

*le petit livre d'Or\*  
de l'acoustique*



\* le Petit Livre d'Or...

Selon le "nombre d'or", les dimensions de la pièce idéale sont dans la progression 1, 1,6, 2,5, aussi une pièce de 3 m de hauteur aurait comme longueur  $4,8 \times 7,5$  m !





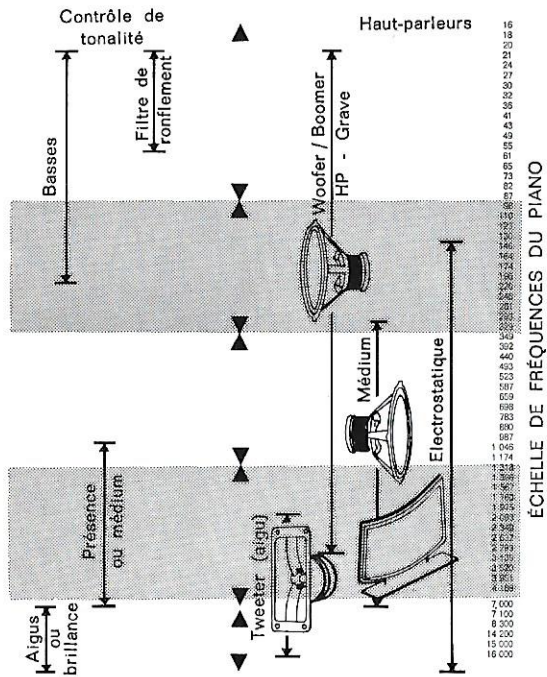
*Il nous est apparu que le passionné de "HI-FI", le mélomane averti, souhaitaient être conseillés pour un meilleur choix et une meilleure utilisation de leur installation "HI-FI".*

*Cet ouvrage est dédié dans sa simplicité, et nous l'espérons dans son efficacité, à*

*Ce livre est un ouvrage de vulgarisation des techniques acoustiques les plus récentes et ne veut pas être un traité d'acoustique ou un cours de physique expérimentale. Cependant, il a été fait appel à un grand nombre d'ouvrages, de revues spécialisées, de cours d'acoustique supérieurs dans le but principal de clarifier cette notion de haute fidélité sans porter de jugement et sans perdre cette objectivité fondamentale nécessaire à tout ouvrage technique.*

*Daniel DEHAY  
Président de la société 3a  
Ingénieur ESE  
Diplômé d'Etudes Supérieures  
Electroniques.*

*Monsieur NEY  
Maître de Conférence  
en Electro-acoustique et Electronique  
à l'Ecole Supérieure d'Electricité.*



ÉCHELLE DE FRÉQUENCES DU PIANO

LA REPRODUCTION SONORE

# Index

- PRÉFACE - *A propos du son*
- Livret I - *Le jargon technique*
- Livret II - *La propagation du son - Le haut-parleur*
- Livret III - *L'enceinte acoustique*
- Livret IV - *Le local*
- Livret V - *Les enceintes asservies*
- Livret VI - *L'oreille humaine*

## A PROPOS DU SON

Les ondes sonores consistent en un mouvement vibratoire (va-et-vient) des molécules d'air, ou plus exactement de paquets de molécules d'air, autre que l'agitation thermique.

*Pour créer une onde sonore, il suffit de perturber le mouvement normal des molécules (dû à l'agitation thermique) :*

par exemple :

- par déplacement brusque ou continu d'un objet :  
claquement d'un fouet, ventilateur, sifflement d'un obus,  
chant d'oiseau
- par variation de pression : explosion, coup de feu
- par choc de toute nature :  
instruments à percussion, instruments à corde pincée
- par frottement : instruments à corde frottée.

En résumé, la source ou l'excitateur de vibration sera généralement :

- une pièce animée d'un mouvement alternatif :  
piston dans un cylindre, membrane souple, lame, verge  
ou corde vibrante
- un jet de gaz : instruments à vent
- un ensemble de pièces travaillant au choc : instruments  
à percussion.

Suivant la nature de cette excitation, l'onde sonore créée a une fréquence plus ou moins grande (nombre de fois que le phénomène se reproduit dans une seconde).

*Ainsi les fréquences audibles varient de 20 Hz (extrême grave) à 16 kHz (extrême aigu) et cette plage de fréquence est communément appelée spectre sonore.*

Le graphique suivant donne une idée des fréquences moyennes produites par les instruments les plus classiques. (Fig. I.1.)

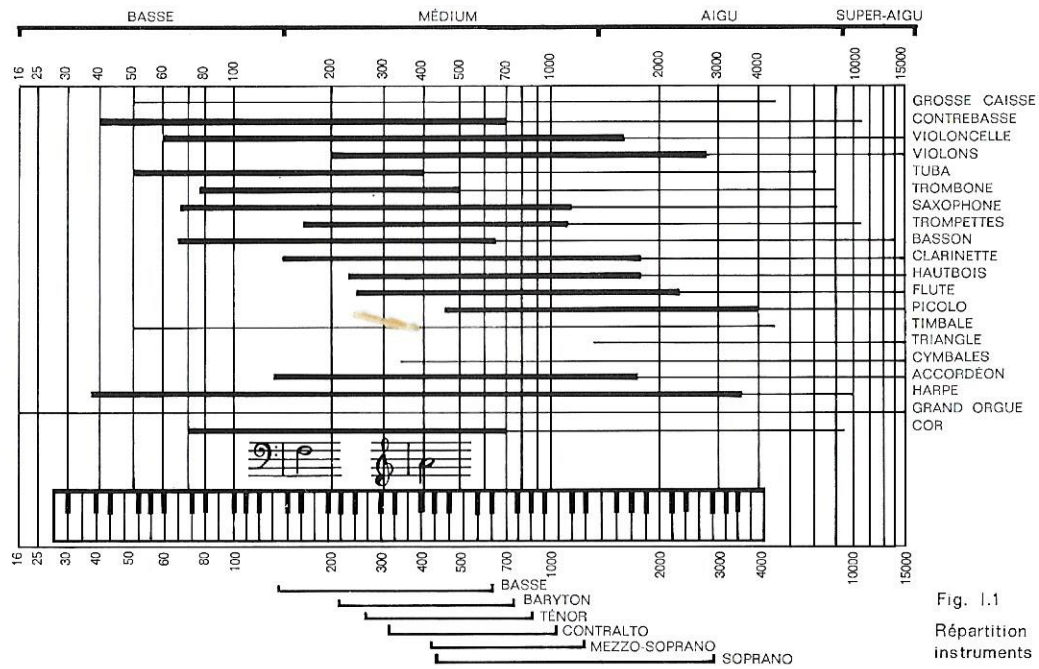


Fig. 1.1

Répartition des Fondamentales et Harmoniques de voix et instruments de Musique sur le spectre sonore audible.

# Livret Premier

## LE JARGON TECHNIQUE

### ... A PROPOS DE PUISSANCES

Notion très controversée, difficile à apprécier auditivement, peu facile à contrôler sans appareils de mesure...

#### PUISSANCE EFFICACE (ou RMS, ou sinusoïdale)

la plus simple et la plus réglementaire, car elle suit la

$$\text{loi d'Ohm} \dots\dots\dots P = \frac{U^2}{R}$$

R charge de l'amplificateur

U tension efficace à la sortie de l'amplificateur avant écretage (ou pour 1 % de distorsion) c'est-à-dire avant déformation du son

mais elle peut être indiquée par les constructeurs comme :

- permanente... *la plus sérieuse*
- maximum... *la sécurité*
- instantanée (transitoires seulement)...  
*les transitoires maximum admissibles*

Cette puissance doit être définie pour une impédance donnée (16 ohms, 8 ohms ou 4 ohms) et si possible pour une bande passante donnée.

S'applique aussi bien aux amplificateurs de puissance qu'aux enceintes.

#### PUISSANCE MUSICALE (IHF, de Crête)

Très controversée car difficilement mesurable et contrôlable, peut s'apparenter à la puissance maximum instantanée ou à la puissance efficace dans une octave bien déterminée (250-500) correspondant au maximum de puissance du message musical classique orchestral (fig. I.2).

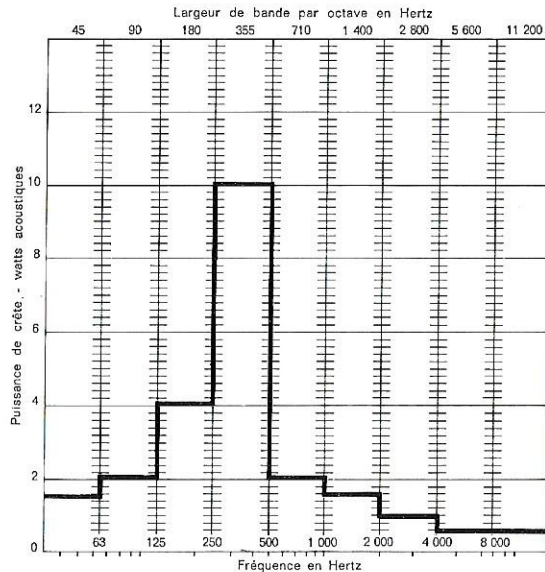


Fig. I.2  
Distribution de la puissance par octave d'une composition orchestrale classique

En général, cette puissance est supérieure à la puissance efficace car l'appareil ne peut la soutenir de façon permanente (régime impulsionnel par exemple).

S'applique aux amplificateurs et surtout aux enceintes acoustiques.

... A PROPOS, DES TRANSITOIRES, DES TEMPS DE RÉPONSE, DES TEMPS DE MONTÉE, DE TRAINAGE

Le message musical contient un très fort pourcentage d'impulsions, c'est-à-dire de notes très brèves émises dans un temps très court que l'on baptise transitoires :

coup d'archet de violon  
cordes pincées en général  
cordes frappées : piano  
percussions.

Une excellente installation Hi-Fi doit reproduire ces notes ou percussions sans retard, sans inertie, dans un souci de vérité.

C'est la notion du temps de réponse.

Pour un amplificateur, ce temps de réponse varie de 0,5  $\mu$ . s à 15-20  $\mu$ . s. On s'accorde à admettre 2 à 3  $\mu$ . s comme une très bonne caractéristique. Pour une enceinte acoustique, cette notion est aussi très importante car le *trainage* de l'enceinte peut s'ajouter au temps de réponse de l'amplificateur et donner une restitution sonore inexacte par réduction de la dynamique, de la sécheresse des sons.

... A PROPOS DES COURBES DE RÉPONSE/  
DES BANDES PASSANTES

La linéarité est de coutume dans la reproduction des sons que ce soit pour le phonolecteur, l'amplificateur, le magnétophone et les enceintes acoustiques.

La bande passante ou courbe de réponse doit être déterminée à une puissance donnée et surtout par un écart en décibels bien défini (unité de rapport de tension ou de puissance).

La linéarité est d'autant meilleure que l'écart en dB est réduit.

Exemple pour une enceinte acoustique (ANDANTE) :  
35 Hz — 20 000 Hz  $\pm$  2 dB (Fig. I.3.)

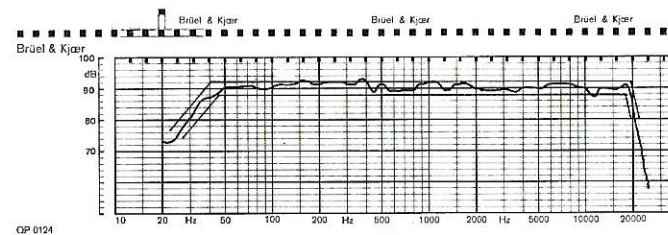


Fig. I.3  
Courbe de réponse de l'andante 3a

Une marge totale de 6 dB correspond à une division par 2 de la tension ou par 4 de la puissance

pour un amplificateur : 10 Hz — 100 000 Hz à 3 dB  
(sous-entendu 0 - 3 dB)



## ... A PROPOS DE DISTORSION

Trois types communément identifiés :

- distorsion de phase,
- distorsion d'intermodulation,
- distorsion harmonique.

*L'absence de distorsion est l'indice certain de la pureté de la reproduction sans création d'harmoniques au son fondamental, c'est-à-dire sans rien ajouter au son fondamental (sans déformation).*

Pour un amplificateur, les taux de distorsion harmonique varient de : 0,01 % à 1 % à puissance nominale.

Pour une enceinte acoustique, les taux rencontrés varient avec la fréquence : (Fig. I.4.)

- ★ en fréquence basse, par exemple 40 Hz les taux varient de 0,5 à 10 %

★ en fréquence moyenne ..... les taux varient de 0,5 à 3 %

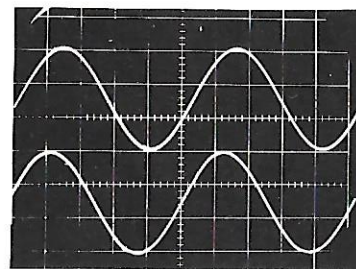
★ en fréquence élevée ..... peuvent varier de 0,5 à 6 %

Les techniques modernes d'asservissement, les haut-parleurs à rubans, ioniques ou électrostatiques permettent de réduire ces taux de distorsion.

Tension aux bornes de l'enceinte : 2,3 V.

Fréquence (Hz).	30	40	63	80	125	250
Distorsion (%).	2,9	2	1,7	1,35	1,4	0,46

Forme d'onde acoustique à 40 Hz pour 2,3 V aux bornes de l'enceinte.



Signal référence

Signal reproduit par l'enceinte

Fig. I.4  
Distorsion harmonique de l'Arloso 3a



# Second Livret

## LA PROPAGATION DU SON LE HAUT-PARLEUR

LE HAUT-PARLEUR est l'élément le plus imparfait de la chaîne de reproduction.

Il est en effet courant aujourd'hui de trouver sur le marché des amplificateurs, des tables de lectures ou des magnétophones dont les caractéristiques électriques sont proches de la perfection audible.

Le sujet le plus discuté et le plus critiquable reste l'enceinte acoustique. Pour comprendre sa complexité, analysons simplement le fonctionnement du haut-parleur.

Le haut-parleur est un système électromécanique très complexe mettant en jeu, selon la fréquence transmise et la puissance dissipée, de grands déplacements de la membrane et de l'air. Le haut-parleur fonctionne donc très souvent en régime non linéaire, c'est-à-dire avec création de sons n'existant pas dans le message original (distorsion).

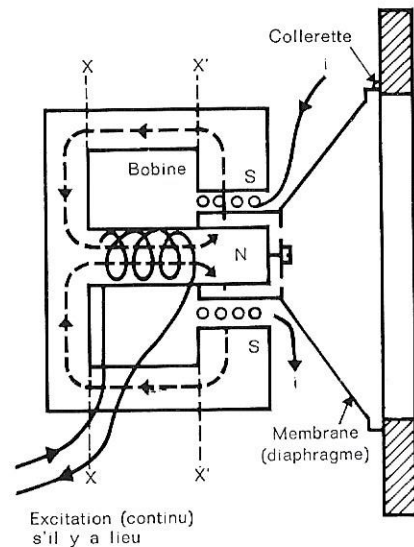
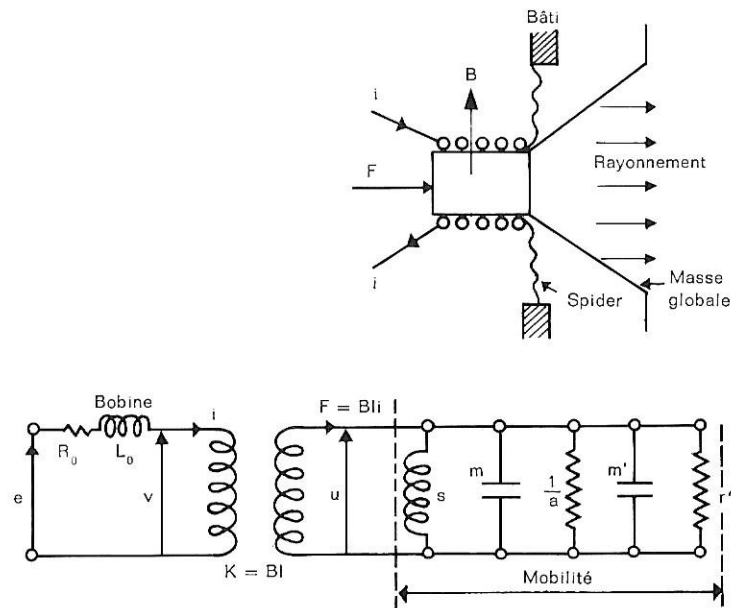


Fig. II.1

Schéma équivalent du quadripôle haut-parleur

Un haut-parleur est un transformateur d'énergie électrique (e,i) provenant de l'amplificateur en énergie acoustique en passant par l'intermédiaire de l'énergie mécanique.

Il comporte un moteur électrique entraînant un "radiateur mécanique (membrane) accomplissant la transformation acoustique.

Aussi le haut-parleur est dans son principe une simple application de la loi de Laplace relative aux actions d'un champ magnétique sur un élément de courant traversé par un courant électrique (fig. II.2).

La bobine du haut-parleur, traversée par un courant  $i$ , et placée dans un champ magnétique transversal, est soumise à une force selon son axe.

Quand ce courant est alternatif, la force est alternative et la bobine est soumise à un mouvement de va-et-vient parallèle à son axe.

On crée ainsi le moteur du haut-parleur, c'est-à-dire ce dispositif assurant la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique.

Il reste maintenant à communiquer cette énergie à l'air ambiant.

L'organe de couplage est constitué par une membrane solidaire de la bobine, munie de dispositifs de suspension et de centrage. Cette membrane entraîne une masse d'air par ses deux faces dans son mouvement.

Si l'on ne s'occupe que de la puissance rayonnée par une face du haut-parleur, ce mouvement de l'air est ressenti en tout point de l'espace devant le haut-parleur (pression vibratoire).

Malheureusement, cette théorie n'est vraie que pour un coffret dit infini (l'onde arrière de la membrane égale à l'onde avant est totalement oubliée).

Cependant, la plupart du temps, l'onde arrière réagit sur l'onde avant ou simplement sur le fonctionnement du haut-parleur, car lorsque le cône du H.P. se déplace de gauche à droite par exemple, il y a compression d'air à droite et détente à gauche. Une circulation d'ondes a tendance à s'établir entre l'avant et l'arrière.

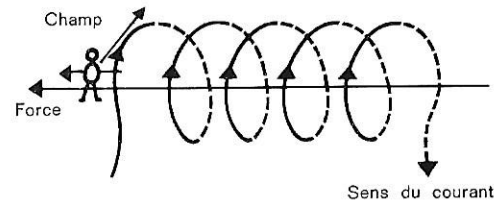


Fig. II.2  
Principe du haut-parleur

Il en résulte une perte d'efficacité puisque les deux faces travaillent l'une contre l'autre (en opposition de phase) (fig. II.3) et un phénomène d'interférences avec création de zones de silence et de maxima (voir livret III).

*On se trouve ainsi obligé à séparer l'avant de l'arrière, ce que l'on réalise grâce au baffle ou enceinte acoustique (livret III) (fig. II.4).*

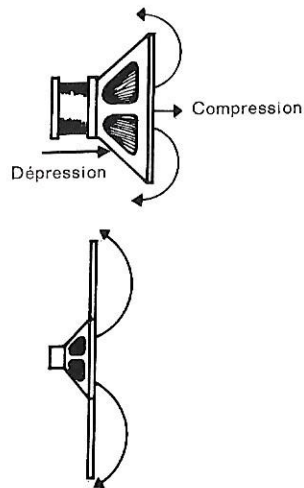


Fig. II.3

L'onde arrière réagit sur l'onde avant

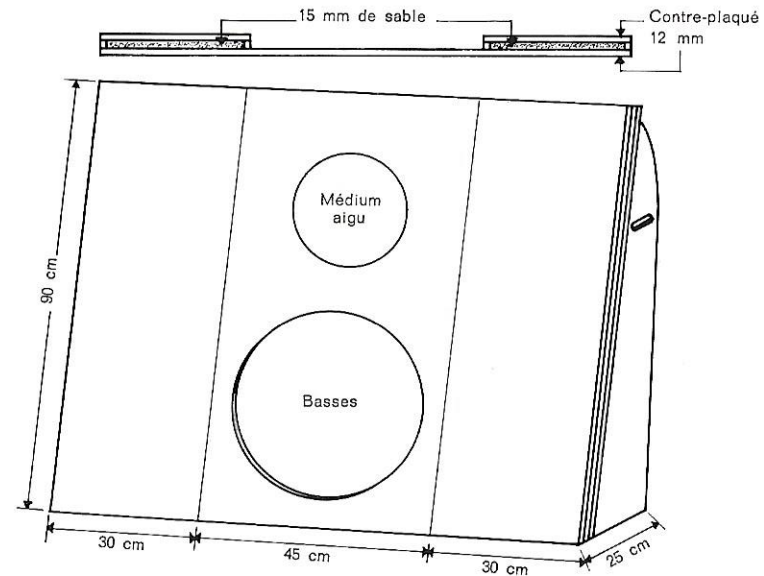


Fig. II.4

Un procédé simple d'augmenter le trajet de l'onde arrière

On voit que le fonctionnement du haut-parleur est très complexe. Pour s'en convaincre, examinons le schéma équivalent du haut-parleur (fig. II.5).

- Ro = résistance de la bobine
- Lo = réactance de la bobine
- B = induction dans l'entrefer de la bobine
- l = longueur du fil de la bobine
- u = vitesse vibratoire
- F = force résultante
- S = souplesse de la suspension
- a = coefficient d'amortissement visqueux
- m = masse du système mobile

$$L_r = 2L' = 2 \frac{R}{S'}$$

impédance de rayonnement

$$R_r = 2R' = 2 \frac{e}{S'}$$

- avec e = résistance de l'air
- S' = surface rayonnante
- C = vitesse du son
- R = 0,42 S'

On voit d'ores et déjà le grand nombre de facteurs qui agissent sur le fonctionnement du haut-parleur :

- son enceinte (S, a, m, F)
- son local d'écoute (Lr et Rr)

d'où l'importance de l'enceinte acoustique et les qualités acoustiques du local d'écoute.

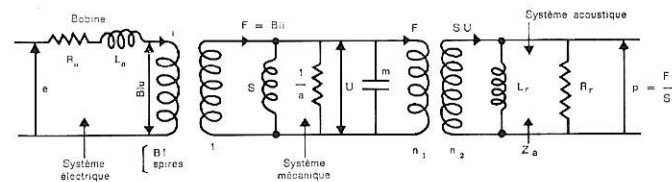


Fig. II.5  
Analogie électrique du piston plat avec baffle indéfini

## Quelques informations utiles sur le fonctionnement du haut-parleur :

### IMPORTANTANCE DU DIAMÈTRE DE LA MEMBRANE

Le choix doit être décidé par la puissance musicale souhaitée et la distorsion (déplacement non linéaire).

*Il faut garder en mémoire que moins la membrane se déplace, plus la bobine reste dans le champ linéaire, donc moindre est la distorsion.*

Cette affirmation tend à dire qu'on a toujours intérêt au plus grand diamètre de haut-parleur possible, ce qui s'avère quelquefois faux par la nécessité de reproduire tout le spectre sonore avec des haut-parleurs spécialisés.

Cependant la puissance rayonnée dans le grave est fonction de la surface du haut-parleur aussi.

Pour créer une puissance d'un watt acoustique à 50 Hz avec une distorsion faible (excursion de la bobine maximum de 12 mm) il faut 1 haut-parleur de 38 cm de diamètre.

Dans les mêmes conditions, avec :

1 boomer de 31 cm, la puissance est seulement 0,40 watt  
1 boomer de 20 cm, la puissance est seulement 0,16 watt.

Si l'on veut obtenir plus de puissance d'un haut-parleur plus petit, ceci se fera au détriment de la linéarité (création de distorsion) donc de la qualité sonore.

### NOMBRE DE VOIES

La nécessité d'utiliser quelquefois des haut-parleurs de grand diamètre a conduit les fabricants à fractionner le spectre sonore en 2 voies ou 3 voies.

Les systèmes 2 voies comportent 2 haut-parleurs : grave-médium de diamètre moyen et un tweeter - H.P. d'aigu, couvrant le haut du spectre sonore.

Les systèmes 3 voies comportent trois haut-parleurs :

- 1 grave de grand diamètre 31 cm ou 36-38
- 1 médium de diamètre moyen 10, 13, 17 cm
- 1 H.P. d'aigu pour le haut du spectre.

Ces systèmes demandent des filtres passifs ou électroniques qui partagent le spectre sonore en 2 ou 3 bandes de fréquence : basses, médium, aigu.

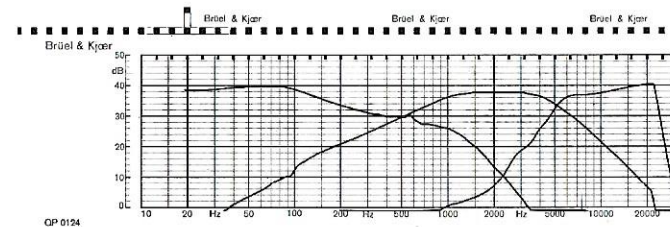


Fig. II.6  
Filtre de l'Arioso 3a



*Ces filtres doivent être de haute qualité et parfaitement mis au point en fonction des haut-parleurs d'une part et de l'enceinte d'autre part.*

L'ARIOSO 3a - 80 watts possède par exemple un filtre professionnel très élaboré (fig. II. 6, 7, 8).

Entre les systèmes 1 voie, 2 voies ou 3 voies, le choix est difficile car le nombre de voies n'est pas toujours un critère de qualité.

D'autre part, il est possible d'obtenir des systèmes très puissants avec seulement un haut-parleur si la charge du haut-parleur (enceinte) est par exemple du type pavillon (voir livret III), la présence du pavillon augmentant considérablement le rendement du haut-parleur.

*Cette remarque est générale. La charge du haut-parleur, donc le type d'enceinte, a une importance capitale dans le rendement acoustique d'un même haut-parleur. Il est donc difficile de dissocier haut-parleur + enceinte dans toute analyse objective.*

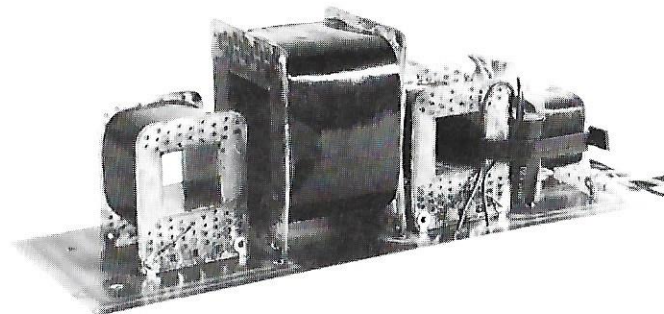


Fig. II.7

Filtre Arioso 3a

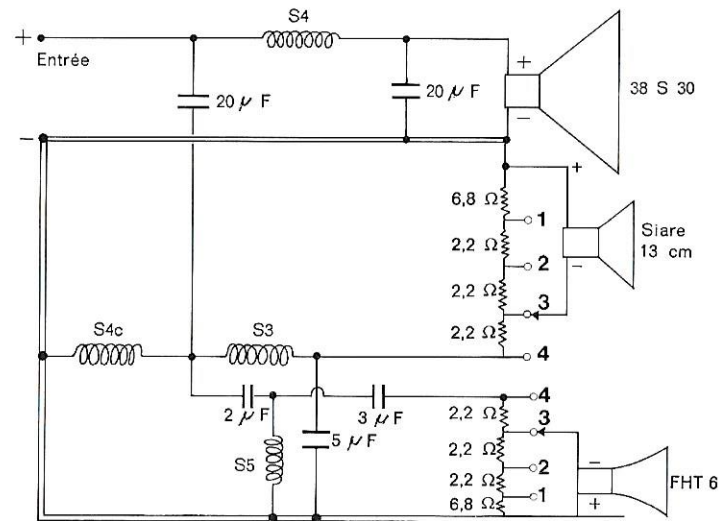


Fig. II.8

Schéma théorique du filtre précédent

# Troisième Livret

## L'ENCEINTE ACOUSTIQUE

Elle participe, nous l'avons vu, à la qualité de la reproduction sonore *par la charge arrière du haut-parleur*. L'enceinte ne joue un rôle fondamental que dans les fréquences basses et longtemps les meilleurs ingénieurs pensaient que plus l'enceinte acoustique était volumineuse, meilleures étaient les basses.

Aujourd'hui, l'ingéniosité des fabricants permet d'obtenir des enceintes acoustiques de dimensions raisonnables avec un rendu du grave convenable.

*Enfin les systèmes d'asservissement des haut-parleurs (haut-parleurs dont le mouvement est contrôlé par un amplificateur associé à un calculateur analogique) permettent de s'affranchir complètement des dimensions des enceintes.*

## DIFFÉRENTS TYPES D'ENCEINTES

### 1 - BAFFLE INFINI

C'est le trou dans le mur classique ou l'immense placard que l'on peut assimiler à un volume infini (minimum 500 dm<sup>3</sup>).

Ce type d'enceinte équipé d'un très bon haut-parleur grave (basse fréquence de résonance et champ magnétique important) et associé à un ensemble médium/aigu de qualité, donnera à l'amateur d'extrêmes graves beaucoup de satisfaction (fig. III.1).

Le système précédent présente évidemment un grand avantage : il évite totalement l'interaction des deux pressions avant et arrière. Son principal inconvénient est le rendement, car la moitié seulement de l'énergie est utilisée.

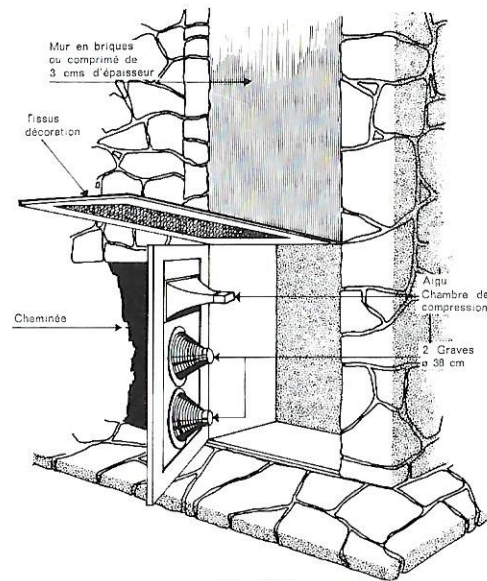


Fig. III.1

Une magnifique installation : un immense placard de part et d'autre d'une cheminée. Chaque enceinte contient 2 x 38 cm pour les graves et une chambre de compression dans l'aigu

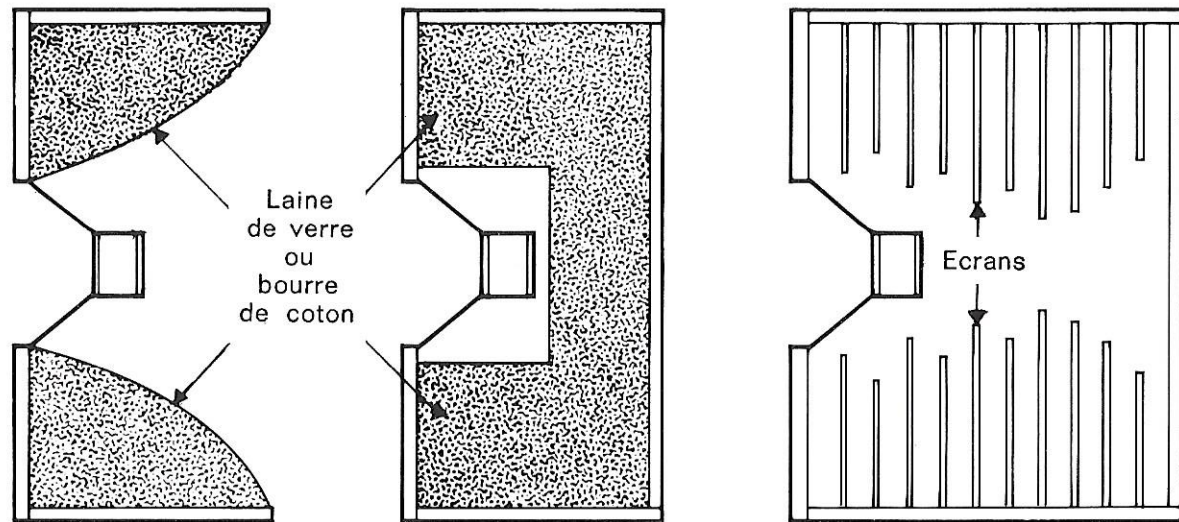


Fig. III.2  
Trois versions de coffret réalisant l'absorption  
de l'onde arrière de la membrane

### ENCEINTES CLOSES

Le haut-parleur est monté dans une enceinte de dimension plus raisonnable et l'absorption de l'onde arrière se fait grâce à des chicanes, des matériaux absorbants répartis dans l'enceinte (fig. III.2).

Moyennant l'utilisation de haut-parleur d'excellente qualité (aimant puissant, suspension très souple) et une enceinte de dimension suffisante (quelques dizaines de dm<sup>3</sup> de volume min.), la compression à l'arrière due à la boîte et à l'air enfermé ne chargera pas sensiblement la membrane et les résultats obtenus seront très convaincants.

On peut reprocher cependant que ce dispositif, comme le précédent, n'utilise que la moitié de la puissance sonore. Comme la majeure partie de la puissance sonore est concentrée dans les basses pour la musique d'orchestre comme pour la parole (voir fig. 2, livret I), il est intéressant d'utiliser le rayonnement arrière.



## II - LABYRINTHE ACOUSTIQUE

Une idée simple consiste à faire suivre à l'onde arrière un trajet tel que, à l'émission, cette onde arrière soit à nouveau en phase (pression de même sens) avec l'onde avant.

Ce système fonctionne jusqu'à une fréquence sonore telle que sa longueur d'onde soit égale au double de la longueur du trajet de l'onde arrière (fig. III.3).

Afin de matérialiser le trajet imposé à l'onde arrière, la caisse comporte un cloisonnement garni de matériaux absorbants. Ce trajet se termine par une ouverture qui joue le rôle de haut-parleur secondaire. Une telle enceinte s'appelle labyrinthe acoustique (par exemple un labyrinthe de 2 m reproduit correctement les fréquences jusqu'à 40 Hz - c'est le modèle OMNIDIRECTIONNEL 3a : Aubade).

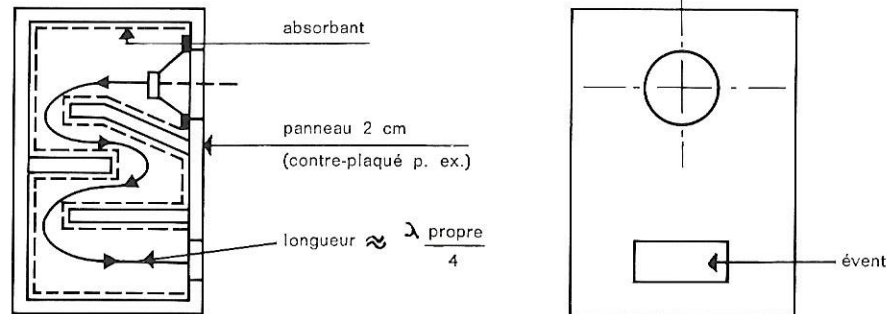
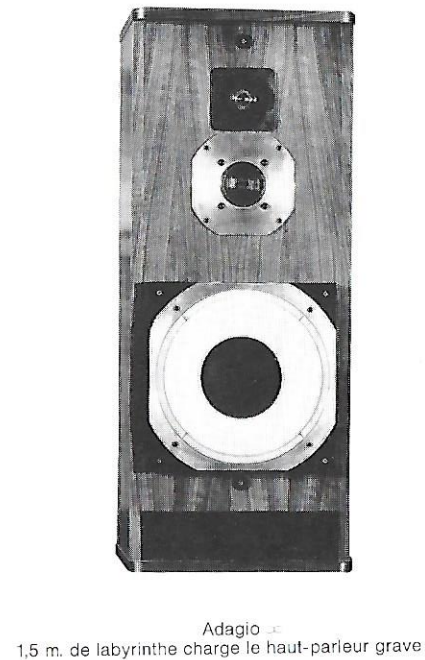


Fig. III.3  
Principe du labyrinthe acoustique



### III - ENCEINTE ANTIRÉSONNANTE

Un autre dispositif permettant d'utiliser l'onde arrière est le baffle dit *bass-reflex* ou *inverseur de phase*.

Un meuble de dimension suffisante (50 dm<sup>3</sup> min.) comporte une ouverture secondaire formant avec le *haut-parleur grave* une *deuxième source d'émission*.

Au voisinage de la résonance supérieure de l'enceinte, le H.P. débite dans le baffle et l'ouverture se substitue au haut-parleur (fig. III.4 a).

Il y a donc renforcement du son principal émis par le cône de part et d'autre de cette fréquence tant que la pression sonore à l'endroit de l'ouverture est en phase. A la fréquence de résonance inférieure, il y a *opposition de phase* et l'émission totale est alors très réduite (la fréquence propre du haut-parleur doit être placée au centre de ces deux résonances (fig. III.4 b). (fig. III. 5)

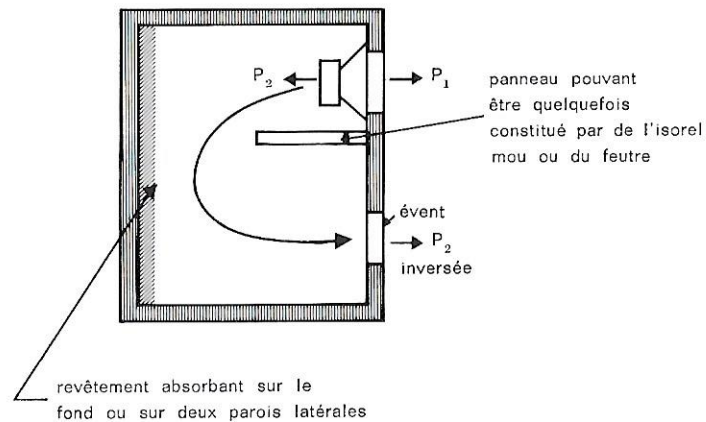


Fig. III.4 a

Principe du meuble inverseur de phase (bass-reflex)

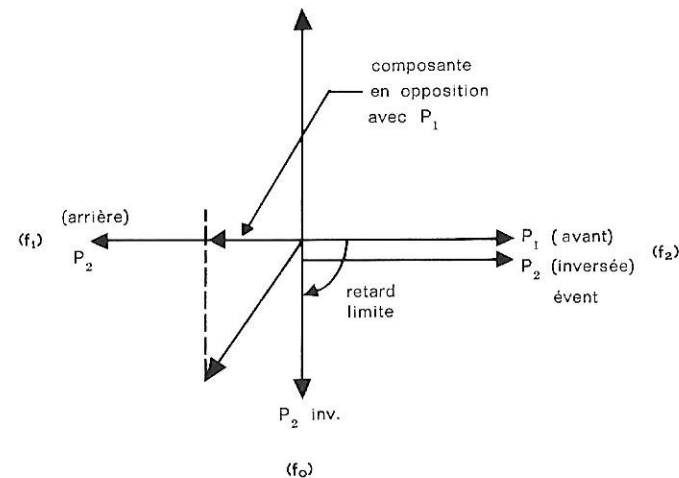


Fig. III.4 b

Composition des pressions engendrées par le cône et l'évent

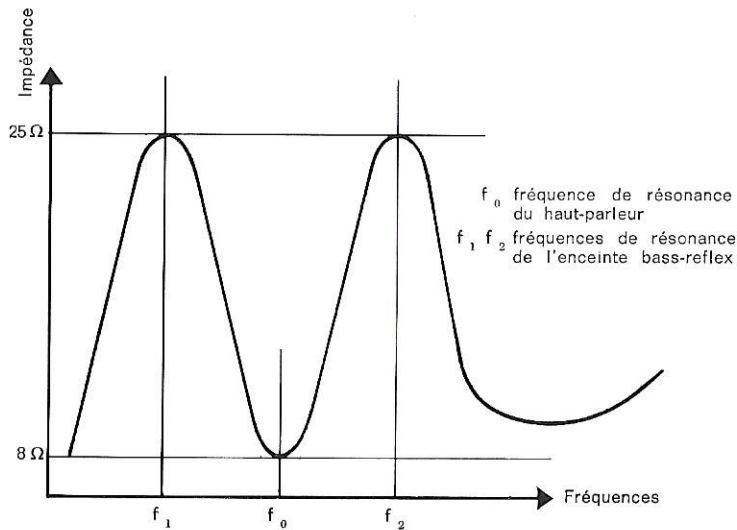


Fig. III.5  
Courbe d'impédance du Bass-Reflex

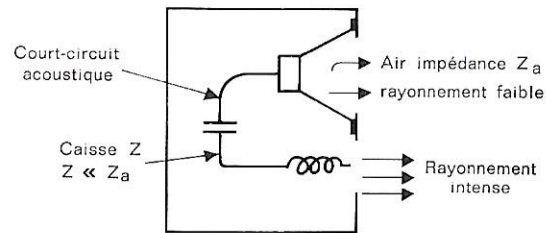


Fig. III.6  
Comportement du bass-reflex à la fréquence de résonance du H.P.

En résumé, l'inverseur de phase permet d'améliorer le rendement dans les basses tout en jugulant en quelque sorte la résonance principale du haut-parleur par son rôle de résonateur qui court-circuite l'arrière du diaphragme et évite le grand déplacement du haut-parleur au voisinage de sa résonance (la charge acoustique se substitue à l'amortissement électrique très faible à la résonance du haut-parleur) (fig. III.6).

En conclusion, le bass-reflex a un rendement très important dans le grave jusqu'à une fréquence qui dépend du volume de la caisse, de la fréquence de résonance du haut-parleur et de son diamètre.

Le son produit est de haute qualité car l'émission du grave est celle d'un résonateur pur. Le haut-parleur est soumis à un freinage au voisinage de sa résonance qui évite les grands débats, donc la production de distorsion due à la non-linéarité du déplacement du haut-parleur.

#### IV - LE RADIATEUR PASSIF

Comme pour le labyrinthe ou le meuble inverseur de phase, les enceintes à radiateurs passifs utilisent l'émission secondaire d'un évent en phase avec le haut-parleur principal. L'évent est dans ce cas obturé hermétiquement par un radiateur passif à très faible fréquence de résonance. Au voisinage de la résonance de l'enceinte, ce radiateur agit comme une "pompe" et renforcera l'émission du haut-parleur principal. Le réglage de telles enceintes est assez délicat car il se produit quelquefois un phénomène de dédoublement de fréquences nuisible à la reproduction nette des basses et au rendu en transitoires.

#### V - LE BAFFLE PLAN

S'il est de grande dimension et parfaitement rigide (illustration d'un modèle décrit par G.A. BRIGGS (fig. III.7), les résultats obtenus peuvent être spectaculaires. Cependant, une dissymétrie dans la position du haut-parleur sur le baffle est nécessaire pour éviter une réponse accidentelle et des crevasses dans la restitution du grave (fig. III.8).

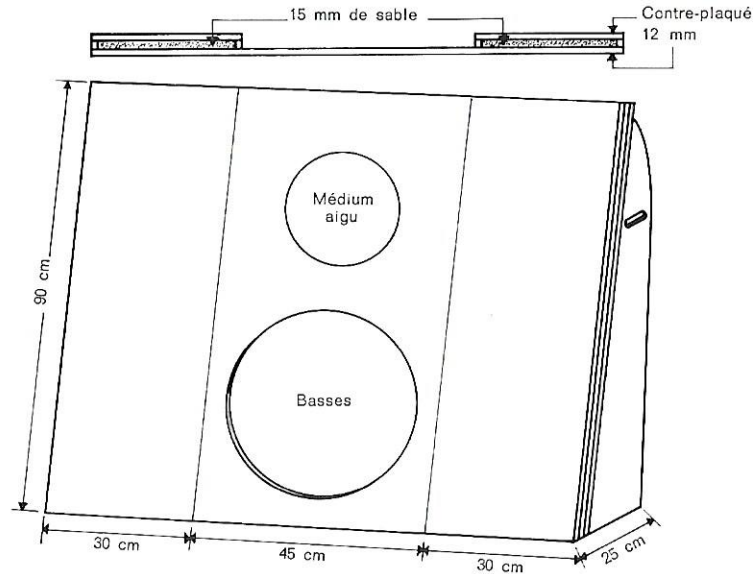


Fig. III.7  
Un excellent baffle plan sablé

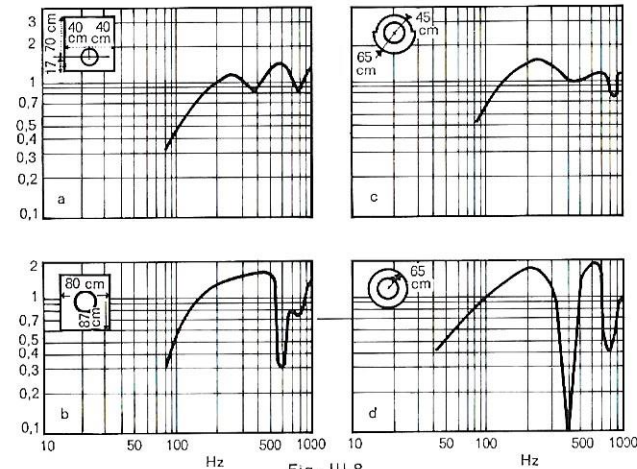
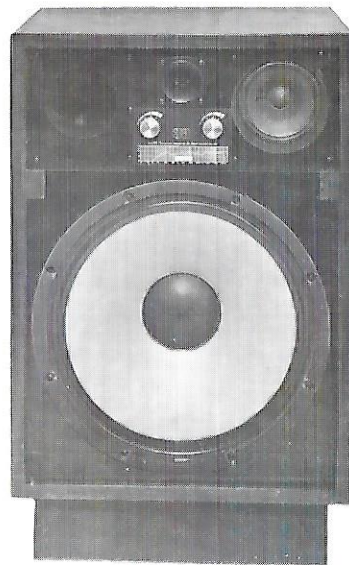


Fig. III.8

- (d'après « Electroakustiches Tachenbusch » G. Neumann et C<sup>o</sup>, Berlin)  
 Courbes de réponse d'un haut-parleur monté sur baffle plan  
 a) Baffle rectangulaire 80 x 90 cm ; haut-parleur excentré ;  
 b) Baffle rectangulaire 80 x 90 cm ; haut-parleur au centre. Noter le minimum accusé à 600 Hz ;  
 c) Baffle plan formé de deux demi-cercles de rayons différents (45 et 65 cm) ;  
 d) Baffle plan circulaire de 128 cm de diamètre ; haut-parleur au centre. Noter le minimum très accusé à 400 Hz



apogée  
50 w - HP grave 26 cm



Arioso 3a  
80 w - HP grave 38 cm

## VI - LES ENCEINTES ANTIRÉSONNANTES AMORTIES 3a

*Ce type d'enceinte est un compromis entre l'enceinte close et l'enceinte antirésonnante (Bass reflex).*

Il consiste à charger l'arrière du haut-parleur basse par une enceinte secondaire dont la cloison est constituée par une matière poreuse dont le taux de transmission des ondes est judicieusement choisi pour atténuer la résonance supérieure du Bass reflex. Cette cavité est réalisée avec du feutre industriel, ou du Fiberglass selon le diamètre et la souplesse du haut-parleur grave.



## VII - LES TRANSFORMATEURS ACOUSTIQUES :

### LES PAVILLONS

Pour améliorer le rendement très faible des enceintes acoustiques munies de haut-parleurs à membrane, certains fabricants utilisent des haut-parleurs spéciaux à très haut rendement. Ces haut-parleurs sont munis d'un pavillon qui joue le rôle de transformateur d'impédance. Il améliore le couplage entre le diaphragme du haut-parleur et l'air ambiant.

*Un pavillon est en fait un transformateur acoustique grâce auquel les ondes sonores émises par le diaphragme du haut-parleur sont canalisées de manière à ébranler, sans discontinuité, un volume d'air de plus en plus important.*

A l'entrée du pavillon (gorge) se trouve une source de haute impédance interne capable de créer à l'intérieur d'un petit volume, d'importantes variations de pression, qu'il s'agit de mettre harmonieusement en rapport avec un récepteur de faible impédance (l'air de la salle d'écoute) (fig. III.9).

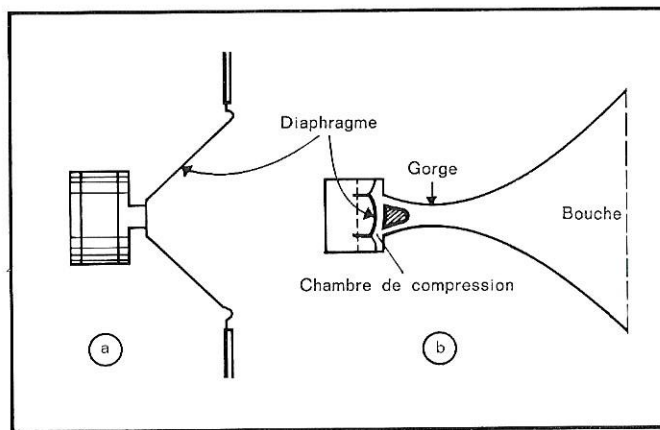


Fig. III.9

Adaptation du radiateur à l'atmosphère. En a : H.P. à radiation directe ; l'adaptation (plus ou moins bonne) est obtenue en donnant au radiateur une grande surface. En b : H.P. à pavillon. Le radiateur est petit, mais son impédance est adaptée à celle de l'atmosphère par un transformateur : le pavillon. L'adaptation meilleure confère à ces H.P. un rendement plus élevé

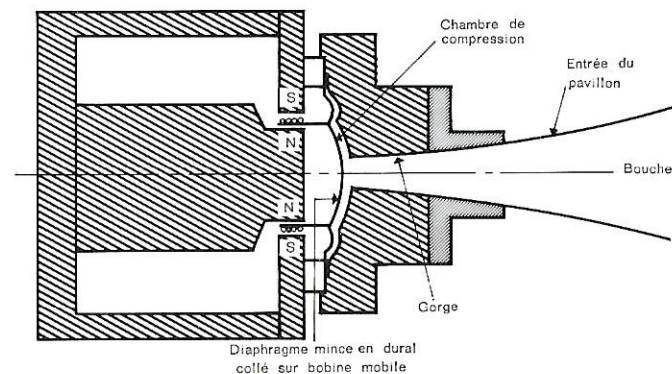
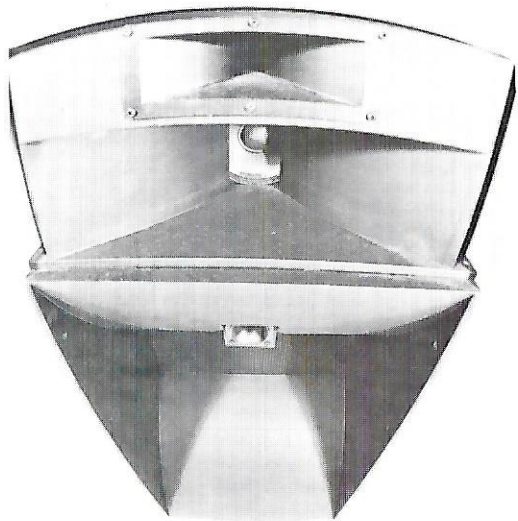
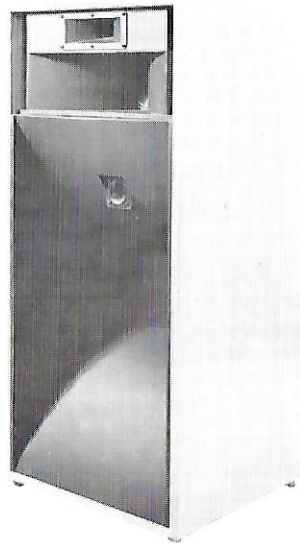


Fig. III.10

Haut-parleur à chambre de compression



Auditoria 3a 100 w - 4 pavillons



Grâce à l'effet transformateur du pavillon, un petit diaphragme rigide et léger de 10 cm de diamètre est capable d'ébranler l'air d'une section terminale de quelques dizaines de  $\text{dm}^2$ .

*Ce système de pavillon sera donc utilement employé pour obtenir des systèmes sonores à fort rendement.*

Chambre de compression d'extrême aigu (fig. III.10).  
Enceinte acoustique à pavillons chargeant l'avant d'un radiateur classique : l'auditoria 3a (fig. III.11).

L'Auditoria 3a est une enceinte 100 watts, 4 voies, à 4 pavillons, de très haut niveau (105 dB à 1 m).

Ces systèmes présentent des courbes de réponses extrêmement régulières et une distorsion très faible (due aux faibles mouvements nécessaires, donc à la faible énergie dissipée dans les haut-parleurs).

Cependant, ils nécessitent l'emploi de système à 3 ou 4 voies de façon à fractionner le spectre sonore.

# Quatrième Livret

## LE LOCAL

Nous avons vu la complexité de l'équation du haut-parleur et l'influence de l'air sur son fonctionnement. En dehors de ces phénomènes interviennent les dimensions, la forme géométrique et la sonorité de la pièce d'écoute. Il faut également y ajouter la position du haut-parleur par rapport aux murs, aux angles, au sol.

*Le premier axiome très important est le suivant :*

Un son pur ne sera correctement reproduit que si la salle d'écoute a une dimension au moins égale à sa demi-longueur d'onde.

*Ainsi l'ut de 32 Hz demande 5,25 m. Dans une pièce plus petite, l'intensité sonore sera très faible et la meilleure enceinte linéaire dans le grave donnera toujours l'impression d'un manque d'extrême grave.*

Sur la figure IV.1, on constate également qu'un haut-parleur placé dans une encoignure (dirigé selon la diagonale de la pièce) rayonne 2 fois plus d'énergie qu'en position B et quatre fois plus qu'en C (fig. 4.2).

On dit que la *position d'encoignure "favorise les basses"* (position A, fig. 4.1 et 4.2). Si l'enceinte a une réponse dans le grave peu étendue, cette position peut être favorable ou pour une écoute faible niveau. *Cependant si l'enceinte est équipée d'un haut-parleur de diamètre important à grande linéarité dans le grave, cette position peut donner un excès de grave agissant sur la définition.*

*De toute façon, on aura toujours intérêt à surélever les enceintes pour éviter les réflexions sur le sol. Si l'enceinte est trop volumineuse, un amortissement important par moquette au tapis peut être utilisé (position B, fig. 4.1 et 4.2).*

La position enceinte de bibliothèque demande une très grande linéarité dans les basses difficiles à obtenir d'une petite enceinte en dehors des systèmes asservis (position C, fig. 4.1 et 4.2).

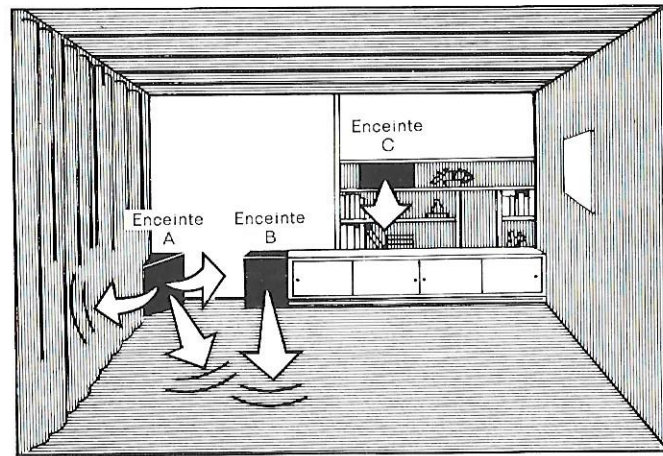


Fig. IV.1

La position d'une enceinte agit considérablement sur la réponse en basses :  
A. Les basses sont renforcées de 6 à 8 dB par la réflexion sur les murs et sur le sol - B. Les basses sont un peu gonflées par la réflexion sur le sol (3 à 4 dB) - C. Les basses sont très naturelles



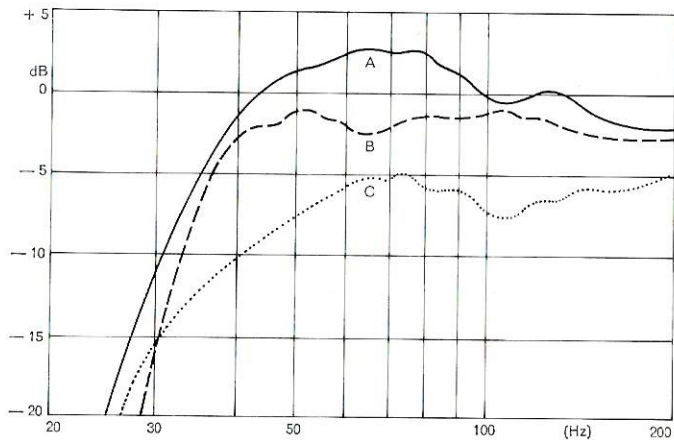
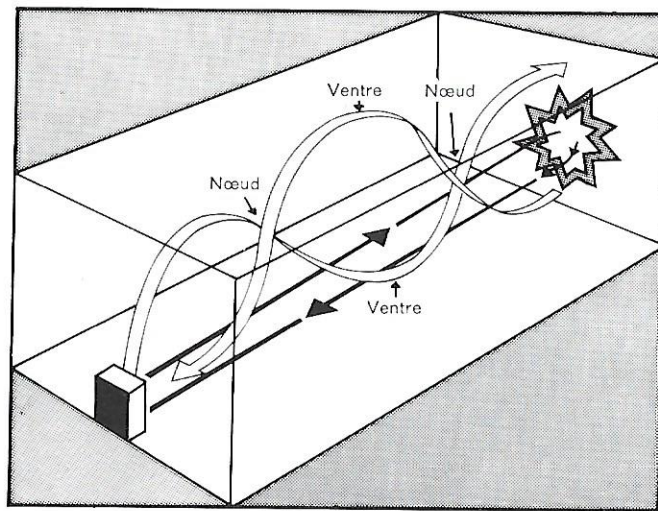


Fig. IV.2

Influence de la position du haut-parleur sur la courbe de réponse. Les expériences ont été conduites avec l'enceinte B2 de 140 dm<sup>3</sup>, équipée d'un haut-parleur de 30 cm de diamètre. Microphone à 1 mètre sur l'axe du haut-parleur. Puissance électrique dissipée dans la bobine mobile : 4 W à 200 Hz  
 A : position d'encoignure. - B : contre un mur. - C : au centre de la pièce



Ventre = maximum de puissance  
 Nœud = annulation de la puissance

Fig. IV.3

Haut-parleur émettant un son pur à 50 Hz dans une pièce de 7 m de long. La longueur de la pièce égalant la longueur d'onde du son, ventres et nœuds se produisent par réflexion sur le mur opposé

Aux phénomènes précédents s'ajoutent les résonances de la pièce. Elles se produisent quand une dimension quelconque est multiple d'une demi-longueur d'onde de la fréquence émise (fig. IV.3).

Il peut arriver que la fréquence de résonance fondamentale du haut-parleur dans son enceinte coïncide avec celle du local. Les résultats peuvent être catastrophiques.

Dans ce cas, seule l'expérience peut permettre de trouver une place optimum par déplacement des enceintes évitant une trop grande excitation des résonances de la pièce.

Enfin, la nature des murs et des ouvertures influe très fortement sur les résonances et sur la réverbération de la pièce (phénomène d'écho).

Nous allons insister sur la notion de temps de réverbération que nous savons mal connue ou souvent ignorée et, par quelques règles simples, permettre à l'amateur de musique de tester sa salle d'écoute et éventuellement de l'améliorer.

Par expérience, chacun a une idée de la notion de réverbération.

C'est physiquement le temps qui s'écoule entre le moment d'émission d'un son et le moment où l'intensité de ce son est 60 dB plus faible (rapport 1000) (fig. IV.4).

Ce temps doit être compris entre 0,7 et 1,5 sec. S'il est inférieur à 0,7 sec., la pièce est trop mate, ou encore sourde. Elle donne l'impression d'étouffer les sons. (Elle donne une impression identique à celle d'une bonne cabine téléphonique.) Au-delà de 1,5 sec., il y a phénomène de réverbération, d'écho si le temps est supérieur à 5 sec. (son caverneux, doublage du son, écho).

Ce temps de réverbération dépend évidemment de la dimension de la pièce.

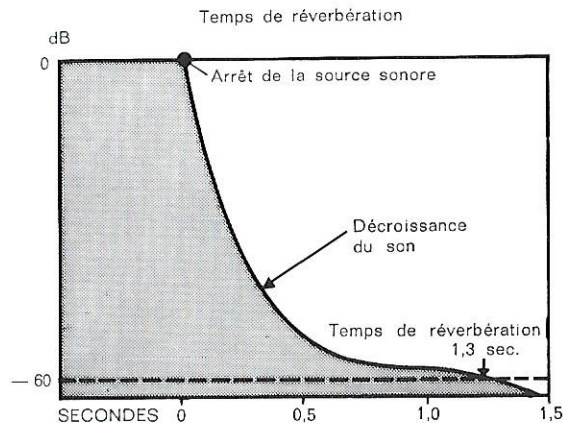


Fig. IV.4

#### UNITÉS D'ABSORPTION SONORE POURS DIVERS MATÉRIAUX

##### Matériaux absorbants

personne debout		0,42
chaise tapissier		0,45
personne assise sur une chaise tapissier		0,45
chaise en bois		0,25
enfant debout		0,28
carpette grande largeur (m <sup>2</sup> )		0,35
moquette épaisse (m <sup>2</sup> )		0,8
panneau acoustique référence 2,5 cm d'épaisseur (m <sup>2</sup> )		1
draperies légères - rideaux légers (m <sup>2</sup> )		
verte tergal		0,4
draperies moyennes reps dralon (m <sup>2</sup> )		0,52
draperies lourdes velours laine (m <sup>2</sup> )		0,55
tapisserie genre Aubusson (m <sup>2</sup> )		0,58
canapé tapissier		0,92
porte ouverte - fenêtre ouverte		0

##### Matériaux réfléchissants

glace vitre (m <sup>2</sup> )	0,03
plâtre nu (m <sup>2</sup> )	0,04
plancher (m <sup>2</sup> )	0,03
linoléum (m <sup>2</sup> )	0,04
béton ou brique (m <sup>2</sup> )	0,025

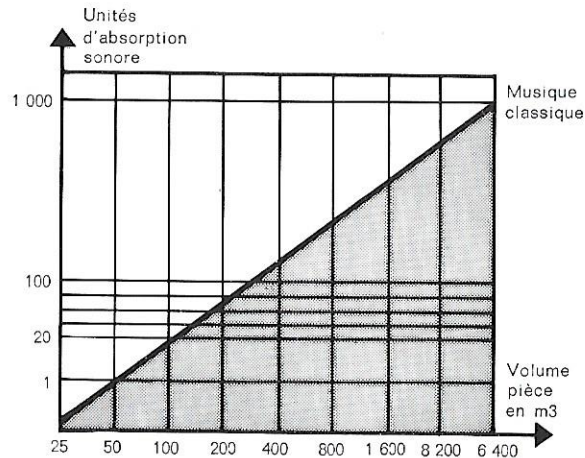


Fig. IV.5  
Unités d'absorption sonore fonction du volume de la pièce

Des appareils acoustiques très compliqués permettent la mesure réelle de ce temps de réverbération. Nous allons indiquer ici deux méthodes très simples qui permettent de vérifier le temps de réverbération d'une salle d'écoute.

#### 1. *Test des clés.* - Méthode empirique peu précise.

La méthode la plus simple est finalement l'agitation d'un trousseau de clés dans le local aux environs des haut-parleurs.

Si le son produit résonne ou se prolonge anormalement (petit écho), la pièce est trop sonore et il faudra ajouter 1 ou 2 tapis, quelques fauteuils, 1 grand rideau. Si le son produit est très mat, disparaissant aussitôt, sans éclat, la pièce est trop absorbante et il faudra ajouter quelques surfaces lisses réfléchissantes (tables, cadres), éventuellement retirer une moquette ou une tapisserie.

#### 2. *Méthode de l'abaque* (fig. IV.5)

Grâce à l'abaque de la figure IV.5, on peut très facilement, connaissant le volume d'une pièce, trouver l'absorption optimale nécessaire (au moins approximative). Par exemple : une pièce de  $3 \times 4,80 \times 7,50$  m (dimension proportionnelle au Nb d'OR 1 ; 1,6 ; 2,5), de volume 110 m<sup>3</sup>, nécessitera 20 unités d'absorption sonore (fig. IV.5).

Ensuite, en se rapportant au tableau IV.4, et compte tenu de l'équipement du salon d'écoute, un calcul arithmétique très simple permettra de se rendre compte si cette pièce contient les 20 unités d'absorption sonore ou non.

Cette unité d'absorption sonore est arbitrairement définie comme un matériau de surface 1 m<sup>2</sup> dont le coefficient d'absorption acoustique est pris en référence pour mesurer les autres.

Ainsi, dans notre exemple, c'est un tissu acoustique de 2,5 cm d'épaisseur qui est cette référence.

Tous les autres matériaux sont définis à partir de cet étalon.

Le calcul rapide de notre salle d'écoute donnerait :

moyenne 6 personnes assises	2,7
chaises	2,2
sol recouvrant un tapis $4 \times 3 = 12 \text{ m}^2$	
moquette genre tapisom	4,2
1 panneau vitré recouvert de voile type tergal	
$3 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$	4,8
2 panneaux double rideaux	
2 fois $3 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 6 \text{ m}^2$	3
1 canapé	0,9
3 murs plâtre + papier peint (0,04/m <sup>2</sup> )	
$3 \times 4,80 = 14,50$	
$+ 2 \times 3 \times 7,50 = 45$ , soit $60 \text{ m}^2$	2,4
	<hr/>
	20,2

Il est bien évident que ce calcul ne doit pas être pris rigoureusement à la lettre (précision de 30 %) mais il évitera simplement de grossières erreurs comme celles qui consisteraient dans la même pièce :

*Erreur 1 : Pièce trop sonore*

1) à supprimer la moquette	perte 4,2
2) les rideaux et double rideaux	perte 4,8
	perte 3,0

Dans ce cas, les unités d'absorption acoustique tomberaient à 8,0 et la salle serait trop sonore, trop réverbérante.

*Erreur 2 : Pièce trop mate*

De la même façon, s'il y avait une moquette épaisse sur toute la pièce, soit  $36 \text{ m}^2$  au lieu de  $12 \text{ m}^2$

augmentation de 8,3

Des tentures murales en tapisserie genre Aubusson, par exemple 3 tapisseries de  $2 \times 3$ , soit  $18 \text{ m}^2 \times 0,55$

augmentation de 10

Le total deviendrait proche de 40 et la pièce serait trop sourde.

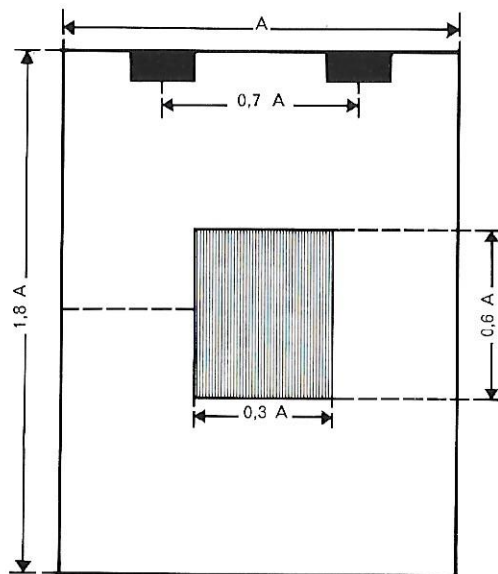
*La pièce idéale...*

La plus défavorable est la pièce cubique, car les résonances sont identiques et s'amplifient.

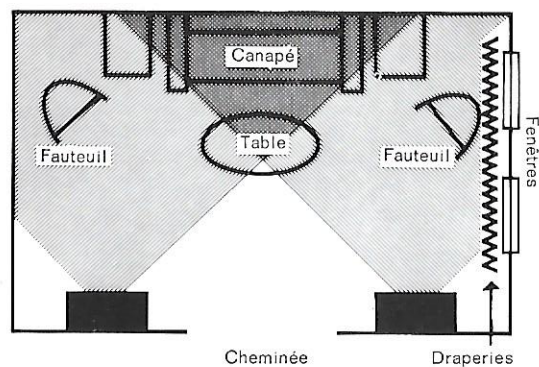
Selon le "nombre d'or", les dimensions de la pièce idéale sont dans la progression 1, 1,6, 2,5, aussi une pièce de 3 m de hauteur aurait comme longueur  $4,8 \times 7,5 \text{ m}$  !

Pour d'autres spécialistes, il suffit de la progression 1. 2. 3. Cependant ces dimensions ne sont pas aussi critiques et les pièces très irrégulières donnent aussi très souvent des résultats spectaculaires.

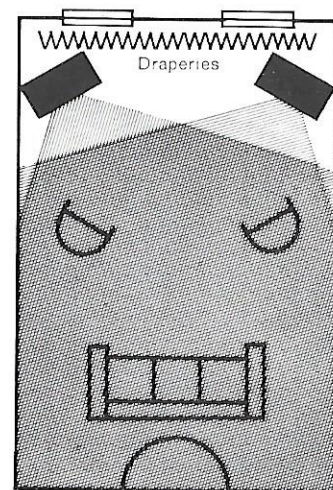




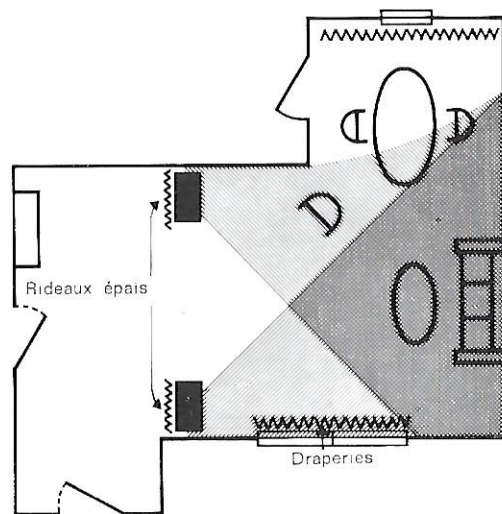
L'emplacement stéréo optimum I



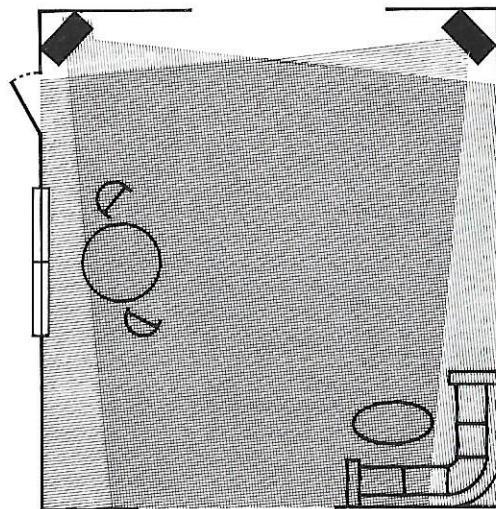
Une bonne installation  
(Basses naturelles mais zone  
stéréo réduite au canapé)



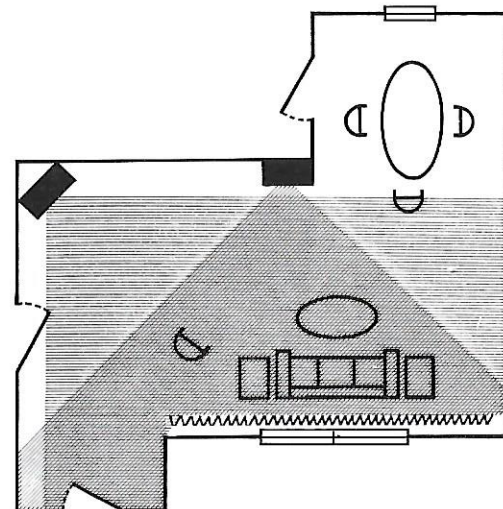
Une excellente installation avec  
enceintes surélevées au sol de 50 cm  
(Zone stéréo très large - Basses  
naturelles. Eviter les murs latéraux  
trop réfléchifs, objets, cadres, ten-  
tures, tapisseries)



Une installation moyenne  
Basses naturelles même avec  
enceintes au sol. Zone stéréo  
assez large



Mauvaise installation  
Basses renforcées par  
la position des enceintes et l'emplacement  
du canapé circulaire



Installation discutable  
car nécessitant un réglage de balance des deux voies stéréo

# Cinquième Livret

## A PROPOS DES ENCEINTES ASSERVIES

### Le système APF - 3a

(acoustic pressure feedback system)

Grâce à l'asservissement APF, l'andante et ses 22 dm<sup>3</sup> (46 × 28 × 19) reproduit linéairement l'extrême grave (30 Hz) et ceci avec une puissance efficace de 60 watts. Cette qualité sonore est identique à une enceinte acoustique 20 fois plus volumineuse.

### THÉORIE DE L'ASSERVISSEMENT APF

"L'asservissement d'une enceinte acoustique consiste à intégrer dans une boucle de contre-réaction le système électro-acoustique (haut-parleur, enceinte acoustique, air ambiant)."

### a) THÉORIE DE LA CONTRE-RÉACTION

Chacun sait que tous les amplificateurs depuis fort longtemps sont soumis à des contre-réactions plus ou moins fortes (fig. V.1). Ainsi on prélève une fraction B de la tension de sortie des amplificateurs en S et on la retranche de la tension d'entrée en E.

Le résultat technique de cette contre-réaction est double.

— 1° Réduction du gain de l'amplificateur passant de G sans contre-réaction (on dit encore en boucle ouverte)

$$\text{à } G_1 = \frac{G}{1 + BG} \approx \frac{1}{B} \text{ si } BG \gg 1$$

avec contre-réaction (ou encore en boucle fermée).

Cette réduction s'exprime en général en dB.

Une réduction de 2 correspondant à 6 db

Une réduction de 10 correspondant à 20 dB



Andante Master Control  
Première enceinte mondiale asservie en pression

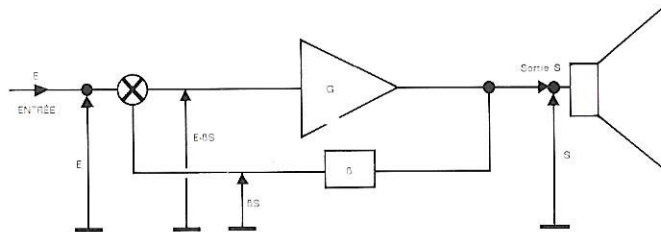
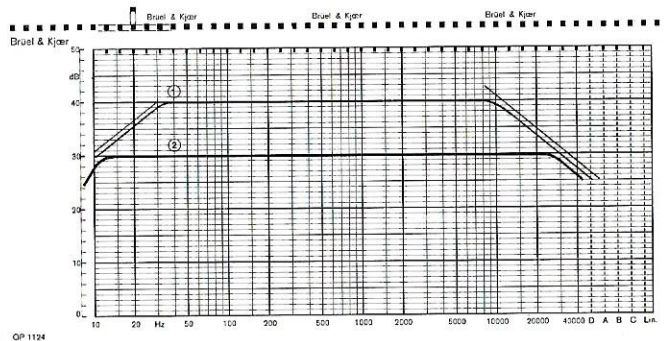


Fig. V.1

Amplificateur avec boucle de contre-réaction



- ① Amplificateur sans contre-réaction  
Bande passante 25 Hz - 14 KHz - 3 dB  
 $d\% = 1,2\%$
- ② Amplificateur avec 10 dB de contre-réaction  
Bande passante 8 Hz - 36 KHz - 3 dB  
 $d\% = 0,23\%$

Fig. V.2

Amélioration de la bande passante par contre-réaction

selon la formule  $20 \text{ LOG } x$

$x$  étant la réduction du gain  $\frac{G}{G1}$

— 2° Cette réduction de gain est bénéfique car elle est liée à une meilleure linéarité et à un moindre taux de distorsion, ceci pour un même niveau de sortie (fig. V.2)

$$d\% = B \times d\%$$

- 1 - Bande passante 25 Hz - 14 K Hz à  $-3$  dB  
2 - Bande passante 8 Hz - 40 K Hz à  $-3$  dB

## b) CONTRE-RÉACTION APPLIQUÉE

### A UN SYSTÈME ÉLECTROACOUSTIQUE

Si l'on reprend l'idée précédente, on est tenté de vouloir intégrer le haut-parleur dans la "boucle" en prélevant non plus la tension en S avant le haut-parleur mais... une tension quelconque en S' (fig. V.3).



En effet, un haut-parleur dans la gamme de fréquence basse (au-dessous de 300 Hz) peut être assimilé à un piston se déplaçant dans un champ magnétique NS (fig. V.4).

Le haut-parleur a une masse  $M$ .

Sa souplesse est  $S$ .

Son déplacement est limité par l'air ambiant d'une part et par le volume de l'enceinte et l'air enfermé dans cette enceinte d'autre part.

L'ensemble de ces forces de rappel ou encore de ces frottements sera appelé  $R$ .

Si l'on analyse le fonctionnement du haut-parleur on voit tout de suite que sa linéarité est très réduite car les suspensions et les frottements s'opposent au libre déplacement de la membrane.

Ainsi lorsqu'une tension importante de faible fréquence (30 à 80 Hz) est appliquée au haut-parleur, le déplacement de celui-ci n'est pas linéaire et la forme d'onde transmise à l'air est déformée, d'où la distorsion importante de l'extrême grave que l'on rencontre dans toutes les enceintes quelles qu'elles soient (fig. V.5).

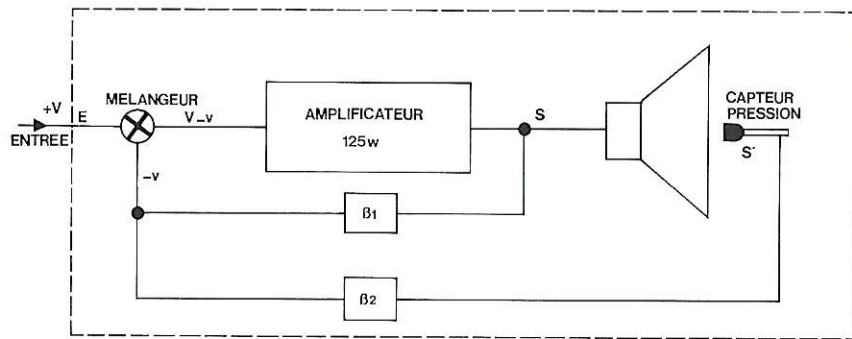


Fig. V.3

Contre-réaction appliquée à un système électro-acoustique

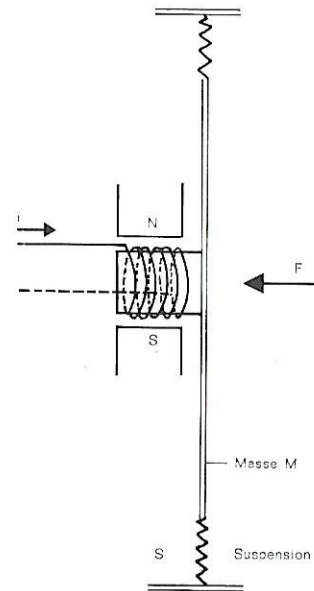


Fig. V.4

Schéma d'un haut-parleur plan

Ainsi, si cette tension captée par un microphone pouvait être ramenée en contre-réaction à l'entrée de l'amplificateur, la linéarité, la distorsion et la bande passante de l'enceinte acoustique liée à son amplificateur et formant maintenant un tout indissociable seraient grandement améliorées (fig. V.6).

— Maintenant le gain devient :  $G' = \frac{G}{1 + B1 \times B2 \times G}$

Si un défaut apparaît au niveau du haut-parleur (chute de niveau, déformation), le microphone enregistrant cette anomalie transmettra une contre-tension (en opposition de phase) à l'entrée de l'amplificateur, de telle sorte que la nouvelle tension de sortie soit corrigée.

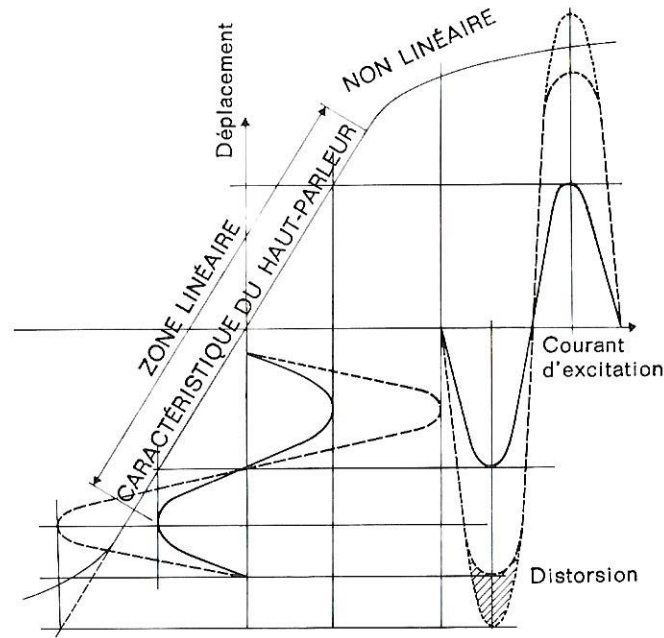


Fig. V.5  
Caractéristique déplacement/courant du haut-parleur  
La petite sinusoïde est reproduite parfaitement. La grande sinusoïde (transitoire par exemple) est écrêtée par la non-linéarité de la caractéristique haut-parleur. L'asservissement remédiera à cela en augmentant le niveau d'entrée par contre-réaction avec un signal complémentaire de la partie perdue (hachurée)

Seulement, ce procédé miracle n'est réalisable qu'à deux conditions :

### 1°) PERTE APPARENTE DE PUISSANCE DE L'AMPLIFICATEUR

6 dB de contre-réaction correspond par exemple à une division de la puissance de l'amplificateur par 4 aux fréquences moyennes. La pleine puissance de l'amplificateur n'est alors utilisée qu'en très basse fréquence, de façon à compenser avec des watts supplémentaires le mauvais rendement du haut-parleur (voir fig. V.7, courbe A).

Si l'amplificateur d'asservissement fait 60 watts, la puissance disponible (constante dans la bande passante linéaire de 20 Hz à 20 kHz) ne sera plus que de 15 watts et en particulier dans l'octave 250/500, octave contenant la puissance orchestrale, d'où la nécessité absolue d'utiliser des amplificateurs très puissants.

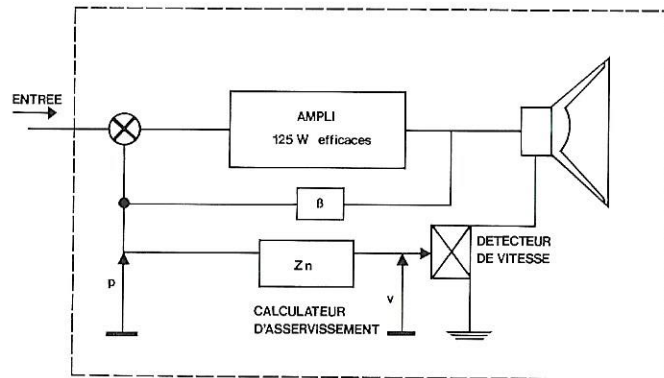


Fig. V.6  
Principe de l'asservissement de pression

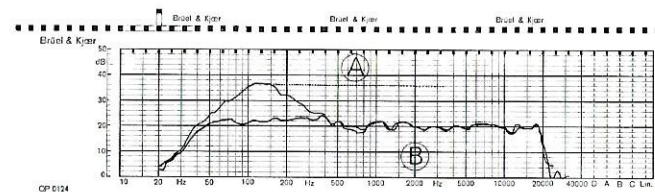


Fig. V.7  
La courbe A est la réponse du haut-parleur sans asservissement ;  
la courbe B réponse de l'enceinte asservie

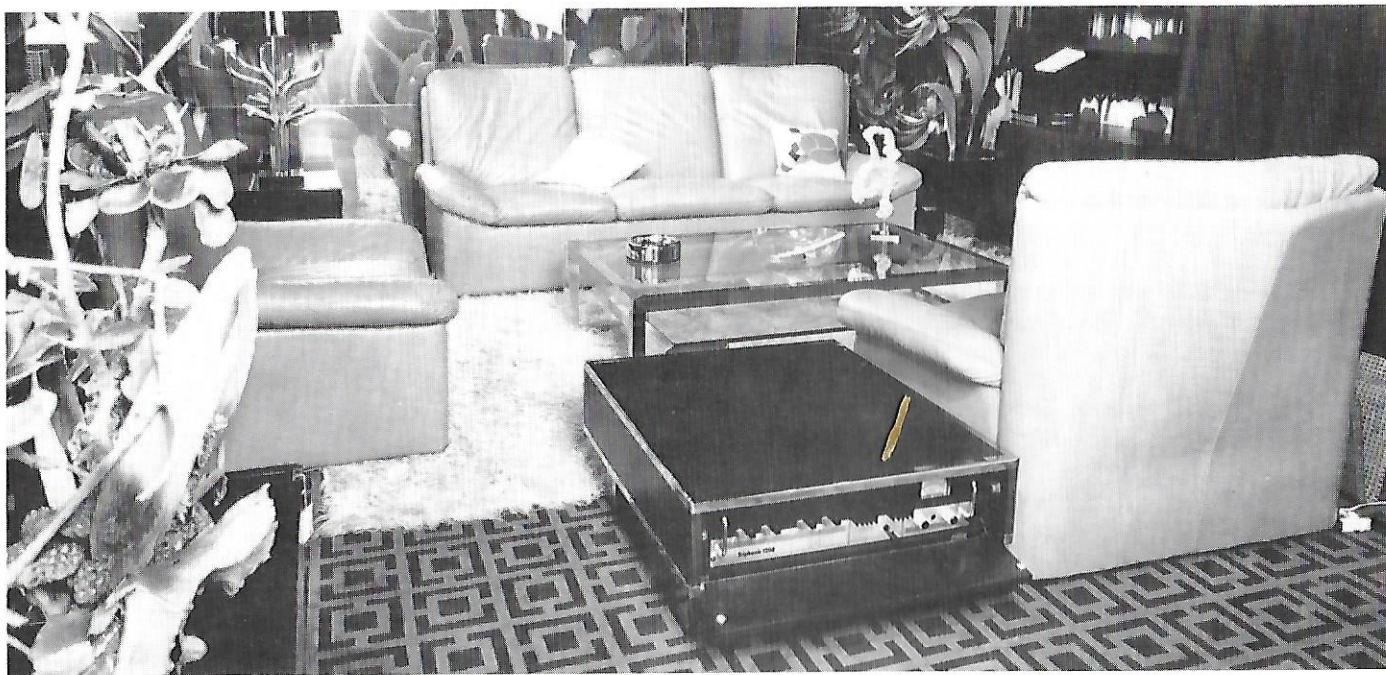
*L'andante 3a asservit un amplificateur de 125 watts efficace sur 8 ohms — grâce au taux de contre-réaction de 10 dB la puissance maximum linéaire dans le spectre sonore est de 60 watts, mais la puissance disponible en crête (ou musicale) reste de 125 watts au-delà de 100 Hz (fig. V.8). On peut dire encore que la puissance non linéaire (qui épouserait la courbe de puissance orchestrale, fig. 2/3) est de 125 watts (puissance musicale).*

**2°) CAPTER LA TENSION S' DE TELLE SORTE QU'ELLE SOIT REPRÉSENTATIVE DE LA PRESSION ACOUSTIQUE COMMUNIQUÉE A L'AIR AMBIANT PAR LE DÉPLACEMENT DU HAUT-PARLEUR.**

C'est l'objet du système inventé par "3a" = APF.

Pour comprendre aisément le système APF (acoustic pressure feedback), il faut se rappeler que l'énergie acoustique rayonnée par l'une des faces du haut-parleur est liée à la pression résultante exercée par l'air sur le haut-parleur (l'air s'oppose en effet au déplacement libre du haut-parleur au même titre que l'enceinte charge l'onde arrière).

Cette pression résultante est intégrée puisque résulte de pressions locales sur chaque point de la membrane. L'intégrale est simple si le haut-parleur fonctionne en piston, elle devient très complexe dans les cas usuels car le haut-parleur est soumis à des déformations diverses dues à ses suspensions, à ses résonances...



Le système triphonic 3a asservi



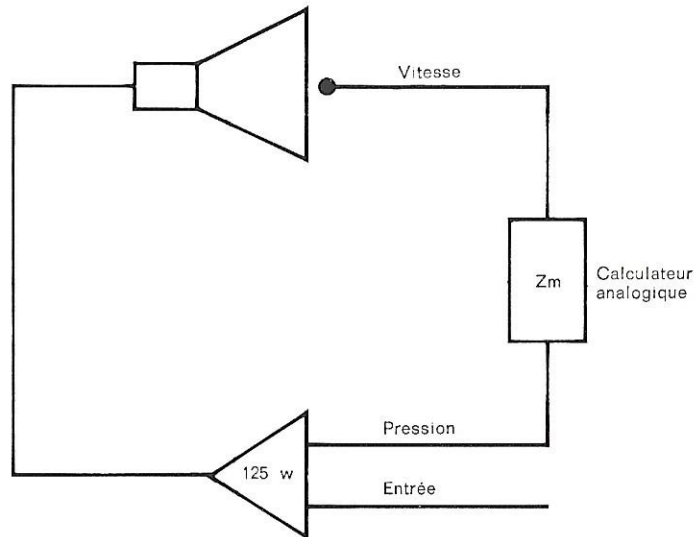
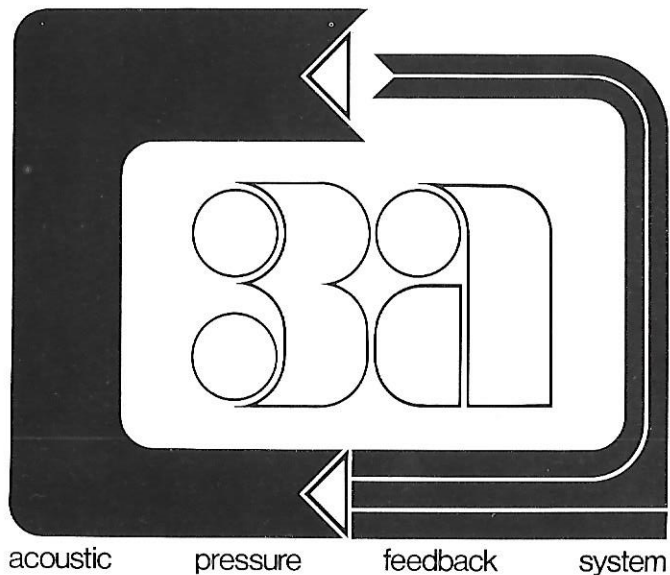


Fig. V.9

Le système A P F « 3a » d'asservissement de pression

Cette pression qui s'oppose au déplacement du haut-parleur est reliée selon la théorie des haut-parleurs à la vitesse de déplacement de la membrane par la fonction de transfert  $Z_m$  (fig. V.9).

$$f = Z_m \cdot u$$

en notation complexe

$Z_m$ , l'impédance de rayonnement, est relative à une face du haut-parleur. Elle dépend de la fréquence.

C'est un nombre complexe -  $Z_m = jM\omega + \frac{K}{j\omega} + R$

$M$  = masse d'inertie

$K$  = coefficient d'élasticité

$R$  = force de frottement

Rappelons que  $F$  est relié à la pression acoustique résultante par une intégration sur le diagramme du haut-parleur :  $F$  est la force le long de l'axe résultant de l'intégration des pressions en tout point du haut-parleur.

$$F = \iint p \, ds.$$



Il suffit donc de détecter la vitesse de déplacement  $u$  de la membrane excitée, de transformer cette tension par un réseau électronique ayant pour fonction de transfert  $Z_m$  (impédance de rayonnement du haut-parleur) pour obtenir une tension proportionnelle à  $f$  donc, par intégration sur la surface, proportionnelle à  $p$ . (Si la surface était plane et uniforme :  $F = p \times S$ .)

LE SYSTÈME A P F (*Acoustic Pressure Feedback*) (fig. V.9)

1° - Pont de vitesse :

La vitesse est détectée par un système de pont de Maxwell, méthode connue pour mesurer les caractéristiques des haut-parleurs.

2° - Calculateur analogique d'asservissement :

Cet amplificateur à fonction de transfert complexe  $Z_m$  a été obtenu expérimentalement en comparant la pression acoustique réelle devant le haut-parleur à la vitesse de déplacement de la bobine.

La composition vectorielle en ces deux grandeurs permet de déterminer la fonction en module et phase. Un circuit électronique en rétroaction sur un amplificateur à très grand gain permet d'obtenir une image de  $Z_m$  très fidèle.

La tension vitesse est appliquée à ce circuit et la tension de sortie est une simulation parfaite de la pression acoustique

3° - Les résultats :

L'amplificateur nécessaire pour la reproduction linéaire de 30 Hz est de 125 watts. La membrane du haut-parleur à cette fréquence se déplace de 2 cm pour une puissance électrique d'attaque 5 watts à 30 Hz correspondant tout de même à un programme musical de 100 watts (voir fig. I.2).

Ainsi le système A P F permet d'obtenir d'une enceinte miniature le même rendement dans le grave et l'extrême grave (très peu d'enceintes sont linéaires jusqu'à 30 Hz même avec 500 dm<sup>3</sup>) qu'avec des enceintes 15 à 20 fois plus volumineuses. La distorsion est extrêmement faible puisque difficilement mesurable à partir de 60 Hz. A 40 Hz elle reste inférieure à 2 %. Dans le même volume, sans asservissement, une enceinte identique donnerait 8 % de distorsion.

1 watt	30 Hz	40 Hz	50 Hz	80 Hz	100 Hz	250 Hz
Enceinte normale	13 %	7,8 %	5 %	3 %	1,9 %	2 %
même vol. Enceinte asservie	3 %	1,8 %	1,2 %	0,9 %	0,5 %	0,6 %

Enfin reste l'écoute, seul juge final de toute cette technique...

Une enceinte, neutre très transparente au grave profond... de taille miniature.

# *Sixième Livret*

## *DE L'OREILLE HUMAINE*

L'oreille humaine est un magnifique instrument acoustique à pavillon.

Le pavillon de l'oreille sert de collecteur de sons pour le canal auditif externe, dont la colonne d'air actionne le tympan jouant le rôle de membrane couplée à la fenêtre ovale de l'oreille interne par deux os articulés appelés le marteau et l'enclume (fig. VI.1).

L'amplification de pression vibratoire de l'oreille est de l'ordre de 60.

Cependant, si l'oreille est très sensible, ce n'est pas un organe linéaire en fonction de la puissance sonore.

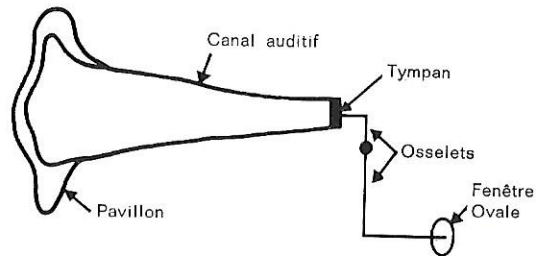


Fig. VI.1

Adaptation de l'impédance acoustique de l'air à celle de l'oreille interne



Linéaire de Contrôle  
l'enceinte linéaire 35 Hz 30000 Hz +3dB

Des tests nombreux ont conduit à définir les courbes de sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence et de la puissance. Comparés au niveau physique du son, on définit ainsi un niveau physiologique, c'est-à-dire le *niveau physique nécessaire pour produire à 1 000 Hz la même sensation d'intensité sonore.*

On voit sur les courbes de Fletcher Munson (fig. VI.2) qu'à forte puissance (120 dB) l'oreille est très linéaire mais on est au seuil de la douleur !!!

La courbe marquée 0 représente le seuil d'audibilité de l'oreille en fonction de la fréquence.

On constate également que le maximum de sensibilité de l'oreille est vers 3 000/5 000 Hz.

On voit également que pour une écoute à faible niveau (courbes + 20 ou + 30 dB) la variation importante du niveau physiologique par rapport à la fréquence oblige à agir de façon notable sur la puissance sonore.

*Ainsi, sur la courbe 0 (seuil de sensibilité), la pression sonore à 90 Hz doit être de 40 dB (c'est-à-dire 100 fois plus élevée qu'à 1 000 Hz !!!).*

Cependant, ces différences s'atténuent lorsque le niveau sonore croît. D'où l'impossibilité de reproduire en haute fidélité à trop faible niveau.

On estime que les niveaux sonores habituels sont compris entre 30 et 100 dB. A 120 dB, on approche du seuil de douleur.

Les niveaux atteints dans les salles de concert restent au-dessous de 120 dB mais peuvent atteindre 110 à 115 dB.

A ces niveaux, l'oreille est très linéaire.

D'autre part, l'expérience montre que la différence de niveau sonore dans une salle de concert entre les forte et les pianissimi est comprise entre 40 et 80 dB. Cette différence de niveau est appelée *dynamique.*

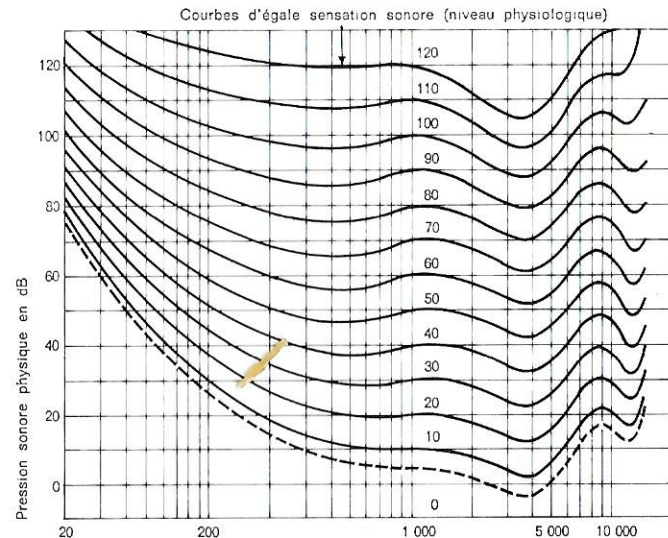


Fig. VI.2  
Courbe de Fletcher Munson

Les courbes précédentes montrent surtout que la *tonalité* d'un son complexe varie nécessairement avec son niveau.

*Si l'on considère seulement le cas de deux sons de fréquences 200 et 2 000 Hz à un niveau physique de 20 dB, le premier est inaudible alors que le second l'est !*

On comprend maintenant que pour un son complexe de composition fixe au point de vue physique, la sensation de tonalité puisse varier avec le niveau.

Les courbes précédentes montrent qu'en abaissant le niveau on favorise les fréquences médiales de 800 à 5 000 Hz pour lesquelles la sensibilité de l'oreille est la plus forte.

*Ainsi l'augmentation du niveau d'un son complexe fait paraître la tonalité plus grave alors que sa diminution fait paraître la tonalité plus aiguë.*

En conclusion...

La notion de haute fidélité doit donc être examinée à la lumière des phénomènes énumérés, dus pour la plupart à la non-linéarité de l'oreille.

On voit d'ores et déjà que la haute fidélité n'est pas seulement la faculté d'un ensemble reproducteur de rendre fidèlement l'impression sonore d'un auditeur assis dans un fauteuil de salle de concert. *La haute fidélité conçue de cette manière ne peut guère exister, car elle ne peut être définie* puisque dans une même salle l'impression auditive change d'un point à l'autre... d'une oreille à une autre.

La haute fidélité doit viser surtout l'obtention d'une impression sonore naturelle, comme cela est le cas lors de l'écoute directe d'un orchestre par exemple — et non que la musique sorte d'une boîte facile à localiser.

(La vraie stéréophonie a beaucoup apporté à ce sujet.)

Enfin, il faut surtout être modeste car l'expérience prouve que des personnes ayant des oreilles exercées ont souvent du mal à se mettre d'accord sur le degré de fidélité d'un ensemble de reproduction sonore.

Alors, le dernier remède... Utiliser sa propre oreille comme seul juge.



art & acoustique appliquée

34, rue Fabert  
75007 PARIS





IMP. BAUD