

Audiophile n°5, juin 1978

Filtres et enceintes acoustiques

Gilles Milot

Les éléments principaux qui composent une enceinte acoustique sont de trois types : Les haut-parleurs, le coffret et le filtre. Ce dernier élément est le plus mal connu, il est en effet invisible de l'extérieur et, une fois retiré du coffret, il se présente sous la forme d'un assemblage plus ou moins confus de bobines, de résistances et de condensateurs de formes et de types divers, qui ne renseigne guère l'amateur sur son fonctionnement réel.

En fait, le filtre est le coeur d'une enceinte acoustique bien étudiée, en lui réside tous les secrets et toute l'expérience du metteur au point. Il n'est, pour s'en convaincre, que de comparer, auditivement, plusieurs enceintes acoustiques de marques ou de types différents utilisant les mêmes haut-parleurs. Il n'y a pourtant pas de recette magique, le filtre d'une enceinte acoustique moderne peut s'étudier très rationnellement, encore faut-il lui affecter des buts précis, et se donner les moyens de les atteindre.

Un filtre ne pouvant être défini que par rapport à la nature du signal qui lui est appliqué, nous analyserons dans un premier temps les signaux électroacoustiques avant d'expliquer le fonctionnement des filtres proprement dit et leurs applications aux enceintes acoustiques.

LE SIGNAL ELECTROACOUSTIQUE

• Traitement de l'information sonore :

On sait qu'un signal acoustique est entièrement défini, à chaque instant, en un point de

l'espace sonore, par le niveau de pression qu'il exerce en ce point, sur le milieu gazeux qui constitue l'espace, soit une détermination en pression et en temps : $S_x = f(p, t)$.

La pression et le temps caractérisent entièrement l'état du signal sonore, en un point de

l'espace. Lorsqu'on dispose un microphone en ce point de l'espace (en admettant que celui-ci ne modifie pas par sa présence l'état sonore de l'espace), celui-ci doit se comporter en capteur et traduire avec le plus d'analogie possible l'information sonore en information électrique. Ainsi

l'information déterminée en pression et en temps sous sa *forme sonore* va être traduite en quantité de déplacement de membrane du microphone et en temps sous sa *forme mécanique* ($S_x = f(x,t)$). Le microphone qui se comporte comme un transformateur d'énergie mécanique en énergie électrique, va traduire l'information sous *forme électrique*, soit en tension et en temps ($S_x = f(V,t)$).

Cette présentation de l'information sous forme électrique est bien pratique car elle permet d'amplifier l'information sans trop de distorsions, or cette amplification est indispensable.

En effet, par principe même, la diffusion d'un signal sonore dans un milieu gazeux est forcément divergente. C'est à dire que la plus grande quantité de l'énergie sonore rayonnée par le haut-parleur n'est pas reçue par l'auditeur puisque l'enceinte n'est pas infiniment directive et

que le local n'est pas parfaitement réverbérant (à l'inverse de l'écoute au casque) ; d'autre part le rendement du microphone et du haut-parleur est très mauvais (quelques pourcents) et la majorité de l'énergie électrique est transformée en chaleur. Le stockage de l'information sous *forme magnétique* dans un disque ou sous *forme magnétique* sur une bande, s'effectue également avec des pertes.

On profitera donc de tout passage sous forme électrique de l'information pour lui faire subir une amplification qui lui permettra d'affronter la transformation suivante dans les meilleures conditions.

• **Analyse du signal :**

L'information sous forme électrique, mécanique ou sonore est donc déterminée respectivement en tension, en déplacement, en pression et en temps,

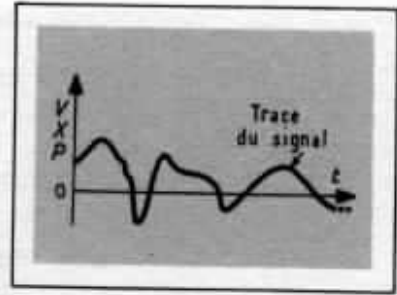


Fig. 2 : Représentation d'un signal en temps réel

c'est la représentation en temps réel.

Le mathématicien FOURIER a montré que l'on pouvait déterminer entièrement le signal par d'autres caractéristiques qu'une amplitude en fonction du temps. FOURIER a en effet établi qu'un signal quelconque pouvait être remplacé par la somme de signaux sinusoidaux pures, caractérisés chacun par une fréquence, une amplitude et une phase.

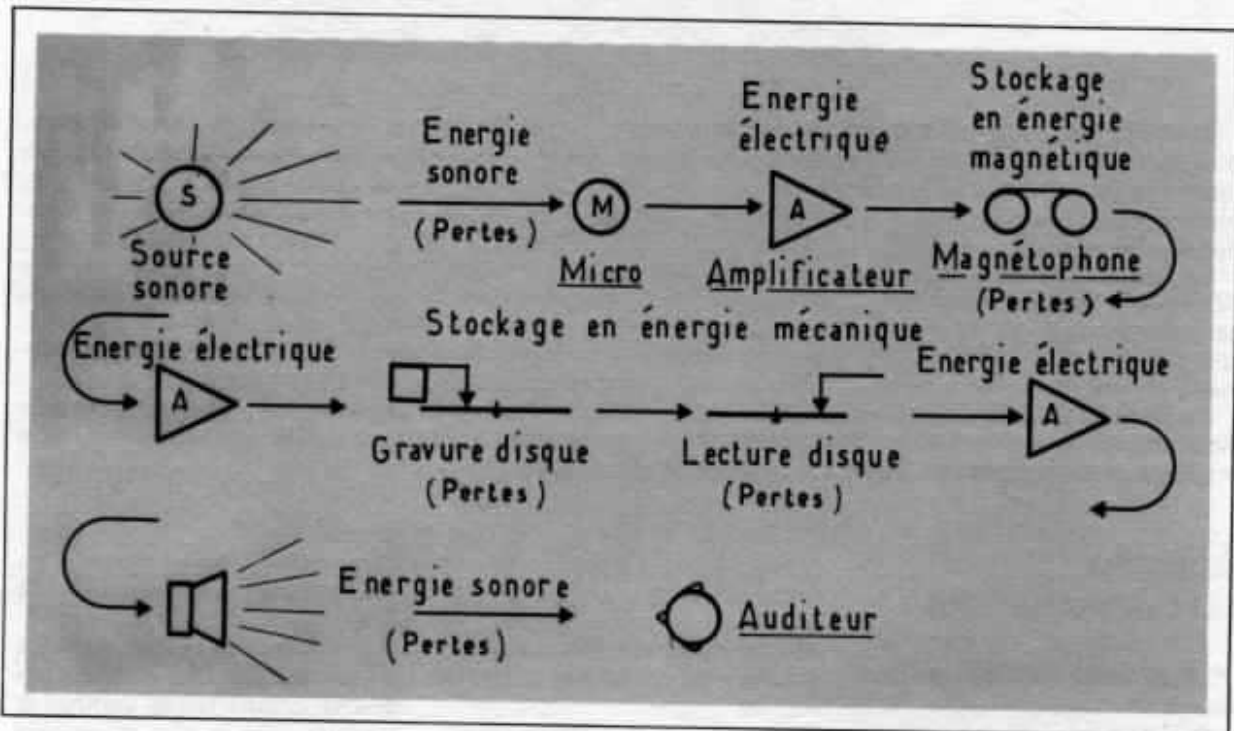


Fig. 1 : Synoptique du traitement de l'information sonore

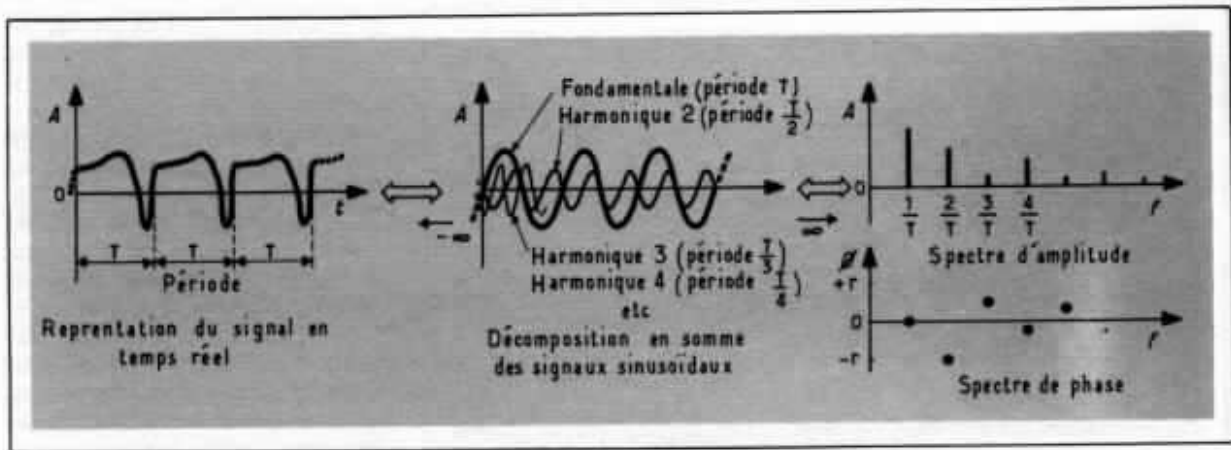


Fig. 3 : Décomposition d'un signal périodique par l'analyse de FOURIER

Si le signal est périodique les signaux sinusoidaux sont discrets, c'est-à-dire qu'on peut les déterminer séparément (composantes spectrales : fondamentale et harmoniques) et leur somme s'effectue indéfiniment dans le temps. (cf fig 1).

Si le signal est apériodique et déterminé dans le temps (ayant un début et une fin) la somme est continue, il y a une infinité de signaux, infiniment proches les uns des autres (spectre continu), la somme a commencé à un instant donné et se poursuit indéfiniment. (cf fig 2).

• Le rôle de l'amplificateur :

Un amplificateur parfait pour ne pas déformer l'information doit, du point de vue analyse en temps réel, multiplier à chaque instant la tension qui lui est appliquée par une quantité déterminée et constante (gain) ; et du point de vue analyse de FOURIER multiplier l'amplitude de chaque composante spectrale par un gain constant, sans modifier ni la phase de ces composantes, ni leur nombre.

• Le rôle du filtre :

Contrairement à l'amplifica-

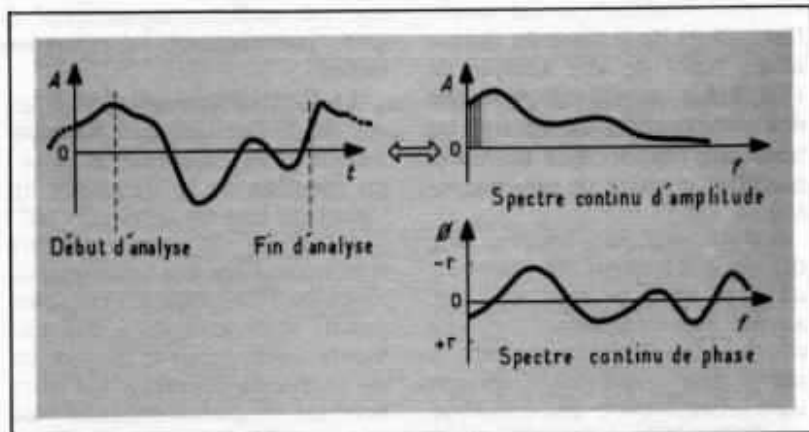


Fig. 4 : Décomposition d'un signal quelconque par l'analyse de FOURIER

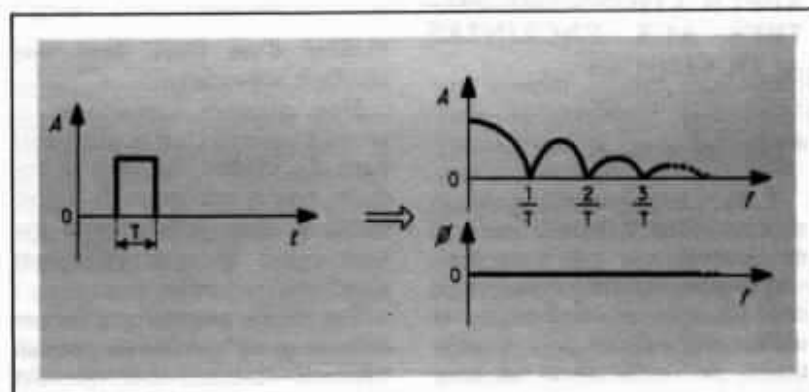


Fig. 5 : Décomposition d'une impulsion par l'analyse de FOURIER

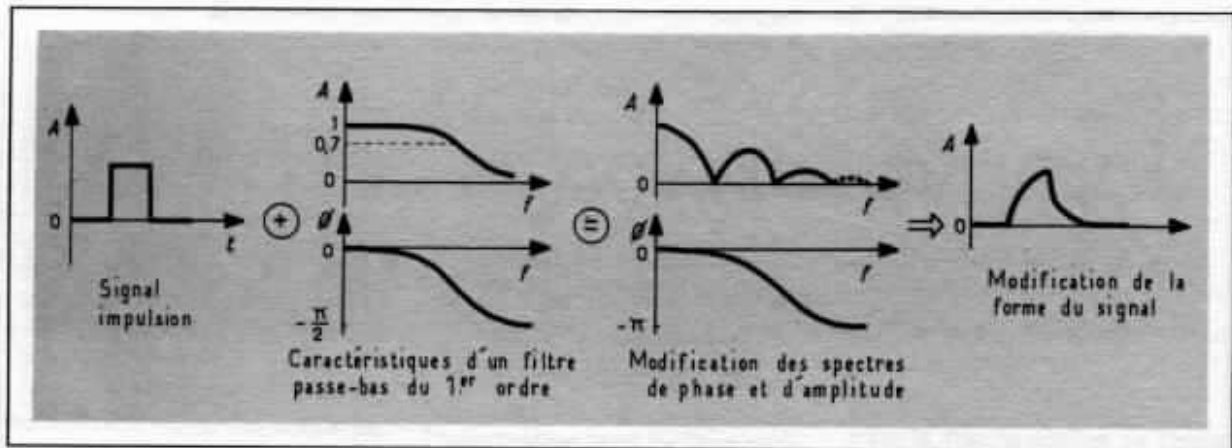


Fig. 6 : Passage d'un signal "impulsion" dans un filtre passe-bas du premier ordre

teur, le filtre doit, du point de vue analyse en temps réel, modifier l'allure de la trace du signal, et du point de vue analyse de FOURIER, modifier l'amplitude des composantes du spectre les unes par rapport aux autres et modifier la phase de ces composantes.

Inversement, on pourra donc définir exactement un filtre en déterminant sa courbe amplitude-fréquence et sa courbe phase-fréquence, car on saura déterminer pour chaque signal décomposé par l'analyse de FOURIER la modification induite par le filtre, sur les composantes du spectre.

APPLICATIONS DES FILTRES AUX ENCEINTES ACOUSTIQUES

• Principe général :

Tous circuits électriques ou électroniques linéaires peuvent être simulés par une combinaison d'éléments actifs : source de tension, source de courant, et d'éléments passifs purs : résistance, self-inductances et condensateurs.

Ainsi les transistors, lampes, transformateurs, moteurs, fil-

tres, etc... peuvent être ramenés par un «schéma équivalent» à une combinaison d'éléments connus.

Le fonctionnement d'un filtre est lié à l'existence d'éléments passifs dont l'impédance varie en fonction de la fréquence du signal qui leur est appliqué : self-inductances et condensateurs (par opposition aux résistances). Dans un filtre actif ses éléments passifs sont associés à des éléments actifs (source de tension ou source de courant). Un filtre actif est un circuit (comme tout circuit actif) dont le gain global en puissance peut être supérieur à 1. Dans un filtre passif au contraire le gain global de l'étage est toujours inférieur à 1.

•Utilité d'un filtre dans une enceinte acoustique :

Une enceinte acoustique, et tous les maillons qui la précèdent dans la chaîne doivent reproduire avec le minimum de déformations, une information qui sera reçue et interprétée par l'auditeur.

Des études physiologiques ont montré que l'homme ne pouvait ressentir et interpréter que des informations dont la composition spectrale en fréquence était limitée à une bande (dite bande

audio) de fréquence comprise en moyenne entre 20 Hz et 20000 Hz.

L'enceinte acoustique et tous les autres maillons de la chaîne doivent donc pouvoir reproduire la partie du message sonore, décomposée par l'analyse de FOURIER, correspondant aux composantes spectrales comprises entre 20 Hz et 20000 Hz environ, et ses composantes doivent être restituées à la fois *en amplitude* et *en phase*, pour définir complètement (cf analyse du signal) la partie du message interpretable par l'auditeur.

Le haut-parleur qui est l'ultime maillon doit donc obéir à ces critères, il en est malheureusement incapable, en effet, il n'existe pas de haut-parleur capable de couvrir avec un minimum de distorsions et à un niveau acoustique correcte, toute la bande de audio, sans atténuation, sans rotation de phase et sans irrégularités rédhibitoires.

Lorsqu'on ne veut utiliser qu'un seul haut-parleur dans une enceinte acoustique, on peut brancher un filtre en série avec celui-ci qui corrige la majorité de ses défauts ; en augmentant le niveau des fréquences basses et élevées, atténuées par le haut-parleur, il réduit les irrégularités de la bande passante et régularise

sa réponse globale en phase et en amplitude. On utilise dans ce cas le filtre en égaliseur de niveau.

La solution du haut-parleur unique, bien que séduisante par sa simplicité n'est pourtant pas idéale, en effet, lorsqu'on veut obtenir un niveau de pression sonore élevé, on est obligé d'utiliser un haut-parleur capable de déplacer un volume d'air important, on est donc amené, soit à utiliser un haut-parleur de grande dimension, dont la bande passante chutera d'une manière trop importante dans l'aigu, soit un haut-parleur possédant un grand débattement qui pose des problèmes de distorsions par effet Doppler, en effet lorsque la vitesse de déplacement de la membrane n'est plus négligeable devant la vitesse de son, des distorsions harmoniques et des distorsions par intermodulation entre plusieurs fréquences apparaissent. On remarque couramment cet effet lorsque situé au bord d'une route on est croisé par une automobile dont le conducteur «klaxone», la fréquence de l'avertisseur paraît plus élevée lorsque l'automobile se rapproche et moins élevée lorsqu'elle s'éloigne, cet effet augmente lorsque la vitesse du véhicule augmente:

Pour pallier les inconvénients du haut-parleur unique, on a pensé à utiliser simultanément plusieurs haut-parleurs, créés spécialement pour fonctionner avec un minimum de défauts sur une bande de fréquences limitées, la juxtaposition de ces différents haut-parleurs permet de recréer la totalité de la bande audio.

On utilise généralement trois haut-parleurs : le haut-parleur des basses fréquences (boomer), le haut-parleur des fréquences moyennes (médium) et le haut-parleur pour fréquences aiguës (tweeter).

Chacun de ces transducteurs fonctionne mal lorsqu'on l'utilise en dehors de sa plage de fré-

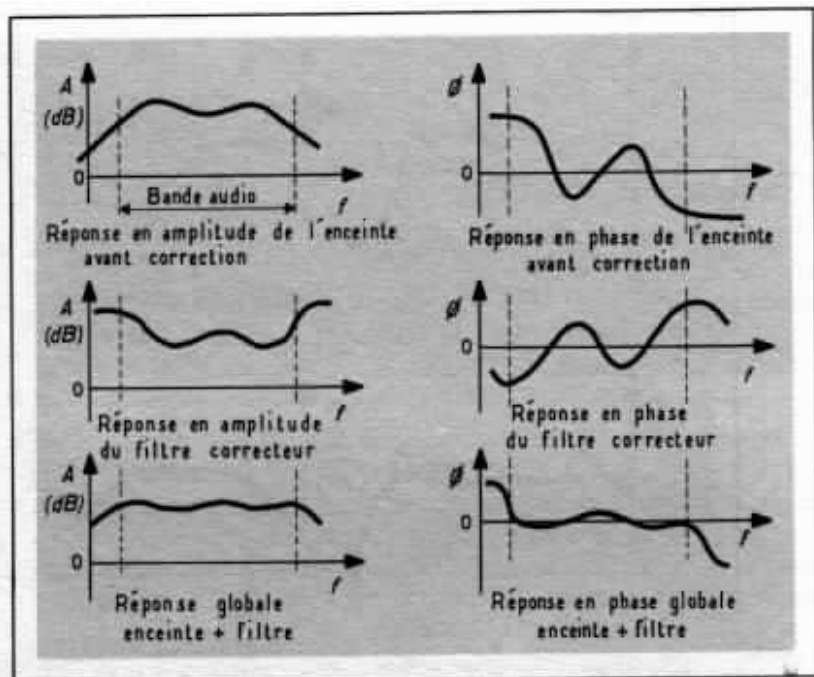


Fig. 7 : Correction en phase et amplitude d'une enceinte, équipée d'un haut-parleur large bande, par un filtre égaliseur

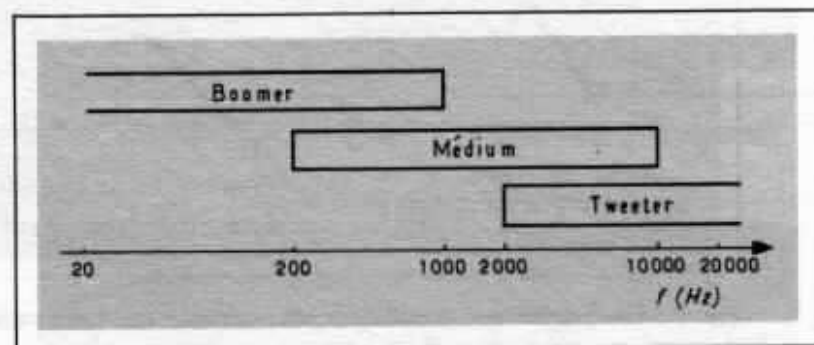


Fig. 8 : Zone limite des différents haut-parleurs

quences privilégiée, ainsi si l'on excite par des fréquences moyennes ou aiguës un haut-parleur de grave, celui-ci les reproduit avec beaucoup d'irrégularités et de traînage. Si un médium est utilisé dans les basses fréquences l'important débattement de sa membrane provoquera des distorsions audibles et il ne sera plus à même de reproduire les fréquences moyennes, un médium reproduira souvent les aigus avec irrégularité. De même

un tweeter utilisé, également dans le médium distordra le signal, son utilisation dans le grave provoquant irrémédiablement sa destruction.

Ces considérations s'entendent pour des transducteurs de conception classique. On ne peut donc pas faire simplement fonctionner simultanément les haut-parleurs sur toute la bande audio, mais on est amené à n'envoyer sur chaque haut-parleur que le type de fréquences

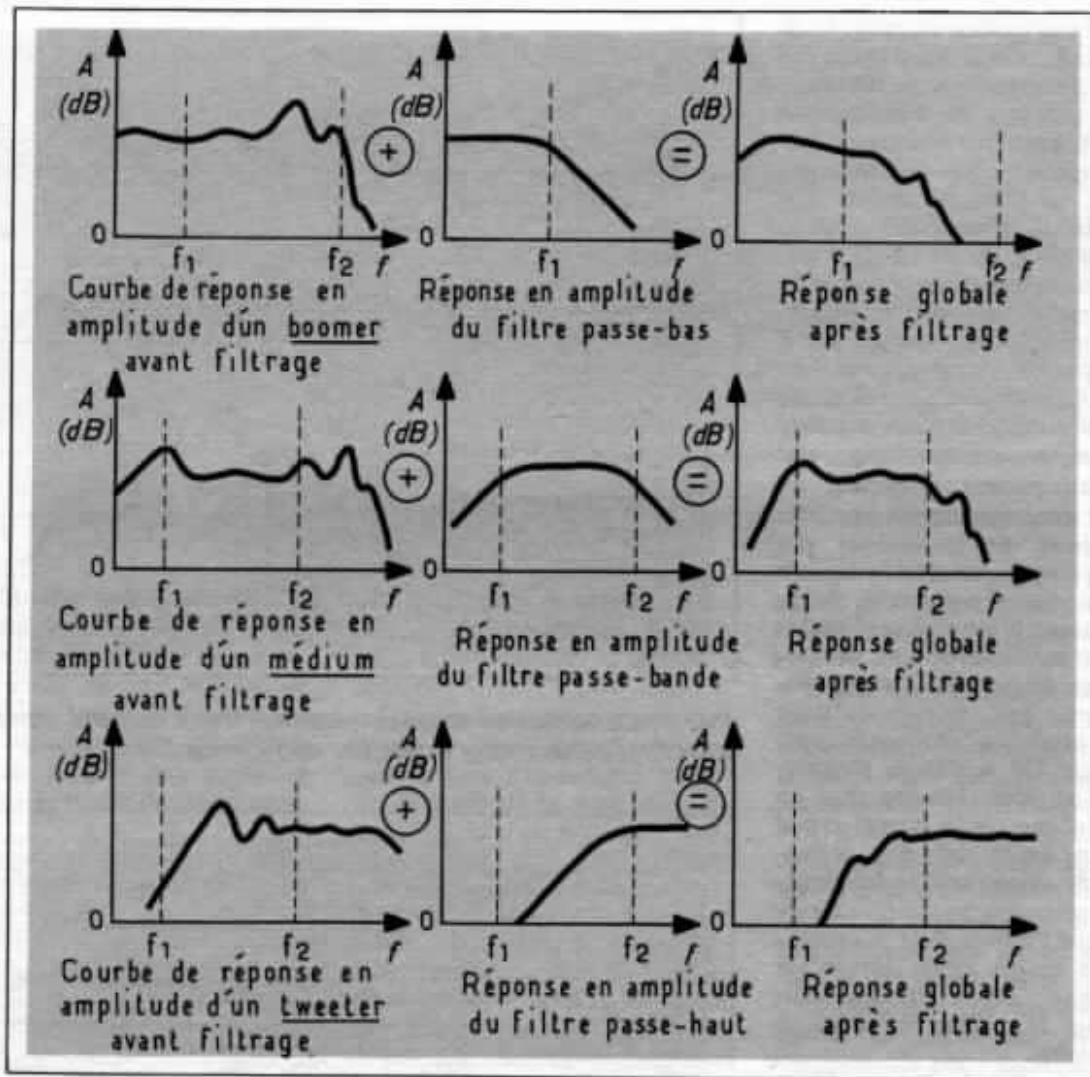


Fig. 9 : Diminution des défauts des haut-parleurs par l'action des filtres sélecteurs de bande

qu'il est à même de reproduire ; c'est le rôle du filtre sélecteur de bande. On utilise donc en série avec chaque haut-parleur un filtre qui ne « laisse passer » que les fréquences pour lesquelles le haut-parleur est prévu.

• **Filtres actifs, filtres passifs :**

On peut filtrer le signal à envoyer au haut-parleur, soit par un filtre électronique actif, soit par un filtre passif. Dans la solution avec filtre actif, on utilise un filtre et un amplificateur pour chaque haut-parleur, le filtre actif travaillant à faible niveau

sera disposé en amont de l'amplificateur. Ce système sophistiqué possède l'avantage d'attaquer chaque haut-parleur directement par un amplificateur, le haut-parleur travaillant ainsi sur une source de tension pratiquement pure (très faible impédance de sortie des amplificateurs à transistors) fonctionne électriquement dans les meilleures conditions, d'autre part, les possibilités d'élaboration et de précision d'un filtre actif sont plus étendues que celles d'un filtre passif (cf chapitre suivant). Les amplificateurs sont utilisés dans

une plage de fréquence limitée et sont ainsi peu sollicités, ils sont néanmoins chargés par l'impédance assez tourmentée du haut-parleur.

Par contre ce système a l'inconvénient d'être compliqué et coûteux puisqu'au lieu d'utiliser un amplificateur, on est obligé d'en posséder autant que de haut-parleur. L'économie réalisée au niveau du filtre passif correspond environ à la dépense concernant le filtre actif. D'autre part, les étages de filtrage actifs ne sont pas dénués de défauts électroniques (bruit et distor-

sions), mais on peut également utiliser des filtres à faible niveau entièrement passifs.

Ces systèmes se présentent généralement sous forme intégrée, les amplificateurs étant installés directement dans l'enceinte, cette solution permet d'asservir facilement le haut-parleur de grève, puisque toute l'électronique de puissance est dans l'enceinte.

Comparé au filtrage électronique et à sa multi-amplification le système passif est beaucoup plus simple, si on se contente d'un filtrage peu élaboré. Par contre, lorsque l'on veut obtenir d'excellents résultats (cf chapitres suivants) des problèmes de couplage électrique entre le haut-parleur et le filtre apparaissent, d'autre part, on ne peut pas rendre indépendant les différentes fonctions du filtre (égalisation, filtrage, adaptation d'impédance) par des étages tampons comme en électronique. Mais le système à l'avantage, si les composants sont de bonne qualité d'avoir de très faibles taux de distorsions et aucun bruit électronique, il permet également d'adapter exactement l'impédance de l'enceinte à l'impédance optimum de fonctionnement de l'amplificateur. Mais lorsque l'amplificateur distord dans une plage de fréquences (le grève le plus souvent) les distorsions s'entendent dans tous les haut-parleurs, ce qui n'est pas le cas en multi-amplification. Enfin le système est plus économique du point de vue électronique de puissance.

La meilleure solution au niveau des performances pures, consiste, sans doute à attaquer séparément chaque filtre passif par un amplificateur de puissance différent. On combine ainsi les avantages des 2 systèmes puisque lorsqu'un amplificateur distord, cette distorsion ne s'entend que sur les haut-parleurs qu'il alimente et de plus celle-ci étant refiltrée par le filtre

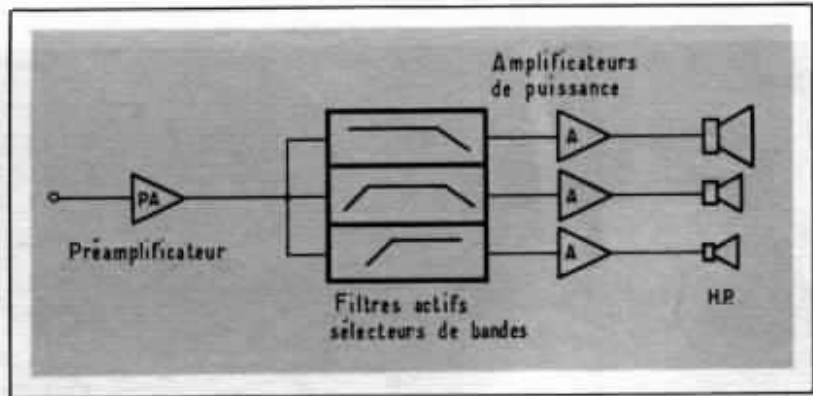


Fig. 10 : Synoptique d'utilisation d'un système multi-amplifié avec filtres actifs

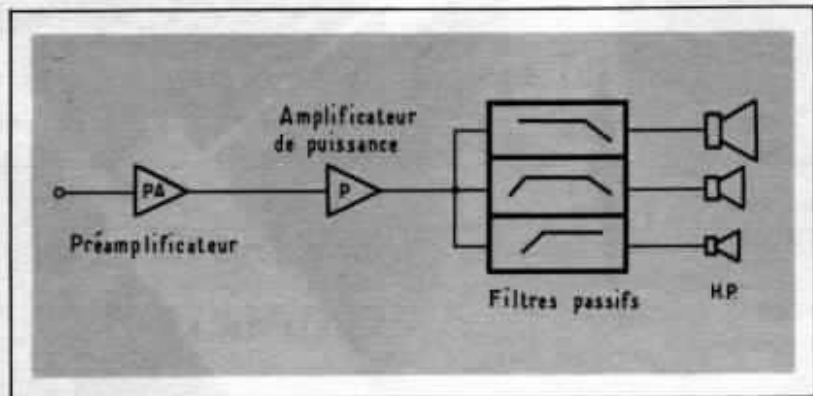


Fig. 11 : Synoptique d'utilisation d'un système à filtres passifs classiques

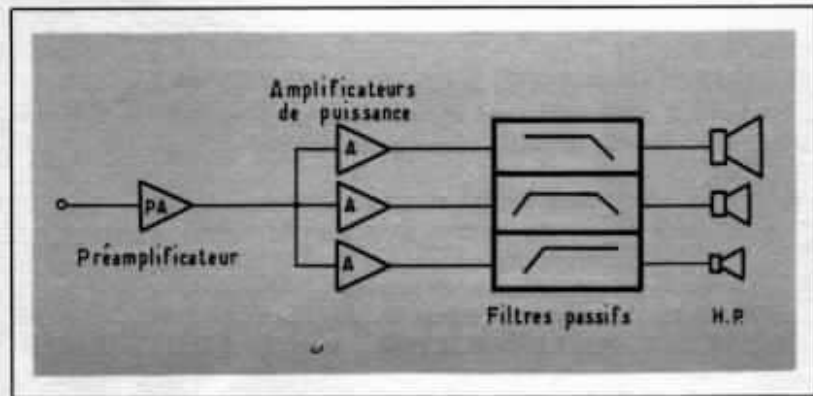
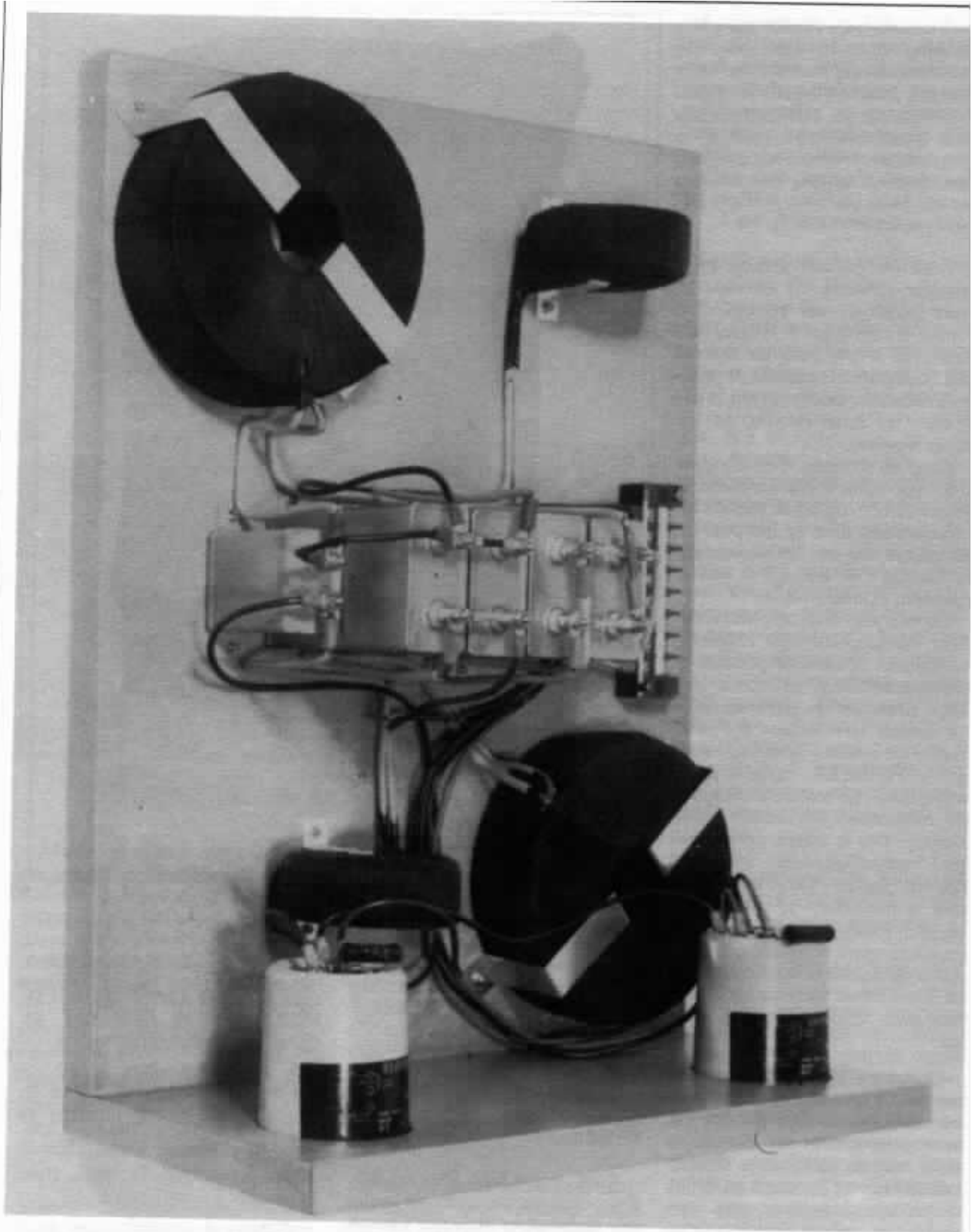


Fig. 12 : Synoptique d'utilisation d'un système à multi amplification et filtres passifs

passif, les harmoniques qu'elle engendre sont diminuées d'autant. Les défauts électroniques dus au filtrage actif sont supprimés et l'adaptation d'impédance entre l'ampli et le haut-parleur peut être

réalisée. Les amplificateurs sont tout de même plus sollicités qu'en multi-amplification puisqu'ils fonctionnent en large bande. Le système reste utilisable avec un seul amplificateur si on le désire. (A suivre)



Filtre 3 voies Onken, utilisant des inductances à air, fil émaillé de 3,2 mm de diamètre et des condensateurs au papier de haute qualité. Poids total 32 Kg.