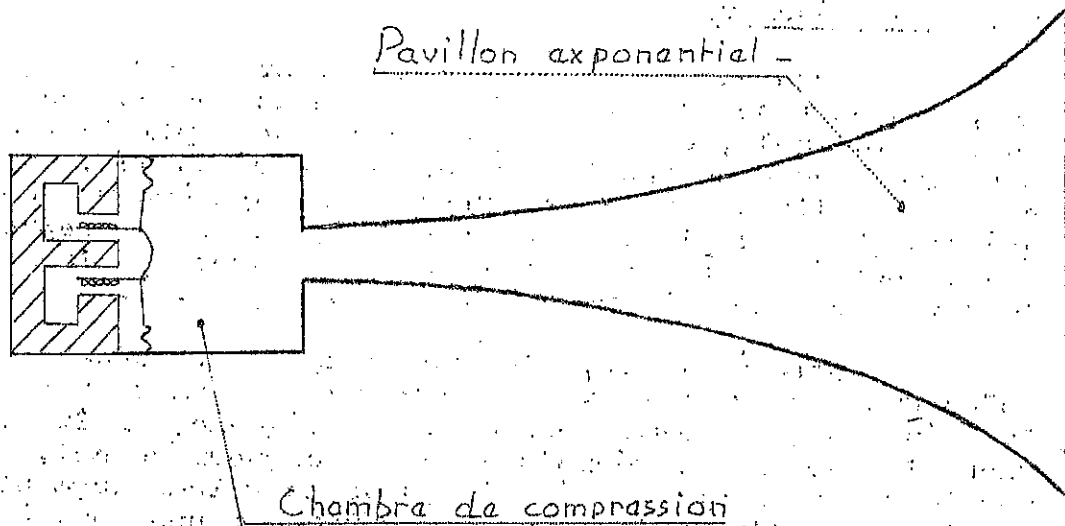


Figure 22

La chambre de compression est une simple cavité qui permet de regrouper toute l'énergie émise par la bobine, et le pavillon adapté au mieux les impédances entre celle-ci et l'air ambiant. Il n'est plus question d'onde arrière ou de vibrations propres de la membrane et, s'il est bien calculé, ce système délivre une puissance deux à trois fois plus élevée qu'un haut-parleur classique de même dimension. Mais il présente deux inconvénients :

- son efficacité est très faible dans les basses fréquences car les sons graves n'obéissent pas aux mêmes lois de propagation que les sons aigus, et n'acceptent pas d'être canalisés.

- Le point d'émission des sons est mal défini, et les impulsions sont mal transmises.

Il n'est pas nécessaire de prolonger l'examen de tous les systèmes possibles. Actuellement le haut-parleur à membrane est le plus simple à mettre en œuvre, le moins cher et le plus riche en possibilités. Il convient d'attirer l'attention sur certaines solutions originales, comme par exemple celles des " conques " ou des " boules " réalisées par Elipson. Fruits d'une longue expérience de M. LEON, ces enceintes ont l'avantage de posséder des moyens de réglage. On peut ainsi contrôler par des mesures précises les caractéristiques en fréquence et en transitoires, et mettre ces mesures en corrélation avec l'avis subjectif d'auditeurs variés. Ces enceintes ovoïdes ou cylindriques bien connues, et adoptées en particulier par l'O.R.T.F., cachent toutes le système de double résonateur que nous allons décrire.

VI - L'ENCEINTE A DOUBLE RESONATEUR

VI.1 Les résonateurs.

Toute cavité munie d'un trou, et éventuellement d'un goulot, est un résonateur. Si l'on émet dans ses environs un son de hauteur variable, on entend nettement une amplification pour une certaine fréquence, appelée fréquence de résonance. On peut ici encore faire l'analogie classique avec le système masse-ressort évoqué plus haut : l'air contenu dans le goulot se comporte comme un piston possédant une certaine masse et comprime l'air contenu dans la cavité qui joue le rôle d'un ressort (Bib.6).

Cette analogie, bien que simpliste, donne des résultats coïncidant assez bien avec la réalité, du moins en ce qui concerne la fréquence. A volume constant, la fréquence croît avec la section d'ouverture et décroît avec la longueur du col. A ouverture constante la fréquence décroît quand le volume augmente. On peut aussi régler l'amortissement en pratiquant une deuxième ouverture et en la recouvrant d'une matière freinant le mouvement de l'air dans son échange avec l'extérieur, par exemple mousse de nylon ou textile quelconque (fig.23).

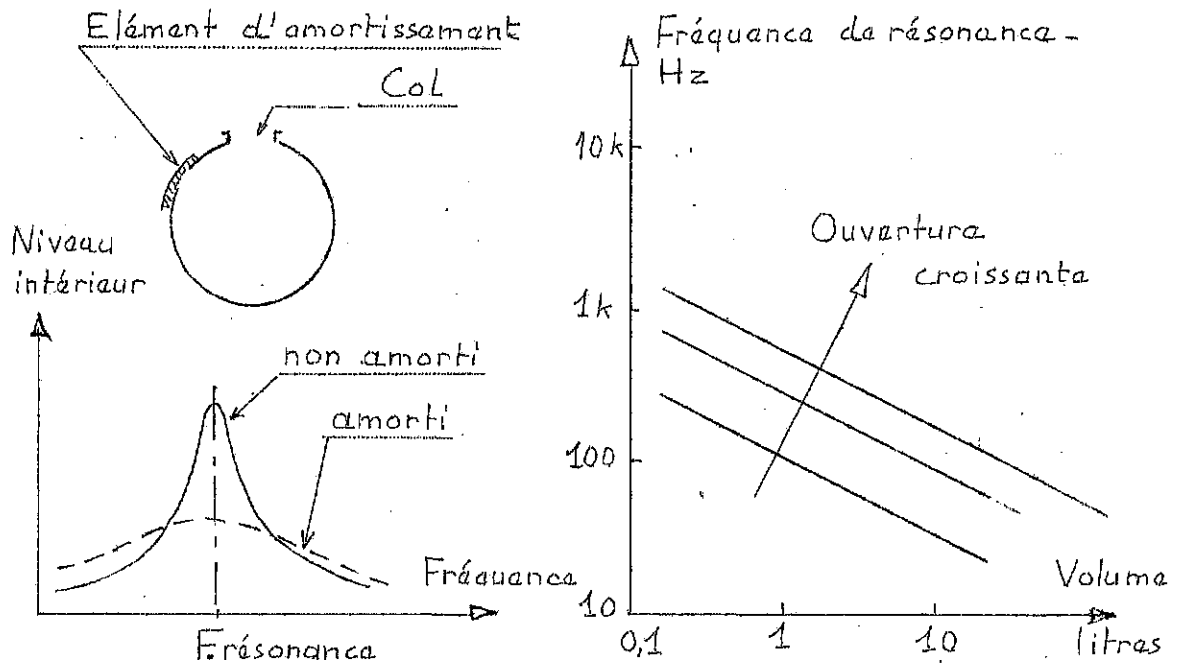


Figure 23

Les résonateurs possèdent également une propriété importante qui est, dans certaines conditions, d'inverser la phase d'une onde acoustique : on vérifie qu'à la résonance le volume intérieur vibre en opposition de phase avec l'onde incidente. Ce phénomène n'est d'ailleurs pas clairement expliqué actuellement, mais des mesures faites au C.N.A.M. par M. LEMONDE le mettent bien en évidence (Bib.7).

..../

Une expérience très simple peut illustrer le fonctionnement des résonateurs. Il suffit de diffuser par un haut-parleur un son sinusoïdal dont on peut faire varier la fréquence. Le résonateur, par exemple une simple bouteille, est disposé à proximité. On repère très bien la fréquence de résonance en approchant simplement le doigt du goulot. Le mouvement d'air dans le goulot est si violent qu'il permet de souffler une bougie. Si le résonateur est rempli de fumée, celle-ci est complètement chassée vers l'extérieur en quelques secondes. En approchant ou en écartant la main du goulot, on modifie le couplage du résonateur avec le champ ambiant et on passe par des positions pour lesquelles le niveau sonore est renforcé ou atténué de manière considérable. Cette constatation est peut-être la clé du problème des vases acoustiques disposés dans certaines églises médiévales.

Les résonateurs sont en fait des instruments aussi simples que mal connus théoriquement. Montrons comment on peut les utiliser pour corriger certains défauts des haut-parleurs.

#### VI.2 Description et fonctionnement de l'enceinte à double résonateur.

C'est une enceinte fermée. La forme extérieure est souvent sphérique, ovoïde ou cylindrique, et les dimensions varient beaucoup suivant les modèles : de 10 cm à 1 m environ, ce qui correspond à des volumes de 1 litre à 1/2 mètre cube. Mais la disposition intérieure est toujours celle indiquée ci-contre (fig.24). L'enceinte est divisée en deux parties inégales : la plus importante possède une fréquence de résonance proche de celle du haut-parleur nu ; la seconde est un résonateur secondaire couplé au premier par un tube et une ouverture résistive (élément d'amortissement).

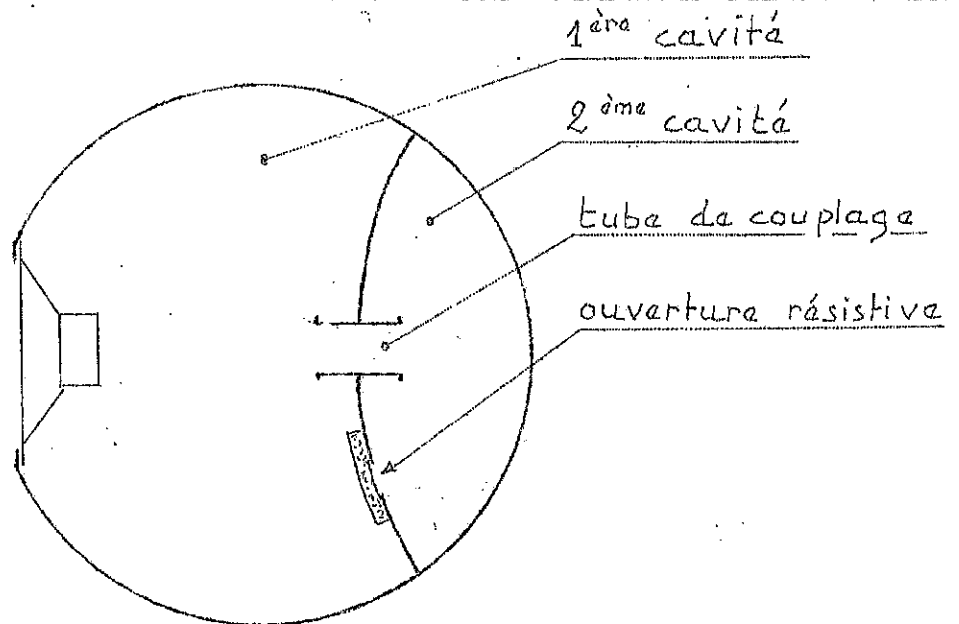


Figure 24

Lorsque l'enceinte est réglée, la résonance du haut-parleur est pratiquement neutralisée par la seconde cavité couplée, qui se trouve en opposition de phase. On pratique donc dans les fréquences basses un amortissement aérodynamique important, dont l'intérêt est double :

- il est réglable
- il s'applique sur l'ensemble de la membrane, et non plus seulement sur la bobine mobile ou sur la suspension.

Le plus remarquable est que cet amortissement continue à jouer jusqu'à des fréquences élevées, de l'ordre de 2000 Hz. L'avantage est particulièrement net en impulsions, comme nous le verrons plus loin.

Ainsi la courbe de réponse est modelée à façon jusque vers 200 Hz, et lissée jusque vers 2000 Hz. Voyons comment on pratique ce réglage.

### VI.3. Réglage d'une enceinte à double résonateur

Le réglage se fait au moyen de deux procédés de mesure complémentaires : le relevé de la courbe de réponse, successivement dans chacune des 2 cavités et à l'extérieur (dans l'axe du haut-parleur), et la mesure de l'impédance du haut-parleur en fonction de la fréquence (fig.25).

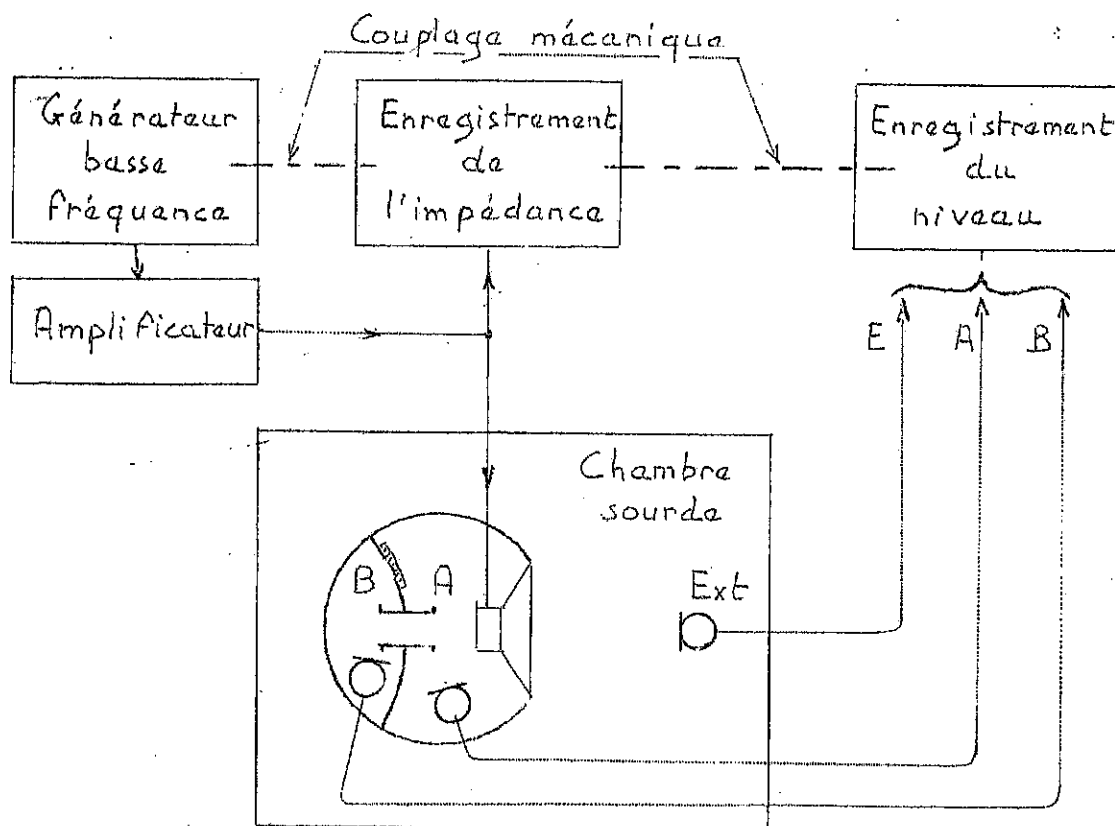


Figure 25

On dispose d'un générateur à fréquence variable couplé avec un enregistreur qui trace pour chaque phase du réglage la courbe de réponse dans la première cavité (A), dans la seconde (B), à l'extérieur (E) et enfin la variation d'impédance (Z) en fonction de la fréquence. Voici (fig.26) les courbes caractérisant le réglage en trois étapes d'une enceinte dont les caractéristiques principales (volumes A et B, haut-parleur) sont déjà déterminées :

- 1°) - La résonance du haut-parleur (A) est à environ 100 Hz, et celle de la cavité (B) à environ 200 Hz; cette dernière est plus intense.
- 2°) - en agissant sur la section de l'ouverture et sur la longueur du tube on abaisse la résonance B légèrement au dessous de la résonance A, par exemple à 80 Hz; mais pour régler A sur cette fréquence on a le choix entre plusieurs possibilités, par exemple tube large et long, ou tube étroit et court; on choisit la combinaison qui donne le même niveau intérieur en B qu'en A.
- 3°) - Il ne reste plus qu'à disposer entre les deux cavités un élément d'amortissement, c'est-à-dire un trou qui associe les deux résonances (couplage), recouvert d'un matériau tel que mousse de nylon ou laine de verre qui, en freinant le courant aérien entre les deux cavités, permet d'amortir la résonance au degré requis pour que la courbe externe soit la plus linéaire possible.

Ce réglage est relativement simple. Il résulte pourtant d'un grand nombre d'essais, fructueux ou infructueux : M. LEON a essayé un grand nombre de formes différentes, de proportions plus ou moins heureuses; il a " torturé " d'innombrables haut-parleurs qu'il a découpés, recollés, revêtus d'enduits ou de supports variés.

L'expérience a montré qu'entre des enceintes également correctes en courbe de réponse externe il existait des différences auditives importantes de " franchise ", de " netteté ", de " clarté " etc.....

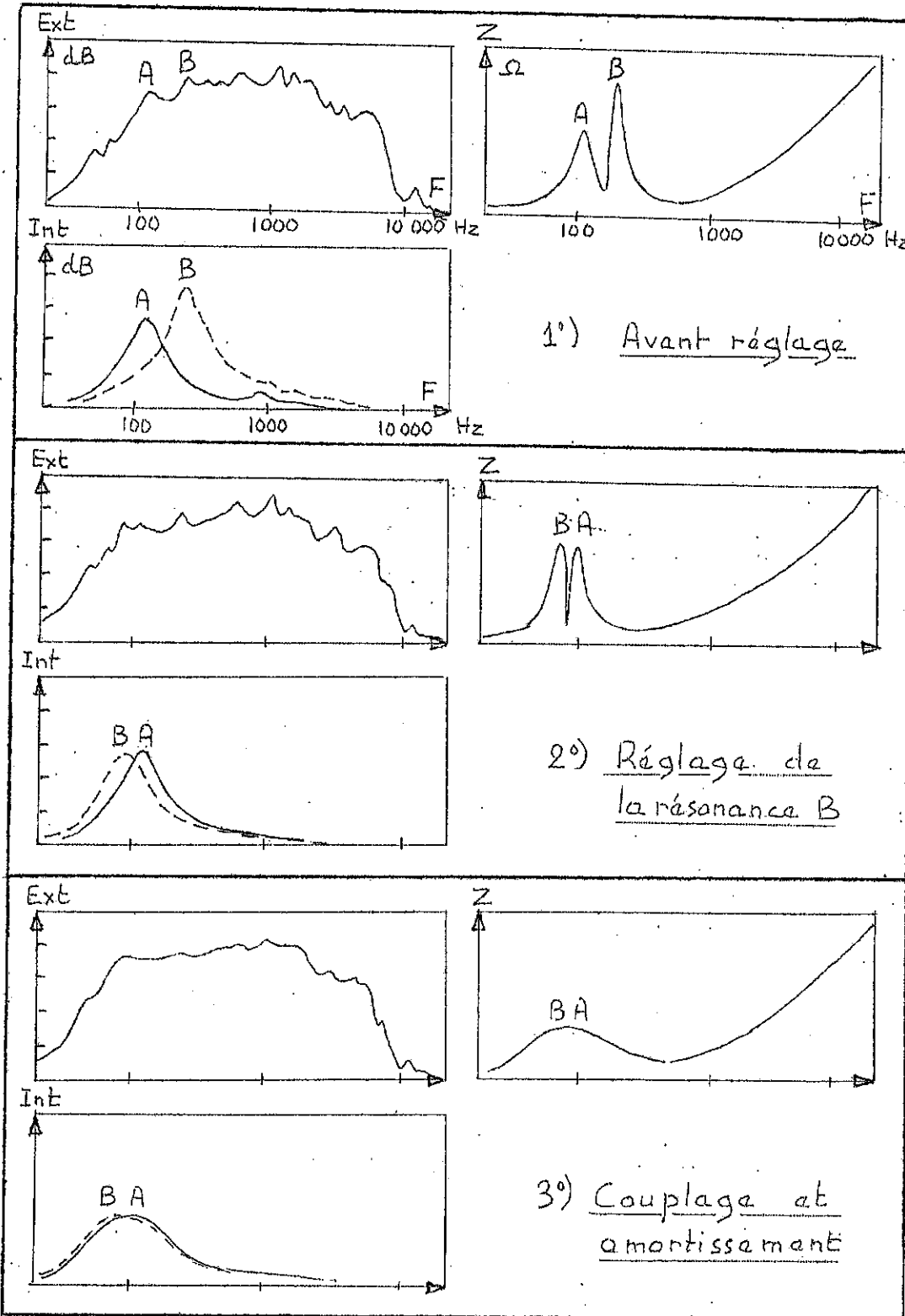
Ces différences proviennent de la reproduction plus ou moins satisfaisante des phénomènes transitoires.

## VII - RÉGIMES PERMANENTS ET RÉGIMES TRANSITOIRES (Bib. 8-9-10)

### VII.1 Régimes transitoires

Tous les relevés précédents ont été faits en régime permanent, en appliquant au haut-parleur un courant sinusoïdal d'amplitude constante, et en cherchant à obtenir à la sortie une onde acoustique d'amplitude constante pour toutes les fréquences audibles. Mais les signaux acoustiques rayonnés normalement par les

.... /





haut-parleurs ne sont pas permanents. La musique en particulier et la parole sont constituées essentiellement de régimes transitoires.

On définit en physique des signaux transitoires-types; ce sont :

- 1°) → L'échelon unité d'HEAVISIDE : ou passage instantané d'un état à un autre. On peut le réaliser par exemple en appliquant brusquement un courant continu sur un haut-parleur (fig.27).

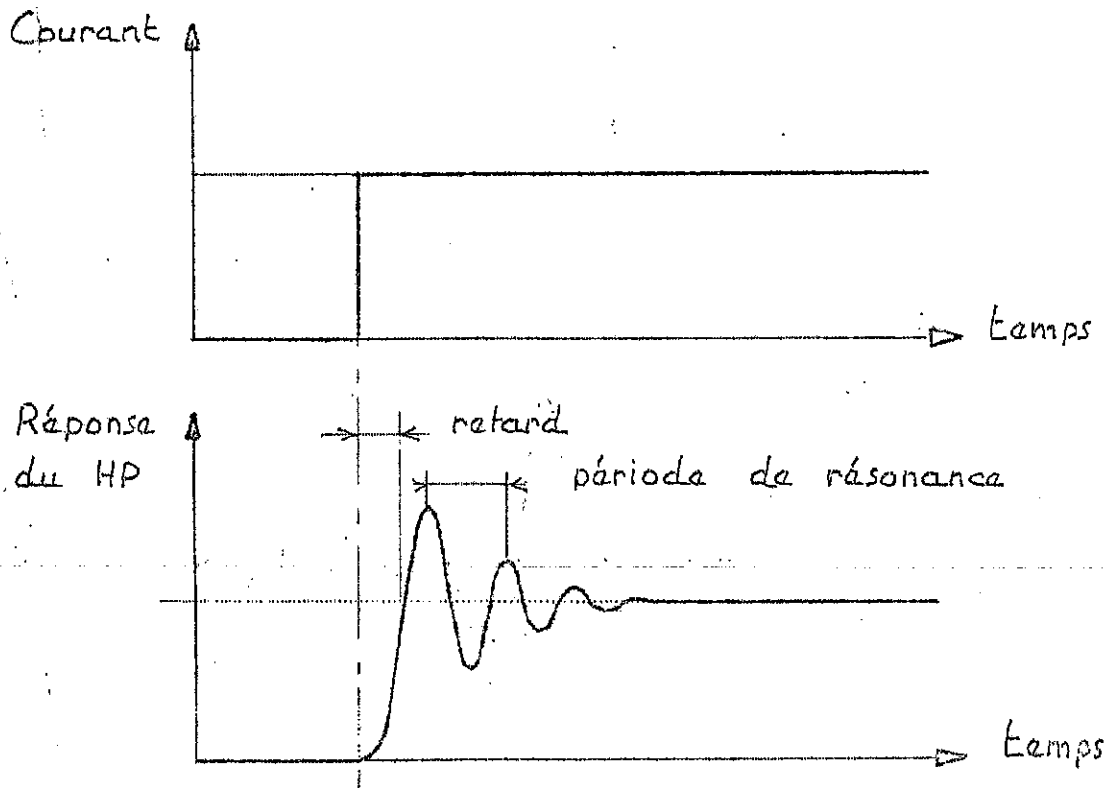


Figure 27

Le déplacement de la membrane n'est pas instantané, et il comporte des oscillations autour de la nouvelle position d'équilibre. Ces oscillations reflètent la fréquence de résonance du haut-parleur, car la perturbation d'HEAVISIDE excite surtout les fréquences basses du haut-parleur.

En électronique on pratique souvent des essais en signaux dits " carrés ", qui peuvent être considérés comme des successions d'échelons unités de sens contraires.

2°) - L'impulsion de DIRAC : on applique pendant un temps infiniment bref une perturbation d'amplitude infiniment grande; c'est une montée en tension, suivie immédiatement d'un retour à zéro. En pratique l'impulsion est limitée en amplitude et dure nécessairement un certain temps, mais au regard des caractéristiques demandées à un haut-parleur ces limites sont négligeables. La réponse d'un haut-parleur à une impulsion de DIRAC diffère notablement de la réponse à un échelon unité : on observe bien sûr un déplacement, avec un certain retard, comme pour l'échelon d'HEAVISIDE, et une suroscillation importante suivie de vibrations secondaires (fig.28).

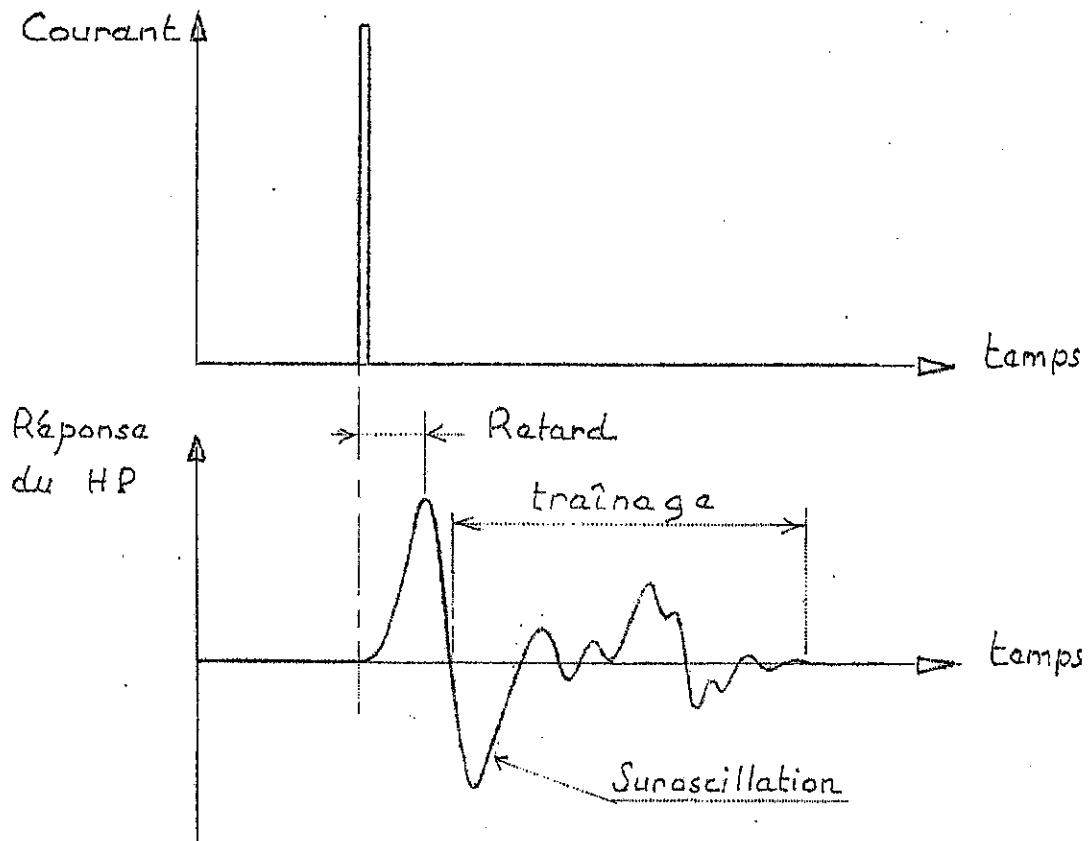


Figure 28

L'impulsion de DIRAC excite également tous les régimes vibratoires, donc la qualité du haut-parleur est toute entière contenue dans cette vibration que l'on appelle traînage (⊗)

Il est évident qu'un système mécanique comme le haut-parleur ne peut transmettre intégralement des impulsions, à cause de son inertie. Mais on peut jouer sur les paramètres laissés de côté jusqu'ici (formes, rapports de volume, etc...)

(⊗) On appelle aussi " traînage " la réponse d'un haut-parleur à un signal sinusoïdal brusquement interrompu.

pour augmenter la vitesse de montée de l'impulsion, diminuer la suroscillation et l'ensemble du traînage, ou tout au moins équilibrer celui-ci autour de l'axe (Bib. 11-12).

## VII.2 Etude au sonographe

Nous avons cherché à visualiser des impulsions sous forme spectrale à l'aide du sonographe. Voici par exemple (fig.29) des impulsions de fréquence et de largeur variable (on caractérise les impulsions par leur fréquence de récurrence  $F$ , en Hz, et par leur largeur en milli ou microsecondes). Il est remarquable de constater que les sonagrammes sont exactement conformes à la théorie (Bib.8). La fréquence de récurrence n'intervient pas, seule compte pour le spectre la largeur de l'impulsion; c'est-à-dire qu'une impulsion de 1 ms n'a pas de composantes pour les fréquences multiples de 1 K Hz, et qu'une impulsion de 200  $\mu$ S présente des "trous" pour les multiples de 5 K Hz, etc...

Nous avons choisi pour nos essais des impulsions de 100  $\mu$ s, dont le spectre est uniforme jusqu'à 10 K Hz. Le sonagramme (fig.30) représente de telles impulsions, répétées à une cadence allant de 20 à 100, puis de 400 à 100 par seconde. On voit qu'au delà d'une certaine fréquence de récurrence (80 à 100 par seconde), les traits verticaux ("clics") fusionnent et laissent apparaître des composantes horizontales harmoniques. Ceci provient de la constante de temps du sonographe, dont nous pensons qu'elle est voisine de celle de l'oreille. Autrement dit des impulsions se succédant avec une fréquence supérieure à 100 Hz constituent pour l'oreille un son permanent de spectre extrêmement riche.

Après diffusion par un haut-parleur les impulsions sont considérablement modifiées; nous avons vu plus haut les modifications oscillographiques; le sonagramme montre les modifications spectrales (fig.31). L'allure générale reste identique: on reconnaît qu'il s'agit d'impulsions ou de sons impulsionnels; mais les impulsions sont maintenant colorées, elles ont une hauteur et un timbre ajoutés par le haut-parleur.

Bien que les deux modes d'analyse - courbe de réponse et réponse impulsionnelle - soient théoriquement équivalents, la pratique nous montre de grandes différences. En principe, à toute "bosse" de la courbe de réponse devrait correspondre un plus grand noircissement de l'impulsion, à la même fréquence. En pratique l'impulsion est beaucoup plus "fragile" et constitue un test plus sévère que la courbe de réponse. Il est possible de discriminer par la méthode impulsionnelle deux systèmes ayant des courbes de réponse pratiquement identiques, et pourtant très différents à l'oreille.

A une autre échelle, en acoustique des salles, l'utilisation d'une méthode impulsionnelle est extrêmement fructueuse. Nous développons au laboratoire une méthode qui consiste à faire l'analyse fréquence-temps de la réponse d'une salle à une impulsion, en l'occurrence un coup de claquette ou de pistolet. Ici le traînage

s'appelle réverbération et joue sur des secondes au lieu de milli-secondes, mais il s'agit bien du même phénomène.

### VII.3 Mise en phase de plusieurs haut-parleurs

L'usage des impulsions est très important lorsqu'il s'agit de régler un ensemble de plusieurs haut-parleurs. Considérons un système de deux haut-parleurs, un grave et un aigu, montés sur un même panneau. Si une même impulsion électrique est appliquée à l'ensemble, chaque haut parleur ayant une inertie différente donc un temps de réaction différent, l'impulsion acoustique est scindée en deux parties. Pour les réunir, il faut décaler les deux haut-parleurs l'un par rapport à l'autre de quelques centimètres (fig.32). Ce réglage n'est pas valable pour un point isolé, mais pour l'ensemble de l'espace qui est en avant des haut-parleurs. (Bib.13)

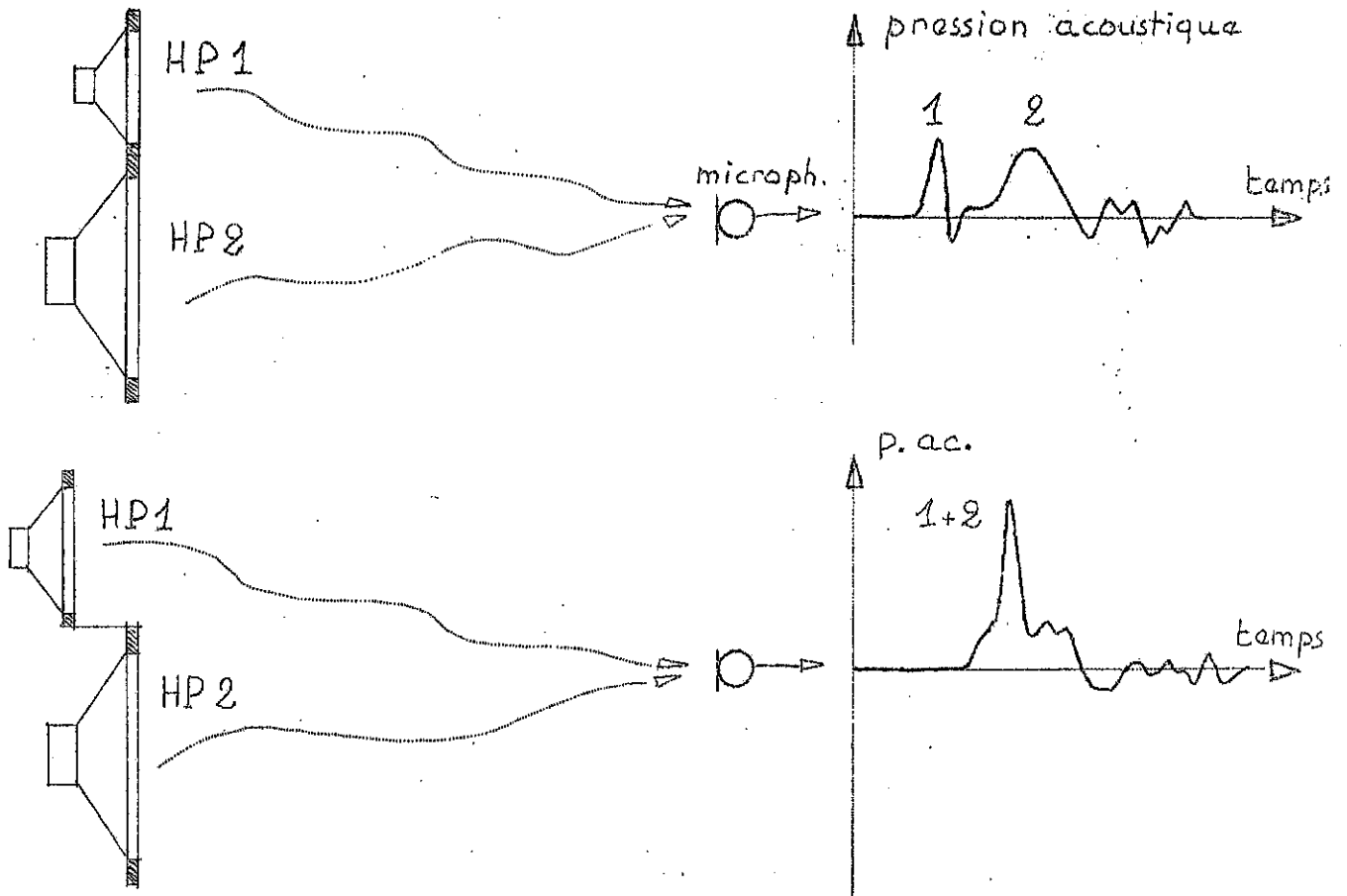


Figure 32

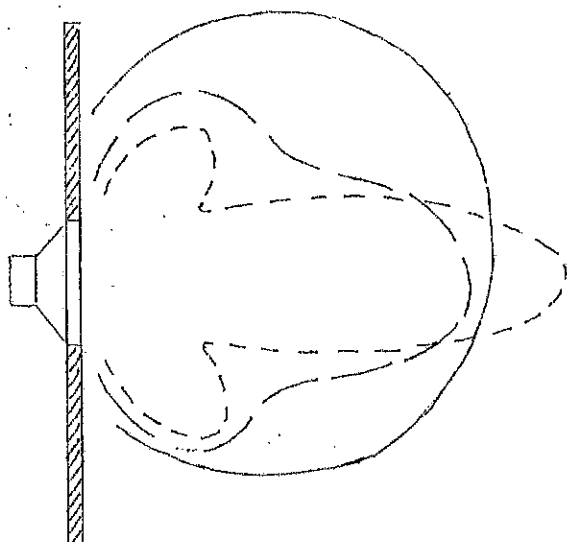
VIII - DIRECTIVITE DES HAUT-PARLEURS

VIII.1 Problèmes de directivité

Nous avons vu que la plupart des problèmes des haut-parleurs proviennent de leurs dimensions : ils sont trop petits pour les basses (court-circuit acoustique) et trop grands pour les aigus, (vibrations de la membrane). Nous retrouverons encore cette importance des dimensions dans la caractéristique de directivité. Et c'est bien normal car on a l'ambition de reproduire une dizaine d'octaves : à 34 Hz la longueur d'onde des sons est de 10 m, et à 17 000 Hz elle passe à 20 mm...

D'une manière générale on sait qu'une source de dimensions très faibles par rapport à la longueur d'onde qu'elle émet rayonne de la même manière dans toutes les directions (ondes sphériques); c'est ce qui a lieu pour une enceinte ordinaire en basse fréquence (jusqu'à 500 Hz environ). Par contre si la source a des dimensions supérieures ou du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, le diagramme de rayonnement est intimement lié à la forme de la source.

Les physiciens emploient volontiers la notion de sphère pulsante, qui bien sûr n'existe pas, mais que l'on peut imaginer sous forme d'un ballon de baudruche qui se gonflerait et se dégonflerait à la fréquence que l'on veut reproduire. Une telle sphère rayonnerait également dans toutes les directions, quelle que soit la fréquence. Il en va tout autrement pour un baffle plan, ou même pour la membrane du haut-parleur : les fréquences aiguës ont tendance à se propager surtout dans l'axe du haut-parleur et accessoirement dans des directions obliques, suivant des lobes latéraux (fig. 33). Ce diagramme change pour chaque fréquence, se compliquant à mesure que la fréquence augmente. Dans ces conditions à quoi correspond la courbe de réponse relevée dans l'axe ?.....



——— Fréquence basse  
- - - - - " moyenne  
- . - . - " aiguë

Courbes d'égal niveau  
sonora en avant d'un  
baffle plan.

Figure 33

...../

Pour diminuer la directivité des aigus il est nécessaire de se rapprocher de la sphère pulsante théorique. Il convient en particulier de supprimer les angles vifs et les plans, qui à coup sûr produisent des accidents importants dans les courbes précédentes. Ceci justifie l'utilisation des formes sphériques, ovoïdes, ou à la rigueur cylindriques. Bien entendu cela ne suffit pas à supprimer toute directivité car, d'une part, seule une portion de la sphère (le haut-parleur fonctionne en diffuseur, et d'autre part, ce haut-parleur a lui-même un diagramme de directivité, prépondérant aux fréquences aiguës. Mais au moins par ce moyen on atténue fortement les discontinuités spatiales jusque vers 4000 Hz.

On peut se demander s'il est tellement souhaitable de supprimer toute directivité : les haut-parleurs fonctionnent dans des locaux d'écoute qui ne sont pas des salles sourdes, et qui modifient du tout au tout les caractéristiques directionnelles. Par ailleurs les instruments de musique ont eux aussi des caractéristiques directionnelles extrêmement variées qu'il est tout à fait illusoire de vouloir reproduire, serait-ce avec la stéréophonie.

Néanmoins il peut être utile de rendre aussi homogène que possible le champ sonore émis par un haut-parleur, pour permettre justement la stéréophonie, ou plus simplement une bonne écoute dans une salle très amortie. Dans l'enceinte à trois canaux du type ORTF on a superposé trois enceintes mises en phase au moyen d'impulsions (fig.34) et chacune a une bonne caractéristique directionnelle dans son domaine de fréquence (le tweeter est inspiré du vieux et excellent microphone 75 A). L'ensemble possède ainsi une caractéristique directionnelle très semblable à celle d'un orateur.

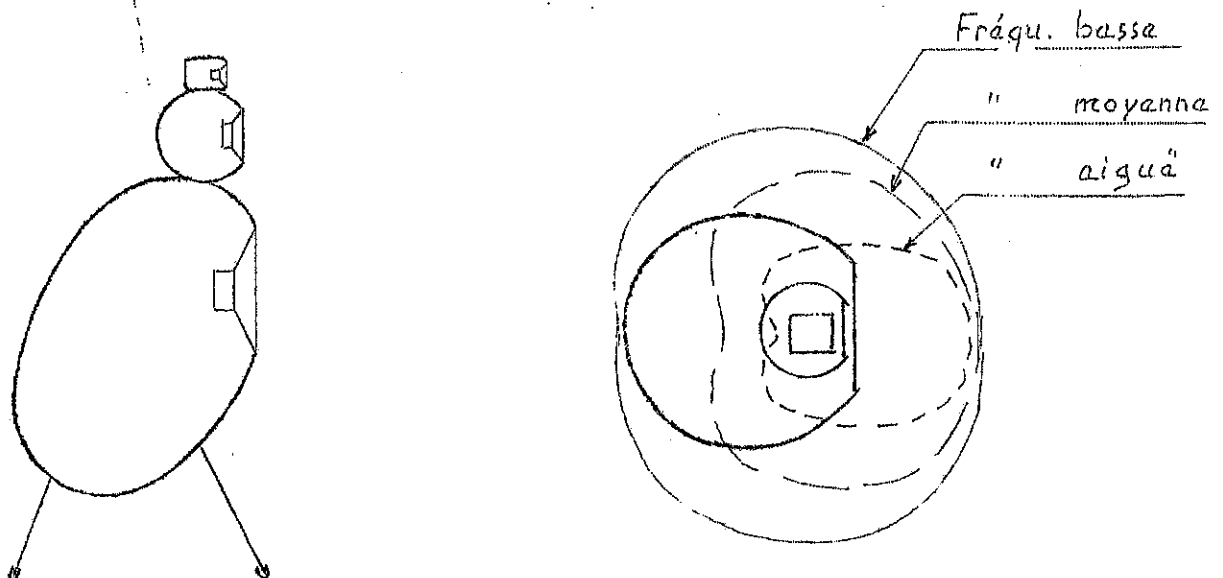
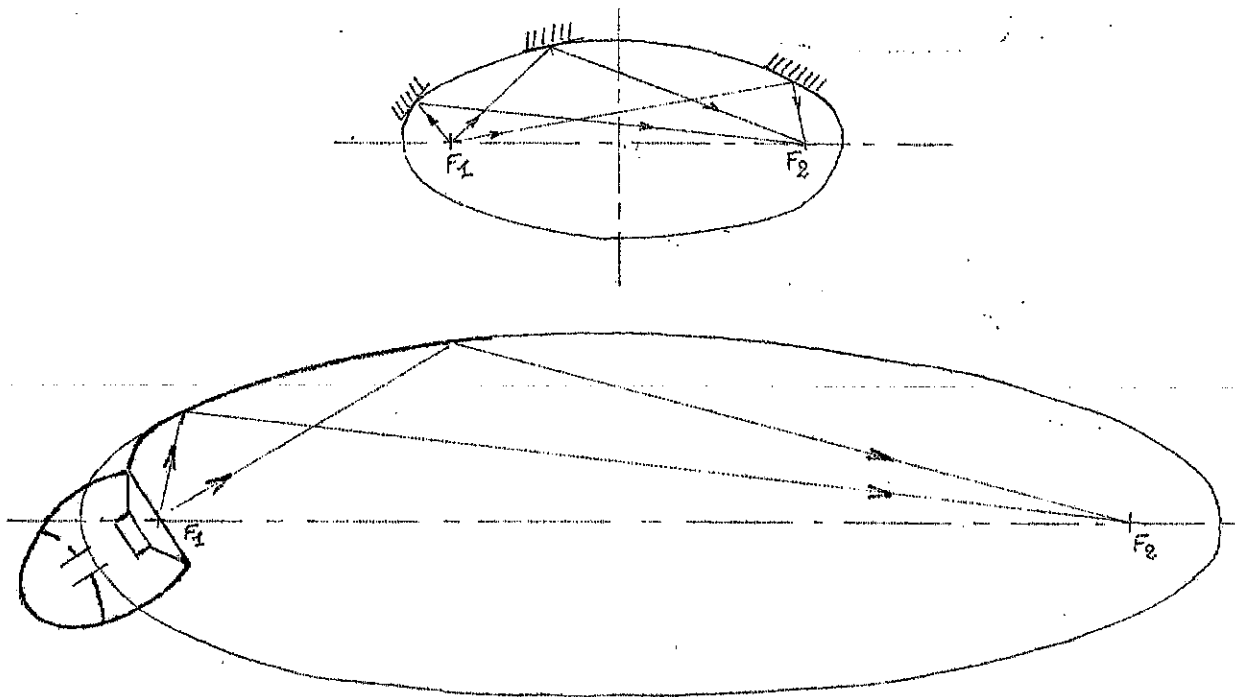


Figure 34

VIII.2 Haut-parleurs directifs.

Dans certains problèmes de sonorisation on a besoin au contraire de haut-parleurs très directifs, permettant de diriger un faisceau sonore là où on le désire, par exemple sur une surface occupée par les auditeurs, en évitant les réflexions parasites sur des murs nus. En optique on emploie des réflecteurs paraboliques ; on dispose la source au foyer de façon à obtenir un faisceau parallèle et réciproquement (projecteur, radars, fours solaires etc...). En acoustique le problème n'est pas le même car les longueurs d'onde à diffuser sont extrêmement différentes, et un réflecteur parabolique symétrique ne fonctionne correctement que pour une seule bande de fréquence. Finalement de nombreux essais faits par M. LEON ont montré que les meilleurs résultats sont obtenus avec des surfaces elliptiques. Chacun sait que l'ellipse est une figure géométrique possédant (entre autres) cette curieuse propriété : tous les rayons passant par un foyer et réfléchis par la surface intérieure repassent par l'autre foyer (fig.35). On peut donc utiliser une portion d'ellipsoïde (surface dont toute section par un plan est une ellipse) pour faire converger vers un point donné de l'espace (2ème foyer) le son émis par un haut-parleur disposé au 1er foyer (fig.36)



Figures 35 et 36.

En fait ce n'est pas si simple. Le haut-parleur a une certaine surface et la membrane ne peut pas être confondue avec le foyer ; il se produit de la diffusion par réflexion, par transmission dans l'air etc... Comme toujours, cet appareil ("oreille" ou "conque")

n'est vraiment efficace que pour les longueurs d'onde petites par rapport à ses dimensions, donc pour les fréquences élevées. Mais on dispose de plusieurs moyens de réglage : les trois dimensions de l'ellipsoïde, la position et le type du haut-parleur etc...

Actuellement on peut obtenir, avec une " oreille " de 1,50m, une directivité telle que, en dehors d'un cône de 60° environ, tous les sons de fréquence supérieure à 800 Hz environ sont atténués d'une vingtaine de décibels (fig.37). De tels dispositifs sont extrêmement précieux lors de la sonorisation de stades ou grands ensembles (sons et lumières) où les surfaces réfléchissantes ne peuvent être traitées acoustiquement

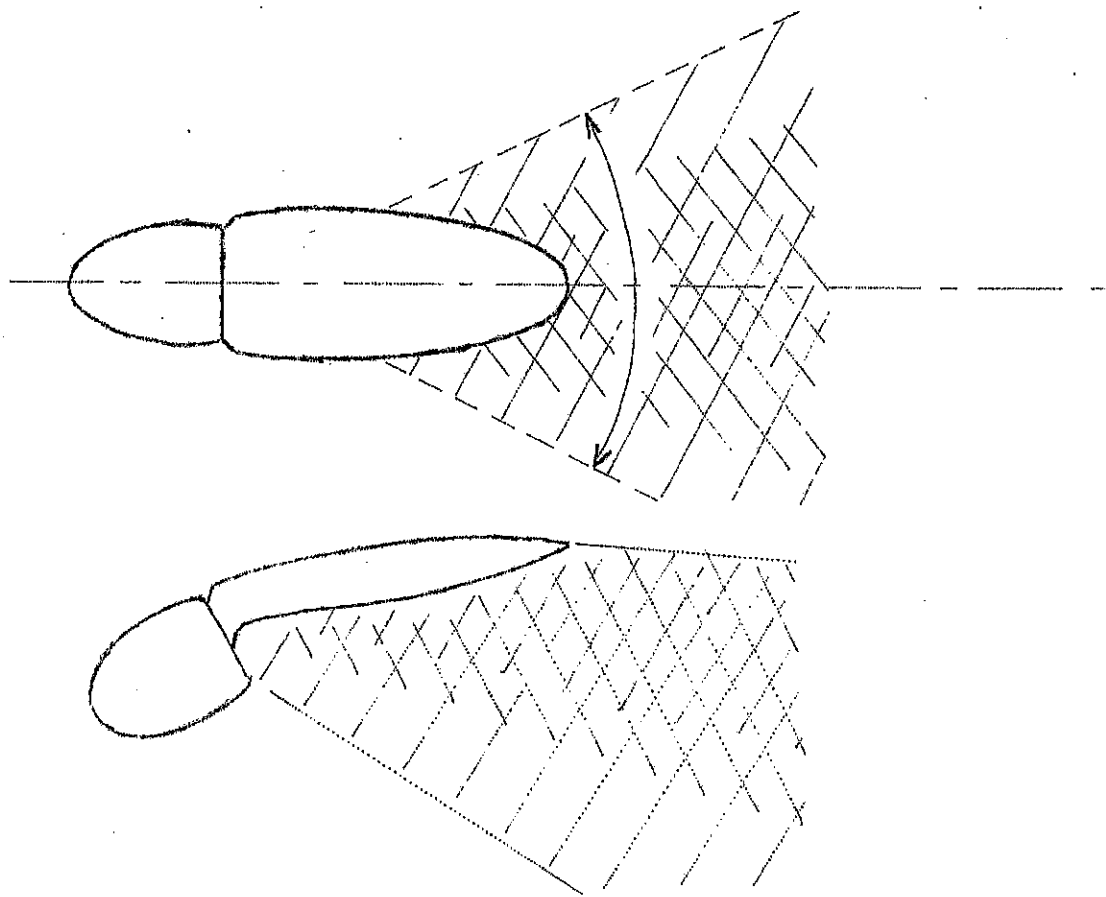


Figure 37

### VIII.3 Directivité et Impulsions

Les courbes de directivité sont toujours relevées en régime permanent. Nous avons cherché à savoir ce que devenaient des impulsions rayonnées par un haut-parleur non plus dans l'axe, mais dans l'ensemble de l'espace. Une expérience sommaire (fig.38) nous a montré que les sonagrammes des impulsions changeaient de manière considérable : l'étendue en fréquence et la coloration diffèrent d'un point à l'autre et ceci pour une enceinte possédant pourtant de bonnes courbes de directivité.



Autrement dit la méthode impulsienne contrôlée à l'aide du sonographe, est capable de nous apporter en un temps très bref des renseignements d'une extrême précision, correspondant sans doute à la limite supérieure de sensibilité de l'oreille.

Mais il conviendrait maintenant de savoir si l'oreille a besoin de tous ces raffinements et comment elle accueille les notions de reproduction sonore, de haute fidélité etc...

## IX - HAUT-PARLEURS ET HAUTE FIDELITE

On pourrait reprendre au sujet du terme " haute fidélité " la boutade de MOLES : " la haute fidélité c'est l'absence d'infidélités perceptibles ". L'aspect psychophysiologique est certainement plus important que l'aspect proprement acoustique (Bib. 14-15-16-17-18).

Les questions suivantes se posent :

- 1°) Reconnaît-on la musique diffusée par haut-parleur ?
- 2°) Pourquoi ?

La première question appelle une réponse nuancée : cela dépend de la qualité de l'appareillage, des conditions matérielles d'écoute (par exemple écoute dans une pièce voisine ou à distance, c'est-à-dire filtrage et perte de dynamique du message) et du niveau socio-culturel de l'auditeur; il est évident qu'une personne n'ayant jamais entendu de musique réelle ne peut pas la reconnaître : pour elle le haut-parleur et la musique ne font qu'un. Néanmoins dans la grande majorité des cas, si l'on écarte la suggestion, un auditeur se rend compte très vite qu'il s'agit d'un haut-parleur et non de musique réelle.

Nous allons rechercher quelques unes des causes possibles de cette attitude.

### IX.1. La prise de son

Un haut-parleur parfait ne pourrait reproduire que ce qu'on lui donnerait à reproduire.

En admettant que la chaîne de transmission (radio, magnétophone, disque etc...) soit elle aussi parfaite il faudrait que la modulation recueillie par le microphone dans le studio d'enregistrement soit le reflet exact du message acoustique reçu par un auditeur situé dans le studio d'enregistrement. M. PHILIPPOT nous a montré (Bib.19) que cela n'était pas possible, ni d'ailleurs souhaitable, et que l'ingénieur du son modifiait considérablement ce message, dès son origine, pour le rendre auditivement " consommable " et " donner l'impression de fidélité ".

## IX.2. Local d'enregistrement et local d'écoute.

Le local joue un rôle considérable lors de l'écoute d'un haut-parleur; la musique émise par notre haut-parleur parfait est très vite modifiée par la salle. Il en va de même à l'enregistrement, et le message finalement reçu par l'auditeur a subi deux déformations qui n'ont pu que s'ajouter (filtrages, réverbérations, bruit de fond). Faudrait-il alors, pour goûter la haute fidélité, n'écouter qu'en chambre sourde ? Ceux qui connaissent les chambres sourdes savent à quel point le séjour y est désagréable.

## IX.3. Le haut-parleur

De toute manière le haut-parleur est loin d'être parfait. L'oreille reconnaît immédiatement :

- a)- La présence des formants ("bosses" de la courbe de réponse ou bandes horizontales du sonagramme), qui correspond à une même coloration de tous les messages. Mais il faut dire aussi que l'on s'habitue à cette coloration.
- b)- La déformation des transitoires, en corrélation plus ou moins étroite avec l'existence des formants, mais d'un effet physiologique vraisemblablement très différent. La pente d'attaque des phénomènes est modifiée et le message paraît moins "clair", moins "incisif" que dans la réalité.
- c)- La compression de dynamique, dont le haut-parleur n'est pas seul responsable. C'est la différence de niveau entre les sons à reproduire, du pianissimo au fortissimo, qui se traduit, d'une part par l'existence d'un bruit de fond d'origine électrique et de composition spectrale sensiblement constante (bruit "blanc" ou "rose" que l'oreille identifie instantanément) et d'autre part par la limitation de la puissance sonore (distorsion et saturation aux forts niveaux). Ceci nous explique pourquoi les messages à forte dynamique (orchestre moderne, percussions par exemple) sont ceux qui "passent" le plus mal dans le haut-parleur (Bib. 20-21).

## IX.4. Le conditionnement de l'auditeur (Bib. 22).

Prenons deux cas-types : l'amateur de haute fidélité, et le musicien. Si le premier recherche effectivement la fidélité, celle-ci s'applique à l'image mentale qu'il tire de ses expériences antérieures, en général discographiques. Pour lui la chaîne à "haute fidélité" est celle qui présente "quelque chose de plus" que la précédente, et souvent ce "quelque chose de plus" est apprécié à la lumière de caractéristiques techniques annoncées par le constructeur.

Le musicien, lui, peut écouter de deux manières. Si on lui demande de juger la "vérité" de la reproduction, il n'est pas long à dire que la musique sort d'un haut-parleur, car il a en mémoire

.... /

les sons réels des instruments. Mais en général il écoute la musique, c'est-à-dire, pour lui, la partition qu'il a en tête, et qu'il reconnaît même si la reproduction est de très mauvaise qualité. Son sens critique s'applique essentiellement à l'exécution de la musique et non à la qualité de la chaîne.

#### IX.5. Réceptivité de l'auditeur

La multiplication des moyens de reproduire la musique a popularisé la notion de musique d'ambiance, qui était autrefois un luxe. On s'est maintenant habitué à entendre la musique sans y prendre une part active, et quelquefois à la " subir " malgré soi. Outre les conséquences qu'entraîne cette attitude pour l'évolution de la musique, il est certain que l'auditeur n'a pas les mêmes réactions devant la musique enregistrée, diffusée par un haut-parleur, que devant le musicien en chair et en os, même si la reproduction est parfaite. Dans un cas la musique s'adresse directement à l'auditeur, elle est faite pour lui, devant lui; il peut l'interrompre ou la modifier en toussant, en sifflant, en applaudissant ou en manifestant d'une manière quelconque sa communion avec le musicien. Dans l'autre cas il ne participe pas, sauf au prix d'un effort que l'on nomme l'écoute intelligente, qui consiste à rechercher dans le message proposé une orchestration, une " présence ", des plans sonores, des finesses que la reproduction a atténuée. Mais ici encore l'auditeur ne peut pratiquer l'écoute intelligente que dans la mesure où il a déjà des notions précises en ce qui concerne la musique réelle.

### X - CONCLUSION

Du point de vue technique, tout le monde est d'accord : on est encore loin de la " fidélité absolue ", c'est-à-dire de l'identité du message émis par le haut-parleur avec celui qui est capté par le microphone.

Mais l'étude de la musique en tant que phénomène transportant de l'information et s'adressant à un cerveau humain montre avec évidence que l'identité n'est pas nécessaire, pourvu que l'auditeur retrouve dans le message tous les éléments sémantiques et esthétiques qu'il y cherche.

On dit souvent que le haut-parleur reste l'élément imparfait de nos chaînes de reproduction sonore. C'est exact, certes, mais si on compare les réalisations actuelles aux réalisations passées, on mesure tout le chemin parcouru. Grâce aux inlassables efforts des techniciens nous pouvons, pour peu que nous y mettions le prix, goûter largement au plaisir de la musique.

...../

DISCUSSION

- M. GILOTAUX : Peut-on étudier les haut-parleurs et enceintes acoustiques au moyen d'analogies électriques : circuits équivalents composés de résistances, selfs et capacités ?
- M. LEON : Ce n'est pas valable. Par exemple il est impossible de mesurer simplement la résistance acoustique d'un élément.
- M. LIENARD : Les phénomènes ne sont pas comparables, du moins à un niveau élémentaire; on pourrait faire une simulation électrique en trois dimensions, mais le modèle serait plus compliqué que le haut-parleur. Assimiler le haut-parleur à un quadripôle semble une erreur de méthode. Il vaut mieux partir du phénomène réel, si complexe soit-il, et appliquer une méthode expérimentale.
- M. CANAC : Dé même qu'il n'y a pas de salle universelle, il n'y a pas de haut-parleur à tout faire; il faut distinguer la reproduction de la parole et la reproduction de la musique. Les transitoires jouent dans la parole un rôle très important; les consonnes en particulier sont des phénomènes discontinus, et l'on sait bien qu'elles transportent la plus grande partie de l'information. C'est pourquoi les mesures faites avec des appareils comme le sonomètre sont peu valables.
- M. CHAVASSE : Mais il existe actuellement des sono-impulsimètres !
- M. LEON : Monsieur CANAC a raison de distinguer musique et parole, les haut-parleurs à trois canaux de la R.T.F. ont une directivité très semblable à celle de la voix humaine.
- M. LEIPP : Le haut-parleur est une machine à reproduire les sons. Avant de "reproduire" il importe de connaître la structure physique des sons : on est ici fort loin du compte et ce que l'on trouve dans les manuels est très simpliste. Les études que nous menons au laboratoire depuis des années nous montrent en particulier que la parole ou la musique ne sont constitués en fait que de transitoires. De toute façon, une reproduction n'est qu'une reproduction; même bien faite elle ne peut que suggérer l'original. La soif d'absolu ne peut mener qu'à une éternelle insatisfaction.
- M. LEON : L'amateur de haute fidélité est, en effet déformé; c'est pourtant à lui que nous devons donner satisfaction. Pour travailler objectivement il ne faut pas

seulement écouter, mais aussi s'appuyer sur des méthodes de mesure bien choisies. Nous savons par exemple créer des défauts, ce qui nous permet de tester et nos méthodes, et l'oreille des musiciens. La phrase de BOUASSE reste toujours valable : " un appareil de mesure acoustique c'est un appareil plus une oreille ".

M. LEIPP : Toutes les oreilles sont différentes, plus ou moins amorties, plus ou moins sensibles, plus ou moins conditionnées à porter leur attention sur telle ou telle information contenue dans le message musical. Les musiciens écoutent souvent la partition sur des appareils très imparfaits, et certains techniciens écoutent les clics du disque !...

Docteur CLAVIE : Doit-on faire une distinction entre parole et musique ? Les auditeurs de musique cherchent autant à écouter les finesses de la musique que les phonéticiens celle de la voix.

M. CHAVASSE : En téléphonie on se contente par économie de la bande 300 à 3400 Hz; mais les radiodiffuseurs demandent une bande passante plus large.

M. LEIPP : Tout dépend de ce que l'on veut transmettre. Les messages téléphoniques peuvent se contenter de canaux réduits contrairement aux messages musicaux qui véhiculent une information beaucoup plus riche.

Docteur CLAVIE : Une large bande passante augmente l'intelligibilité et diminue la fatigue auditive. BRIGGS, spécialiste bien connu dans le domaine des haut-parleurs disait que, lorsqu'il avait chez lui un mauvais haut-parleur, sa bonne avait aussitôt la migraine.

M. ANDRIEU : Vous jugez les haut-parleurs sur la parole ou sur la musique, je crois que c'est une erreur. Connaissant le signal à priori, votre jugement est déformé. Il faut écouter un bruit réel; l'impulsion de DIRAC n'existe pas dans la nature, pas plus que les sinusoides.

M. LÉNARD : Bien sûr, mais le problème est le même avec les bruits réels. Nous connaissons bien les difficultés provenant des déformations de jugement selon que l'auditeur est prévenu ou non.

M. LEON : Le signal qui se rapproche le plus du " bruit réel " que vous cherchez est la sinusoidé wobulée de 50 à 10.000 Hz, un certain nombre de fois par seconde.

Si vous voulez un bruit naturel il faut vous placer dans un champ, avec de l'herbe, car là vous n'aurez pas de murs. La simple présence d'un mur change complètement le signal émis par le haut-parleur.

M. DUPARCQ : Peut-on vraiment tromper un musicien, et lui faire prendre une reproduction pour un original?

M. LEIPP : L'expérience suivante a été réalisée il y a quelques années. Une petite formation orchestrale jouait la Suite Française de POULENC. Au préalable on avait enregistré sur bande la même oeuvre, exécutée par les mêmes musiciens dans la même salle. Pendant le concert l'ingénieur du son remplaçait graduellement le son des musiciens par celui des haut-parleurs, les musiciens continuant à simuler le jeu normal. La plupart des auditeurs non prévenus ne s'apercevaient de rien.

Cette expérience a été réalisée plusieurs fois, toujours avec succès, mais elle appelle divers commentaires :

- l'enregistrement et le concert avaient lieu dans la même salle,
- la musique était exécutée par une petite formation (7 ou 8 instruments) ne comportant pratiquement pas de percussions, ni de forts niveaux,
- les auditeurs étaient dès le départ fortement conditionnés car ils ne soupçonnaient pas l'intervention des haut-parleurs,
- enfin l'expérience n'aurait sans doute pas réussi avec un enregistrement sur disque : un ou deux clics auraient suffi pour trahir le disque.

M. LEON : Il fallait tout de même des haut-parleurs de bonne qualité. A vrai dire je ne connais pas d'enceinte donnant satisfaction pour tous les tests auditifs. Il reste des progrès à faire et il est nécessaire pour cela de recourir aux mesures objectives.

M. LIENARD : Un fait semble se dégager nettement : chacun écoute dans le message ce qu'il connaît déjà.

M. LEIPP : On ne peut parler de haut-parleurs sans poser le problème de la stéréophonie. Gagne-t-on vraiment quelque chose avec la stéréophonie ? Le musicien n'écoute souvent que la partition; peu lui importe alors que les haut-parleurs soient meilleurs ou moins bons.

M. CONDA MINES : La stéréophonie bien faite apporte vraiment quelque chose d'important : nous en avons l'expérience.

Mme NYECKI : A-t-on essayé de faire des haut-parleurs avec des matériaux utilisés en facture d'instruments de musique, en bois ou en autre matière ?

- M. LEON : La principale différence entre un haut-parleur et un instrument de musique est que celui-ci doit être agréable et comporter une certaine couleur sonore, alors qu'un haut-parleur devrait être rigoureusement neutre.
- M. LEIPP : Matériellement c'est impossible, ne serait-ce qu'à cause de la salle.
- M. LIENARD : Le constructeur de haut-parleurs est bien obligé de faire des compromis entre de nombreux impératifs pratiques.
- M. LEON : Un point très important est l'élimination des angles vifs et l'utilisation de surfaces non développables, comme la sphère, difficile à réaliser en bois. Par contre nous avons essayé des cylindres en bois, pratiquement indéformables.
- M. LEIPP : Un fabricant japonais, YAMAHA, présente un haut-parleur complètement dissymétrique. L'idée en paraît bizarre si on se propose d'éliminer la " couleur " d'un haut-parleur.
- M. LEON : Tout a été essayé. Mais il faut faire la part des arguments publicitaires utilisés par les fabricants.
- M. LEIPP : Au lieu de corriger un haut-parleur par des cavités résonantes, ne peut-on donner à l'ampli une courbe compensant les " trous " éventuels du haut-parleur ?
- M. LEON : En réalité un haut-parleur réalise une double transformation d'énergie. Le moteur assure la transformation du signal électrique en déplacement de la bobine mobile. La membrane et l'enceinte assurent la transformation de cette énergie mécanique en énergie acoustique.

Les traitements électriques agissent sur la 1ère transformation; les traitements acoustiques, par cavités ou autres systèmes, agissent sur la seconde, en contrôlant les mouvements indésirables de la membrane dans son ensemble. Il y a par exemple un problème de décalage des sources sonores : les haut-parleurs de grave, de médium et d'aigu ne réagissent pas exactement en même temps; en régime permanent (courbe de réponse) l'ensemble sera excellent, mais une même impulsion électrique appliquée aux trois haut-parleurs arrivera à l'oreille de l'auditeur avec un triple décalage temporel qui est important du point de vue subjectif.

- M. LEIPP : Les techniciens et les fabricants font des efforts constants et louables pour perfectionner les haut-parleurs et nous leur devons beaucoup de reconnaissance. Ne soyons donc pas comme ces éternels insatisfaits

qui, armés d'une loupe de plus en plus puissante, n'éprouvent qu'un seul plaisir ; celui de découvrir quelque point caché où la reproduction diffère de l'original. Réjouissons nous donc plutôt de pouvoir nous délecter de musique à loisir, en tout lieu et à toute heure ; c'est un plaisir que nos ancêtres n'ont pas eu.

---



BIBLIOGRAPHIE

- 1 - OLSON : Acoustical Engeneering. Van Nostrand Ed. Princeton 1957. rééd. 1964
- 2 - BERANEK : Acoustical Measurements. J. Wiley & Sons Ed. New-York 1949. rééd 1965.
- 3 - LEHMANN : Les transducteurs électro et mécanoacoustiques. Collection technique et scientifique du CNET. Ed. Chiron 1963.
- 4 - DIDIER : Cours de Physique appliquée à la reproduction du son et des images. Ed. Masson 1964.
- 5 - DE LAMARE : Interprétation de la courbe de réponse d'un haut-parleur. C.J.E. 67 (\*).
- 6 - RAYLEIGH : Theory of Sound (1894). Dover Publications NY, rééd. 1945.
- 7 - LEMONDE : Thèse d'Ingénieur. Conservatoire National des Arts et Métiers. 1967.
- 8 - PIMONOW : Vibrations en régime transitoire. Ed. Dunod 1962.
- 9 - MATRAS : Acoustique et Electroacoustique. Ed. Eyrolles 1965.
- 10 - PIMONOW : Relation entre la perception des transitoires et leur reproduction en haute-fidélité. C.J.E. 1965.
- 11 - DIDIER-LEMONDE-LEON : Mesures particulières sur les haut-parleurs. C.J.E. 1966.
- 12 - GUILLERMIN : Mesure des quadripôles par la méthode de corrélation. C.J.E. 1965.
- 13 - MEUNIER : Les systèmes de haut-parleurs. Mesure et mise au point. C.J.E. 1964.
- 14 - MOLES : Théorie de l'information et perception esthétique. Flammarion 1958.
- 15 - MOLES : Théorie de l'information. Bulletin du GAM n°5 Mai 1964.
- 16 - MOLES : Sociologie du son. C.J.E. 1964
- 17 - PHILIPPOT : Aspects psycho-sociologique de la notion de haute-fidélité. C.J.E. 1965.
- 18 - PHILIPPOT-BRUCK : Poésie et Vérité. C.J.E. 1966.
- 19 - PHILIPPOT : Les problèmes de la prise de son. Bulletin du GAM n° 7. Déc. 1964.
- 20 - LEIPP : L'enregistrement et la reproduction des percussions. C.J.E. 1966.
- 21 - LEIPP : Nouvelle méthode d'appréciation de la qualité d'une chaîne à haute fidélité. C.J.E. 1964.
- 22 - LEIPP : Les variables de l'audition musicale. C.J.E. 1966.

---

(\*) C.J.E. : Cahiers des Journées d'Etude du Festival du son. Ed. Chiron.