

REGARD Clément

Diplôme Professionnel Son 2^{ème} Année
2007-2008

Sonorisation d'un signal analogique



Introduction	
I Rappels	4
II Le filtrage du signal	6
III L'amplification	15
IV La diffusion	23
V Etude d'un système de diffusion	36
Conclusion	40

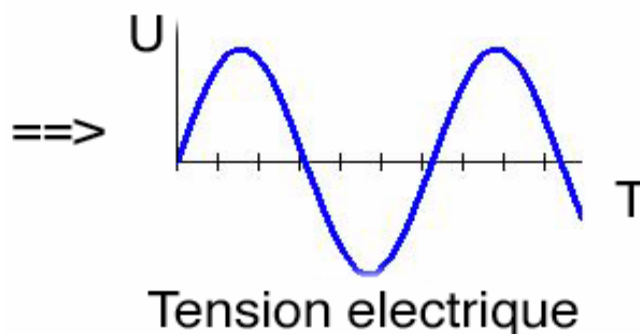
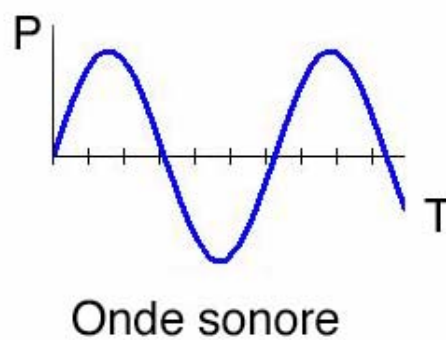
Introduction

La musique occupe une place importante dans notre société. Les méthodes de création, d'exploitation et de diffusion s'améliorent de jour en jour. La sonorisation de concert a connu et connaît toujours une évolution remarquable. La restitution du signal original est une priorité ; ingénieurs et constructeurs se sont efforcés de mettre cet aspect en avant. Comment fonctionne une chaîne de sonorisation « classique » ? Quelles sont les différentes technologies mises en œuvre ? Quelles peuvent être les qualités, les défauts de ces différents systèmes ? Ce mémoire a pour but d'expliquer le fonctionnement « basique » d'une chaîne de sonorisation. Nous concluerons cette explication par l'étude d'un système de diffusion complet.

I – Quelques rappels

→ Qu'est ce qu'un système analogique ?

Le son se propage dans l'air sous forme de vibrations (pressions/dépressions) Pour pouvoir transporter et traiter ce phénomène physique avec des machines, il faut convertir cette forme d'énergie en une forme différente. Le fait de convertir une énergie physique en une autre s'appelle la transduction. Le micro va nous servir de transducteur, et va permettre de transformer l'onde sonore en énergie électrique. On dit d'un système qu'il est analogique, lorsque le signal résultant de la transduction est l'image exacte du phénomène qui l'a créé. Par exemple, l'amplitude du signal électrique créé est l'image parfaite de la pression sonore ; la forme du signal électrique est aussi la réplique exacte de l'image sonore (pression et dépression de l'air).



→ Quels sont les ordres de grandeur des tensions alors créées ?

En sortie d'un micro standard, l'ordre de grandeur de la tension est le mVolt. Ce genre de tension est facilement altérable, par toutes sortes de parasites (rayonnements magnétiques, qualité du câble etc...). Le signal est alors transporté dans un câble blindé (le blindage jouant le rôle de cage de Faraday luttant contre les nuisances électriques et électromagnétiques) et est directement pré-amplifié à son entrée dans une console de mixage. On arrive alors à un niveau ligne, de l'ordre du Volt (le signal est alors moins sensible aux différents parasites).

→ Avantages et inconvénients ?

Le signal électrique étant la réplique exacte du phénomène acoustique, la précision est, en théorie, parfaite.

Néanmoins, chaque composant possède des caractéristiques propres (bande passante, distorsion, différents effets de filtrage...) ce qui modifie le signal de manière permanente. On dit que le système colore le signal, lui donne un grain particulier. Chaque transformation du signal engendre obligatoirement du bruit de fond car chaque composant en crée. L'inconvénient majeur d'un système analogique est la dégradation irréversible du signal. Le système est incapable de distinguer signal utile et bruit de fond.

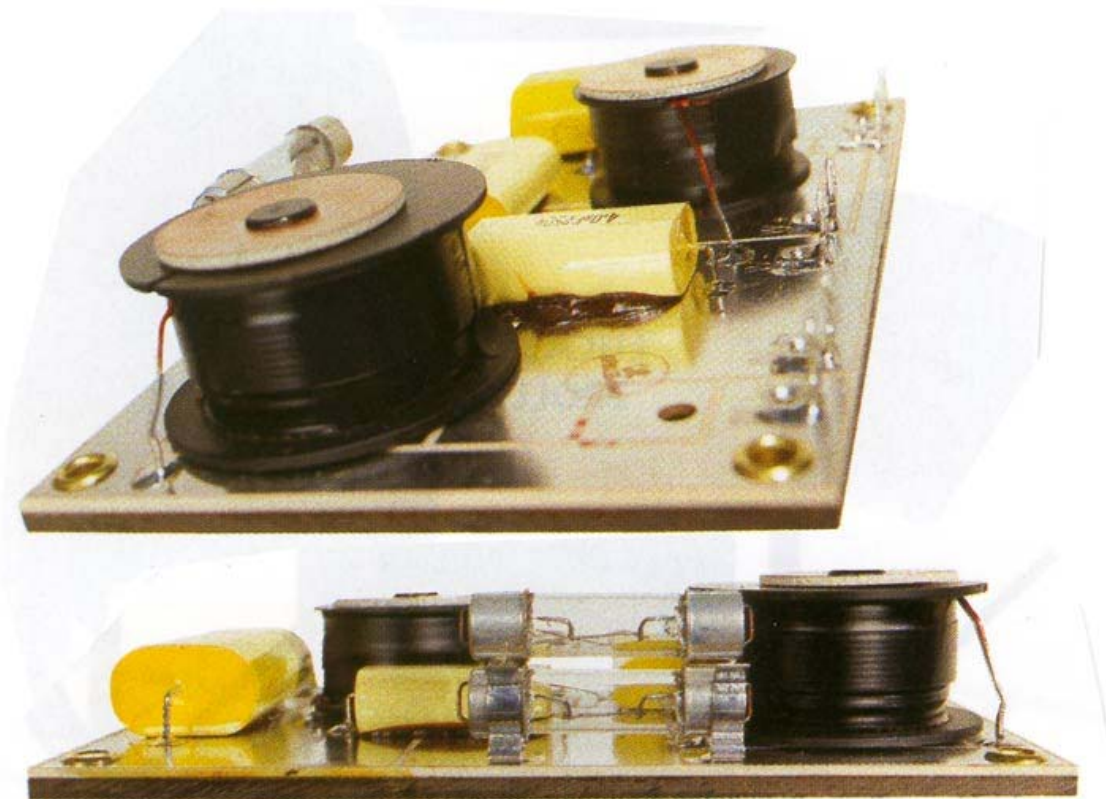
II – Différentes manières de filtrer un signal analogique

Lors d'une sonorisation, le technicien va être amené à mixer, mélanger, toutes les sources qu'il capte avec ses différents micros. La console va servir de « mélangeur ». C'est le mixage de toutes ces sources que nous voulons amplifier. Nous récupérerons par exemple une sortie de console, ce qui correspond à deux signaux analogiques distincts (left and right). Dans n'importe quelle sonorisation professionnelle, il y aura obligatoirement la présence d'un filtrage, qu'il soit pré ou post amplification.

Quel intérêt de filtrer le signal ?

La notion de filtrage consiste à diviser le signal de départ en plusieurs bandes de fréquences. L'intérêt de ceci est de pouvoir envoyer aux différents composants de l'enceinte, les plages de fréquences pour lesquelles ils ont été conçus. Nous détaillerons le fonctionnement complet d'une enceinte un peu plus bas.

Le filtrage passif

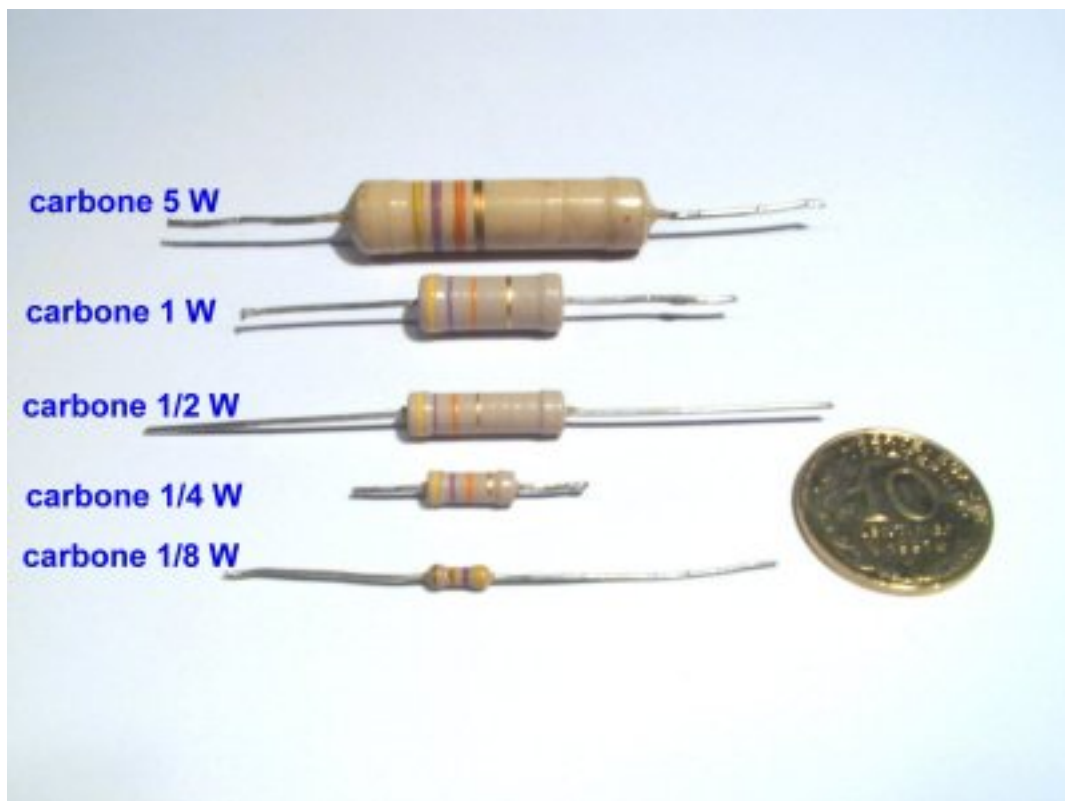


On appelle filtrage en passif un filtrage qui s'opère post amplification. On utilise des composants analogiques extrêmement courant, par exemple des bobines, des condensateurs, des résistances...

Ainsi, le filtrage intervenant après l'amplification du courant, les composants sont construits en conséquence et sont capables de supporter de forts courants électriques. Ces composants se trouvent à l'intérieur même de l'enceinte et sont de taille relativement importante (cf. photo ci-contre).

On appelle composant un récepteur élémentaire ayant un comportement électrique parfaitement déterminé. Le filtrage passif utilise des composants dit « passifs ». Les composants assureront leur rôle en consommant de l'énergie électrique (par opposition aux composants actifs qui en consomment et en produisent). Il n'existe que 3 composants passifs : la résistance, la bobine et le condensateur. Étudions les principaux composants de manière à comprendre le fonctionnement d'un filtre passif :

La résistance

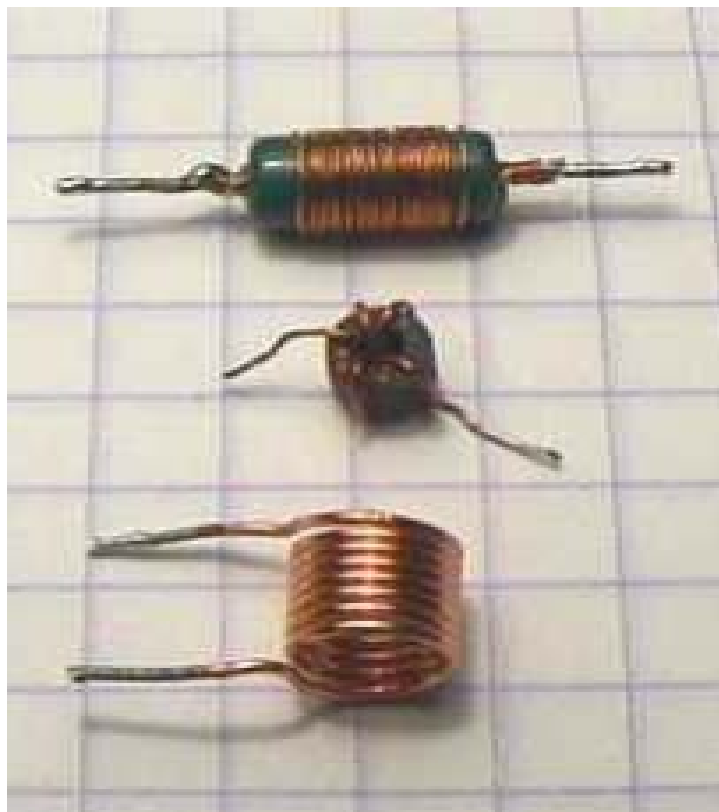


La résistance (ou résisteur) est un composant passif qui s'oppose plus ou moins au passage du courant. L'énergie électrique que la résistance prélève est transformée en énergie thermique. C'est un composant ayant deux bornes (c'est donc un dipôle). Les résistances sont constituées le

plus souvent de céramique et de verre. La résistance se caractérise par sa valeur, exprimée en Ohm ; on peut alors en déduire la puissance qu'elle peut dissiper.

Le comportement d'une résistance en présence de courant est assez simple ; en effet lorsque l'on fait varier la tension aux bornes d'une résistance, le courant qui la traverse varie proportionnellement. La fonction $f(i)=u$ est donc une fonction affine avec comme coefficient directeur la valeur de la résistance, r . Ainsi, dans un filtre passif la résistance ne sert qu'à limiter le courant et ne filtre aucune fréquence. Malgré cela, les résistances sont indispensables dans la mise en œuvre d'un filtre passif.

La bobine



La bobine est d'un fil de cuivre (le plus généralement) roulé en forme de spires. Le nombre de spires est une caractéristique importante de la bobine : il agit directement sur l'inductance de la bobine (notée L), capacité de la bobine à créer un courant induit. Lorsqu'une bobine est soumise à un champ magnétique variable (courant alternatif par exemple), il se crée alors un courant dit « induit » dans la bobine qui s'opposera en tout temps au courant principal. Le courant résultant dans le circuit sera donc obligatoirement inférieur au courant qu'il y aurait sans bobine. Nous devons donc prendre en compte la résistance de la bobine, qui est ici variable ; c'est ce qu'on appelle l'impédance de la bobine (notée ZI). Intuitivement, on peut déjà dire que plus l'impédance

de la bobine est élevée, moins la bobine laissera passer le courant. Plus la fréquence du courant qui traverse la bobine est élevée, plus l'opposition de la bobine sera élevée ; en d'autres termes, l'impédance de la bobine dépend de la fréquence du courant qui la traverse et aussi de son inductance.

On peut donc en déduire la formule :

$$Z_L = L\omega \Leftrightarrow Z_L = L2\pi F$$

ω étant la pulsation. On observe tout de même à l'intérieur de la

bobine, un déphasage de la tension dans la bobine par rapport à l'intensité égale à $\frac{1}{4}$ de période soit $\frac{\pi}{2}$ rad, correspondant au courant induit créé par la variation du courant principale.

Lorsque la bobine est branchée en série dans un circuit, elle fait donc office de filtre coupe haut (ou passe bas). Par contre, montée en parallèle, une bobine devient un filtre coupe bas.

Le condensateur



Le condensateur est un composant passif constitué de deux plaques métalliques séparées par un isolant. On pourrait penser que le courant ne peut donc pas circuler dans le circuit à cause du condensateur. En effet d'un point de vue électrique aucun électron ne passe d'une plaque à l'autre. Par contre, la proximité des plaques fait que la continuité du champ électromagnétique n'est pas rompue. Si l'on applique un courant continue aux bornes d'un condensateur, nous pourrions observer la présence d'un courant électrique qui va tendre à s'annuler. Le courant s'arrête donc à un moment donné, ce qui est normal car l'isolant entre les deux plaques stoppe

réellement les électrons. Que se passe-t-il en fait ? Le condensateur va se charger : en effet les électrons vont simplement s'accumuler sur l'une des plaques du condensateur jusqu'à ce que le condensateur ne puisse plus en stocker. À ce moment là, le courant ne circule plus et le condensateur est dit « chargé ».

La capacité du condensateur (exprimée en Farad et notée C) est le nombre de charge que celui-ci peut accumuler. Si l'on débranche le générateur, le condensateur va se décharger dans le circuit (sens du courant inverse à celui donné par le générateur). Le temps de charge du condensateur est aussi une de ses caractéristiques et s'exprime comme ceci : $T = RC$

La résistance du condensateur est en faite variable dans le temps : une chargé sa résistance est infinie car plus aucune tension dans le circuit, on parle donc d'impédance.

En alternatif, le comportement du condensateur est le même. La seule différence est que le condensateur se charge en fonction de l'alternance du courant. Il faut alors prendre en compte le temps de charge du condensateur. Si celui-ci se charge lentement par rapport à la demi période du courant alternatif, le condensateur n'aura pas le temps de se charger. Il y aura donc toujours du courant dans le circuit. Par contre, s'il se charge trop rapidement, une fois chargé, il arrêtera le courant dans le circuit. Raisonons maintenant en termes de fréquence et non plus en demi-période.

Plus la fréquence sera élevée (donc plus la demi période sera courte), plus il y aura de courant dans le circuit. L'impédance du condensateur sera donc faible. À l'inverse, pour les basses fréquences, il y a moins de courant dans le circuit ce qui traduit une forte impédance du condensateur. L'impédance du condensateur est inversement proportionnelle a la fréquence qui le traverse. On peut en déduire la formule suivante : $Z_c = 1/C\omega$

Un condensateur branché en série agit comme un filtre coupe bas (ou passe haut), alors que monté en parallèle, il agit comme filtre coupe haut.

Comme dans la bobine nous pouvons constater qu'un récepteur n'est pas purement résistif, car on peut de nouveau observer un déphasage courant/tension. Dans un condensateur, la tension est en retard de $\pi/2$ sur le courant.

ÉTUDE D'UN FILTRE PASSIF

Un filtre passif possède 3 caractéristiques distinctes :

→ **La fréquence de coupure** : (notée F_c) est celle à partir de laquelle le filtre opère. La fréquence de coupure est aussi définie par la fréquence à laquelle on a un gain de -3dB. Par exemple, pour un filtre coupe haut qui ressemble fortement à un circuit RC, en écrivant les lois du circuit, on obtient :

$$U_g = U_r + U_c \quad \text{avec} \quad U_c = Z_c \times I \quad \text{et} \quad U_r = R \times I \quad \text{soit}$$

$$U_g = I (R + Z_c) \quad \text{si l'on multiplie par } Z_c \text{ on obtient}$$

$$U_g = U_c \times (R + Z_c) / Z_c$$

Calculons maintenant le rapport U_c/U_g . On pose

$$U_c/U_g = (Z_c \times I) / (U_c \times (R + Z_c) / Z_c) = (U_c \times Z_c) / (U_c \times (R + Z_c))$$

$$U_c \text{ se simplifie soit } U_c / U_g = Z_c / (R + Z_c) \text{ soit } U_c/U_g = 1 / (1 + R/Z_c)$$

D'où en remplaçant Z_c (par $1/C\omega$) et ω (par $2\pi F$) on obtient

$$U_c / U_g = 1 / (1 + RC2\pi F)$$

Étudions maintenant la fonction $f(U_c/U_g)$ lorsque F varie.

Lorsque $F \rightarrow 0$, on trouve : $RC2\pi F \rightarrow 0$ d'où

$$\lim_{f \rightarrow 0} f (U_c / U_g) = 1$$

$f \rightarrow 0$

Lorsque $F \rightarrow +\infty$, on trouve : $1 + RC2\pi F \rightarrow +\infty$ (1 est négligeable devant $+\infty$) d'où

$$\lim_{F \rightarrow +\infty} f (U_c / U_g) = 0$$

$F \rightarrow +\infty$

La fréquence de coupure est l'intersection de ces deux asymptotes. Il faut donc résoudre

l'équation $1 = 1 / RC2\pi F_c$. Écrivons maintenant cette équation en fonction de F_c soit **$F_c = 1$**

$/ RC2\pi$

De cette formule, nous pouvons déduire l'influence de R et de C sur la fréquence de coupure du filtre. En effet, F_c est inversement proportionnelle à R et C , donc si l'on veut que la fréquence de

coupure soit plus basse, il suffit d'augmenter les valeurs de R et C (et inversement si l'on veut remonter Fc).

→ **La pente du filtre** : correspond à l'efficacité du filtre. Plus la pente est élevée, plus le filtre est efficace. Elle se mesure en dB par Octave. Il faut souligner que R et C n'influent pas du tout sur la pente. Si l'on veut accroître l'efficacité du filtre, il faut rajouter des cellules filtrantes. Si l'on reprend l'exemple du filtre coupe haut vu précédemment, il nous suffit de rajouter une bobine en série pour additionner son action et celle du condensateur monté en parallèle. L'ordre du filtre correspond au nombre de cellules de filtrage que contient le filtre (une cellule = filtre du premier ordre, etc). Une cellule de filtrage (que ce soit dans un circuit RC ou RL) aura toujours une pente de 6dB/octave exactement. Ainsi, un filtre du premier ordre aura une pente de 6db/octave, un filtre du second ordre aura une pente de 12db/octave, etc... La plupart des filtres que l'on rencontre sont des filtres du second ordre ou du quatrième ordre.

Le nom du filtre est souvent celui de son créateur (comme Butterworth, Linkwitz-Riley, Bessel...). Ils se différencient principalement par le comportement au voisinage de la fréquence de coupure (atténuation et pente en précèdent Fc). C'est la valeur du coefficient de surtension à Fc qui est à l'origine de ces différences. Plus ce dernier est élevé, plus il permet d'obtenir une pente de filtrage plus proche de Fc, mais ceci va au détriment du temps de propagation.

→ **La phase du filtre** : nous savons que condensateur et bobine induisent un déphasage courant/tension. Ce déphasage peut être mesuré en unité de temps et converti en radians. Un déphasage d'une période complète correspond à 2π rad, d'une demi-période à π rad et d'un quart de période à $\pi/2$ rad. Un filtre ne déphase pas lorsqu'il n'est pas en action. Par contre il déphase de $-\pi/2$ rad lorsqu'il est complètement en action et de $-\pi/4$ rad à sa fréquence de coupure. Le déphasage est obligatoirement présent lorsqu'un filtre est inséré dans un circuit. Il faut aussi savoir qu'en rajoutant des cellules de filtrages, on accroît le déphasage. Dans un filtre du second ordre, on inverse souvent la polarité du HP d'aigu, ceci pour le remettre en phase avec celui du bas. C'est l'un des inconvénients majeurs d'un filtre passif. On pourrait aussi citer la résistance du circuit qui provoque un mauvais amortissement et un faible rendement (nous expliquerons l'amortissement un peu plus bas, lors du chapitre amplification). En effet, le filtre n'est pas seulement un élément capacitif ou inductif, il possède également sa propre résistance. Les caractéristiques du filtre vont consommer de l'énergie transmise par l'ampli d'où une baisse du rendement.

Le filtrage actif



À la différence du filtrage passif, le filtre actif se situe pré amplification et doit être impérativement alimenté par du courant. En effet, ses composants sont actifs et nécessitent une alimentation. On peut citer le transistor, le circuit intégré ou amplis opérationnels comme composants actifs. On peut qualifier les filtres actifs de la même manière que les filtres passifs. Néanmoins, le filtre actif pourra être analogique ou numérique.

La différence majeure entre un filtre actif analogique et numérique (mis à part le traitement du signal audio) est l'accès à différents réglages. En effet, sur un filtre numérique, il est possible de régler F_c , la pente du filtre ainsi que le type de celui-ci. Il est également possible de régler le gain de sortie de chaque bande de fréquence avant d'attaquer l'ampli. Ceci est véritablement pratique car on peut adapter la puissance envoyée dans chaque haut-parleur sans avoir à insérer plusieurs éléments résistifs. Le réglage d'un Delay permet de recaler temporellement plusieurs points de diffusions qui ne se situeraient pas sur le même plan (boîtes accrochées et plus près du public que les fronts-fill par exemple). On aura aussi accès à des réglages d'égalisation et de limitation. Le filtre analogique est souvent dédié à un système bien précis et ne possède pas autant de capacité de réglages que le filtre numérique.

Le filtrage actif présente bien des avantages :

→ *Le rendement* : le HP étant relié directement à l'ampli, l'énergie issue de ce dernier se dissipe, en théorie, intégralement dans le HP.

→ *Le facteur d'amortissement* : l'impédance de sortie d'amplis est généralement de l'ordre de la dizaine de mOhm. On arrive à avoir des facteurs d'amortissement supérieur à 500 avec un filtrage actif.

→ *Variations de la réponse en fréquence par rapport à l'impédance du HP* : à l'inverse des filtres passifs, le filtre actif n'est absolument pas influencé par le changement constant d'impédance du HP.

→ *La distorsion* : elle sera beaucoup moins audible dans un système actif que dans un système passif : les basses fréquences contiennent plus d'énergie que les hautes. Pour les retranscrire, l'ampli aura besoin donc de beaucoup d'énergie. Les basses fréquences peuvent mettre un ampli en saturation ; l'ampli va alors créer des harmoniques impaires hautes en fréquences, audible et fortement désagréable. Avec un filtrage passif, elles pourront être parfaitement diffusées par le HP au même titre qu'une haute fréquence faisant partie du signal audio de base. Alors qu'avec un filtrage actif, ces hautes fréquences ne seront seulement envoyées que dans le HP de grave, qui sera incapable de retranscrire ces hautes fréquences. Ces fréquences indésirables seront donc beaucoup moins audibles.

Ainsi le filtrage actif est préféré au passif car il présente de nombreux avantages quant une retransmission contrôlée du son original. Le choix du filtrage est parfois imposé par le constructeur. Sur des systèmes de grosse diffusion, le filtrage est pratiquement toujours actif. Les composant d'un filtre actif, étant par définitions actif, le prix d'une telle machine sera forcément supérieur à celui d'un appareil passif.

Filtre actif MX800i



III - L'amplification du signal

L'amplification est une étape fondamentale. C'est là que le signal va être amplifié, multiplié. Étudions le fonctionnement d'un amplificateur depuis l'entrée du signal dans l'appareil, jusqu'à sa sortie.

→ L'étage d'entrée

L'ampli va recevoir de la console ou d'un filtre des tensions de niveau ligne (de l'ordre du Volt). Il doit donc tout d'abord y avoir **une adaptation en tension**. Cela permet de conserver la tension entre les deux appareils. L'adaptation est réalisée lorsque Z_{source} est au moins **dix fois plus petite** que Z_{charge} . Comme l'impédance d'une sortie de console est de l'ordre de la centaine d'Ohm, une entrée d'ampli aura une impédance de l'ordre du kOhm.

Un amplificateur a une tension d'entrée max ; c'est ce qu'on appelle « sensibilité d'entrée ». Elle est variable selon les amplis. Si l'on franchit cette tension d'entrée, l'ampli « clip ». La saturation en entrée provoque chronologiquement une distorsion du signal, un signal carré portant gravement atteinte à la survie de l'encreinte, puis un échauffement de l'ampli puis la casse. Pour éviter cela, il est placé, généralement en face avant de l'ampli, un atténuateur de tension qui agit directement sur la tension d'entrée.

→ Gain et amplification

Intéressons nous maintenant au gain de l'ampli. La puissance de l'ampli paraît être sa caractéristique principale. En réalité, si l'on rentre une même tension dans des amplis de puissances différentes (par exemple 100W sous 8 ohms et 1000W sous 8 ohms), nous obtiendrons la même tension en sortie. En effet, si le gain d'amplification des deux amplis est le même, la tension sera multipliée par le même coefficient dans les deux amplis et ceux-ci donneront une même tension en sortie. La caractéristique déterminant le niveau de sortie est donc le gain d'amplification. Rappelons les différentes expressions du gain :

Prenons une tension d'entrée V_e et une tension de sortie V_s . Le rapport V_s / V_e constitue un gain en tension notée **a**. Cette valeur est sans unité. Exprimons maintenant ce gain correspondant à des tensions, en dB. Pour un gain en dB, nous n'aurons plus un rapport mais une différence, soit $A = N_s - N_e$ (N correspondant à une valeur de niveau, en dB). Pour passer de tension en dB appliquons la formule $N_e = 20 \log (V_e / 0,775)$ et $N_s = 20 \log (V_s / 0,775)$.

On rappelle que 0,775V est la référence de tension pour les dBu, et que 1V est la référence de tension pour les dBv.

On a $A = N_s - N_e$ d'où $A = [20 \log (V_s / 0,775)] - [20 \log (V_e / 0,775)]$

Soit $A = 20 \log (V_s / V_e)$ ce qui correspond à **$A = 20 \log a$** .

Les amplificateurs ont un gain de 32 dB en général. Exceptionnellement, il peut être de 26 ou de 36 dB.

Que pourrait alors vouloir la notion de puissance pour un ampli, si ceci n'est pas sa caractéristique principale? Cette valeur nous indique en fait la valeur maximale que peut dissiper l'ampli. En regardant les choses autrement, cela nous indique finalement la tension max que peut recevoir l'ampli. Par exemple, j'ai un ampli de 800W sous 8 Ohms. Combien de Volts puis-je sortir de ma console pour obtenir une amplification max correspondant à 800W ? On pose :

$$P = U^2 / Z \text{ soit } P = V_s^2 / Z \text{ on obtient donc } V_s = \sqrt{(P \times Z)}$$

Soit $V_s = \sqrt{(800 \times 8)}$ d'où $V_s = \sqrt{6400} \Leftrightarrow$ **$V_s = 80$ volts en sortie d'ampli**

Convertissons tous ça en dBu : $20 \log (80 / 0,775) = 40 \text{ dB}$ => cela correspond au gain total après amplification. Pour avoir un niveau de sortie de console en dB il faut donc retrancher le gain d'amplification qu'apporté l'ampli, soit 32 dB : $40 - 32 =$ **+8 dB**. Soit en volt,

$$20 \log (V_s \text{ console} / 0,775) = 8 \quad \text{d'où} \quad \mathbf{V_s \text{ console} = 1,99 \text{ Volts}}$$

Ce résultat nous indique que nous pouvons dépasser le 0dB en sortie de console sans pour autant faire saturer en entrée l'ampli. Il faudrait être à **+8 dBu** en sortie de console pour faire clipper l'ampli. On voit donc ici clairement que c'est bien le niveau de sortie de console qui gère la puissance délivrée par l'amplificateur. Donc, plus on veut de fortes pressions sonores plus nous devons pousser la console bien au-delà de 0dB.

→ Le bloc d'alimentation

Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme disait un fameux physicien... En effet, s'il y a un gain en puissance, il doit y avoir un apport d'énergie quelque part, d'où le bloc d'alimentations de l'amplificateur. Comme tous systèmes actifs, l'amplificateur a besoin d'une alimentation continue stabilisée pour alimenter ses composants actifs. Qui dit alimentation stabilisée dit : transformateur pour abaisser la tension, redresseur de tension (un simple pont de diodes), condensateurs pour lisser le courant (avec un effet de filtrage), et enfin diode Zener pour stabiliser le tout (la tension de sortie oscillera très peu autour de la tension de sortie voulue).

Parmi ces composants, le transformateur a un rôle très important. En effet, c'est lui qui va fournir le courant nécessaire à la fabrication de puissance.

Il doit être capable de fournir des pics importants de tensions lorsqu'il faut reproduire des transitoires. De plus, le transformateur doit avoir une masse (donc un poids) important. Plus celle-ci est importante, plus le transfo est capable de travailler à basses fréquences (ici 50Hz, car c'est la fréquence du courant alternatif fourni par EDF). Un transfo de taille et de poids importants est un gage de bonne qualité en termes d'alimentation. Voilà pourquoi les amplis traditionnels ont un poids assez élevé et chauffent énormément (cf photo annexe 1) !!

Il existe depuis peu une nouvelle génération d'alimentations, dites « alimentation à découpage ». Le principe de fonctionnement est le suivant : une tension est découpée à très haute fréquence (de l'ordre de la centaine de kHz). On obtient alors une succession de signaux carrés. L'étape suivante consiste à abaisser la tension avec un transformateur comme dans une alimentation classique. Le signal alternatif est ensuite lissé et filtré. Partant d'une tension continue U_e , on arrive à une tension de sortie U_s continue mais échantillonnée à très haute fréquence. Le but de ceci est d'obtenir U_s constante lorsque U_e varie.

Quand on veut diminuer la tension de sortie, il suffit de ne pas ouvrir l'échantillonneur. Il n'y a donc pas de perte d'énergie. Ainsi, une alimentation à découpage dissipera beaucoup moins d'énergie en chaleur, ce qui abaissera fortement la température globale de l'appareil. De plus, l'interrupteur étant un simple transistor fonctionnant en saturé-bloqué, la taille et le poids de l'ampli sont considérablement réduits. Que demander de mieux à une alimentation ?

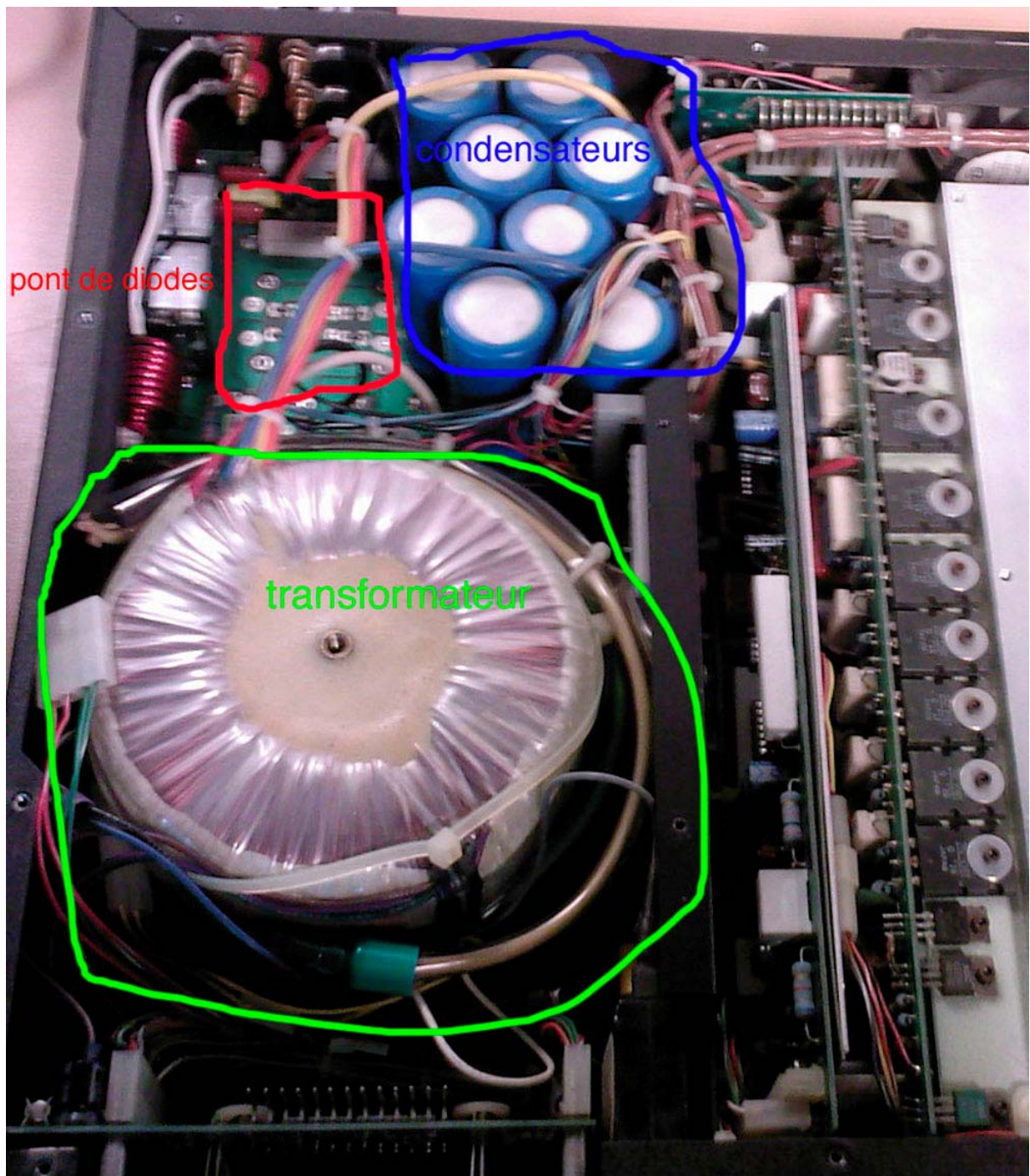


Photo annexe 1
Ampli Crest audio 6001

→ Étage d'amplification

C'est la partie la plus importante de l'amplification. Le composant principal utilisé sera évidemment le transistor qui a des propriétés de gain en puissance. Il existe différentes manières de monter les transistors pour obtenir plusieurs amplifications distinctes :

Classe A : Il n'y a qu'un seul transistor assurant l'amplification de l'alternance positif/négatif, soit un cycle sinusoïdal complet. Le transistor reste ouvert en permanence ce qui génère de la chaleur en grande quantité car sa consommation de courant est presque la même à l'arrêt et en fonctionnement. Il est à noter qu'il n'existe pas ou peu de distorsion. La qualité sonore de la classe A est excellente.

Classe B : A la différence de la classe A, on utilise 2 transistors montés en push-pull ; un pour les alternances positives et un pour les alternances négatives. L'intérêt de ce montage est que le transistor peut se caler sur son point de repos ce qui évite toute surchauffe. Cependant, le passage d'un transistor à l'autre génère une distorsion dite de recouvrement. Un tel montage permet d'obtenir une plus grande dynamique d'amplification et consomme moins de courant au repos que les amplis de classe A.

Classe AB : Dans cette configuration, on retrouve deux transistors fonctionnant comme les amplis de classe B, à l'exception que l'on polarise chacun des transistors ce qui permet de ne pas les refermer complètement et donc d'éviter « l'effet interrupteur » qui génère de la distorsion.

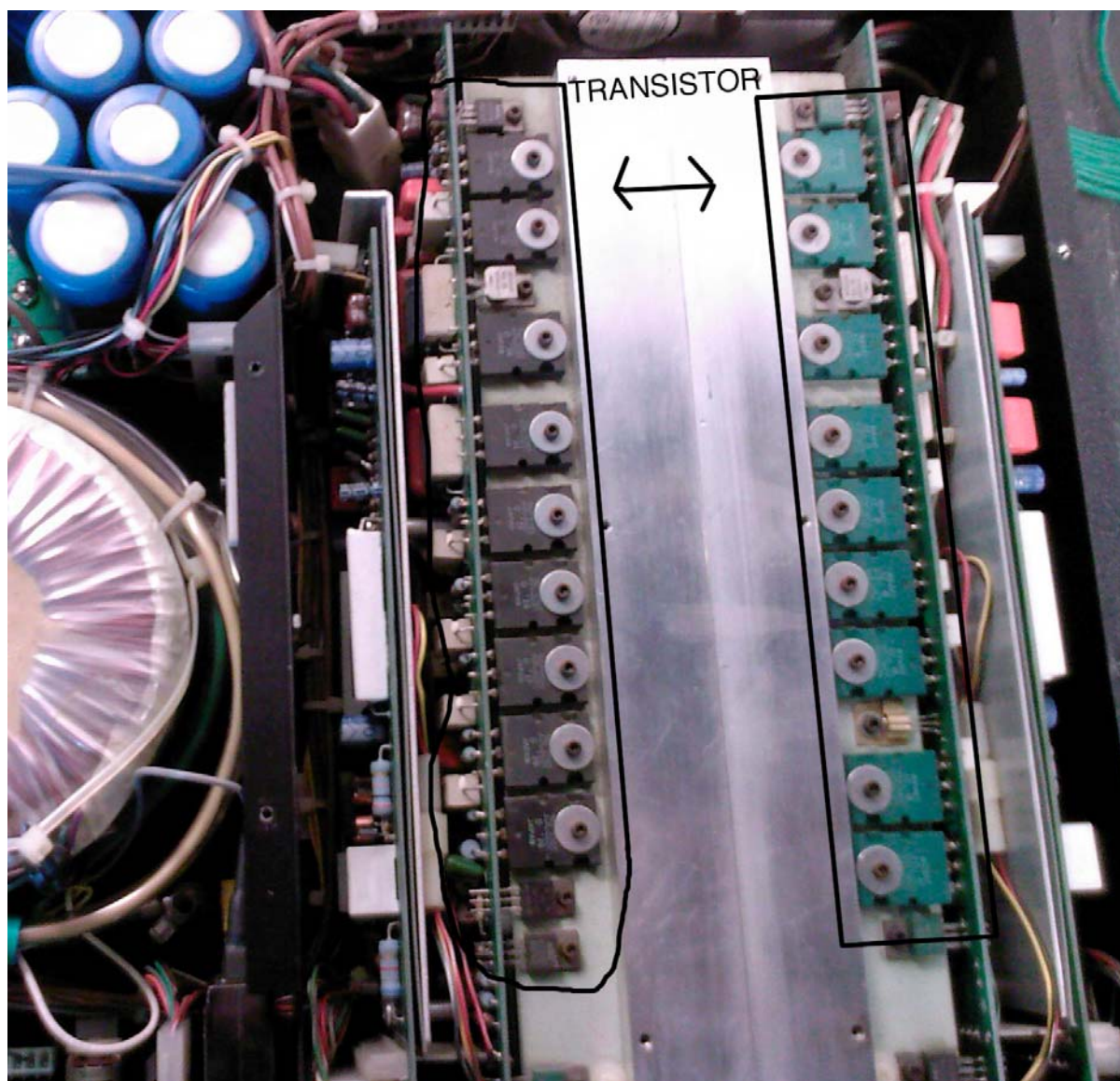
Classe G : Une paire de transistors gère les tensions positives et une autre paire gère les tensions négatives. À l'intérieur de chaque paire, on polarise à des tensions différentes les transistors. Par exemple, pour les alternances positives, le premier transistor sera faiblement polarisé, le destinant ainsi à amplifier les faibles tensions ; le second transistor sera quant à lui fortement polarisé, lui permettant donc d'amplifier les fortes tensions.

Ce principe de fonctionnement sera de la même façon appliqué à la paire négative.

Classe H : Variation de la classe G. La polarisation des transistors se fait en fonction de la tension d'entrée du signal audio. On augmente ainsi le rendement de manière importante.

Classe D : Amplification à découpage. Le transistor fonctionne en alternance saturé-bloqué. Un modulateur sera chargé de découper le signal à très haute fréquence. Le signal carré ainsi obtenu aura comme caractéristiques : « largeur » du carré = fréquence, distance entre chaque signal = amplitude. Les fréquences de travail sont encore une fois très élevées (centaine de kHz). Après le découpage, le signal va être filtré pour éliminer tout signal carré haute fréquence. Si l'on jumelle ce type d'amplification à une alimentation à découpage, on obtient un amplificateur « ultra-

léger », générant beaucoup moins de chaleur qu'un ampli traditionnel, et affichant un rendement très satisfaisant.



Sur la photo ci-dessus, on peut apercevoir, sous les transistors, le circuit de refroidissement d'un ampli traditionnel qui est constitué de plusieurs couches d'aluminium séparées entre elles par du vide pour que l'air puisse circuler et refroidisse le tout. Les circuits de refroidissement sont souvent aidés par des ventilateurs.

→ Étage de sortie

Comme dans l'étage d'entrée nous devons être vigilant sur l'impédance de sortie de l'ampli et l'impédance d'entrée de l'enceinte qui y sera raccordée. En ce qui concerne l'impédance de sortie de l'ampli, si l'on écrit la formule $P = U^2 / Z_{amp}$, on constate bien que, plus l'impédance est faible plus la puissance produite par l'ampli sera élevée. Il faudra donc être prudent à cela, car s'il y a trop de courant qui traverse l'ampli à cause d'une impédance trop faible, on risque la surchauffe et la casse !

L'ampli étant un objet de puissance, il doit donc y avoir adaptation en puissance (et non en tension) pour conserver la puissance entre l'ampli et l'enceinte. Écrivons la loi des tensions d'un circuit ampli enceinte. On pose U_z la tension aux bornes de l'impédance interne de l'ampli, U_{amp} la tension délivrée par l'ampli et U_{hp} la tension aux bornes de l'enceinte :

$U_{amp} = U_z + U_{hp}$ de plus $I = U_{hp} / Z_{hp}$. En remplaçant I par sa valeur, on obtient $U_{amp} = [(Z_{amp} + Z_{hp}) / Z_{hp}] \times U_{hp}$ soit en fonction de U_{hp}

$$U_{hp} = [Z_{hp} / (Z_{amp} + Z_{hp})] \times U_{amp}$$

Exprimons maintenant la puissance en fonction de Z_{hp} , qui variera en fonction du temps. Soit $P = (U_{hp})^2 / Z_{hp}$ d'où

$P = [Z_{hp} / (Z_{amp} + Z_{hp})^2] \times U_{amp}^2$ Il faut maintenant trouver pour quelle valeur de Z_{hp} , P est le plus grand. On trouve P_{max} lorsque $Z_{hp} = Z_{amp}$. Pour conserver la puissance entre ampli et enceinte il faut donc que l'impédance de charge et de source soit sensiblement les mêmes (soit, 2, 4, 8, 16 Ohms, qui sont des impédances normalisées).

→ Taux d'amortissement

Le mouvement de la membrane crée également une force contre-électromotrice : en se déplaçant, la membrane va entraîner la création d'une intensité I_{hp} qui s'opposera en tout temps à celle fournie au HP par l'ampli (I_{amp}). Le taux d'amortissement est la capacité d'un ampli à gérer cette intensité que lui renvoie le ou les HP qui lui sont raccordés. Le taux d'amortissement n'a pas d'unité. Pour obtenir un bon amortissement, I_{hp} doit pouvoir circuler le plus facilement possible. Pour cela I_{hp} doit voir une impédance de charge ($Z_{cable} + Z_{amp}$) la plus petite possible. Au final, on aura $I_{enceinte} = I_{amp} - I_{hp}$.

→ Le bridge d'ampli

Bridger un ampli consiste en fait à aligner les deux canaux d'amplification l'un à la suite de l'autre. On associe la puissance des deux canaux dans une seule charge. La puissance ainsi obtenue est double. Il faut tout de même faire attention : en branchant une charge de 8Ω , l'ampli considère en fait deux charges de 4Ω . Il ne faut absolument pas brancher une charge de 2Ω à un ampli en mode bridge, car ce dernier verrait deux charges de 1Ω . L'intensité serait alors beaucoup trop grande pour l'ampli, il surchauffera et cassera.

→ Les différentes protections

Protection thermique : Les transistors sont montés sur des radiateurs en alu ou en cuivre (cf. photo plus haut) refroidis par ventilation mécanique.

Protection AC/DC : Si un courant continue est repéré aux bornes de sortie d'ampli, il se met en protection.

Protecteurs VHF : Certains amplis peuvent détecter de très hautes fréquences qui pourraient endommager les HP d'aigu à forte puissance. Ces composantes sont chassées aux alentours de 10-12 kHz et filtrées indépendamment du signal audio « modulant ».

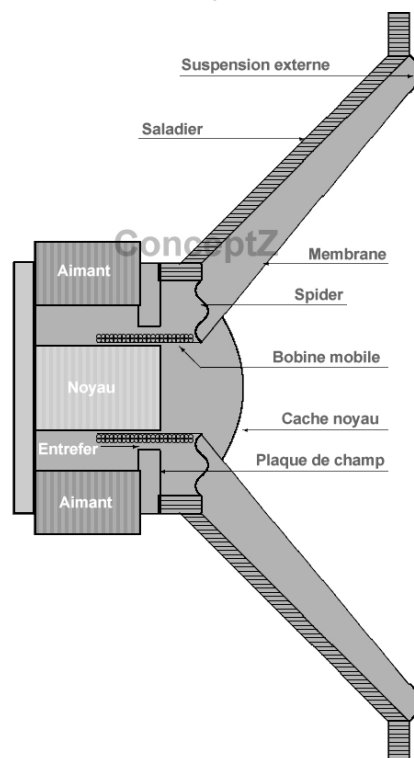
IV - La diffusion du signal

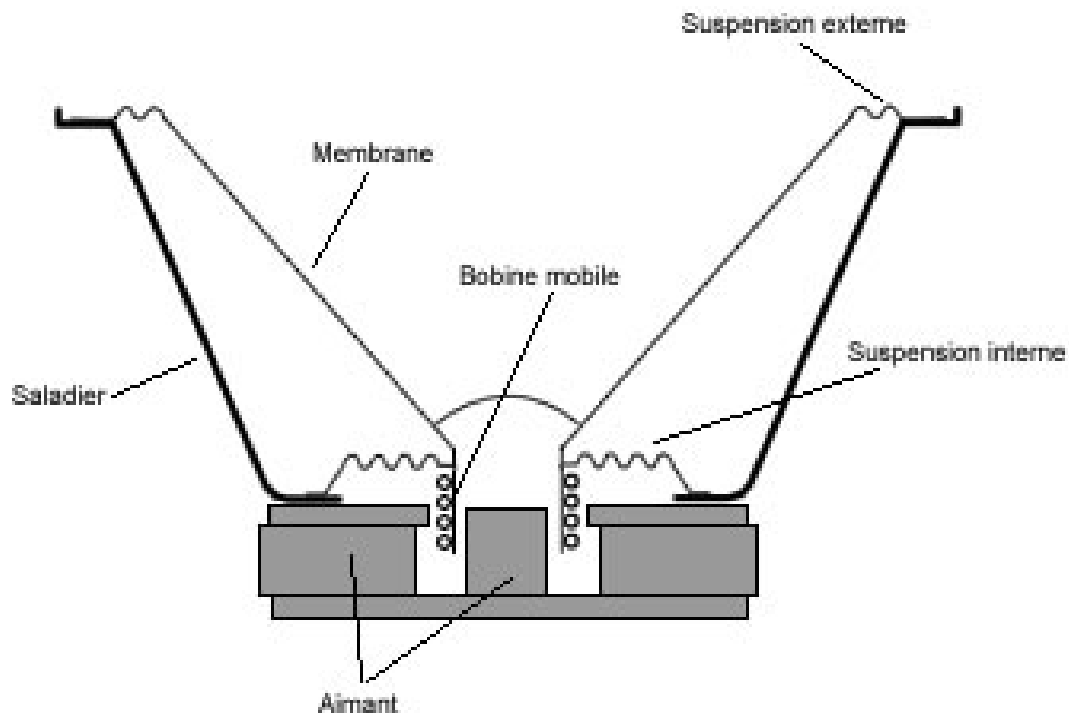


La diffusion du signal analogique se fait naturellement par des enceintes. Étudions le fonctionnement de celles-ci.

→ Le haut-parleur

Le haut-parleur est un composant essentiel dans une enceinte. Il existe plusieurs types de HP, mais nous ne les étudierons pas tous. Nous nous intéresserons au HP électrodynamique, qui est de loin le plus utilisé.





Le principe du HP est de retranscrire une énergie électrique en énergie acoustique. C'est donc un transducteur. Il fonctionne exactement à l'inverse d'un micro dynamique : soumise à un champ magnétique variable, la bobine se met en mouvement. Il suffit alors d'y accrocher une membrane qui reproduira les vibrations de la bobine. On crée alors une onde acoustique audible. Comme nous l'indique le schéma ci-dessus, un HP est composé d'une membrane accrochée à des suspensions (externes et internes que l'on appelle « spider »), d'un saladier et d'un noyau alimenté. Le noyau est essentiellement constitué de « terres rares » présentant une induction très importante (de l'ordre de 1 tesla). La bobine autour du noyau est bien évidemment mobile. Sa conception demande beaucoup d'attention, particulièrement au niveau de la valeur de sa

résistance qui sera choisie dans une grille d'impédance normalisée de 4 – 8 – 16 – 25 – 50 - 100 Ω (le plus souvent étant 4 ou 8 Ω). Après l'impédance, les réactions face aux forts courants sont importantes. Il faut que la bobine supporte de forte chaleur (vers les 600 degrés Celsius dans des HP de sonorisation). La tenue thermique limitera la puissance admissible du HP.

La membrane est la partie rayonnante de l'enceinte. Plus celle-ci sera de bonne qualité, plus la qualité sonore sera bonne. Elle doit absolument être **légère** (pour limiter une trop grande inertie, restituer les régimes transitoires et améliorer le rendement), rigide (pour rejeter vers des fréquences inaudibles les modes de vibrations parasites), et de forme étudiée pour contrôler la directivité. La composition des membranes varie souvent. On peut trouver des membranes faites de papier, carton, tissu imprégné, polyester, nylon... Pour les suspensions, on trouve du butyle, chlorure de polyvinyle etc...Le choix des matériaux et de la forme de la membrane est surtout guidé par la recherche d'une importante rigidité.

Pour accrocher tout cela, on utilise le saladier (ou châssis). Il doit bien évidemment être rigide, et solide, car le poids de l'aimant n'est pas négligeable, et un lorsqu'un HP est monté dans une enceinte, le saladier doit supporter la charge. On retrouve des châssis en tôle embouties, alliage coulé, polymère injecté etc...

Étudions les caractéristiques d'un HP :

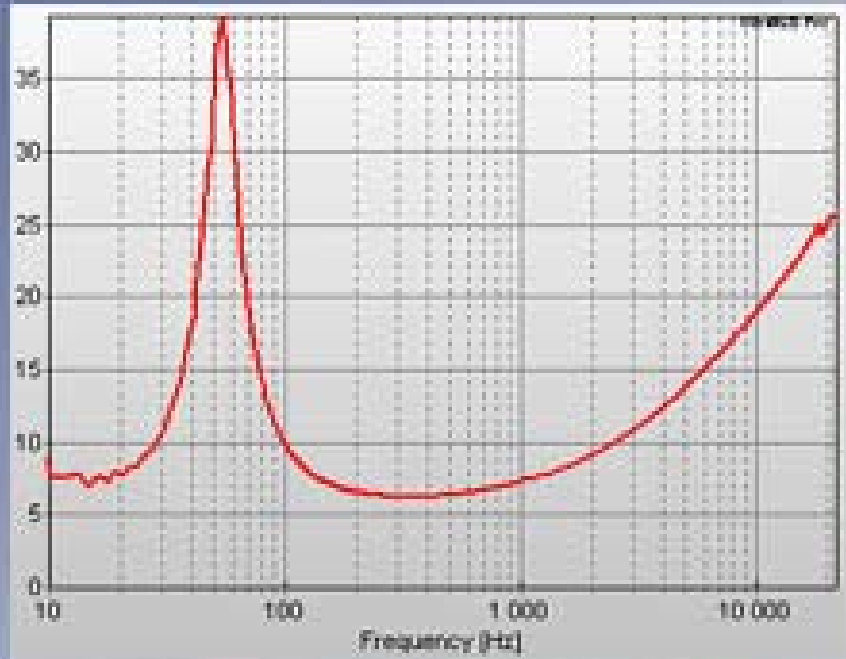
Le rendement : il exprime la capacité du HP à transformé l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie acoustique. C'est donc un rapport de puissance. On a $r = P_{ac} / P_{elec}$ On sait que la puissance acoustique est généralement de quelques Watts et que la puissance électrique est de quelques centaines de watts. On peut ainsi en déduite que le rendement aura toujours une valeur très petite. Le faible rendement est essentiellement dû aux déperditions d'énergie sous forme de chaleur.

L'efficacité : niveau sonore (en dB) délivré par le HP mesuré à 1 mètre lorsqu'on lui rentre une puissance électrique de 1W. On a donc un

résultat en dB / 1w / 1m (pour la mesure, le HP doit être monté dans un baffle plan). Il y a une proportionnalité directe entre puissance électrique et puissance acoustique. Rappelons qu'à chaque double de distance par rapport à l'enceinte, est observée une perte de -6 dB. L'efficacité d'un HP est donc très importante et ne doit pas être négligée. Attention, il ne faut pas confondre efficacité et rendement !

L'impédance : L'impédance d'un HP est tout naturellement celle de sa bobine. N'oublions pas que la bobine en alternatif déphase de $\pi/2$. La courbe d'impédance d'un HP est pratiquement toujours de la forme :

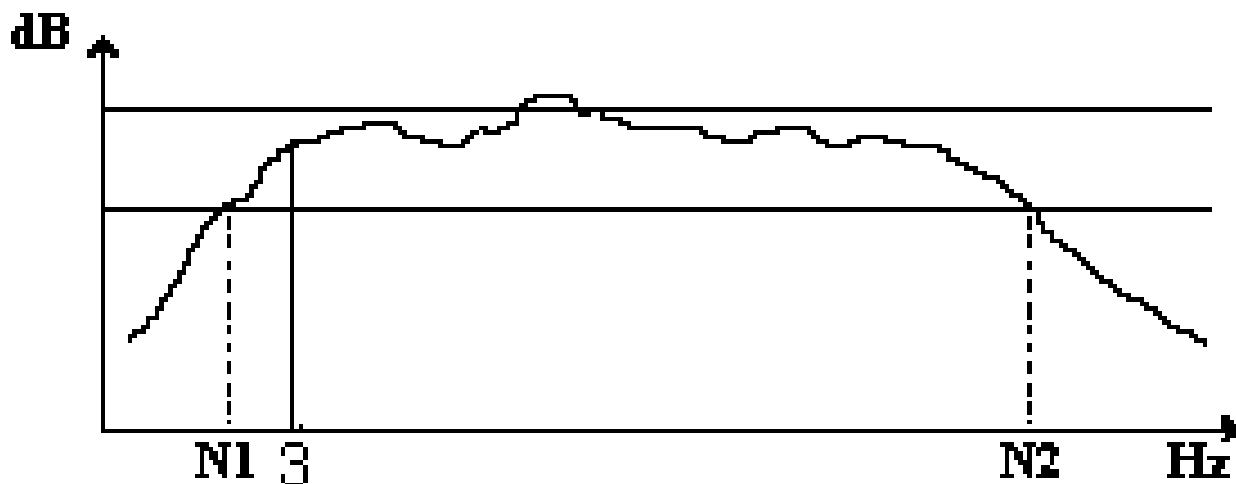
Impedance Results



La courbe d'impédance n'est pas une droite car il faut tenir compte du phénomène de couplage. En effet, la bobine est mise en mouvement par un courant électrique (ce que l'on veut). Comme nous l'avons vu plus haut dans la partie ampli, la bobine va créer un courant induit. Cette courbe tient compte du couplage entre le courant transmis par l'ampli, et le courant induit créé par la bobine. Que nous indique cette courbe ? Lisons le de gauche à droite : Le pic correspond en fait à la fréquence de résonance propre du HP. C'est la fréquence de fonctionnement limite du HP lorsqu'il n'est pas monté dans une enceinte. Cette fréquence peut être approximativement calculée avec la formule $f_r = (1/2\pi) \times \sqrt{k/m}$ avec k = raideur de la suspension (en n/m) et m = masse de l'équipage mobile (en kg). Après le pic, la valeur la plus basse correspond à l'impédance nominale du HP (c'est en fait la valeur de la résistance de la bobine en continue). Pour finir, on remarque une augmentation de l'impédance à partir de 1kHz qui est plutôt linéaire. Ceci correspond à la réponse du HP face au courant induit par la bobine.

Passons aux caractéristiques du rayonnement du HP :

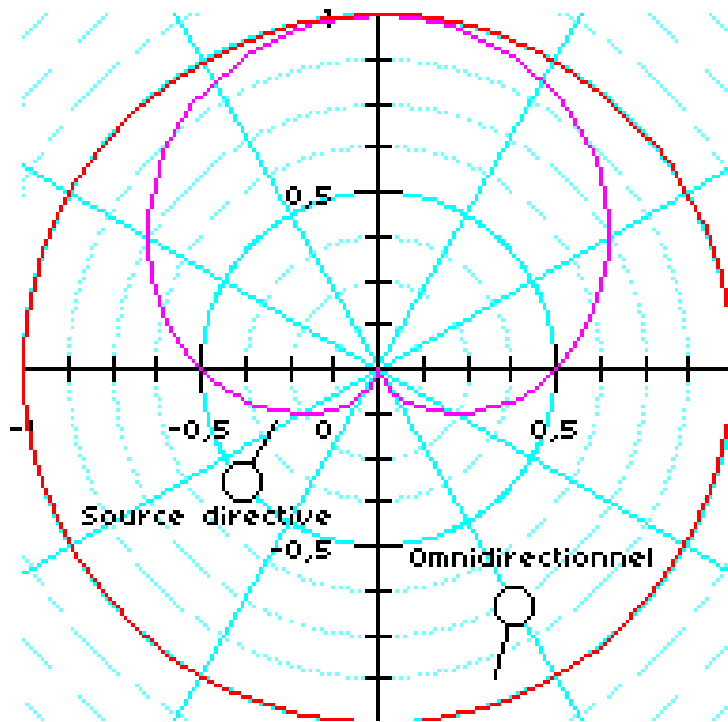
La bande passante : c'est la plage de fréquence dans laquelle le HP fonctionne comme un simple piston. Elle est délimitée dans le bas du spectre par la fréquence propre de résonance du HP, et dans l'aiguë par une fréquence limite f_{lim} au-delà de laquelle les vibrations de la membrane interfèrent avec celles du signal.



Voici la représentation d'une bande passante de HP. En N1, on remarque une bosse puis un décroissement rapide, c'est la fréquence de résonance du HP. En N2, nous visualisons la fréquence limite de fonctionnement du HP. Enfin, en 3, la fréquence à laquelle le HP commence à fonctionner comme un simple piston. Pour mesurer cela, nous devons bien évidemment prendre en compte la position du micro par rapport à l'axe du HP. Plus on s'éloigne de l'axe, plus on remarque une atténuation plutôt linéaire (c'est-à-dire qu'on a une atténuation globale de la bande passante). Ceci est une qualité pour l'enceinte.

La courbe de réponse : c'est la plage de fréquence dans laquelle le HP est supposé fournir une pression contenue dans un intervalle de plus ou moins 3 dB pour une même puissance donnée. Elle est très accidentée, et il est difficile de juger de la qualité du HP juste par la lecture de sa courbe de réponse. Elle est mesurée en chambre sourde, soit en champ libre (= enceinte suspendue à environ 3m du sol), soit en demi-espace (= enceinte posée au sol). En demi-espace, nous observerons un effet de sol, c'est-à-dire un gain de +3 dB dans les basses fréquences (mise en phase de l'onde directe et de l'onde réverbérée) aux alentours de 200Hz.

La directivité : Comme pour un micro, la directivité d'un HP est donnée par diagramme polaire. On peut alors visualiser la perte d'énergie lorsque l'on s'éloigne de l'axe.



La membrane d'un HP peut être considérée comme une infinité de sources rayonnantes ponctuelles qui interfèrent entre elles. En se positionnant dans l'axe du HP, on considère que toutes ces sources arrivent en phase. C'est donc là que l'on aura un gain de niveau, et donc la position où le niveau sonore sera le plus élevé. En s'éloignant de l'axe, de plus en plus de sources ponctuelles se retrouvent hors phase, et produisent alors une atténuation de plus en plus grande. Les oppositions de phases seront beaucoup moins flagrantes dans les fréquences basses, tout simplement parce que ces dernières ont une longueur d'onde beaucoup plus grande que les hautes fréquences (on rappelle que la longueur d'onde λ peut s'exprimer $\lambda = c / F$ avec $c =$ célérité du son dans l'air en $m.s^{-1}$ et $F =$ fréquence en Hz). Un HP sera donc beaucoup moins directif dans les basses fréquences, que dans les hautes.

Le facteur de directivité Q détermine l'intensité dans l'axe. L'indice de directivité quant à lui correspond à une valeur en dB et correspond à

$L_{der} = 10 \log Q$. Si $Q = 1$ on aura une enceinte omni directionnelle. Par contre, plus $Q > 1$ et plus l'enceinte sera directive.

L'angle d'ouverture à -3 dB : il correspond à l'angle dans lequel la pression délivrée par le HP n'est pas inférieure à la pression dans l'axe moins 3 dB. Ceci est un paramètre important, car c'est grâce à cela que l'on va pouvoir définir sur quelle surface le HP (donc l'enceinte) peut délivrer une énergie maximum.

Influence de la taille de la membrane : Pour une même fréquence donnée, la taille de la membrane influe sur la directivité du HP. En effet, si l'on compare la taille de la membrane à la

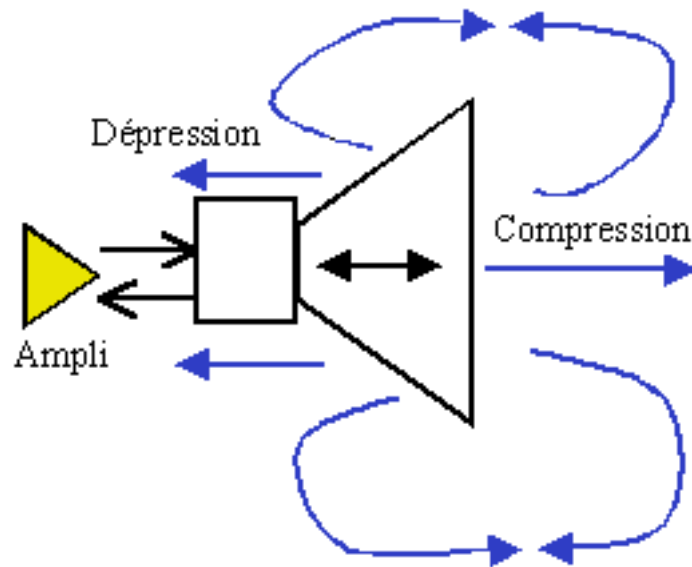
longueur d'onde de la fréquence, la membrane peut jouer le rôle de « mur » ou pas. Plus la membrane sera grande face à la longueur, plus le HP sera directif à cette fréquence.

Plus la source est petite par rapport à la longueur d'onde quelle diffuse, plus celle-ci est omnidirectionnelle.

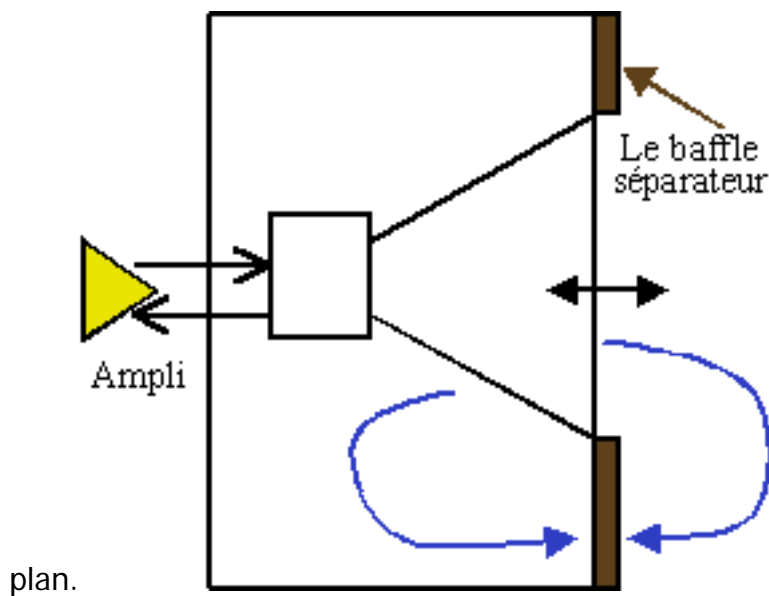
Le spectre des fréquences audibles par l'humain s'étend de 20Hz à 20kHz. Un seul et même HP serait incapable de reproduire tout le spectre. Il va donc falloir créer des HP spécialisés dans la reproduction d'une certaine plage de fréquence. On a pour cela découpé le spectre audible en 3 parties : les basses, les médiums, et les aigues. Chaque plage de fréquence aura un haut-parleur spécialisé, conçu spécialement pour fonctionner à cette plage précise. Les HP de graves seront équipés d'une grande membrane conique ou curviligne (de 17 à 70 cm) maintenue par des suspensions très souples permettant de grands débattements, d'un aimant surpuissant pour compenser l'alourdissement de la membrane. Pour les HP reproduisant les fréquences médium et aigues, nous aurons des membranes très petites (rarement supérieur à 17cm), un cône ouvert et peu profond, et un équipement mobile le plus léger possible.



Un HP seul n'offre pas une grande pression sonore. Nous n'observons qu'un faible niveau, et une absence de grave impressionnante. Cette absence de grave s'explique simplement par une opposition de phase entre l'onde avant et l'onde arrière générée par le mouvement de la membrane.



Il est donc impératif de séparer l'onde avant et l'onde arrière avec un baffle



On observe tout de suite un gain dans les graves. Le baffle plan doit être au moins de **la taille de la demi longueur d'onde** à reproduire pour être efficace. Par exemple si l'on veut qu'une enceinte produise du 60 Hz, il faut que cette dernière soit encastrée dans un plan d'une hauteur totale d'environ 2,8m ($\lambda = c / F$ d'où $\lambda = 340 / 60 = 5,6$ m donc $5,6 / 2 = 2,8$ m). Pour ne pas être obligé de transporter des panneaux gigantesques avec des HP encastrés dedans, pourquoi ne pas replier le baffle plan ? C'est une solution sauf que la cavité ainsi créée aurait une fréquence de résonance propre qui parasiterait le fonctionnement du HP. Cette solution n'est donc pas utilisée.

Au lieu de juste recourbé le plan, il faut en fait **le fermé complètement**. On a donc une enceinte close. Étudions ce type d'enceinte :

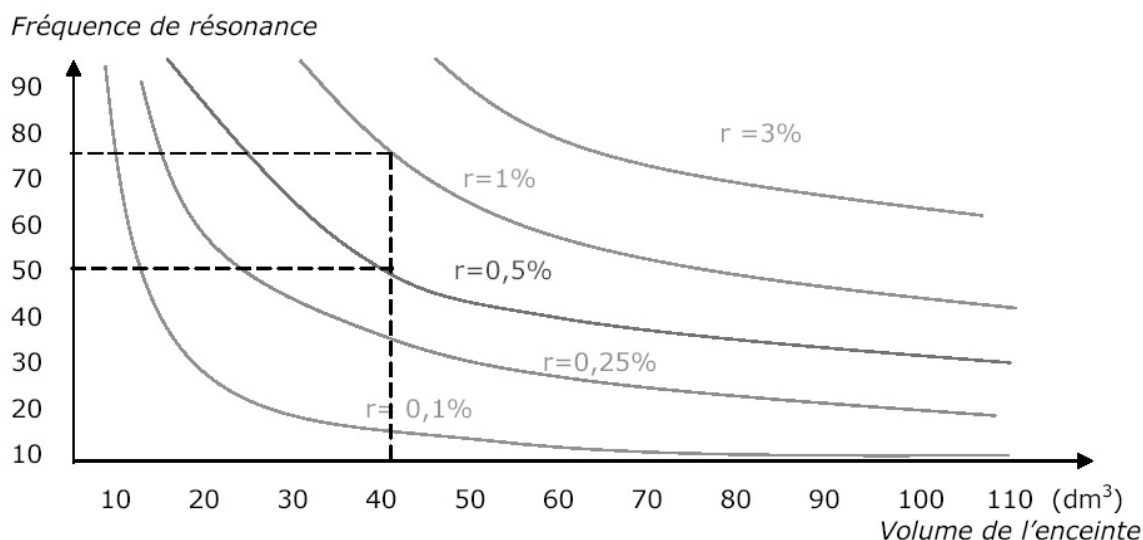
Fréquence de résonance : En fermant complètement l'enceinte, l'air qui est prisonnier à l'intérieur de l'enceinte agira comme un ressort. Nous devons maintenant prendre en compte la raideur de l'air (K_{air}) dans notre formule pour calculer la fréquence de résonance du HP !!

On aura alors $Fr = (1/2\pi) \times \sqrt{(k_{hp} + K_{air}/ m)}$

Sans même faire de calculs, on se rend bien compte avec cette équation que **monter un HP dans une enceinte augmente la fréquence de résonance du HP.**

Le rendement : Naturellement, nous pouvons dire qu'il existe un lien

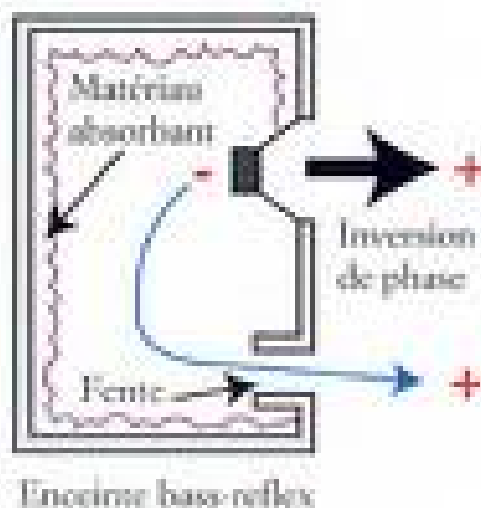
entre le volume de l'enceinte (V), la fréquence de résonance (Fr) et le rendement de l'enceinte (r). Ce lien est représenté dans des abaques tels que celui-ci :



Si l'on veut diminuer la fréquence de résonance pour un rendement donné, il faut augmenter le volume de l'enceinte. Pour un volume donné, augmenter le rendement fait remonter la fréquence de résonance. Il faut donc **faire un compromis** ! Pour obtenir le meilleur compromis entre fréquence de résonance et rendement, on monte des HP à très basse fréquence de résonance (moins de 30 Hz), à faible rendement, de diamètre réduit dans un volume moyen. On obtient ainsi $Fr = 60\text{Hz}$.

Puissance rayonnée : La puissance rayonnée est directement proportionnelle à la vitesse de vibration du HP. En encastrant un HP dans une enceinte, on augmente la raideur du tout. En augmentant la raideur, on fait baisser l'impédance mécanique du HP. Cette baisse d'impédance se traduit par une vitesse de vibration plus forte de la membrane donc un gain quant à la puissance rayonnée par le HP. **Monter un HP dans une enceinte augmente sa puissance.**

Il existe d'autre part des enceintes à événements (ou **Bass Reflex**). Étudions les :

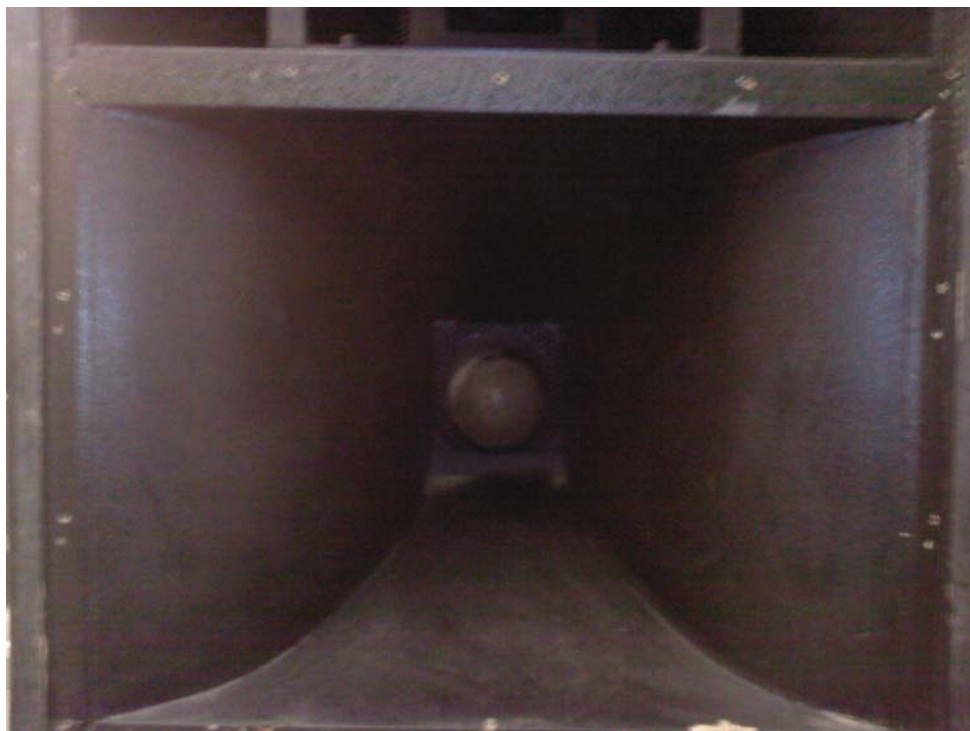


Le principe de ce montage permet **de récupérer une partie de l'énergie rayonnée par la face arrière du HP** grâce à un événement débouchant vers l'arrière ou l'avant de l'enceinte. Lorsque la cavité communique avec l'air extérieur par une ouverture, il apparaît une fréquence pour laquelle la masse de l'air poussée au travers de l'événement **entre en résonance** avec les forces élastiques de l'air enfermé à l'intérieur de la cavité (nous avons créé un résonateur de Helmholtz). Ce résonateur possède sa propre fréquence de résonance. Nous avons alors **deux fréquences de résonances distinctes** : celle du HP et celle de l'enceinte avec événement. Ces deux fréquences se traduisent par deux pics d'impédance. Ces deux fréquences propres sont à l'origine d'un **gain dans les fréquences basses**. La création d'une enceinte bass reflex est très complexe car il y a énormément de paramètres qui interfèrent entre eux. Il est fréquent de rajouter un tunnel à l'événement de manière à affiner au maximum la fréquence de coupure. Pour éviter les ondes stationnaires à l'intérieur de l'enceinte, il est courant d'utiliser un isolant (type laine de roche). La relation entre fréquence de coupure, rendement et volume de l'enceinte restent toujours vraie pour les enceintes de type Bass Reflex.

Nous venons de voir un système permettant un gain dans les fréquences graves. Il existe aussi un système permettant un gain supplémentaire de pression pour les hautes fréquences : **la chambre de compression**

En effet on peut augmenter la puissance rayonnée en enfermant la membrane dans une cavité avec une ouverture plus petite que la taille de la membrane. Le principe est fondé sur la loi de conservation des débits. Le débit est le produit de la vitesse d'écoulement par la surface. Pour illustrer, si je pince mon bout de tuyau d'arrosage, je rétrécis l'orifice de sortie, et j'augmente mon débit de sortie. C'est exactement le même principe. En sortie de chambre de compression, on dispose alors d'une grande puissance acoustique.

Se pose alors un problème d'adaptation. En effet, les HP d'aigues possèdent une toute petite membrane, et doivent exciter un énorme volume d'air. Comme en électricité, si l'adaptation est mauvaise ou inexistante, il y a perte d'énergie. Si l'on n'adapte pas le volume d'air à excité avec la pression de sortie du HP nous perdrons une grande partie de l'énergie acoustique. Il faut donc associé à la chambre de compression un pavillon dont le rôle sera d'adapter progressivement le volume d'air à exciter. Il existe plusieurs formes de pavillon : parabolique, conique et exponentiel (le pavillon exponentiel étant le plus utilisé car il permet de descendre la fréquence de coupure significativement). Un pavillon permet d'augmenter le rendement d'un HP d'aigie de 10 à 20 % (sachant que le rendement d'un HP est d'environ 1%, c'est énorme !).



Pavillon exponentiel des graves des KF 850



Phase-plug du pavillon exponentiel des graves des KF 850
Il permet de remettre en phase certaines fréquences.



Pavillon conique pour les aigues devant un pavillon exponentiel pour les médiums des KF 850



Enceinte EAW KF 850

V - Etude d'un système de sonorisation



Un système de sonorisation doit tout d'abord être choisi selon plusieurs critères : Quel type de musique doit-on sonoriser ? Que me permettent les structures présentes sur le lieu du concert ? Pour combien de personnes sera la sonorisation ?

Étudions un système de sonorisation utilisé lors de scène de taille moyenne. Nous prendrons un système type KF de la marque américaine EAW. Notre parc d'enceinte sera composé de quatre têtes (KF 850T), quatre sub (SB 850), et quatre enceintes JF100.

La configuration sera la suivante : deux têtes par côté posées sur deux subs, deux front-fill JF 100, et un rappel au milieu de salle d'une JF 100 par côté. Le choix des enceintes dépend de la zone de surface à couvrir et aussi de la structure même de la salle. Pour des salles construites sur la longueur, il est bon de mettre des rappels.

Ici, le choix de deux têtes par côté n'a pas été fait pour un gain en pression, il a été fait pour obtenir un angle d'ouverture plus grand (on sait de plus, que l'ajout d'une deuxième tête ne produit qu'un gain de +3dB, ce qui n'est pas énorme).

Les front-fills sont souvent indispensables car ils permettent de couvrir une zone que le système de diffusion principale couvre peu ou mal (cette zone étant les premiers rangs pour un système accroché, et le milieu des premiers rangs pour un système à terre). Un bon placement d'enceinte définit une couverture homogène de la salle, et évite les « trous » à certaines fréquences. Pour cela, bien étudier son système avant l'installation d'un événement est capital.

➔ **Les enceintes** : Il faut absolument nous renseigner sur les caractéristiques techniques des enceintes. Les fiches techniques de toutes les enceintes sont dans les annexes. Quelles sont les informations importantes ? Ici, nous regarderons surtout : la puissance admissible, le filtrage, les angles d'ouvertures horizontaux et verticaux, l'impédance et la sensibilité de l'enceinte.

Têtes du système : on notera que les enceintes KF 850 fonctionnent en trois voix actives : grave, médium et aigue.

Nous utiliserons un filtre de la même marque que les enceintes, comprenant les presets de filtrage du système KF + sub 850. Nous utiliserons un MX 800i (filtre 4 voix : sub, grave, médium et aigue). C'est un filtre analogique, donc avec peu de réglage accessible. Nous verrons de manières de filtrer le système. L'un avec le MX800i et l'autre avec un filtre numérique XTA, le DP226 (photo en annexe). Le filtre numérique, comme dit plus haut, nous permettra un total contrôle de chaque voix. Généralement, on se sert du DP226 pour filtrer les subs du système, ce qui permet de toujours garder la main sur le niveau du sub dans la diffusion.

On notera les puissances admissibles de chaque voix : LF=500W, MF=400W et HF=200W. Ces enceintes « ouvrent » à 55° à l'horizontal et à 40° à la vertical (à -6 dB). Les impédances des graves, médiums et aigues sont respectivement 8Ω, 8Ω et 12Ω. Enfin, la sensibilité des graves, médiums et aigues sont respectivement 105, 105 et 112 dB/1W/1m.

Les subs : Les SB 850 ont une puissance admissible de 2kW et une impédance de 4Ω. Leur sensibilité étant de 99dB /1W/1m. Ils n'ont bien évidemment pas d'angles de couverture car les subs sont presque considérés comme une source omni directionnelle (cf. partie sur les enceintes). Leur filtrage pourra être assuré soit par le MX800i, soit par l'XTA. Nous verrons les deux cas, et les impératifs que cela comporte.

Les Front-fill et Delay : Les JF100 sont filtrées en passives. Il faudra donc leur envoyer un signal « pleine bande » sans aucun filtre en amont. La puissance admissible de ces enceintes est de 280W, leur impédance de 8Ω, leur sensibilité est de 97dB/1W/1m et leurs angles de couverture horizontale et verticale sont tous les deux de 100°.

➔ **L'amplification** : Il est aussi très important d'attribuer les bons amplis pour les différentes enceintes. Procédons par étapes :

Les têtes : Dans les KF 850T, il y a trois voix, avec trois puissances différentes. Il est important de souligner que les têtes seront couplées ou « linkées » deux à deux (c'est-à-dire qu'électriquement, elles sont montées en parallèles), ce qui fera chuter l'impédance globale vue par l'ampli. Pour les LF, nous avons besoin d'un ampli capable de fournir 500W par enceinte. Il y a deux enceintes linkées par côté. Il doit donc fournir

2 x 1kW. Sachant que l'impédance des LF par enceinte est de 8Ω, l'impédance sera de 4Ω en couplant deux enceintes. Chaque canal d'ampli devra fournir 1kW @ 4Ω. Nous prendrons par exemple un 8001 de chez CREST AUDIO, qui est capable de fournir 1200W @4Ω avec un gain de 32dB.

Pour les MF, l'ampli devra fournir 800W par côté, soit 800W @ 4Ω. Nous prendrons toujours un ampli CREST, un 6001, capable de fournir 600W@ 4Ω. Nous serons en légère sous amplification ici. Ceci est un choix, car pour bien faire, nous pourrions mettre un 8001, mais ceci a des répercussions directes sur le prix et le poids du rack d'amplification du système. Cette légère sous amplification est en fait tout à fait tolérable.

Pour les HF, il nous faut 400W par côté. En ce qui concerne l'impédance des enceintes linkées elle sera de $1/Z_{eq} = 1/10 + 1/10$ soit $Z_{eq} = 5\Omega$. Pour être sur, nous prendrons une amplification donnée sous 4Ω. Il nous faut donc un peu plus de 400W @ 4Ω. Nous prendrons un 4801 capable de fournir 575W @4Ω.

Les subs : en couplant deux subs, nous faisons descendre l'impédance à 2Ω, ce qui n'est pas politiquement correct. Même si des amplis de forte puissance peuvent descendre sous 2Ω, nous devons prendre en compte le facteur d'amortissement. L'inertie d'une membrane de grande taille n'est pas négligeable. Une fois mise en mouvement, la membrane va mettre un certain temps à reprendre sa position initiale. On appelle alors facteur d'amortissement une valeur sans unité, indiquant le comportement de la membrane après excitation. Le facteur d'amortissement peut s'écrire

$F_a = Z_{hp} / Z_{amp}$. En général, on privilégie une impédance d'ampli très faible (Z_{amp} environ égal à 0,02Ω). On obtient généralement $F_a = 400$. Plus le facteur d'amortissement est élevé, mieux la membrane revient vite à sa position initiale. Un faible F_a est audible et rend le son beaucoup « baveux » dans les basses et infra basses. Ici, comme Z_{amp} est fixe, il faut que Z_{hp} soit le plus grand possible. C'est pourquoi, quand cela est possible, il est préférable de rajouter un ampli, plutôt que de descendre l'impédance à 2Ω. Il nous faut donc 4x2kW @ 4Ω, c'est-à-dire deux amplis 9001, capable de délivrer chacun 2kW @ 4Ω.

Les front-fills et Delay : Les amplis des JF 100 devront fournir 280W sous 8Ω (soit 560W sous 4Ω). Les front-fills seront mono, et les Delays stéréo. Les front-fills seront donc linkées. Nous choisirons des amplis 6001 fournissant 400W @8Ω et 600W @4Ω.

Nous avons maintenant tous notre parc d'amplis : 2x 9001, 1x8001, 3x6001 et 1x4801.

➔ **Le filtrage** : Pour filtrer tout ça nous devons faire des choix. En branchant notre XTA en sortie de console, il nous est possible de faire plusieurs configurations : 3 sorties stéréos, 2 sorties stéréos et une mono, 1 sortie stéréo et 4 sortie monos (sommation stéréo), ou 6 sorties monos. Dans un premier temps, nous pouvons paramétrer l'XTA en : 2 sorties stéréos et deux sommations monos. Dans ce cas là, une stéréo alimentera le MX800i (qui lui-même alimentera les amplis pour les têtes et les subs), une autre stéréo alimentera les amplis de la ligne de délai, et une des deux sommation mono alimentera l'ampli des front-fills. Le problème de cette configuration réside dans le réglage des subs. Comme cela, nous n'avons aucun moyen de contrôle sur le niveau des subs par rapport aux têtes (mis à part le réglage sur le MX800i qui est seulement un « boost » des subs). Néanmoins nous pouvons quand même contrôler le niveau des delays, et des front-fills (ainsi que leur décalage temporel) grâce à l'XTA.

Une autre solution consisterait à filtrer les subs avec l'XTA. Nous utiliserions le même paramétrage que précédemment, à la différence que la dernière sortie mono serait utilisée pour alimenter les amplis des subs (nous aurions besoin de quelques Y !!) Bien évidemment la sortie sub du filtre MX800i deviendrait inutile. Quel inconvénient a faire cela ? Avoir des subs en mono, ce qui est loin d'être indispensable...C'est le seul inconvénient ! Par contre, nous récupérons le contrôle du niveau des subs. Nous devons paramétrer la sortie du filtre actif avec les presets donnés par le constructeur du sub : fréquence de coupure à 80Hz avec une pente de filtre à 24 dB/Octave (type de filtre = Butterworth). Nous gardons bien évidemment le contrôle du niveau des front-fills et des delays (et le réglage de leur alignement temporel). En conclusion, la deuxième configuration propose plus de choix de contrôle sur la diffusion, nous choisirons celle-là ! La qualité de la diffusion sera variable en fonction de la capacité du technicien à utiliser correctement le système. Une phase de calage est obligatoire avant tout travail. Une bonne adaptation du système par rapport à son environnement est le travail du technicien de face et ne doit en aucun cas être négligée.

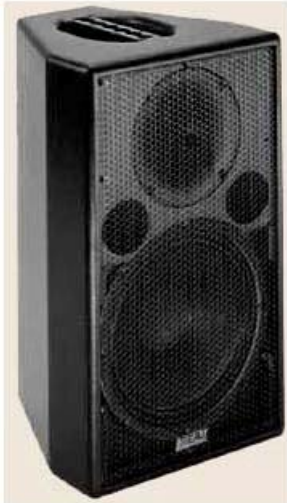
Conclusion

Nous avons pu constater que la sonorisation d'un signal analogique faisait intervenir plusieurs types de technologie. La mise en relation de tout ces appareils nécessitent pas mal de réflexions avant exploitation. Une chaîne comme celle présentée ci-dessus est majoritairement analogique. En ce moment, les technologies numériques s'infiltrent de plus en plus dans les techniques de sonorisation. On voit de plus en plus apparaître des amplis numériques contrôlés à distance via un réseau ethersound. Il y a même des systèmes entiers contrôlés via un réseau ethersound. Ces systèmes sont de moins en moins lourds, de plus en plus maniables, et de qualité égale voir même supérieur à leurs prédécesseurs...On peut se demander jusqu'à quel point les technologies numériques pourront-elles améliorer les systèmes analogiques ?

Source et bibliographie

- Livre de terminale STI de physique appliquée
- Recherche sur plusieurs sites Internet dont EAW, L-acoustic, CRES Audio, Wikipédia etc...
- Ressources EMC

ANNEXES



Performance

Frequency Response

±3 dB	67Hz to 18kHz
-10 dB	55 Hz
Recommended High-Pass Frequency	50 Hz, 24 dB / octave

Axial Sensitivity (dB SPL, 1 watt @ 1 m)

Full Range Passive	97
--------------------	----

Nominal Input Impedance (ohms)

Full Range Passive	8
--------------------	---

Power Handling (watts, continuous)

Full Range Passive	280
--------------------	-----

Calculated SPL Limit (referenced to 1 m)

Full Range Passive Peak	127.5
Full Range Long Term	121.5

Nominal Dispersion (degrees @ - 6 dB)

Conical	100°
---------	------

Physical

System Configuration	2-way, full range
Product Group	J
LF Subsystem & Loading	One 10 in cone, vented
HF Subsystem & Loading	One 1 in exit compression driver on WGPT
Operating Mode	Passive only
Enclosure Material	Exterior grade Baltic birch plywood
Finish	Wear resistant textured black paint
Connector	Two Neutrik NL4 Speakon
Suspension Hardware	One 6-position fly track with integral 3/8-16 mounting/suspension point Eight 1/4-20 mounting points (Omnimount 100 or similar) One pull ring
Grille	Powder coated perforated steel
Optional Accessories 1	Fly clip with ring, (0001386)
Optional Accessories 2	3/8-16 forged shoulder eyebolt, (104001)

Dimensions (±0.13 in / ±3 mm)

Height	19.74 / 501
Width	11.68 / 297
Rear Width	4.71 / 120
Depth	11.72 / 298
Trapezoid Angle (degrees)	22.5 per side

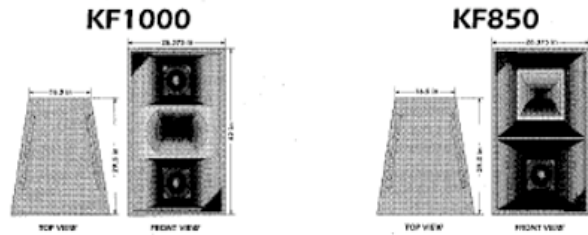
Weights (pounds / kilograms)

Net Weight	50.0 / 22.7
Shipping Weight	53.0 / 24.1

Fiche technique des JF 100

Virtual Array™ Product Specifications

Model



Frequency Response

System Only:	300 to 20k Hz ± 2.5 dB	100 to 20k Hz ± 2 dB
Low Frequency Limit -3 dB:	250 Hz	90 Hz
Low Frequency Limit -10 dB:	200 Hz	65 Hz

Optional Subwoofer

	SB1000	SB850/SB528
--	--------	-------------

Axial Sensitivity (1w@1m)

Bandwidth With Sub:	31 Hz to 20k Hz	31Hz to 20k Hz
LF:	NA	105 dB SPL
MF (MF/HF):	112 dB SPL	105 dB SPL
HF:	110 dB SPL	112 dB SPL

Power Handling AES Standard

LF:	NA	500 watts
MF (MF/HF):	1000 watts	400 watts
HF:	200 watts	200 watts

Power Handling Long Term (100 Hour Sine Wave)

LF:	NA	250 watts
MF (MF/HF):	400 watts	150 watts
HF:	70 watts	70 watts

Maximum Output (peak)

LF:	NA	132 dB SPL
MF (MF/HF):	142 dB SPL	131 dB SPL
HF:	133 dB SPL	135 dB SPL

Maximum Output (long term)

LF:	NA	129 dB SPL
MF (MF/HF):	138 dB SPL	126 dB SPL
HF:	128 dB SPL	130 dB SPL

Nominal Coverage Angles

Horizontal:	40 degrees	55 degrees
Vertical:	30 degrees	40 degrees

Nominal Impedance

LF / MF / HF:	4 ohms / 12 ohms	8 ohms / 8 ohms / 12 ohms
---------------	------------------	---------------------------

LF Subsystem

Type:	NA	1x 15-in Straight Horn
-------	----	------------------------

MF Subsystem

Type:	2x 12-in Straight Horn	1x 10-in Cone Horn Loaded
-------	------------------------	---------------------------

HF Subsystem

Type:	TAD 4002 2-in Exit / Horn	TAD 4002 2-in Exit / Horn
-------	---------------------------	---------------------------

Crossover Data

Standard Configuration:	MX800-10T	MX800-8T
Powering Mode:	Bi-amp	Tri-amp
Finish:	Black Catalyzed Polyurethane	Black Catalyzed Polyurethane
Connectors:	AP6 M&F	AP6 M&F
Grill:	Vinyl Coated Perforated Steel	Vinyl Coated Perforated Steel
Rigging:	AirCargo 2086 4 Track With Internal Subframe, 2x Track on Top & Bottom	AirCargo 20276 Track With Internal Subframe, 2x Track on Top & Bottom
System Shape:	Trapezoid	Trapezoid

Dimensions & Weights

High	42.00 in (1066.8 mm)	42.00 in (1066.8 mm)
Wide	26.38 in (670 mm)	26.38 in (670 mm)
Deep	29.50 in (749.3 mm)	29.50 in (749.3 mm)
Back Width	16.50 in (419.1 mm)	16.50 in (419.1 mm)
Net Weight	242 lbs (110.0 kg)	239 lbs (108.6 kg)
Shipping Weight	260 lbs (118.2 kg)	257 lbs (116.8 kg)

Fiche technique KF 850 T



TECHNICAL SPECIFICATIONS SB850F

DESCRIPTION

A dedicated subwoofer system with 2x 18-in transducers in a trapezoidal enclosure. Each driver is in its own optimally vented subenclosure. "F" flown array version features handles, flytracks and internal counterweights.

APPLICATIONS

The SB850 high output Stadium Array subwoofer integrates with KF Series Stadium Array systems to form extended range flown arrays. 19-position flytracks and internal counterweights ensure a "dead hang." Tuned enclosure venting extends LF response and minimizes driver strain. MX Series processors extend LF response and safeguard against cone excursion damage. Six Year Warranty.

Applications include:

- Concert Tours
- Major Televised Events
- Corporate Events

DESCRIPTIVE DATA

Part Number	999106
Product Group	S
Sub Subsystem & Loading	2x 18-in, Separate Vented Subenclosures
System Configuration	Dedicated Subwoofer for Flown Arrays
Recommended High-Pass Frequency (24 dB/Octave)	20Hz
Cabinet Type (shape)	Trapezoidal
Enclosure Materials	Baltic Birch Plywood
Finish	Black Catalyzed Polyurethane
Connectors	1 each male and female AP4
Suspension Hardware	4x 19 position flytrack (2 each top and bottom)
Grill	Vinyl Coated Perforated Steel with foam backing
Options	179001 Flyclip with ring 179002 Flyclip with hook CP850 Caster Pallet (255010)



R version shown

NOMINAL DATA

Frequency Response (Hz)	±3 db	32Hz (39Hz w/out CCEP) to 150Hz	
	-10 dB	27Hz (30Hz w/out CCEP)	
Axial Sensitivity (dB SPL/1 Watt/1m)	Sub	99	
	Impedance (Ohms)	Sub	4 or 2 x 8
Power Handling (Watts)	Sub AES Standard	2000	
	Calculated Maximum Output (dB SPL, @ 1m)	Sub Peak	138.0
Sub Long Term		132.0	
Dimensions		inches	millimeters
Height	42	1067	
Width	26.375	670	
Width (Front)	26.375	670	
Width (Rear)	16.5	419	
Depth	29.5	749	
Trapezoid Angle	9.5 degrees per side		
Weights	Net Weight	pounds	kilograms
		???	0.5
	Shipping Weight	???	0.5



Fiche technique du SB 850



KF 850T + SB 850 et rack KF avec MX 800 et XTA DP 226



