

Audiophile n°6, septembre 1978

Filtres et enceintes acoustiques

Techniques d'élaboration des filtres

Gilles Milot

Selon Gilles Milot, une restitution de haute qualité doit conserver aux signaux leurs caractéristiques d'amplitude et de phase. Cela a fait l'objet d'un article dans le précédent numéro de l'Audiophile. Ainsi dans une enceinte acoustique à plusieurs voies, la combinaison des différents haut-parleurs alimentés par l'intermédiaire d'un filtre doit aboutir à la création d'un système se comportant quasiment comme un transformateur parfait d'énergie électrique en énergie acoustique.

L'article qui suit est donc consacré aux critères d'élaboration d'un filtre satisfaisant à ces conditions.

• Conditions à remplir par un système de filtrage.

Si en première approximation le haut-parleur est considéré comme un transformateur parfait, on doit créer des filtres électriques sélecteurs de fréquences tels que le signal obtenu en réalisant la somme électrique de leurs différentes sorties soit égal au signal commun envoyé à chacune de leurs en-

trées. En pratique, la somme est réalisée automatiquement par l'addition des signaux émis par chaque haut-parleur (cf fig. 1)

Cette recombinaison parfaite en amplitude et en phase du signal, au niveau du système filtre haut-parleur, est indispensable pour que l'enceinte ne déforme pas le message sonore, et est donc étroitement liée aux caractéristiques amplitude / fréquence et

phase / fréquence des filtres utilisés (cf. chapitre précédent).

On définit les caractéristiques générales des filtres par un certain nombre de critères qui permettent de les classer par catégorie. Les critères peuvent être rattachés à l'allure de la réponse amplitude/fréquence du filtre. Ainsi un filtre peut être défini par sa ou ses fréquences de coupures (fréquences charnières à partir desquelles

la réponse amplitude/fréquence du filtre change) et par des pentes de coupures qui déterminent la raideur de l'atténuation de la réponse en amplitude du filtre (pente à 6 dB/octave, 12 dB/octave, etc...). On détermine également la complexité d'un filtre, soit son nombre de fréquences de coupures et la raideur de ses atténuations par le terme : ordre (filtre d'ordre 1, 2, 3 etc...). La rapidité avec laquelle varie la réponse amplitude/fréquence du filtre est également fonction de ce qu'on appelle le Q du filtre ou sa surtension. Enfin, on parle généralement de filtres passe-bas, qui atténuent les hautes fréquences, de filtre passe-haut qui atténuent les basses, de filtre passe-bande qui privilégient une zone de fréquences ou de coupe-bande qui atténuent une zone de fréquences, enfin des filtres complexes qui sont une combinaison des structures précédentes. La réponse phase/fréquence des filtres est liée d'une manière bi-univoque à la réponse amplitude/fréquence (sauf dans le cas des filtres passe-tout). (cf fig. 2).

Les différents critères sont définis avec toute la rigueur souhaitable par une présentation, non plus descriptive et à posteriori, mais mathématique et systématique, à partir des éléments fondamentaux actifs et passifs qui permettent de définir complètement tous systèmes électriques ou électroniques (cf chapitre précédent).

Les filtres utilisés dans les enceintes acoustiques sont du type passe-bas pour le boomer, passe-bande pour le médium et passe-haut par le tweeter.

La bonne recombinaison des signaux provenant de chaque haut-parleur, est liée aux caractéristiques des filtres qui les alimentent. On montre, par le calcul, que pour raccorder deux haut-parleurs alimentés chacun par un filtre, un boomer-médium (filtre passe-bas) et un tweeter (filtre passe-haut), de manière à obtenir

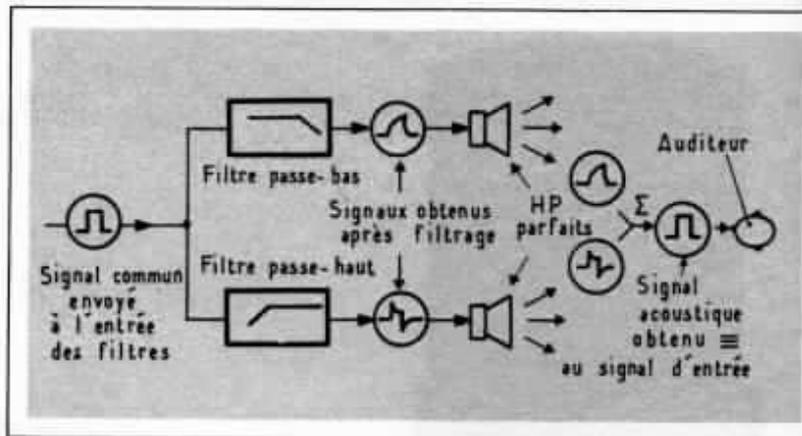


Fig. 1 Reconstitution du signal par sommation des voies.

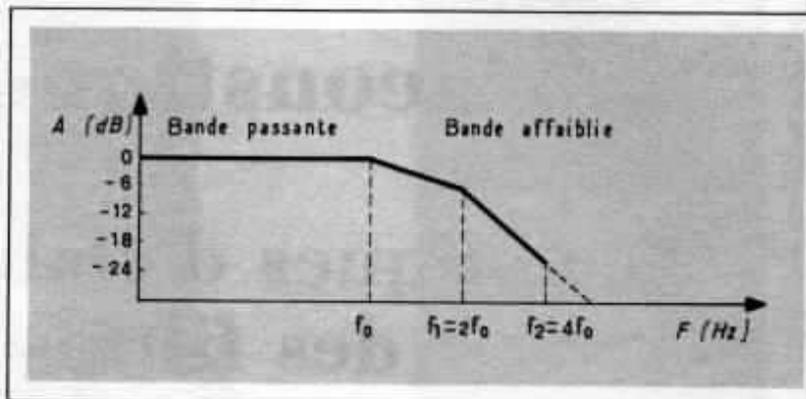


Fig. 2 Exemple d'un filtre passe-bas à 6 dB/octave, puis 18 dB/octave possédant deux fréquences de coupure : f_0 et f_1 .

une réponse globale qui ne déforme pas le signal, on est obligé d'utiliser des filtres passe-haut et passe-bas dont les fréquences de coupures sont identiques et dont les pentes d'atténuation sont faibles : 6 dB/octave, ce sont des filtre du premier ordre (cf fig. 3)

De même, pour les systèmes multivoies on doit utiliser des filtres qui commencent à chuter à 6 dB/octave, puis à 12 dB/octave ou plus, suivant le nombre de voies (cf fig. 4).

La technique d'analyse des filtres par les vecteurs de Fresnel permet d'obtenir une vision physique et synthétique de leur mode de fonctionnement. Cette technique permet, en effet, de globaliser la réponse en phase et en am-

plitude d'un système, avec plus de réalisme que l'analyse mathématique.

• Problèmes d'adaptation aux enceintes acoustiques

L'obligation de travailler avec des filtres à faible pente de coupure est très contraignante, car on minimise l'intérêt de l'affaiblissement du filtre, aussi bien du point de vue quantitatif, puis qu'on envoie au haut-parleur une quantité d'énergie non négligeable en bande affaiblie, que du point de vue qualitatif puisqu'on excite les irrégularités du haut-parleur en bande affaiblie (cf chapitre précédent).

L'élongation du haut-parleur étant inversement proportionnel au carré de la fréquence pour obtenir une source sonore constante, on constate qu'une coupure à 12 dB/octave (filtre passe-haut du deuxième ordre), sur un haut-parleur dont la réponse est linéaire permet tout juste d'obtenir une élongation constante en bande affaiblie. On risque donc une destruction mécanique du haut-parleur, lorsqu'on le filtre à 6 dB/octave.

On peut compenser en partie ce défaut en confondant sur un système 3 voies les fréquences f_1 et f_2 (cf fig. 4). Ainsi dans ce cas limite le médium se comporte simplement en "bouche-trou" chutant à 6 dB/octave dans le grave et dans l'aigu. Le boomer et le tweeter peuvent alors être directement filtrés à 12 dB/octave. (cf fig. 5).

Ce système permet de faire fonctionner le médium sur une bande passante moins large, mais oblige à augmenter la bande passante du boomer et du tweeter risquant ainsi de les faire fonctionner dans leur zone d'irrégularités. On peut généraliser ce principe à des ordres de coupures plus élevés pour le boomer et le tweeter (18 dB/octave et 24 dB/octave), mais le médium nécessite toujours une coupure à 6 dB par octave et devra, dans ces cas, avoir une amplitude supérieure en bande passante à l'amplitude nominale.

Lorsqu'on veut obtenir une bonne réponse en phase et en amplitude d'une enceinte acoustique, on se heurte au problème de la "mise en phase" spatiale des haut-parleurs.

Pour que les signaux provenant de chaque haut-parleur s'additionnent correctement il faut que leurs lieux d'émission (centres acoustiques) soient situés, soit au même endroit (ce qui est physiquement difficile) soit à égale distance d'un ensemble de points privilégiés qui constitue le lieu d'écoute. Cette constatation est très contraignante puisqu'elle

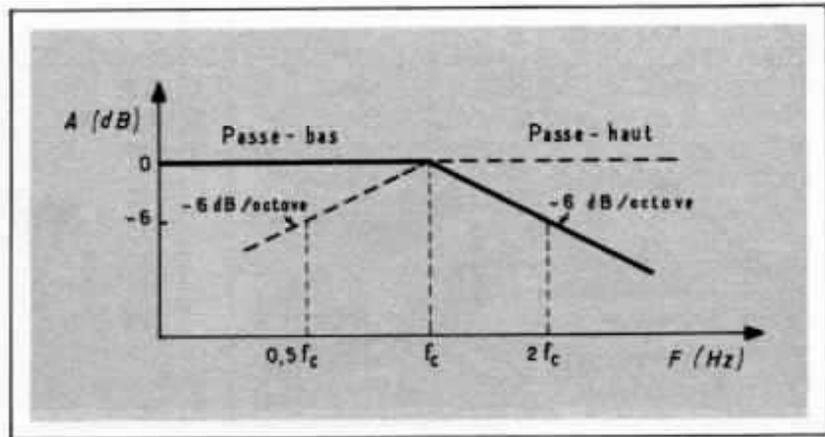


Fig. 3 Filtrage du 1^{er} ordre (6 dB/octave) pour un système à deux voies.

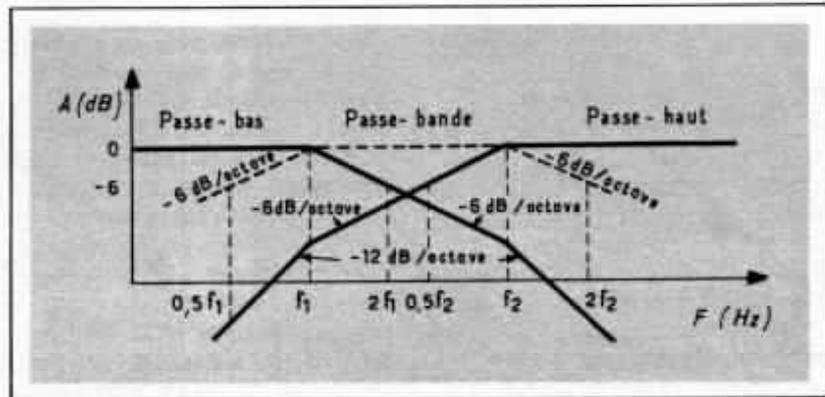


Fig. 4 Filtrage pour un système trois voies.

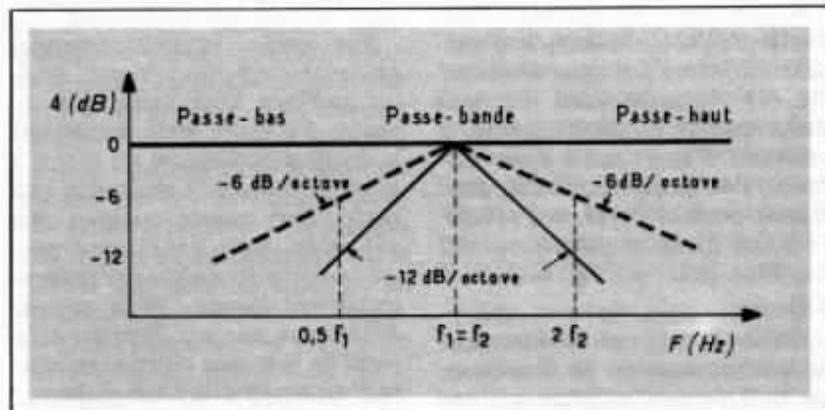


Fig. 5 Médium utilisé, en "bouche-trou" sa réponse est en pointillés.

oblige l'auditeur à être situé dans une position particulière par rapport aux enceintes.

Parlons de cette position privilégiée. Sur un système deux voies dont les haut-parleurs sont situés

l'un au-dessus de l'autre, la position en question est le plan médiateur déterminé par les centres acoustiques des deux haut-parleurs (cf fig. 6). Pour un système trois voies, cette position est

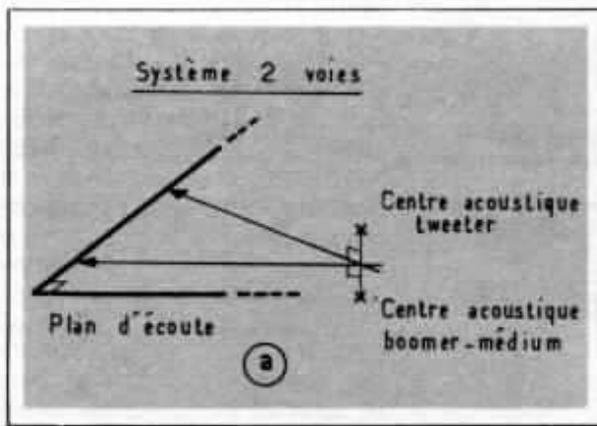


Fig. 6 Système 2 voies, écoute monophonique.

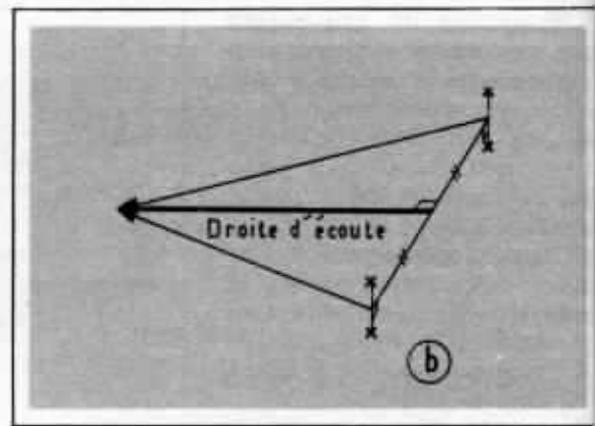


Fig. 6 bis Système 2 voies, écoute stéréophonique.

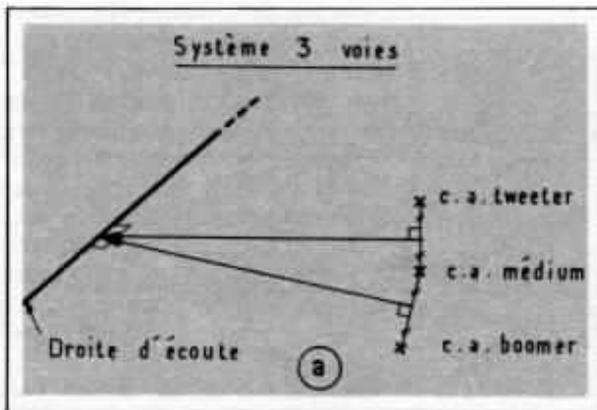


Fig. 7 Système 3 voies, écoute monophonique.

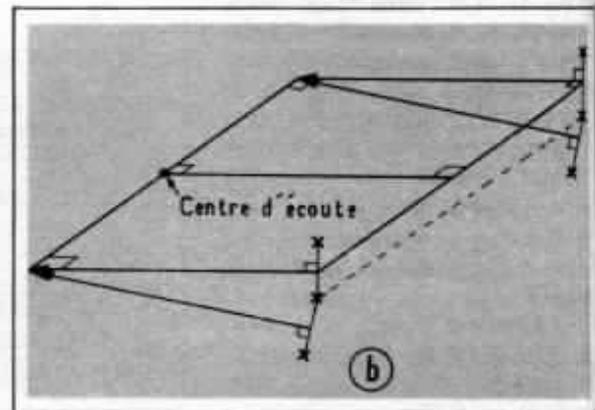


Fig. 7 bis Système 3 voies, écoute stéréophonique.

l'intersection de deux plans médiateurs, soit : une ligne droite (cf fig. 7). D'autre part, l'écoute étant réalisée en stéréophonie, il convient d'être situé à égale distance des deux enceintes, ainsi dans le premier cas la zone se limite à une droite et dans le second cas à un point (cf fig. 6 bis et 7 bis).

Pratiquement, on constate que le positionnement de l'auditeur ne réclame pas l'utilisation d'une chaîne d'arpenteur, en effet, bien que l'image stéréophonique idéale soit obtenue lorsque l'on est situé à égale distance des deux enceintes, l'auditeur assis sur l'un des fauteuils encadrant le siège de l'heureux élu, bénéficie tout de même d'une bonne illusion d'image sonore.

Par contre, le positionnement en hauteur est plus critique, ainsi, un auditeur situé assez loin du centre d'écoute, mais installé sur la droite d'écoute, ou du moins à la même hauteur, obtiendra une perspective sonore quelque peu déformée, mais bénéficiera malgré tout d'une analyse des timbres quasiment bonne. Nous reviendrons plus loin sur l'apport subjectif de la bonne réponse en phase d'un système de haut-parleurs.

• Mise au point du filtre passif

La bonne utilisation de la phase restitution d'un signal par une enceinte pose un certain nombre de problèmes que peu de construc-

teurs se sont attachés à résoudre :

Si on utilise un filtre passif, on est obligé d'opter pour des filtres à faible pente d'atténuation (6 dB/octave, puis éventuellement 12 dB/octave plus loin en bande affaiblie - cf fig. 4). Cette nécessité détermine le choix du type de haut-parleur utilisable.

• Transducteur de grave

Pour reproduire les basses fréquences on doit choisir des transducteurs très peu colorés dans le haut du spectre, faibles irrégularités en bande passante, peu de trainage dans le registre médium ces défauts étant peu diminués par l'action du filtre passe-bas d'autre part, la fréquence de coupure pure haute naturelle du haut-

parleur doit être suffisamment élevée par rapport à la fréquence de coupure du filtre (quatre à cinq fois plus élevée) pour que les rotations de phase du haut-parleur soient faibles dans la bande passante du filtre et qu'ainsi le comportement en filtre passe-bas du haut-parleur soit négligeable devant l'action du filtre passe-bas qui le commande (cf fig. 8).

* Transducteur de médium

Pour le haut-parleur de médium, le problème se complique dans la mesure où l'on doit obtenir un système global haut-parleur plus filtre qui chute dans le grave et dans l'aigu à 6 dB/octave.

Dans l'aigu on laissera couper de lui-même le haut-parleur, en choisissant un transducteur assez linéaire dans le haut du spectre et en traitant judicieusement sa membrane ou sa calotte pour obtenir une pente naturelle de coupure à 6 dB/octave dans les hautes fréquences.

Pour les fréquences basses, on est confronté à un problème de tenue mécanique des haut-parleurs : comme nous l'avons évoqué plus haut une coupure à 6 dB/octave n'est pas suffisante pour limiter à une valeur constante l'élongation de la membrane, on devra donc choisir un haut-parleur de médium possédant une très bonne élongation et très solide, d'autre part, pour les mêmes raisons que sur le boomer, la fréquence de coupure (basse dans ce cas) du haut-parleur doit être située beaucoup plus bas que la fréquence de coupure choisie pour le filtre. Ces deux raisons empêchent pratiquement d'utiliser des médiums à fréquences de résonance élevées (au-dessus de 300 Hz), ainsi est-il très difficile de travailler avec des systèmes à dôme dont l'élongation est limitée, la surface d'émission sonore trop faible et la fréquence de cou-

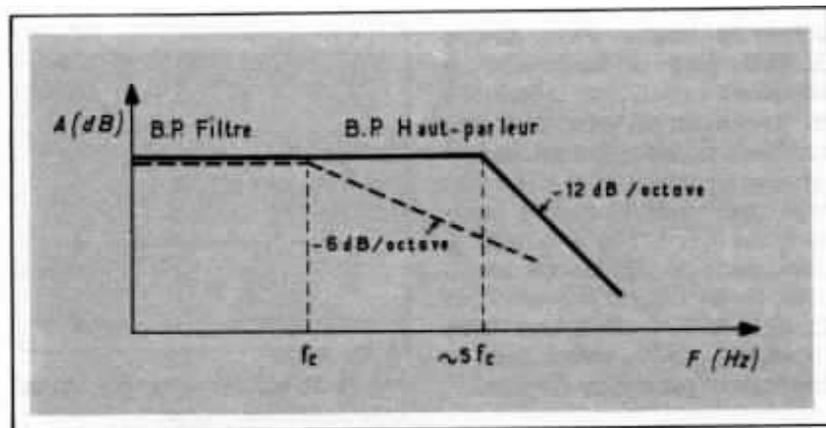


Fig. 8 Coupure d'un haut-parleur de grave, compte-tenu de sa coupure naturelle.

pure ou de résonance basse trop élevée, bien que ce type de haut-parleur possède de bonnes caractéristiques de linéarité en amplitude et en phase. On a donc le choix entre des systèmes électrostatiques ou électrodynamique plans qui grâce à leur faible inertie possèdent de très bonnes réponses impulsionnelles, mais dont les dimensions sont imposantes et les systèmes médium-boomer classiques à cône de petites dimensions qui résonnent toujours au-dessous de 100 Hz, grimpe quelquefois jusqu'à 10 KHz, et possède une bonne élongation puisqu'ils sont utilisés également comme boomer de mini-enceinte. Par contre ces systèmes sont souvent colorés et très irréguliers en bande passante surtout dans le haut du spectre. On est donc amené pour les utiliser à recourir à de savants traitements de membranes dont le double but est, de rigidifier la membrane pour diminuer les distorsions, augmenter la fréquence des résonances propres du cône, et d'amortir ces résonances propres situées dans le haut du spectre (au-dessus de 5 KHz). Ces traitements se révélant souvent insuffisants, on est obligé de recourir à un filtrage passif des défauts, souvent réalisé par des filtres coupe-bande amortis qui permettent de régulariser la réponse du haut-parleur.

* Transducteur d'aigu

Le tweeter compte tenu du filtrage adopté, est confronté au même problème que le médium quant à sa fréquence de coupure basse et pour les mêmes raisons que précédemment les tweeters à dômes sont pratiquement inutilisables puisqu'ils résonnent presque tous aux alentours de 3 KHz et qu'il est nécessaire de les filtrer à 12 dB ou 18 dB/octave pour ne pas les détruire.

Certains tweeters électrostatiques peuvent convenir bien que souvent leurs fréquences de résonance soient trop élevées. Les tweeters ioniques possèdent une réponse impulsionnelle parfaite lorsqu'ils ne sont affectés d'aucun pavillon, mais leur coût est élevé. Les tweeters à ruban actuels sont beaucoup trop fragiles pour être filtrés à 6 dB/octave.

Les tweeters piezo-électriques sont utilisés avec un pavillon qui provoque un trainage rédhitoire en régime impulsionnel. Reste les tweeter à cône, dont certains modèles à bobine mobile de très petit diamètre (environ 10 mm) à faible masse, doués d'un bon amortissement dans les hautes fréquences, résonnent bas (moins d'1 KHz) et montent très haut (jusqu'à 40 KHz). Ces systèmes ne peuvent malheureusement pas être

utilisés au-dessous d'une dizaine de KHz, plage de fréquences où les colorations de leur membrane en aluminium ou en papier sont audibles, la distorsion est importante au-dessous de 5 KHz. On peut aussi utiliser de tels haut-parleurs, avec peu de modifications, dans de très bonnes conditions en les filtrant aux environs de 10 KHz, à 6 dB/octave et en choisissant des modèles dont la bande passante est très linéaire.

D'une manière générale comme on peut le voir l'utilisation du filtre du premier ordre nécessite le choix de haut-parleurs à très large bande passante.

La nature des haut-parleurs étant déterminée, les fréquences de raccordement des différents filtres résultent de ce choix.

A ce niveau, on doit poursuivre la mise au point grâce à une méthode permettant de tenir compte à la fois de la réponse en phase et de la réponse en amplitude des systèmes étudiés. On est donc ramené à une analyse en temps réel qui consiste à exciter le système : filtre plus haut-parleur, par un signal, puis à analyser les modifications apportées à ce signal par le système en question ; l'optimisation est obtenue par annulation de toutes modifications apportées par le système en réglant les différents composants qui le constituent.

On utilise comme signal de référence, une impulsion (cf figure 9) de durée et d'amplitude variable (cf chapitre précédent), dont les modifications peuvent être facilement interprétées et ainsi supprimées, cette technique est couramment utilisée pour mettre au point les systèmes électroniques.

Pratiquement, on dispose les différents haut-parleurs sur des baffles dont la position mutuelle peut être modifiée. On choisit la position du micro de mesure par rapport au prototype de l'encein-

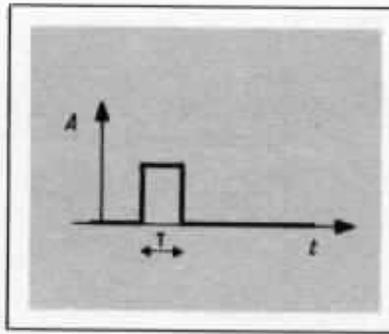


Fig. 9 Signal de référence utilisé pour la mise au point

te en sachant que cette position correspondra à la position d'écoute privilégiée de l'auditeur, celle dont nous parlions plus haut (en général, à 3 ou 4 m de l'enceinte et à la hauteur d'écoute d'un adulte assis dans un fauteuil). L'envoi d'une impulsion dans chacun des haut-parleurs permet d'ajuster la coïncidence de leurs centres acoustiques par dé-

placement de la position mutuelle de leurs baffles. Les débuts de réponses impulsionnelles de chaque haut-parleur doivent arriver simultanément sur le micro de mesure, on utilise la deuxième trace de l'oscilloscope, où l'on envoie l'impulsion électrique d'origine, comme référence de temps (cf photo 10).

Cette mise au point effectuée on s'aperçoit que les plans des baffles supportant les haut-parleurs doivent être déplacés de plusieurs centimètres les uns par rapport aux autres, ce qui oblige à utiliser une ébénisterie aux formes compliquées. On ne peut, d'autre part, laisser émettre un haut-parleur de médium ou un tweeter au ras du décrochement nécessaire au décalage spatial des haut-parleurs, sans provoquer des "effets de bords" désastreux en réponse impulsionnelle, on est donc



Fig. 10 : Réponse individuelle, puis globale des haut-parleurs constituant une enceinte, à une impulsion d'1 ms. (On remarque la simultanéité du début de chaque impulsion).

- (a) réponse du boomer à une impulsion
- (b) réponse du médium à une impulsion
- (c) réponse du tweeter à une impulsion
- (d) réponse globale de l'enceinte

obligé d'espacer, en hauteur, les haut-parleurs les uns par rapport aux autres augmentant ainsi l'effet de focalisation du centre d'écoute (cf fig. 11).

Pour mettre au point le filtre proprement dit, on part des structures classiques de filtres du premier ordre, déterminés par le calcul. On constate malheureusement que la réponse globale à une impulsion obtenue en additionnant acoustiquement la réponse de chacun des haut-parleurs avec leur filtre, n'a qu'un lointain rapport avec l'impulsion d'origine.

En effet, le simple condensateur ou la self inductance qui suffit à constituer un filtre du premier ordre (à 6 dB/octave) lorsque la charge est une résistance pure n'est plus suffisante car le haut-parleur ne constitue pas une charge purement résistive, mais une charge complexe (cf courbe d'impédance classique d'un haut-parleur - fig. 12).

On doit donc intercaler entre le filtre à 6 dB/octave et le haut-parleur un étage passif qui est un filtre adaptateur d'impédance qui simule pour le filtre de coupure une charge purement résistive.

Mais cette modification reste insuffisante car toutes les irrégularités de bande passante du haut-parleur apparaissent sur sa réponse à une impulsion, il est donc nécessaire d'ajouter un troisième étage de filtre qui joue le rôle d'égaliseur de bande passante (cf photo 13 et 14).

Enfin pour ne pas charger l'amplificateur par un filtre à l'impédance trop tourmentée, on dispose en parallèle sur l'entrée de ce filtre un quatrième étage adaptateur d'impédance qui simule pour l'amplificateur une charge approximativement constante (cf schéma 15).

Toute la difficulté de mise au point réside dans le fait que les quatre étages sont interdépendants et que toutes modifications de l'un entraîne des modifications sur le fonctionnement des trois

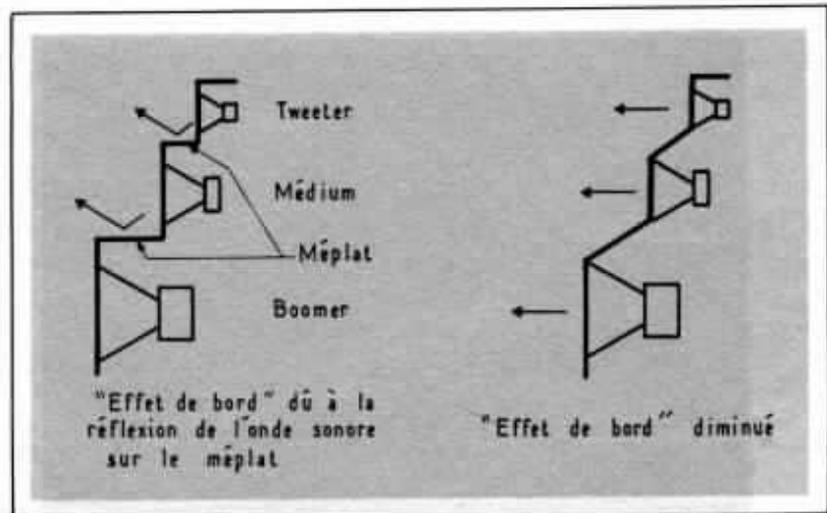


Fig. 11 :

- a - "Effet de bord" dû à la réflexion de l'onde sonore sur le méplat
b - "Effet de bord" diminué.

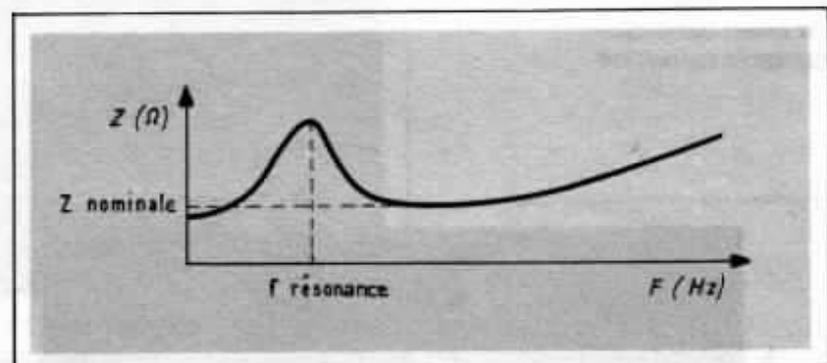


Fig. 12. Courbe d'impédance classique d'un haut-parleur

autres, on ne peut donc pas optimiser indépendamment leurs fonctions respectives.

Après s'être lassé d'un réglage "hasardeux" qui ne permet pas d'obtenir une optimisation de l'ensemble, on recourt à une méthode de résolution algorithmique beaucoup plus rigoureuse qui permet par réglages successifs de chacun des étages, dans un ordre déterminé, de tendre vers la solution optimum qui est unique.

Toutes les modifications apportées au système de filtrage sont évidemment contrôlées grâce à la réponse de ce système à une impulsion et ces réglages sont bien entendu, effectués simultanément

sur toutes les voies pour obtenir une optimisation de la réponse globale de l'enceinte acoustique.

La précision du réglage optimum est fonction de l'ordre de complexité du filtre et on peut l'améliorer en augmentant le nombre de ses composants, on se limite pour des raisons pratiques à moins d'une trentaine de composants, ce nombre permettant de reporter, en général, les défauts principaux de la réponse de l'enceinte à environ moins vingt décibels par rapport au niveau nominal de l'impulsion (cf photos 16 et 17).

Cette méthode permet d'étudier la réponse de l'enceinte sur

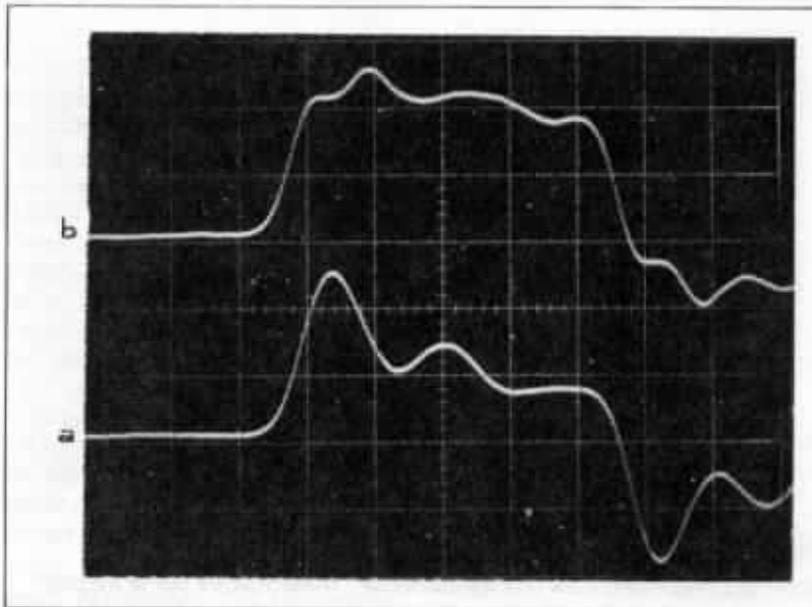


Fig. 13 : Réponse du boomer à une impulsion d'1 ms.
(a) avant correction
(b) après correction

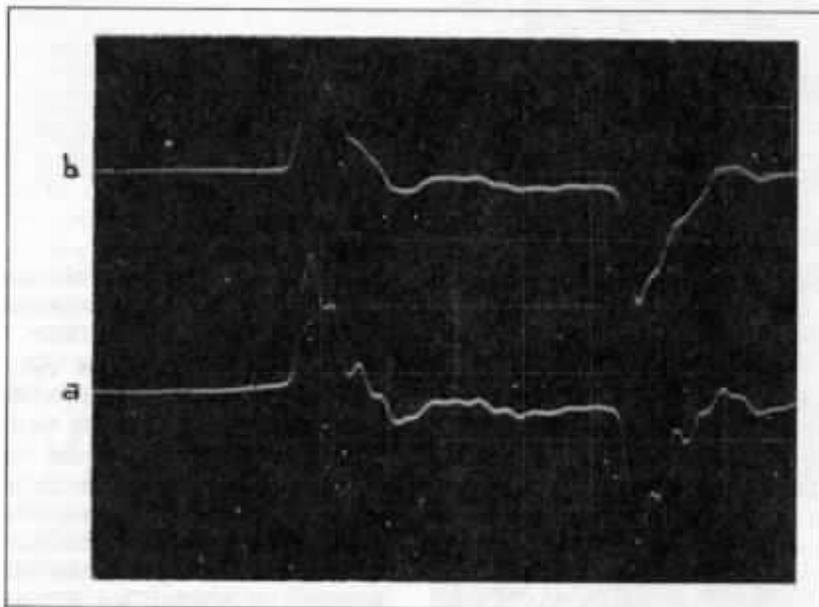


Fig. 14 : Réponse du médium à une impulsion d'1 ms.
(a) avant correction
(b) après correction

tout la largeur de la bande audio, puisque la longueur de l'impulsion est réglable et que le spectre de fréquences qui lui correspond s'étend jusqu'aux plus basses fréquences (voir chapitre précédent). Lorsque l'enceinte reproduit une impulsion avec une précision donnée, elle est à même de transmettre avec une précision voisine n'importe quels types de signaux sonores transitoires, sa réponse en bande passante est très régulière (environ ± 2 dB) et sa réponse en phase également ($\pm 20^\circ$)

- **Originalité de certains filtres actifs**

La même étude menée en filtre actif est plus simple, en effet, dans ce cas les deux étages adaptateurs d'impédance sont supprimés et les étages filtre de coupure et filtre égaliseur ne sont plus dépendants. Cette simplification pour le metteur au point se traduit par une complication importante de l'installation qui ne permet pas de justifier leur utilisation pour cette unique raison.

Mais certaines structures de filtre actif possèdent une originalité propre, et ne sont pas qu'une transcription active d'un système pouvant être réalisé avec des circuits passifs.

Il s'agit de filtres à "complémentation"; dans ce principe appliqué à une enceinte deux voies, on impose une pente de coupure pour le filtre du tweeter, par exemple, et on commande le boomer-médium par la signal résultant de la différence effectuée entre le signal d'entrée et le signal envoyé au tweeter par l'intermédiaire de son filtre. Le signal de différence est donc bien le complément idéal qu'il faut ajouter au tweeter pour obtenir le signal d'origine. (cf fig. 18).

Ce système très astucieux n'est pourtant pas idéal, on peut imposer la coupure que l'on désire à

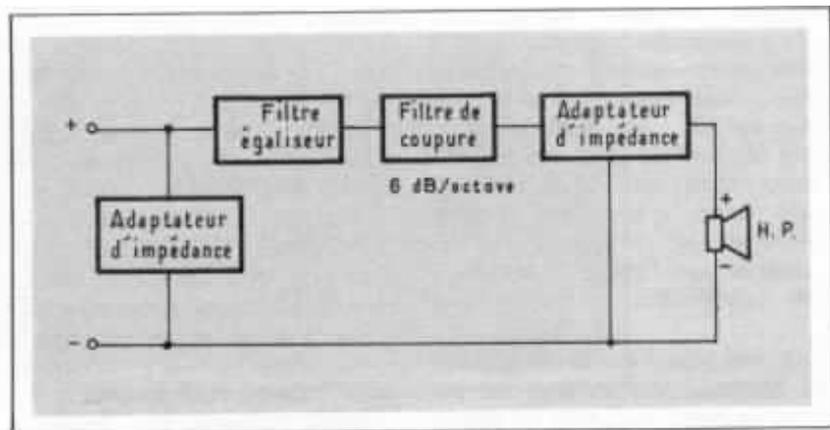


Fig. 15 Schéma global de filtrage de chaque haut-parleur

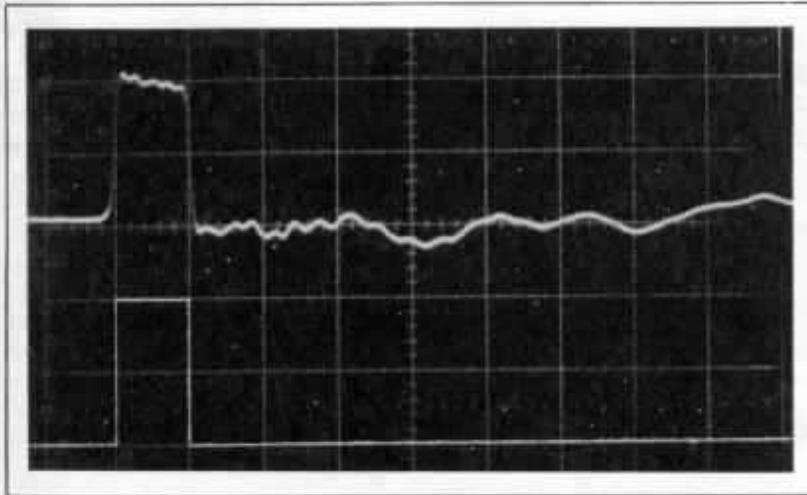


Fig. 16 : Réponse d'une enceinte mise au point suivant ce procédé à une impulsion de $200 \mu\text{s}$ (temps de montée inférieure à $20 \mu\text{s}$).

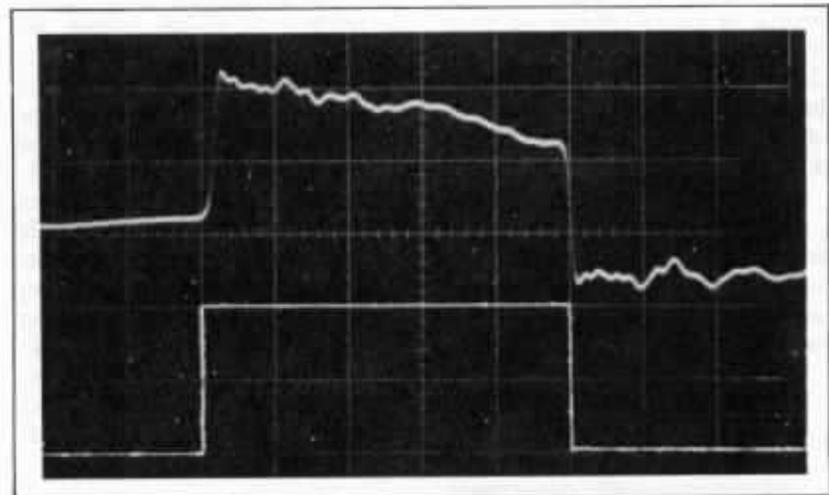


Fig. 17 : Réponse de l'enceinte mise au point suivant ce procédé à une impulsion de 1 ms (la différenciation au signal correspond à une fréquence de coupure basse d'environ 25 Hz).

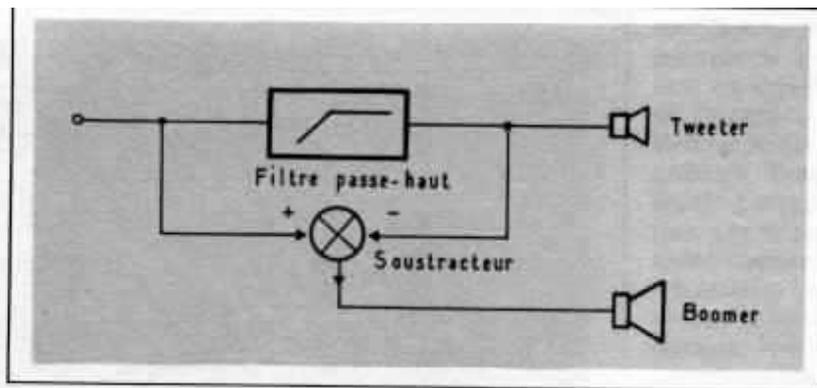


Fig. 18 Schéma d'un filtre à complémentation 2 voies.

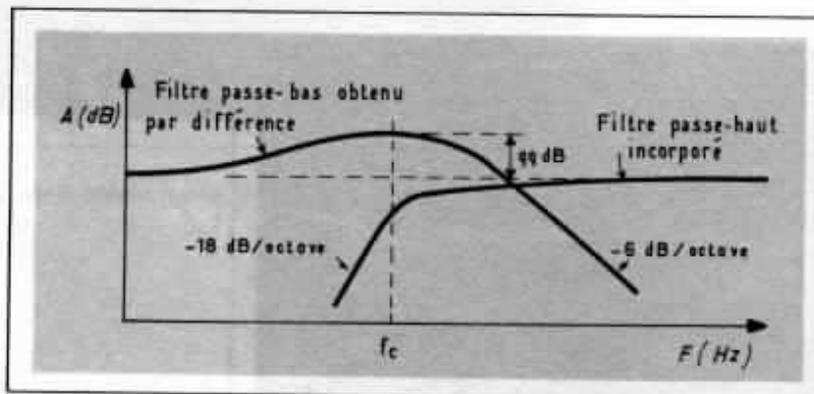


Fig. 19 Courbe de réponse d'un filtre 2 voies à complémentation.

l'un des haut-parleurs mais la coupure obtenue sur l'autre haut-parleur est décevante : toujours une coupure à 6 dB/octave et lorsque la pente choisie est trop importante (supérieure à 12 dB/octave) la faible atténuation est aggravée d'une bosse en bande passante de plusieurs décibels (cf fig. 15).

Ce procédé peut être généralisé à des enceintes comportant plus de 2 voies, mais ne constitue pas une solution idéale au difficile problème du filtrage des haut-parleurs.

• Ecoute subjective

Une vieille querelle concernant l'importance de la phase a toujours divisé les acousticiens en deux écoles, ceux qui soutiennent

que la phase ne s'entend pas et que les belles considérations évoquées au long de cet article ne sont pas nécessaires pour tenter de restituer la réalité sonore, les autres pensent au contraire que la phase étant liée à la notion de temps de propagation de groupe de l'information, détermine l'ordre d'arrivée aux oreilles de l'auditeur, des différentes plages de fréquences qui constituent le contenu du message sonore et qu'un système retardant certaines plages de fréquences par rapport à d'autres, provoque des effets de masque sur ces fréquences, l'oreille étant plus sensible aux signaux qu'elle perçoit les premiers.

Notre conviction en la matière - qui est basée sur des expérimentations auditives réalisées

avec des systèmes en phases et des systèmes qui ne l'étaient pas ; et qui n'est pas définitive, comme rien ne peut l'être dans une science physique en pleine évolution - est : qu'une bonne restitution de l'amplitude et de la phase par un système de haut-parleur ou par tout autre maillon de la chaîne est absolument nécessaire, mais est largement insuffisant.

En effet, il paraît indiscutable aux personnes qui en ont fait l'expérience que l'écoute en stéréophonie d'un système de haut-parleur correctement étudié au niveau de la phase, permet d'obtenir une image sonore qui se crée dans l'espace et que cette image semble occuper un volume (tout comme dans la réalité) sans appartenir à un plan situé au niveau des enceintes comme c'est trop

souvent le cas dans les systèmes conventionnels.

D'autre part, la disposition de ce volume sonore n'est pas immuable, mais est étroitement liée à la nature de la prise de son (de ce point de vue, les prises de son réalisées avec un couple de micros ou une tête artificielle donne les images sonores les plus réalistes) ; il semble donc bien que ces systèmes qui n'imposent pas aux signaux une relation de phase particulière, permettent de mettre en évidence des informations spatio-temporelles dissimulées par les systèmes conventionnels.

Enfin, et ce point est le plus important pour les mélomanes, les timbres et l'unité sonore qui caractérisent chaque instrument

sont conservés, l'acidité et la dureté artificielle sont largement diminuées et il n'y a plus de "mise en avant" de certaines caractéristiques instrumentales. Ces systèmes permettent de différencier avec beaucoup plus d'aisance la nature des matériaux qui constituent l'instrument (bois, peau, cuivre, etc). Ces propriétés sont évidentes sur la reproduction de bruits familiers ou de la voix humaine.

Par ailleurs, une bonne "mise en phase" est largement insuffisante, en effet, la comparaison de systèmes ayant à la fois une bonne réponse en phase et une bonne réponse en amplitude met en évidence des différences, ne concernant pas l'homogénéité dont nous venons de parler, mais

en relation avec la quantité d'informations transmises, la proximité de l'image sonore et la concision de chaque instrument dans l'espace, etc... En un mot tout ce qui fait, qu'avec un peu d'imagination, on peut avoir «l'impression d'y être», ou qu'au contraire les défauts situés pourtant, à moins vingt décibels, suppriment la crédibilité du message sonore.

En guise de conclusion provisoire, un système correctement en phase est une base sérieuse pour aborder la mise au point d'une enceinte acoustique au niveau de tous ces épiphénomènes qu'on explique mal, qu'on mesure difficilement et qui constituent un champ d'investigations originales à défricher...