Emmanuel MULLER
Diplôme Professionnel Son 2ème Année
2007-2008

Conception et réglage d'une enceinte acoustique



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

SOMMAIRE

INTRODUCTION 2

I / RAPPEL THÉORIQUE 3

1) Le Haut parleur 3
2) Principe de l'enceinte acoustique 7
3) Paramètre TS 9
4) Calcul de l'enceinte close 13

II/ UNE ENCEINTE 2 VOIES 14

1) Théorie : couplage de deux haut-parleurs 14
2) Modification du filtre 16
3) Le bass-reflex 18

III/ UN CAISSON DE BASSE 20

1) Le pavillon acoustique 20
2) Le pavillon arrière 24

IV/ UN SYSTEME MULTIAMPLIFIE 30

1) Filtrage actif 30
2) Remise en phase 33

SOURCES, BIBLIOGRAPHIE 37

ANNEXES 38

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

INTRODUCTION

L'enceinte acoustique est le dernier élément que le sonorisateur peut contrôler, par son placement ou sa conception.
Une fois le son émis, les éléments influant sur l'écoute, tels que l'architecture de la pièce ou les conditions climatiques, ne sont plus de son ressort.
Pour parer d'éventuels problèmes, il devra modifier le signal envoyé vers les enceintes.

Il est donc important de connaitre les règles de conceptions d'une enceinte, pour l'amateur souhaitant en construire bien évidement, mais aussi pour un technicien qui est amené à acheter, réparer ou calibrer un système de diffusion.

Cependant, la conception d'enceintes de qualité demeure une science expérimentale.
D'une part parce que les phénomènes intervenant n'ont pas encore été suffisamment étudiés, tant au niveau de l'acoustique, du fonctionnement électromagnétique du haut parleur ou de la perception et l'interprétation des sons par l'auditeur.
D'autre part, les conditions optimales n'étant jamais réunis hormis peut être dans quelques laboratoires d'acoustiques suréquipés et les paramètres contrôlables souvent restreins, la sensation sonore produite par un système de diffusion est difficilement prévisible par la théorie seulement.
La recherche des réglages optimaux implique donc une étape d'essai.

Il serait prétentieux de croire que l'oreille humaine est plus précise qu'une mesure rigoureuse, mais seule l'écoute permet de synthétiser tous les phénomènes et leurs interactions afin de juger de la qualité du rendu sonore.
C'est pourquoi la plupart des sonorisateurs considèrent que l'écoute est le principal instrument de réglages d'un système de diffusion.

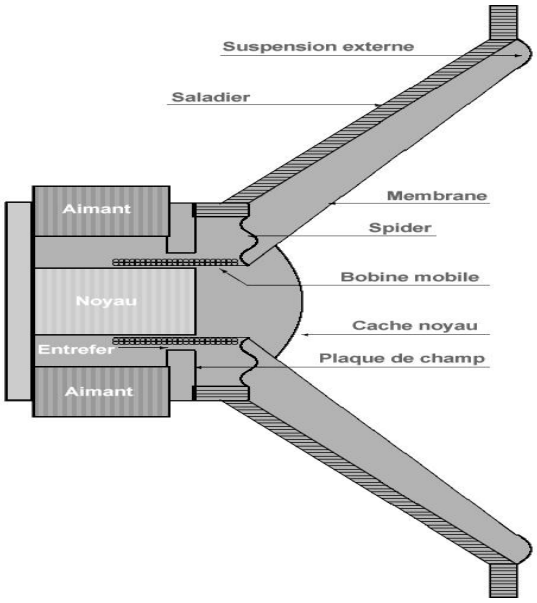
Le lecteur trouvera ici les bases nécessaires au calcul d'une enceinte acoustique, ainsi que le minimum d'explication pour manipuler correctement ces outils, sans rentrer dans les plus fines subtilités.
J'espère ainsi lui permettre d'entreprendre sa propre expérimentation et inciter les plus curieux à approfondir les différents sujets abordés ici.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Rappels théoriques

Le haut parleur

Le haut parleur électrodynamique, le plus couramment utilisé, est constitué d'une membrane reliée mécaniquement à une bobine qui est plongée dans un champ magnétique, c'est-à-dire entourée d'un aimant.
La membrane est reliée par des suspensions aux autres parties du haut parleur.



Lorsque l'on envoi un signal alternatif aux bornes de la bobine, celle-ci avance et recule sur son axe en entrainant la membrane. C'est la vibration de la membrane qui produit le son.

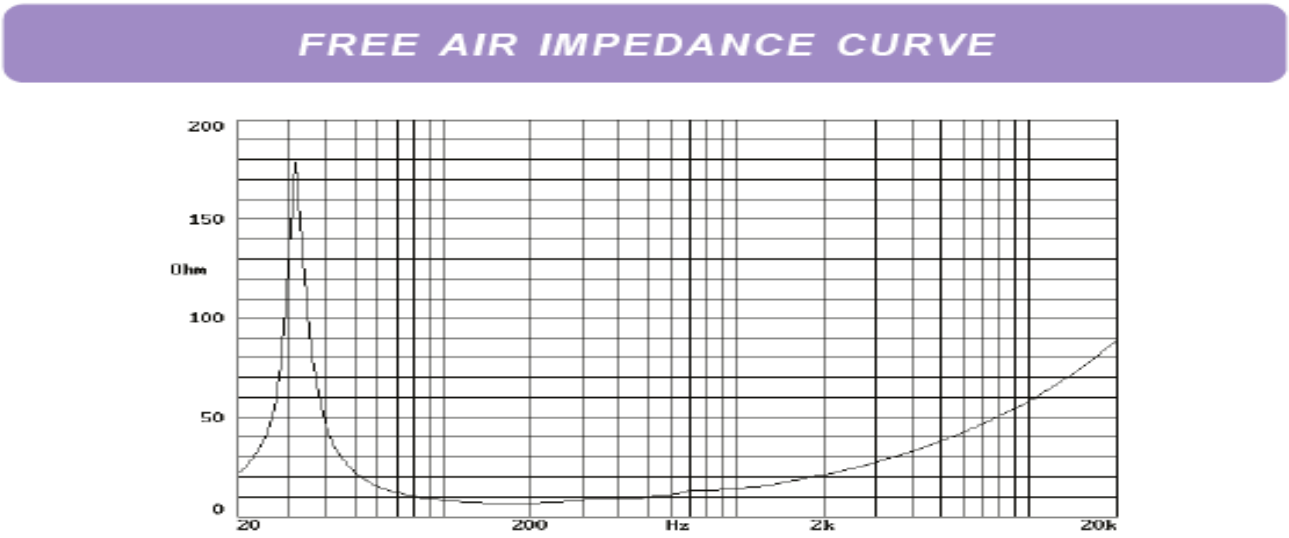
Le haut parleur est donc un des éléments les plus importants dans la chaine de diffusion sonore puisque c'est lui qui transforme le signal électrique en vibration acoustique.

Les matériaux et les technologies employés pour sa constitution influent sur ses caractéristiques électromagnétiques et mécaniques qui déterminent ses performances.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Impédance Z en Ohms Ω:

La courbe d'impédance d'un haut parleur représente sa résistance électrique en fonction de la fréquence.
Dans le cas d'un HP électrodynamique, elle sera de la forme :



On sait que la bobine dans le champ magnétique exerce une force lorsqu'elle est traversée par un signal électrique, mais elle produit inversement un signal électrique lorsqu'on lui soumet une force :

Une force est un concept physique qui représente l'origine d'une modification de mouvement.
En gros la bobine « pousse » la membrane lorsqu'on lui envoie un signal. Mais si on pousse la membrane, le bobine envoie un signal, c'est le principe du microphone électrodynamique.

Or les suspensions de la membrane, ainsi que la membrane du HP elle-même, ont une certaine élasticité qui va provoquer une force inverse au déplacement de la membrane et donc un signal aux bornes de la bobine. C'est cette réaction qui entraine ce pic d'impédance important dans les basses fréquences.

La fréquence pour laquelle l'impédance est à son point culminant est appelé fréquence de résonance Fs.

C'est une caractéristique fondamentale du HP car elle détermine sa fréquence de coupure c'est-à-dire sa limite de fonctionnement dans le grave.

Ce que l'on appel couramment « l'impédance d'un HP » est la valeur minimale de l'impédance, ici 8Ω, dans la zone quasi plane qui détermine aussi le domaine d'utilisation du haut-parleur, ici environ 50Hz - 2KHz.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Rendement, sensibilité et puissance :

Le rendement est le rapport entre la puissance acoustique émise par le haut parleur et la puissance électrique qu'on lui a fournit.

Le plus souvent, se rapport est de l'ordre de quelques pourcents.

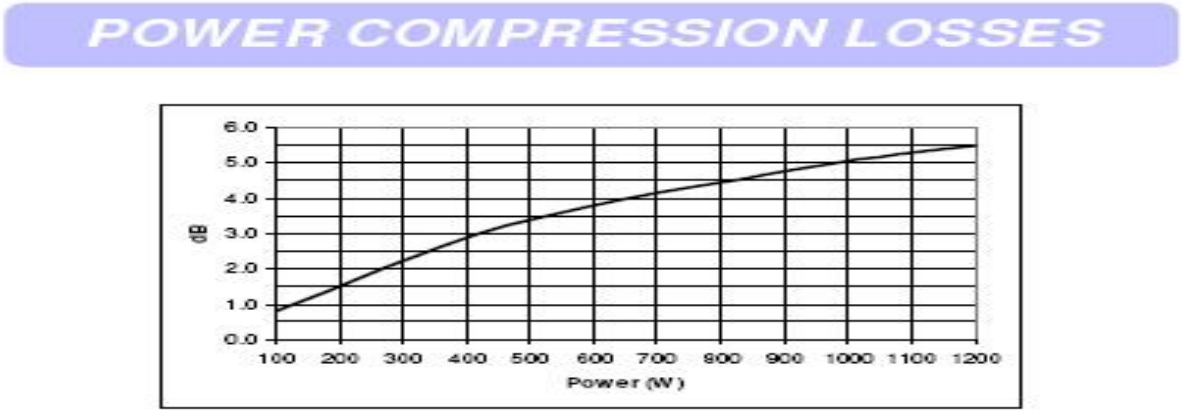
La sensibilité est le niveau acoustique mesuré à 1m pour un signal de 1W aux bornes du HP.

Cependant, il est difficile d'obtenir 1W à toutes les fréquences en raison des variations d'impédance du HP (on rappel que $P=U^2/R$). C'est pourquoi on mesure la sensibilité pour une valeur de tension fixe aux bornes du HP plutôt qu'une valeur de puissance.
On choisit 2,83V car $2,83^2/8=1W$ pour un HP de 8Ω
La sensibilité s'exprimera alors en dB/2,83V/1m

La puissance d'un HP est le nombre de Watt admissibles par celui-ci.

On rappel que pour augmenter le niveau sonore de 3dB, il faut doubler la puissance acoustique, pour 6dB il faut donc la quadrupler.
C'est pourquoi, un HP de 1200W ayant une sensibilité de 92db/2,83/m
Ne fera jamais plus de son qu'un HP de 300W à 98dB/2,83/m

Il faut savoir également que tous les hauts parleurs ont un effet de compression, c'est à dire une perte de sensibilité lorsque la puissance fournie augmente.



Note: These losses are calculated from a five minutes AES power test applying band limited pink noise (50-500 Hz). The loudspeaker is free-air standing.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Faisons un calcul rapide, disons que ces deux HP ont la même courbe de compressions (celle-ci-dessus, trouvée sur internet) :

Nous avons la sensibilité à 1W
Sachant que 2W=+3dB 4W= +6db 8W=+9dB etc…

300W=+24,8dB
1200W=+30,8dB

Donc l'enceinte de 300W à 98dB/W/m avec 2,5dB de pertes dues à la compression,
Donnera au maximum 120,3dB
L'enceinte 1200W 92dB/W/m et 5,5dB de compression donnera au max 117,3dB

Dans ce cas, l'enceinte de 300W sonne simplement deux fois plus fort que celle de 1200W, et avec un ampli quatre fois moins puissant !

Cette caractéristique de puissance est pourtant souvent mise en avant par les revendeurs.
C'est qu'il est surement plus aisé pour le constructeur de doubler la puissance admissible par le HP que de doubler sa sensibilité. De plus, il est connu que le watt est une unité de puissance, un HP de 500W parait alors « plus puissant » qu'un HP de 200W pour un public non averti.
Nous venons de voir qu'il n'en est rien.

Pire encore, à cause des pertes de compression, le rendement du HP n'est plus tout a fait linéaire en fonction de la puissance admise.

C'est pourquoi, il faut toujours privilégier la sensibilité.

En gros, pour un HP donné, on aura plus de niveau sonore avec un HP deux fois moins « puissant » mais deux fois plus sensible.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Paramètres Theile&Small

La plupart des constructeurs fournissent avec leur HP une batterie de paramètres normalisés, appelés paramètres Theile&Small, du nom de deux expérimentateurs qui ont modélisé mathématiquement le comportement du haut parleur électrodynamique.

Ces données nous permettent véritablement de nous faire une idée des performances du HP, et servent à choisir et à calculer les caractéristiques de l'enceinte appropriée.

Les formules reliant ses différents paramètres permettent de calculer des données manquantes. Et même lorsque l'on a tout les renseignements voulus, on peut dans un premier temps recalculer les paramètres entre eux pour vérifier la pertinence des données du constructeur.

De plus chaque HP admet des tolérances de fabrication et les données fournis sont souvent des moyennes sur plusieurs HP d'un même modèle.

Les plus méfiants pourront, avec un minimum de matériel et de rigueur, effectuer eux même les mesures de ces paramètres (voir annexe 3).

Re : C'est la résistance de la bobine au courant continu

Le : L'inductance de la bobine

Qms : coefficient de surtension mécanique

Qes : coefficient de surtension électrique

Une résistance en série, due à un filtre passif ou un ampli avec un facteur d'amortissement faible, modifie ce paramètre en
Qes'=Qes*(Re+R)/Re avec R la résistance adjointe

Qts : coefficient de surtension total

Qts = Qms * Qes / (Qms + Qes)
Attention à répercuter l'éventuelle modification du Qes

Sd : C'est la surface émissive de la membrane

Xmax : c'est l'élongation maximale de la membrane

Cms : La compliance de la suspension, c'est-à-dire l'inverse de la raideur

Cms=Vas/[**ρ** *(c*Sd)^2] (voir plus bas)

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Mms : la masse en mouvement du haut parleur, c'est-à-dire la masse de la bobine+ masse de la membrane+ réactance du rayonnement de l'air

Fs : c'est la fréquence de résonnance du haut parleur

$Fs = 1/[2* \pi *\sqrt{(Mms*Cms)}]$ ou $Fs= \sqrt{(K/Mms)}/2*\pi$
avec K la raideur de la suspension en $N.m^{-1}$ (α $Kg.s^{-2}$)

BL : coefficient de couplage électrodynamique exprimé en $N.A^{-1}$, il représente la force produite par la bobine lorsque l'on impose un ampère à ses bornes.

$BL = \sqrt{(2 * \pi * Fs * Mms * Re / Qes)}$

On remarque que le coefficient **BL / Mms** , qui est l'accélération de la membrane pour un ampère aux bornes de la bobine, est lié à la sensibilité du haut parleur (voir annexe).

Vas : c'est le volume d'air équivalent à l'élasticité de la suspension.

Sachant que l'air est un fluide qui a une certaine élasticité, il faut un certain volume d'air pour obtenir une élasticité égale.

Dans la littérature technique, on trouve la formule
$Vas = (\rho/Mms)*[(c*Sd)/(2* \pi *Fs)]^2$ avec ρ la masse volumique de l'air = 1,2 $Kg.s^{-2}$

Avec $Fs= \sqrt{(K/Mms)}/2*\pi$ on obtient :

$Vas= (\rho /K)*(c*Sd)^2$ ou $Vas = Cms*\rho *(c*Sd)^2$

On constate que cette formule est homogène et que lorsque la raideur K diminue (cad. l'élasticité augmente) le volume Vas est plus grand

Pour vérifier les tolérances de fabrication, on peut calculer ces deux facteurs qui se révèlent plus constants entre les différents HP :

$Fs / Qes = BL^2 / (2 * \pi * Re * Mms)$ et

$Vas * Qes^2 = Re^2 * Mms * Sd^2 * \rho * c^2 / BL^4$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

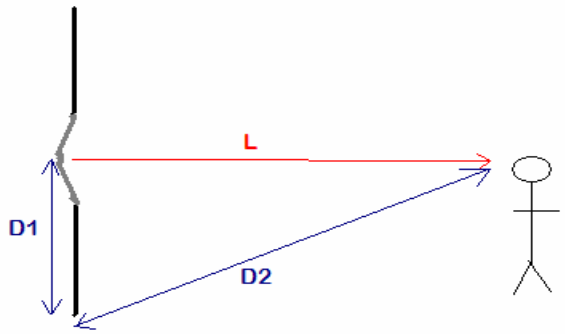
Principe de l'enceinte acoustique

La première et principale fonction d'une enceinte est de séparer l'onde avant et l'onde arrière du haut parleur.

Lorsque la membrane du haut parleur avance, il apparait une zone de pression devant lui qui va se propager, c'est le son. Dans le même temps, une zone de dépression va se créer derrière la membrane entrainant une onde en opposition de phase. Lorsque cette onde arrière interfère avec l'onde avant, il se produit **un court circuit acoustique** qui se traduit par une perte de niveau en dessous d'une certaine fréquence. Cette fréquence dépend de la différence de parcours D entre l'onde avant et l'onde arrière.

$F_{cc}=c/(2*D)$ ou $D= c/(2*F_{cc})$

L'idée la plus simple est alors d'encastrer le haut parleur dans un plan dont la dimension sera facilement calculée en fonction de la longueur d'onde émise par le haut parleur.



$D2 = \sqrt{(L^2+D1^2)}$
$D = D1 + \sqrt{(L^2+D1^2)} - L$

Pour simplifier les calculs, on prendra le cas où l'auditeur est très éloigné du HP, D1 est alors négligeable devant L et on peu approximer D=D1.
C'est aussi le pire cas pour nous puisque F_{cc} diminue lorsque L diminue

Reprenons $D= c/(2*F_{cc})$ Avec $c= 343,4\ m.s^{-1}$ et $F_{cc}= 50Hz$ D=3,34m

Avec $F_{cc} =20HZ$ D=8,59m

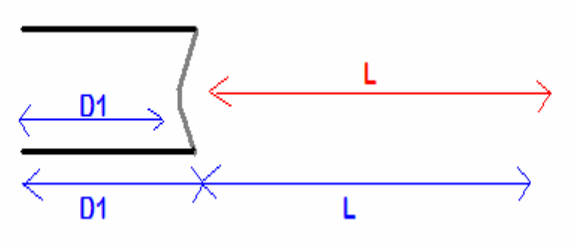
Ce qui veut dire que pour s'affranchir du court circuit acoustique à 20HZ avec un HP de 46cm, le plus petit baffle possible sera un disque de plus de 17m de diamètre !

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

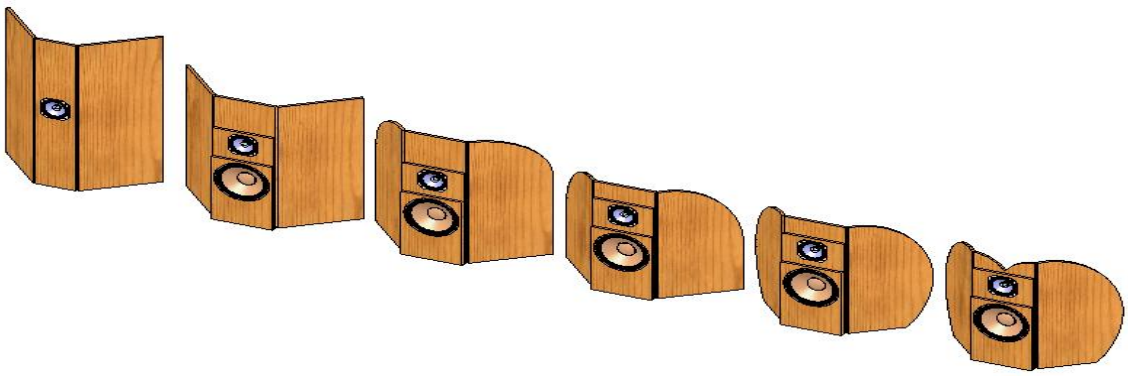
On comprend vite que cette solution est difficilement réalisable pour les basses fréquences.

Cependant, à 5KHz D=3,43cm, on voit qu'avec une membrane de 1,5" on élimine déjà suffisamment le court circuit acoustique. Ce problème ne se posera donc pas pour les hautes fréquences.

Certaines enceintes hifi utilisent cette solution en repliant le baffle en arrière pour doubler la différence de parcours.



D=2*D1 d'où D1= c/(4*F_{cc})
Pour 100HZ D1=0,85m

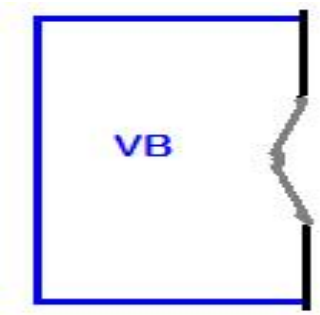


Cela reste des constructions « faites maison » par des passionnés.



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

La plupart du temps, on place **une enceinte close** derrière le haut parleur afin d'empêcher le court circuit acoustique en utilisant un baffle de plus petite dimension.



Cependant, le volume d'air enfermé dans l'enceinte va altérer les mouvements de la membrane et va donc modifier le comportement du haut parleur.
On peut répercuter cette modification sur les paramètres T&S.

Les paramètres à prendre en compte dans une enceinte close deviennent FC, QMC, QEC, QTC

Soit alpha = $\sqrt{}$ [(Vas / VB) + 1] avec VB le volume intérieur de la boite

FC = Fs * alpha
QMC = Qms * alpha
QEC = Qes * alpha
QTC = QMC * QEC / (QMC + QEC)=Qts * alpha

On démontre mathématiquement que alpha>1, donc tous ces paramètres vont être augmentés. Et ils le seront d'autant plus que VB est petit par rapport à Vas.

C'est particulièrement gênant pour la fréquence de résonance qui va remonter la fréquence de coupure basse de l'enceinte.

L'idée de **l'enceinte infinie** est d'utiliser un VB très grand (plusieurs m^3) afin de se rapprocher du comportement du haut parleur à l'air libre.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Interprétation du terme alpha :

En fait, l'air contenu dans le volume clos va s'opposer aux mouvements de la membrane, tout comme les suspensions.

On a donc la raideur totale k_{TOT} du système suspensions+«air dans l'enceinte»
$k_{TOT} = k_{SUS} + k_{AIR} = (1 + k_{AIR} / k_{SUS})\ k_{SUS}$

Or on sait que la raideur d'une quantité d'air est inversement proportionnelle à son volume
$k_V = \gamma * P_O * S^2 / V$ avec P_O la valeur moyenne de la pression et S la surface en mouvement. γ est une constante qui dépens de la nature moléculaire du gaz. Pour un gaz diatomique comme l'air il vaut 1,4.

Donc $k_{TOT} = (1 + V_{SUS}/V_{AIR})\ k_{SUS}$

V_{SUS} n'est autre que Vas et V_{AIR} est le volume de l'enceinte.
D'où $k_{TOT} = alpha^{2} * k_{SUS}$

J'en déduis que les termes précédents sont proportionnels à **√**(k).

Avec les formules des paramètre T&S on remarque $Vas = (\boldsymbol{\rho} / k) * (c * Sd)^2$ *d'où* $k = (\boldsymbol{\rho} / V) * (c * S)^2$ *On voit apparaitre la vitesse du son, ce qui n'est pas étonnant puisqu'il s'agit de la vitesse de transmission d'une variation de pression dans l'air.*
On a aussi $c = \sqrt{(\gamma * P_O / \boldsymbol{\rho})}$ *qui dépend des condition climatiques (*P_O *et* $\boldsymbol{\rho}$*) et de la nature du gaz γ.*

Réverbérations à l'intérieur du volume clos :

D'autre part, La membrane du haut parleur est plus ou moins perméable pour le son. Les réverbérations de l'onde arrière peuvent donc polluer le son émis par le hp.
Pour atténuer les réverbérations et les ondes stationnaires à l'intérieur de l'enceinte, il faut éviter les angles droits et les dimensions égales.
J'ai trouvé ces proportions proposées par un audiophile sur internet, qui peuvent servir de base de travail.

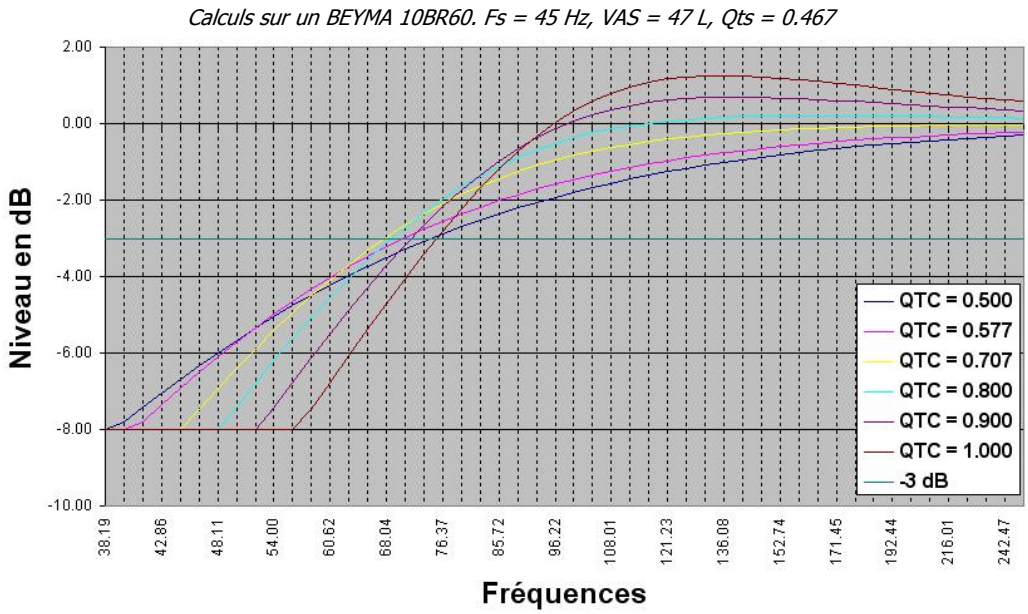
X	**Y**	**Z**
1.000	1,202	1,435
1.000	1,260	1,587
1.000	1,401	1,863

On peut également capitonner l'intérieur de l'enceinte avec un matériau absorbant comme de la laine de roche.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Calcul de l'enceinte close

On peut représenter l'action du volume clos sur le fonctionnement d'un haut-parleur par le QTC qui dépend du rapport Vas/VB.
Plus l'enceinte est volumineuse, plus le QTC sera petit.



On observe bien une remontée de la fréquence de coupure pour des petits volumes d'enceinte ainsi qu'un pic de sensibilité pour les QTC>0,7

La fréquence de ce pic est : $F_{PIC} = FC / \sqrt{(1 - 1/2QTC^2)}$

Sa valeur en dB : $10Log[QTC^4/(QTC^2 - 0,25)]$

La fréquence de coupure à -3dB $F_{-3dB} = FC * \sqrt{[(QTC^{-2} - 2 + \sqrt{[(QTC^{-2} - 2)^2 + 4]}) / 2]}$

Le rendement dans l'enceinte close est donné par $RB = 4\pi^2/c^3 * Vas / Qts * F_{-3dB}^3$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Une enceinte 2 voies : retour de scène passif 300W

Voyons maintenant un cas pratique.
Je me suis procuré pour un prix modique une paire d'enceinte de type retour de scène, équipés d'un 15" Beyma 15G40 et d'un moteur Selenium de 1" D210Ti

Un trou rectangulaire dans un coin de la face avant fait office de bass-reflex (nous y reviendrons).

A l'écoute, le 1" est nettement en avant, les basses sont baveuses sans être très puissantes.

Théorie : couplage de 2 hauts parleurs

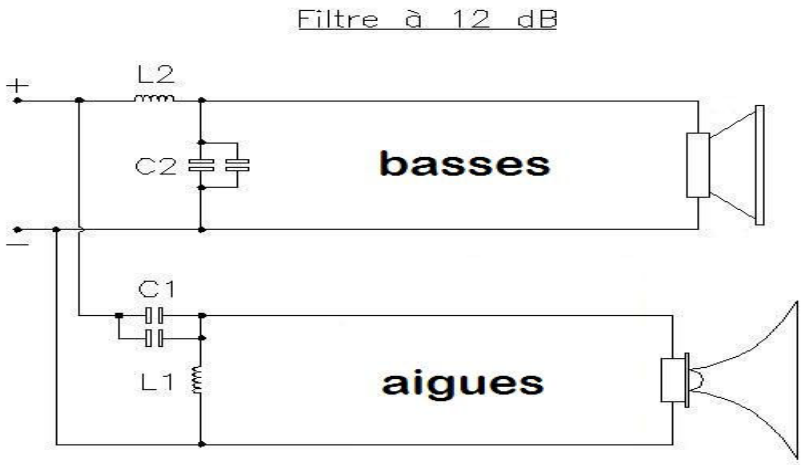
Comme nous l'avons vu, les HP ont un domaine d'utilisation restreint. C'est pourquoi, on utilise plusieurs HP pour reproduire la bande passante audible (20HZ-20KHZ).

Les HP qui ont une petite membrane, et donc plus légère, se spécialiseront dans les fréquences aigues tandis que les HP de larges diamètres sont dédiés aux basses fréquences.

Il faut donc séparer le signal audio entre les différents hauts parleurs, c'est ce que l'on appel le filtrage.

Nous nous intéressons ici à un filtrage passif, parce qu'il est constitué de composants passifs et qu'il se situe dans la chaine audio après l'amplification (c'est-à-dire le plus souvent dans l'enceinte). Il doit donc pouvoir encaisser des puissances élevées.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

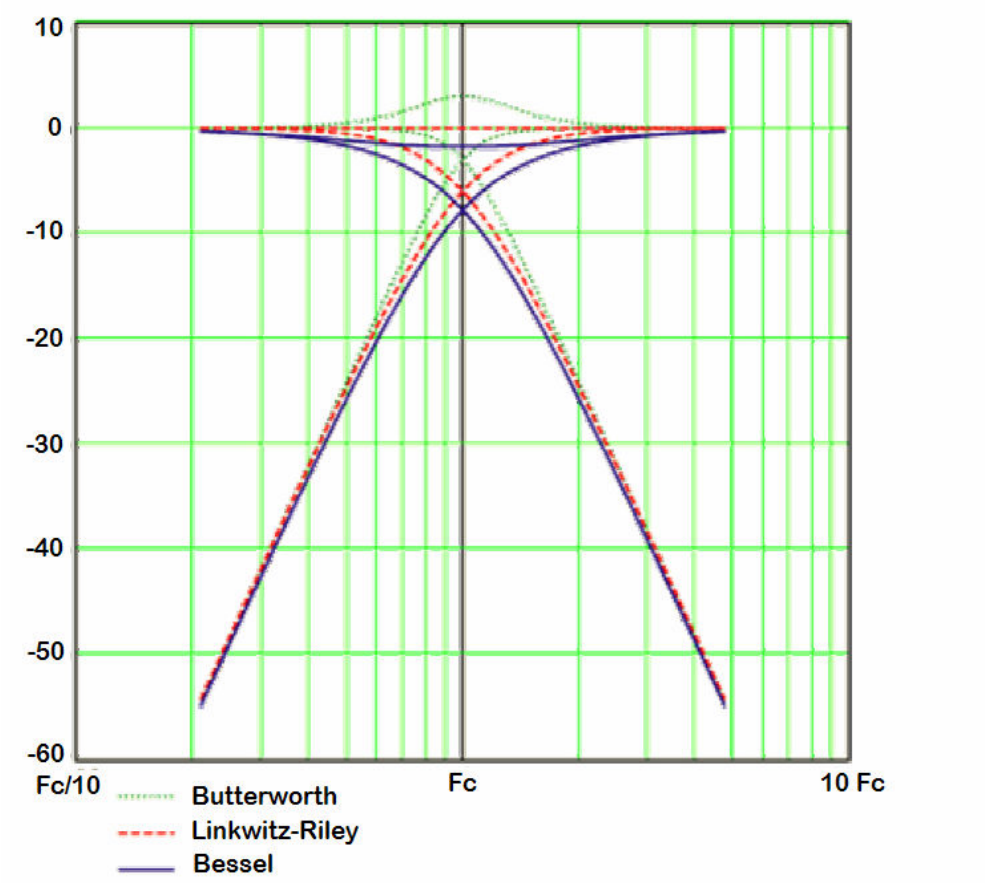


La fréquence de coupure du filtre (qui est souvent la même pour les graves et les aigues) est la fréquence à partir de laquelle le filtre attenue le signal.

Son ordre (1^{e}=6dB ; 2^{e}=12dB ; 3^{e}=18dB ; etc...) est l'atténuation par octave qu'il impose, c'est-à-dire la pente du filtre.

Le comportement de la résultante des deux voies au voisinage de la fréquence de coupure dépend du type de fabrication du filtre, on les dénomme du nom de leurs inventeurs :

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr



Pour que deux sources sonores soient cohérentes, c'est-à-dire qu'elles semblent n'en former qu'une à l'écoute, il faut que la distance D qui les sépare soit inferieur à c/2F

C'est exactement la même chose que pour le court-circuit acoustique seulement maintenant on souhaite qu'il se produise à la fréquence de coupure du filtre, puisque les ondes sont en phase.

C'est pourquoi les hauts parleurs ne doivent pas être trop espacés sur le baffle.

Modification du filtre

Le filtre en place sur ces enceintes accepte 300W et coupe à 2,5KHZ à 12dB/octave
Je récupère sur internet les fiches techniques des deux hauts parleurs (voir annexe 1 et 2).

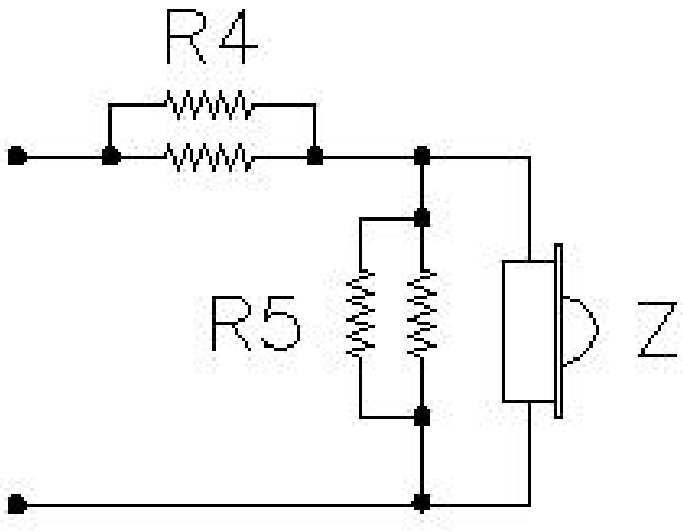
Je remarque, immédiatement que le Sélénium est beaucoup plus sensible que le 15"

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Pour tenter de linéariser la réponse en fréquence de l'enceinte, je décide d'atténuer les aigues de 7dB et de remplacer les filtres par une autre paire dont je dispose à 1,2KHz 12dB/octave.

On serait tenter d'atténuer encore plus le 1" mais je ne veux pas perdre trop de sensibilité dans les fréquences >10KHz. Et il faut rappeler que 3 dB d'atténuation provoquent déjà deux fois moins de puissance sonore.

L'atténuation se fera à l'aide de deux résistances (en pratique un peu plus), l'une en série avec le HP et l'autre en parallèle.



R4 = 4,34 Ω R5 = 6,74 Ω A = -6,8dB

Lorsque je démonte les filtres, je me remarque qu'une résistance en série de 8 Ω est déjà insérée sur la voie d'aigues. Ce qui provoque une atténuation de 3dB (le HP faisant lui aussi 8 Ω).

Cependant ce type d'atténuateur a un comportement très variable avec les changements d'impédance du HP. On remarque sur la courbe d'impédance de la fiche technique du HP l'impédance maximum 15 Ω et l'impédance minimum 7,5 Ω (annexe).

Avec une résistance en série R, l'atténuation est de :

A = 10*Log [Z/(Z+R)] avec Z l'impédance du HP

Pour une atténuation de -6,8dB sous 8 Ω il faut R = 30 Ω

Pour Z = 7,5 Ω A = -7dB
Pour Z = 15 Ω A = -4,77dB

Alors qu'avec les deux résistances on a : R4 = 4,34 Ω R5 = 6,74 Ω

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

$A = 10 * \text{Log} [Req^2/(Z*Rt)]$ avec $Req = Z*R5/(Z+R5)$ et $Rt = Req+R4$

Pour Z= 7,5 Ω A = -6,72dB
Pour Z = 15 Ω A = -7,93dB

On voit que le deuxième atténuateur est plus linéaire en fonction de l'impédance.

Au final on aura perdu beaucoup de sensibilité dans le haut medium mais dans le même temps, on a augmenté la capacité de l'enceinte.

En effet, on voit sur la fiche technique que la compression a une capacité de 60W RMS lorsqu'elle est filtrée à 1,5KHz. Cependant l'ensemble $HP_{1''}$+atténuateur accepte beaucoup plus de puissance.

Ici 287 W RMS, les résistances ont été choisies en conséquence.
Le boomer acceptant 700W ne pose aucun problème et le filtre est indiqué pour 500W.

L'enceinte acceptera donc plus de puissance sans que l'on ait modifié la sensibilité dans le grave. De plus, l'usage d'un filtre passif déphase le signal (cf. **remise en phase**).

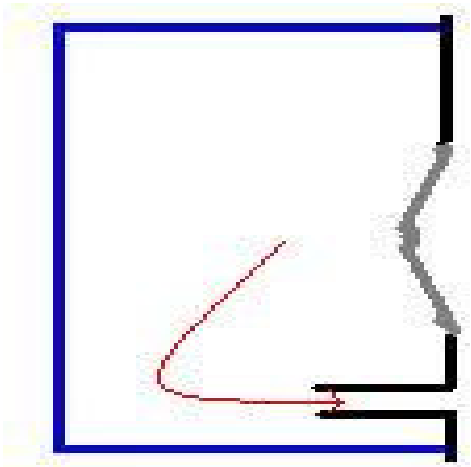
Pour un filtre du second ordre, ce déphasage est de 180°, je branche donc le HP d'aigus en inversant les polarités pour procéder à une remise en phase électrique.

Le bass reflex

Le principe du bass-reflex est d'amener l'onde arrière en opposition de phase au niveau de la face avant.

Pour cela on utilise le plus souvent un tube qui crée un chemin d'onde dont la longueur et le diamètre détermine une fréquence précise, on dit que le Bass reflex est accordé.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr



La relation entre la longueur de l'évent L, sa surface S et la fréquence d'accord est donnée par :

$L = ([c / (2 * \pi * FB)]^2 * S / VB) - [K * \sqrt{} (S)]$
ou
$FB = (c / [2 * \pi]) * \sqrt{} [S / ([L + K * \sqrt{} (S)] * VB)]$

K est un coefficient de correction d'extrémité qui dépend du placement de l'évent.
Calculé par Jörg Panzer, il vaut ;

0,677	si le tube déborde des deux cotés
0,846	si le tube débord d'un seul coté
0,959	si le tube est raz des deux cotés

Un autre facteur à prendre en compte est la forme de l'évent.

Les formules précédentes, qui dépendent de la surface de l'évent, sont calculé pour un évent circulaire.
Mais si l'évent est rectangulaire la surface à prendre en compte n'est plus celle de l'évent lui-même, car un évent rectangulaire ne réagit pas de la même manière qu'un évent circulaire pour une même surface.

Il faut alors utiliser le diamètre hydraulique qui correspond au diamètre du conduit cylindrique engendrant la même perte de charge linéaire pour la même vitesse d'air.

$D_H = 1,3 \times [(L \times H)^5 / (L + H)^2]^{1/8}$ avec L et H les dimensions du rectangle

Les formules deviennent alors :

$L = c^2 * D_H^2 / (16 * \pi * FB^2 * VB) - [K * D_H * \sqrt{} (\pi)/2]$
$FB = c * D_H * \sqrt{} [\pi / ([L + K * D_H * \sqrt{} (\pi)/2] * VB)] / (4 * \pi)$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Avec l'évent actuel, je calcule un D_H = 0,131071 m

Avec VB=0,07 m^3 c= 343,3 $m.s^{-1}$ K = 0,959 L = 0,01m (l'épaisseur de la face avant)
On a FB = 68,8Hz c'est la fréquence d'accord initiale du Bass-reflex.

Il faut rappeler que ce HP dans la même boite sans Bass reflex donnerait FC = 65,4Hz

La fiche technique du haut parleur nous donne la réponse de l'enceinte prévue en Bass reflex. Attention, il ne s'agit pas ici d'une courbe de sensibilité mais de l'atténuation engendrée par la boite, qu'il faudra donc ajouter à la courbe de réponse du HP.

Cette courbe est donnée pour un accord dans 80L à 45HZ, qu'on peut considérer surement comme les conditions optimales pour ce haut parleur puisque le constructeur n'a pas intérêt à donner des performances plus mauvaises.

Or mon enceinte est moins volumineuse et le bass reflex est plus haut en fréquence, j'ai donc toutes les raisons de penser que la coupure dans le bas est encore plus accentuée.

Je décide donc d'ajouter deux plaques de bois afin d'allonger l'évent à l'intérieur de la boite et d'étendre la réponse de l'enceinte dans le bas.

En effet, pour un diamètre donné, si la longueur d'évent augmente, la fréquence d'accord diminue.

En comptant l'épaisseur de l'évent rajouté, le nouveau diamètre est D_H = 0,119883 m

Avec K= 0,846 et FB =45Hz On a L = 0,148m

A l'écoute, l'atténuation sur le tweeter est très appréciable. L'effet sur les basses fréquences est plus subtil, elles semblent plus épurées et on ressent à prime abord une perte de niveau.
Apres quelques essais, je m'arrête sur une longueur d'évent de 12cm, soit une fréquence d'accord légèrement supérieure.

Rappelons que l'on peut maintenant charger l'enceinte avec un ampli plus puissant.

Un caisson de basse : le scooper bass

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le « problème» des basses fréquences vient des longueurs d'ondes mises en jeu (λ_{100Hz}= 3,4m ; λ_{50Hz}= 6,8m ; λ_{20Hz}= 17m). Et malgré toutes les évolutions technologiques à venir, cela ne risque pas de changer.

De plus, les HP spécialisés dans les fréquences basses ont un Vas élevé (souvent plusieurs centaines de litres).

C'est pourquoi, qu'elle que soit le type d'enceinte, il faudra de grandes dimensions afin de reproduire correctement les grandes longueurs d'ondes.

Et ceci n'est pas seulement une tentative hasardeuse de justification d'un penchant naturel pour les enceintes gargantuesques.

Le pavillon acoustique

Réflexion des ondes et adaptation d'impédance :

Lorsque qu'une onde qui se déplace rencontre un milieu de nature différente (du point de vue de sa propagation) Il se crée des phénomènes de réflexion à l'interface.
Une partie de l'énergie va repartir en sens inverse, **ce qui se traduit par une perte d'énergie de l'onde transmise.**

Pour les transmissions à haute fréquence par exemple, on souhaite limiter les réflexions aux interfaces (émission/réception) pour éviter les ondes stationnaires dans le câble de transmission.

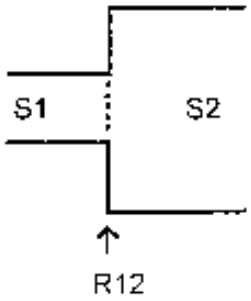
On procède à une adaptation d'impédance en puissance, c'est-à-dire que les impédances des appareils doivent être égales.

Il en va de même pour les ondes acoustiques et on parle alors d'impédance acoustique de l'air.
La première qualité du pavillon acoustique est de procéder à une adaptation d'impédance entre le HP de petite surface et la grande surface d'air qu'il doit exciter.

On procède à une adaptation en puissance pour optimiser le rendement.

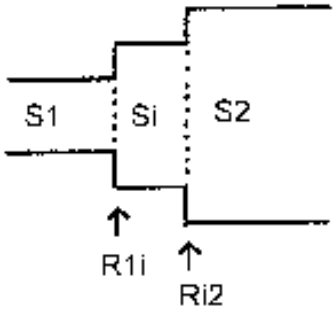
Prenons le cas d'une source sonore dans un tube qui débouche sur une pièce de surface beaucoup plus grande. Il y a une forte variation d'impédance acoustique au niveau du changement de surface.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr



Le coefficient de réflexion est égale à
$R= [(S_2-S_1)/(S_2+S_1)]^2$

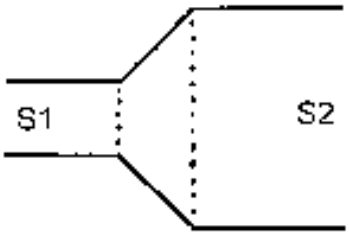
Si l'on procède à une adaptation progressive,



Avec les coefficients successifs,
$R1i= [(S_i-S_1)/(S_i+S_1)]^2$
$Ri2= [(S_2-S_i)/(S_2+S_i)]^2$

On démontre mathématiquement que le coefficient de réflexion résultant est plus faible que dans le premier cas.

Une transition progressive
optimise le coefficient de transmission
entre les deux surfaces.

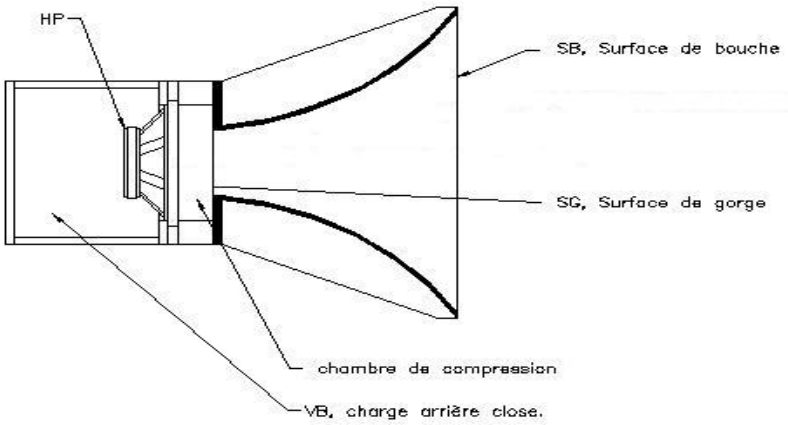


L'impédance acoustique doit varier le plus lentement possible pour respecter l'adaptation en puissance.

<u>Calcul du pavillon :</u>

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Un pavillon acoustique présente toujours une chambre de compression débouchant sur une cavité de surface croissante. La surface d'entrée du pavillon est appelée surface de gorge et à la sortie la surface de bouche.



Le pavillon se comporte comme un filtre passe-bande.

La forme du pavillon, exprimée par sa **loi d'expansion**, détermine la fréquence centrale de la bande passante reproduite.

La chambre de compression agit comme un filtre coupe haut dont la fréquence dépend de ses dimensions.

La taille de la bouche détermine une fréquence en dessous de laquelle le pavillon ne rayonne plus correctement.

Lorsque le HP est monté dans une enceinte close, on choisit le volume VB pour que la fréquence de coupure FC du volume clos soit la fréquence centrale du pavillon.

On rappel $FC=Fs*\sqrt{[(Vas / VB) + 1]}$

D'où $VB=Vas / [(FC/Fs)^2 +1]$
En fonction de la fréquence centrale voulue.

La bande passante théorique du pavillon en fonction de sa fréquence centrale FC et du hP utilisé est donnée par :

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

$Fb = FC * [\sqrt{} (4 * Qts^2 + 1) - 1] / (2 * Qts)$
$Fh = FC * [\sqrt{} (4 * Qts^2 + 1) + 1] / (2 * Qts)$

Plus le Qts du HP utilisé sera élevé, plus la bande passante du pavillon sera réduite. C'est pourquoi on dit que les pavillons sont adaptés pour des Qts faibles (<0,25), mais on peut très bien utiliser des HP à Qts élevés si l'on souhaite une bande passante plus petite.

De plus, la chambre de compression impose une fréquence de coupure haute FH en fonction de son volume VC.

$FH= c*Sg / (2 * \pi * VC)$

Cette fréquence diminue lorsque le volume de la chambre de compression augmente. On peut donc calculer le volume maximum en fonction de la surface de gorge pour respecter la bande passante théorique :

$VC_{MAX} = c * Sg / (2 * \pi * Fh)$
Cette condition est facilement respectée pour des pavillons de grave mais devient critique lorsque l'on souhaite calculer des pavillons de mediums et d'aigues.

Le rapport entre la surface de gorge et la surface de la membrane détermine le rendement du pavillon :
A=Sg/Sd

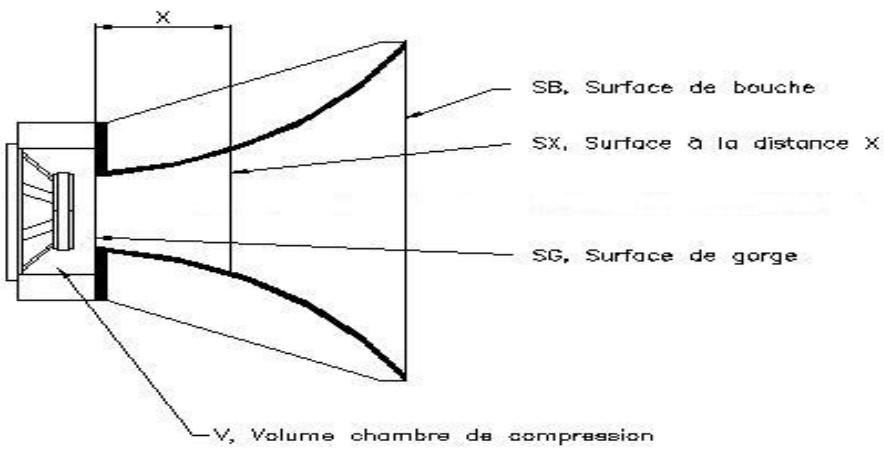
$Rend = 100* BL^2 * Re * A / (\rho * c * Sd * [Re + A * (Re + BL^2 /[2 * \rho *c* Sd])]^2)$

Ce rendement est théoriquement optimisé pour $A=Re / (Re + [BL^2 / (2 * \rho *c * Sd)])$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le pavillon arrière: toboggan

L'avantage du pavillon arrière est de pouvoir utiliser la courbe de réponse du HP à l'air libre. En effet, celui-ci n'étant pas contraint par un volume clos, aucune raideur ne vient s'ajouter au système.



L'idée étant ensuite de « tordre » le pavillon pour ramener l'onde sonore sur le même plan afin qu'elle s'ajoute au rayonnement direct du HP.

Le volume de la chambre de compression et la loi d'expansion du pavillon se calculent de la même manière que pour le pavillon avant.

Loi d'expansion :

La loi d'expansion du pavillon donne le rapport entre la surface du pavillon à une distance x de la gorge et la surface de gorge, en fonction de cette distance x.

C'est elle qui détermine la forme du pavillon et donc la fréquence sur laquelle sera centrée sa bande passante.

Une fois choisies la fréquence du pavillon et la surface de bouche, on peut donc calculer la surface du pavillon en tout point du parcours.

La loi d'expansion d'un pavillon hyperbolique est :

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

$S(X) = Sg * [\cosh(M * X) + T * \sinh(M * X)]$ *cosh/sinh :cosinus/sinus hyperbolique*

M étant le coefficient d'expansion et T un facteur de forme

Selon Mario Rossi le T optimal vaut 0,707 ($=\sqrt{2}/2$) nous avons donc
$S(X) = Sg * [(e^{(M * X)} + e^{(-M * X)}) / 2 + \sqrt{2} * (e^{(M * X)} - e^{(-M * X)})/ 4]$

Cependant, lorsque T=1 la formule devient : $S(X) = Sg * e^{(M * X)}$

On parle alors de pavillon exponentiel et on a par équivalence:
$S(X)/Sg = e^{(M * X)}$
$Ln(S(X)/Sg) = M*X$
$Ln(S(X)) = Ln(Sg) + M*X$

Le coefficient M est fixé par la fréquence choisie

$M = 4 * \pi * F / c$

Ce coefficient doit être corrigé en fonction de la forme du pavillon.

On divise le résultat par 2,5 pour les pavillons exponentiel, par 1,5 dans le cas d'un pavillon hyperbolique avec T=0,707.

<u>Surface de bouche et rayonnement :</u>

Un principe important d'acoustique est qu'une cavité ne peut pas rayonner correctement une longueur d'onde supérieure à son périmètre.

C'est-à-dire que pour rayonner parfaitement le 20Hz, le pavillon devrait avoir une bouche de 17 m de périmètre. Soit un disque de 5,4 m de diamètre ou un carré de 4,3m de coté.

Ne perdons pas espoir car cet effet doit être nuancé en fonction de l'angle de diffusion (angle solide pour une diffusion dans l'espace)

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

En effet, on peut imaginer que l'onde sonore « s'appuie » sur les parois du pavillon pour se former. Si le périmètre maximum du pavillon est trop petit par rapport à la longueur d'onde, celle-ci n'aura pas la place pour se former complètement.

Mais si on ajoute une surface dans le prolongement du pavillon (comme lorsque l'enceinte est posée au sol), l'onde sonore va pouvoir « s'appuyer» contre cette surface et donc se former pour des longueurs d'onde plus grandes.

Plus l'angle, solide est petit (cad. qu'il y a plus de surfaces à disposition), plus la longueur d'onde pourra être élevée.

$\lambda_R = \sqrt{(4\pi / \alpha)} * P$ P étant le périmètre de la bouche et α l'angle solide

On obtient -3dB par rapport à la réponse « naturelle » du pavillon à la demi-octave inferieure.

$F_{-3} = F / \sqrt{(2)}$ d'où $\lambda_{-3dB} = \sqrt{(2*\pi / \alpha)} * 2*P$

$\alpha = 4\pi$ diffusion dans l'espace (pavillon d'aigu en hauteur)
$\alpha = 2\pi$ diffusion contre une surface (enceinte posée au sol)
$\alpha = \pi$ diffusion contre deux surfaces (avec un mur juste derrière l'enceinte)
$\alpha = \pi / 2$ diffusion contre trois surfaces (enceinte dans un angle de la salle)

Dans notre cas, on prendra **$\alpha = 2\pi$** et donc $\lambda_{-3dB} = 2*P$

Sachant que 20Hz <-> λ = 17m il faut P=8,5m pour obtenir -3dB à 20HZ

Cela reste conséquent mais 30Hz<-> λ = 11,3m $P_{-3} = 5,7m$
Et 40Hz<-> λ= 8,5m $P_{-3} = 4,3m$ soit un carré d'un mètre de coté.

Attention, ceci n'est pas véritablement la fréquence de coupure de l'enceinte.

Considérant que dans l'extrême grave, la sensibilité du pavillon est bien supérieure à celle du HP direct, la coupure basse devrait donc être celle du pavillon seul (fb).
Or il est aisé d'obtenir un fb suffisamment bas en adaptant la loi d'expansion, mais dessiner une enceinte réalisable et transportable avec un périmètre de bouche de 17m est une autre affaire.

C'est donc bien le mauvais rayonnement de la bouche qui limitera ici la réponse dans le grave.

Idéalement on souhaiterait c/ λ_R =fb, concrètement obtenir c/ λ_{-3dB}=fb est déjà sportif (surtout pour ceux qui portent les caisses).

Cette méthode n'est pas très rigoureuse et des mesures nous en apprendraient plus. Je ne dispose pas d'un analyseur de spectre mais j'ai encore le temps d'en trouver avant d'avoir construit tous ce qu'il me faut mesurer.
En attendant, je considère c/ λ_{-3dB} (qui sera supérieur à fb) comme fréquence de coupure en arrondissant au hertz supérieur.

Avec toutes ces formules et un peu (sic !) de géométrie, j'ai dessiné les plans d'un caisson pour un haut parleur Beyma18LX60 (annexe 5).

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Apres quelques essais « volumineux », j'arrive à un modèle de moins de deux mètres qui proviens d'un compromis ; la surface de gorge doit être adaptée à partir du calcul d'optimisation, en fonction du trajet estimé et de la loi d'expansion voulue afin d'obtenir une surface de bouche ni trop petite (mauvais rayonnement), ni trop grande (transport, stockage, etc…). Sachant que l'on perd en rendement à mesure que l'on s'éloigne de l'optimum et sans oublier qu'il faudra adapter le volume de compression en fonction de la surface de gorge choisie.

Tout cela en restant relativement simple dans les formes puisque le matériel d'ébénisterie dont nous disposons est suffisant sans être fabuleux.

Au final le pavillon est exponentiel avec M=1 soit une fréquence centrale de 68Hz

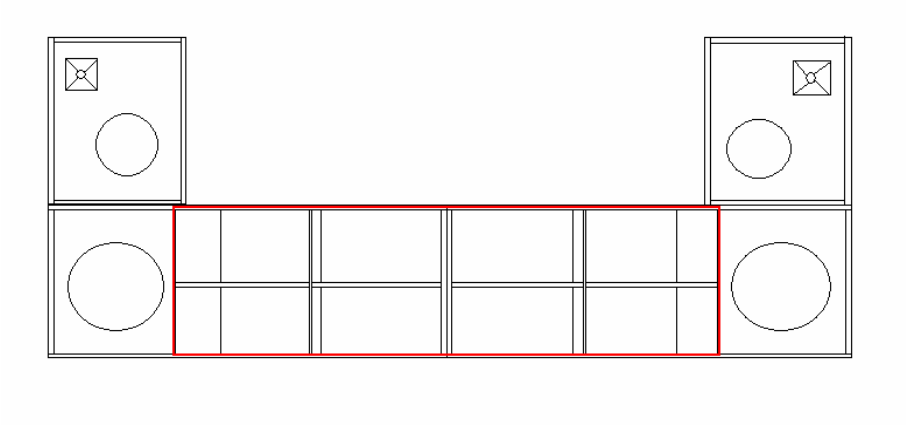
fb=22Hz et fh=206Hz

Le rendement théorique est d'environ 18% soit un gain de 8,5dB par rapport au rendement à l'air libre.

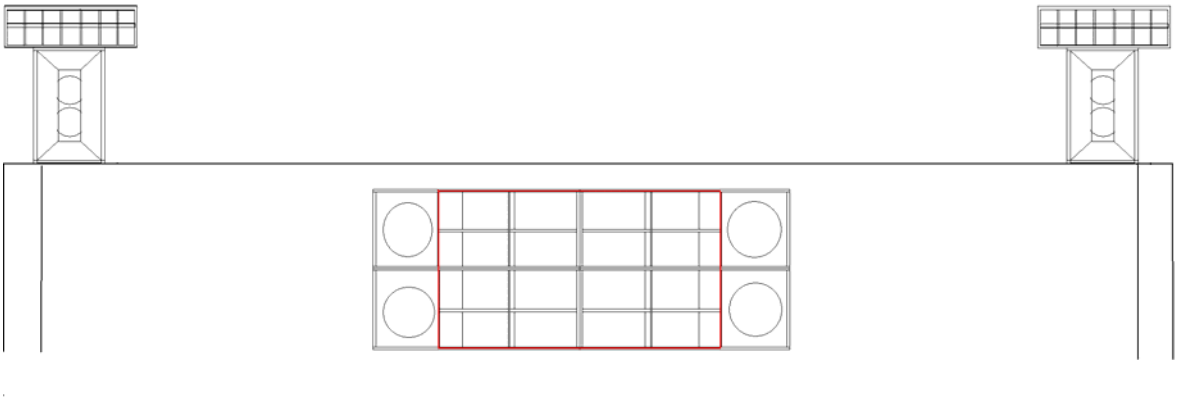
Le périmètre de bouche mesure 3,8m soit f_{-3dB}= 45Hz

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le principe du scooper est d'être utilisé en groupe afin de coupler les surfaces de bouche des pavillons et d'améliorer le rayonnement dans le grave.



P=6,3 m F_{-3}=28Hz



P=7,7m F_{-3}=23Hz

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le pavillon arrière présente tout de même un inconvénient notable qui n'aura pas échappé au lecteur assidu.

Le signal sortant du pavillon est en fait le signal envoyé au HP, en opposition de phase puis retardé par la durée du trajet de l'onde dans le pavillon.

On pense donc au cours circuit acoustique qui pourrait éliminer certaines fréquences du signal. Cependant, dans le domaine d'utilisation de la caisse, la sensibilité du pavillon est bien supérieure à celle du HP seul (dans ce cas +8,5dB).
C'est pourquoi la superposition des deux ondes ne crée pas de perte franche (pas de disparition totale de fréquence).

De plus, le signal reproduis par le caisson sera retardé par rapport au reste du spectre (mediums/aigus).

Ici le parcours final est d'environ 2,4m soit un retard de 7ms environ.

Cette solution n'est donc pas de la haute fidélité.
Tout comme le bass reflex, on sacrifie ici un peu de qualité d'écoute afin de gagner en sensibilité. Mais « c'est tricher ».

Je vous laisse cependant imaginer un pavillon avant de 2,4m de long avec une enceinte de 90L à l'arrière. Ce n'est déjà pas très pratique au transport. En sachant que se sont les HP qui doivent être alignés et non les bouches des pavillons pour que les signaux soient en phase, il faudrait insérer un delay ou laisser plusieurs mètres entre la scène et le public pour placer les pavillons.

Un Hp de meilleur qualité, avec un Qts plus faible et un Vas réduit, permettrait une boite moins volumineuse et un coefficient M plus grand d'où une longueur de pavillon plus courte (pour obtenir la même surface de bouche). S'il est suffisamment sensible, on peut également augmenter la surface de gorge pour gagner en longueur.

Mais cela ne changerait pas le problème de rayonnement dans le grave. Il faudrait donc autant de caisses pour une fréquence de coupure équivalente, le budget sera sensiblement supérieur.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Un système multiamplifié

Comme nous l'avons vu, pour optimiser la linéarité du système il faut spécialiser les Hp en fonction des fréquences à reproduire. Mais le filtrage passif entraine des pertes en puissance en raison de la résistance interne des filtres. Plus on « découpe » le signal et plus les pertes seront importantes.

Grace à un filtrage pré-amplification (dit actif), on évite le gaspillage de puissance ce qui signifie un meilleur rendement global du système. On peut également spécialiser les amplificateurs en fonction du spectre à reproduire.

On peut aussi adapter les dimensions et le type d'enceinte pour chaque voie de diffusion. L'atténuation sur chaque voie et le positionnement des enceintes peuvent facilement être adaptés aux conditions.

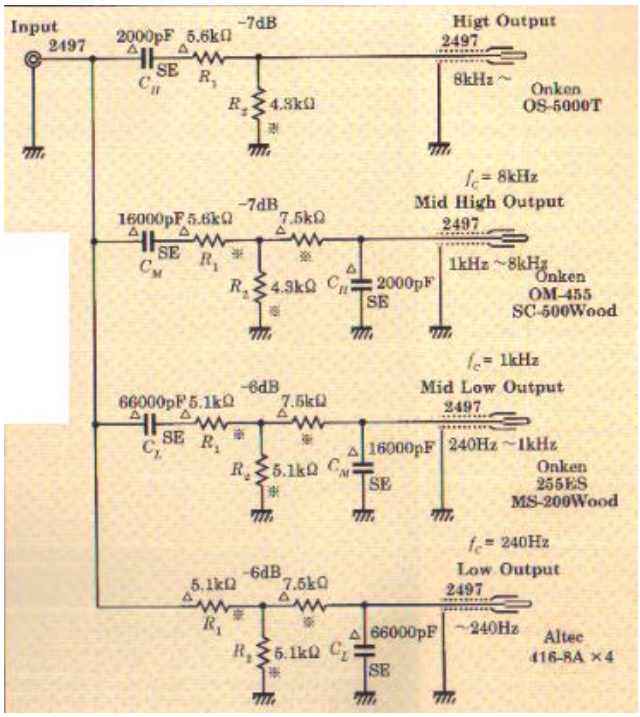
On comprend vite que le filtrage pré amplification ne présente à peu prés que des avantages. Le principal souci est que pour chaque voie de filtrage supplémentaire, il faudra un amplificateur de plus. Le budget sera donc lui aussi différent.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Le Filtrage actif

Les filtres actifs numériques offrent, en une seule machine, de grandes possibilités de réglage. Notamment des ordres très élevés pour séparer les signaux entre les haut-parleurs et des « notch » resserrés pour éliminer précisément d'éventuelles fréquences gênantes. La plupart du temps, on peut également retarder et atténuer les différentes voies séparément.

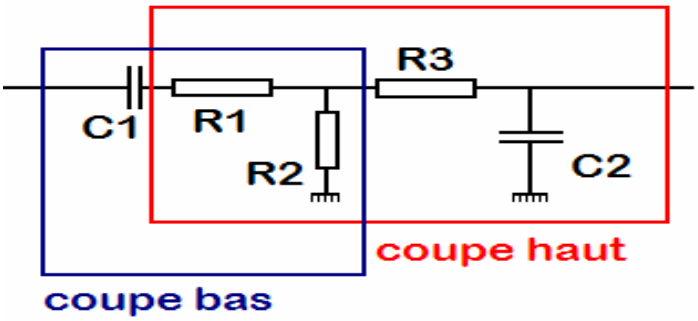
Cependant, on peut aussi profiter des avantages du filtrage pré amplification avec des filtres analogiques.



Pour chaque voie le coupe bas se calcul :

Fb=1/(2* **π** *C1*[R1+R2])

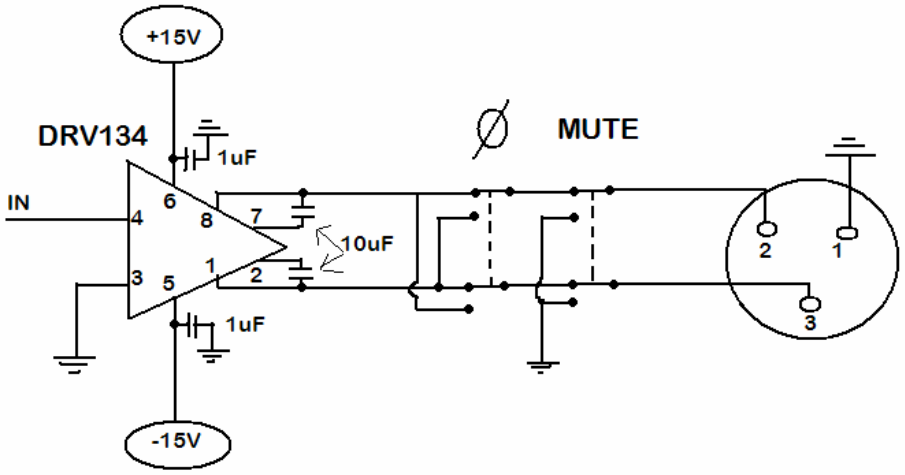
Pour le coupe haut on a 1/Req=(1/R1)+(1/R2)
et
Fh=1/(2* **π** *C2*[Req+R3])



Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Il faudra ajouter des condensateurs variables en parallèle afin de pouvoir régler les fréquences de coupures. Cependant pour régler sur un seul potard la fréquence d'un coupe-haut d'une stéréo et la fréquence du coupe-bas de la voie supérieure, il faudrait des condensateurs variables quadruples.
Or les condensateurs variables doubles ne sont déjà pas très repandus. Il faudra donc choisir entre régler séparément la gauche et la droite ou la fréquence de coupure haute et la fréquence de coupure basse supérieure.
Cette dernière solution me semble plus judicieuse car on est plus souvent amener à souhaiter une fréquence différente qu'une asymétrie gauche/droite.
Dans ce cas, on pourra également utiliser des résistances variables pour régler les passe-bas, ce qui coute souvent moins cher.

On peut sans doute faire l'économie d'un atténuateur puisqu'on en trouve sur la plupart des amplificateurs mais un petit étage de symétrisassions avec mute et opposition de phase sur chaque voie ne semble pas de trop.



Les condensateurs de découplage (sur les bornes d'alimentations) doivent être au plus proche du CI.
Je conseil d'externaliser l'alimentation pour n'amener que du courant continu dans l'appareil

La qualité des composants et de la fabrication ne doit pas être négligée puisque tout le son diffusé passera à travers.

Une telle construction en sortie d'un équaliseur graphique permet déjà quelques réglages.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Remise en phase

Un déphasage des ondes sonores provenant de deux haut-parleurs différents provoque un filtrage en peigne qui nuit à la linéarité de la réponse en fréquence.

On remarque que ce facteur est souvent négligé dans la conception d'enceintes passives, même commerciales, où la bouche du pavillon est simplement alignée avec la fixation du boomer.

Plus le déphasage et important et plus la puissance des haut-parleurs et égale, plus les perturbations seront importantes.

Sur une enceinte 2 voie par exemple, si le signal est déphasé, des pertes en fréquences vont apparaitre dans le domaine de fréquence où les deux haut-parleurs sont en fonctionnement, c'est-à-dire aux alentour de la fréquence de coupure.

On cherche donc, dans un premier temps, à obtenir des ondes en phases à la fréquence de coupure car les deux haut-parleurs émettent à un niveau égal.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Alignement des sources sonores :

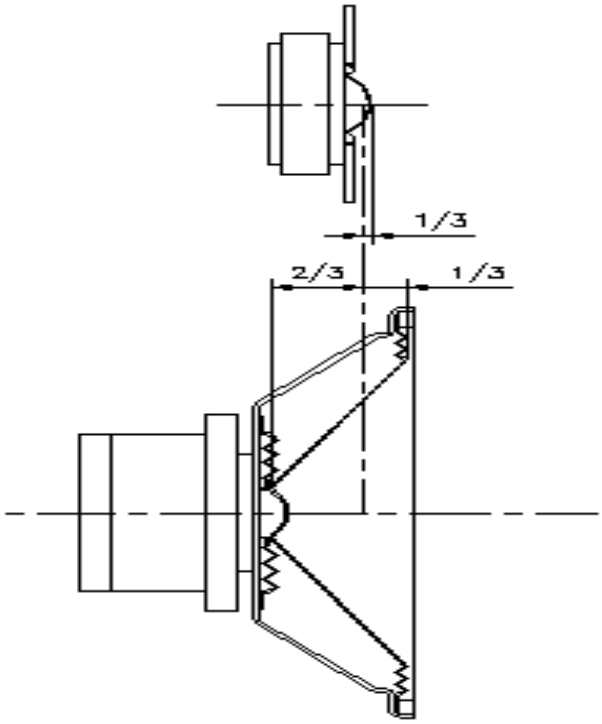
Pour que les sources sonores des différentes voies soient en phase, pour un même signal, il faut qu'elles soient alignées dans le plan vertical.

Cependant, les haut parleurs ont une certaine profondeur et déterminer le point de source avec précision est asses complexe. D'autant plus que celui si peut varier en fonction de la fréquence reproduite. Là encore, la mise au point à l'écoute est le plus souvent recommandée.

On cherche donc le point moyen de formation du son dans le HP. En première estimation, on peut prendre le plan vertical qui sépare la surface de la membrane en deux.

Pour un boomer, il se trouve environ à 1/3 de la profondeur du HP en partant du coté le plus grand.
Cependant, pour les hautes fréquences, c'est le fond du boomer qui émettra plus de puissance, le point source se déplace donc vers le fond du boomer si on filtre à une fréquence élevée.

Pour les tweeters à dôme, il faut prendre le 1/3 de la profondeur en partant de la pointe du dôme.



A ce stade, avoir des boites séparées pour chaque haut-parleur permet déjà un réglage précis puisque la demi-longueur d'onde du 12kHz fait 1,43cm ou 0,04 ms de delay.

Dans le cas d'une enceinte passive, il faudra une étape de mise au point sur une plaque avant temporaire, en utilisant la caisse et le filtre définitifs.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Déphasage du filtre :

L'usage d'un filtre analogique déphase le signal audio entre les différentes voies filtrées.
La plupart des filtres numériques utilise des logarithmes reproduisant leur fonctionnement et sont donc sujet au même problème.

Le retard de phase est de
- **π** /2 pour les filtres du 1er ordre
- **π** pour les filtres du 2e ordre
- 3 **π** /2 pour les filtres du 3e ordre
- 2 **π** pour les filtres du 4e ordre

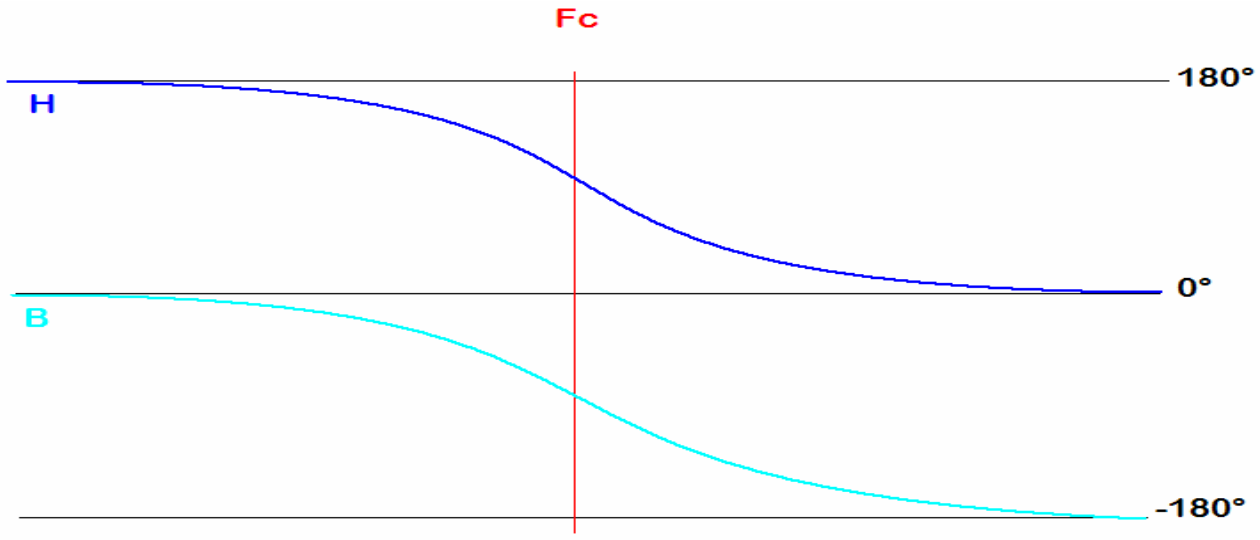
Ce retard est le même pour tout les types de filtre (Bessel, Linkwitz, etc…).

Cependant, on sait que la courbe de réponse aux alentours de la fréquence de coupure n'est pas la même. C'est à dire surtout que la différence de niveau entre les haut-parleurs n'est pas la même.

Or la phase absolue et la variation de phase à la fréquence de coupure changent elles aussi en fonction du filtre utilisé.
L'effet de ce déphasage sur la courbe de réponse du système sera donc différent.

Ici l'usage d'un delay semble inapproprié puisqu'un retard constant au niveau temporel donne un retard de phase qui varie en fonction de la fréquence.

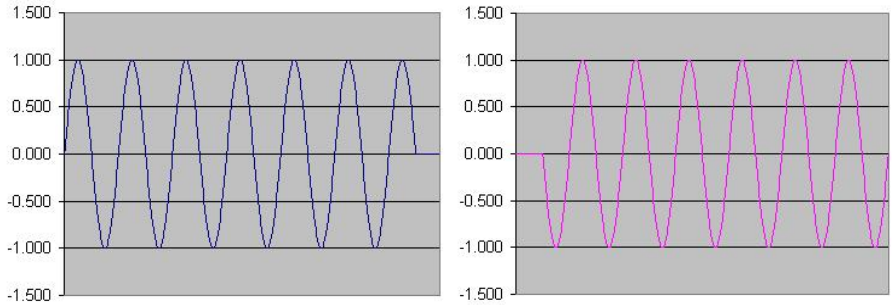
On voit l'intérêt d'inverser la phase dans un système deux voies filtré à 12dB/octave :



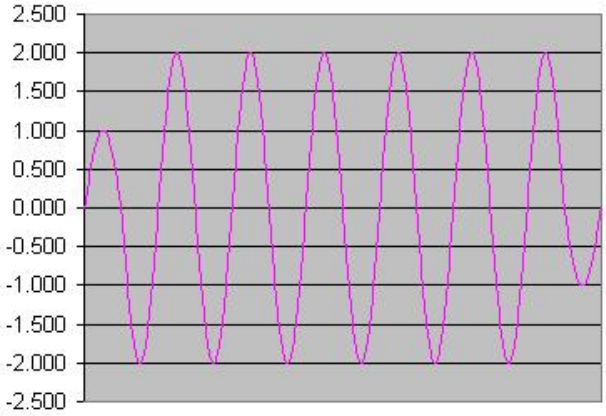
On récupère ainsi les signaux en phase sur les deux hauts parleurs **à condition d'avoir aligné les points sources auparavant.**

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Réponse aux impulsions :



Lorsque l'on additionne un train de huit oscillation avec ce même signal retardé de **π** /2 et mis en opposition de phase, le résultat est un train d'onde plus long d'une demi-oscillation et dont la première et la dernière demi-oscillation sont plus faibles en amplitude.



Or la musique est constituée de trains d'oscillations complexes qui varient constamment.
La simple remise en phase n'est donc pas suffisante pour obtenir une restitution dite « musicale » du son.

Des méthodes existent pour déterminer la qualité de la réponse aux impulsions d'un système.
L'idée étant de jouer sur la polarité, le delay, les fréquences de coupure, le type et l'ordre du filtre appliqués à chaque voie afin d'obtenir les meilleurs mesures.

Cependant, même s'il on peut l'optimiser expérimentalement, il est difficile de quantifier ce qu'il faut privilégier entre la linéarité de la réponse en fréquence et la réponse aux impulsions, pour obtenir une restitution la plus fidèle possible des sons musicaux.
Et en pratique, il est très rare de pouvoir contrôler tous les paramètres.

C'est pourquoi une oreille bien entrainée demeure actuellement le meilleur outil pour calibrer un système de diffusion.
Savoir quoi compenser et comment est sans doute aussi une aide importante.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Sources et Bibliographie

Cours de l'EMC : http://www.emc.fr

Site de Dominique Petoin : http://www.petoindominique.fr
Un passionné d'audio qui s'inspire principalement du travail de Mario Rossi et de Francis Ibre et qui a le bon gout d'agrémenter son site avec les remarques des internautes.

Site de Francis BROUCHIER : http://www.brouchier.com/livre/LE_LIVRE.html
Traité universitaire un peu plus poussé sur le fonctionnement du haut-parleur.
Nécessite un petit niveau en mathématique.

Enceintes acoustiques et haut-parleurs de Vance DICKASON

Itinéraire d'un audiophile de Francis Ibre

Audio de Mario Rossi

Un CI mystérieux ? http://www.datasheetcatalog.com/ http://www.datasheetarchive.com/

Un mode d'emploi perdu ? http://www.free-service-manuals.com/Audio_Hi_Fi/index.html

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche technique BEYMA 15G40 39

ANNEXE 2 : Fiche technique SELENIUM 210Ti 41

ANNEXE 3 : Mesure des paramètres T&S 43

ANNEXE 4 : Simulation du bass-reflex 51

ANNEXE 5 : un pavillon arrière 52

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

ANNEXE 1
Fiche technique BEYMA 15G40

beyma

15G40

15G40

G40 Series

KEY FEATURES

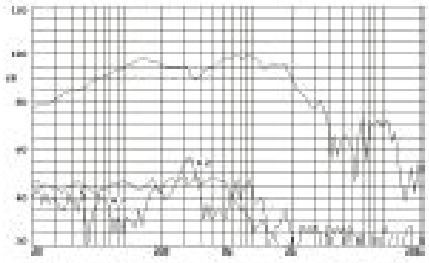
- High power handling (700 W_{AES})
- Waterproof paper cone
- 4" edgewound copper voice coil with polyimide fiber glass former
- Optimum winding length for increased linear excursion
- Spiders of improved temperature behaviour: retain good mechanical properties at high power
- Designed for woofer applications



GENERAL DESCRIPTION

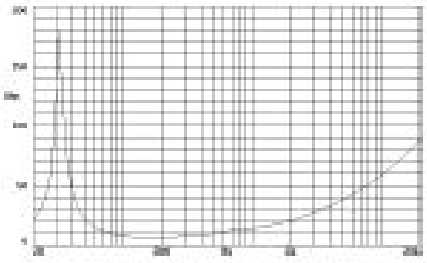
This low frequency transducer is specially intended for the most demanding applications. Its design concept arises from the need of achieve a more resistant loudspeaker that matches the more and more power given by ultimate amplification systems. In order to accomplish that, almost every component of the speaker has been reconsidered: its voice coil has the benefits of an improved manufacturing process and the highest quality materials, while the dual spider configuration includes a nomex spider that maintains its compliance constant with the applied power. Moreover, the magnetic structure construction generates a symmetrical magnetic field and, at the same time, provides an efficient thermal path which contributes to heat dissipation. Furthermore, its parameters has been optimized to obtain an excellent bass response when used in small bass-reflex cabinets.

FREQUENCY RESPONSE AND DISTORTION CURVES

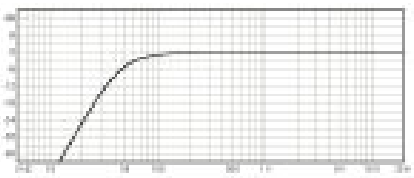


Note: on axis frequency response measured with loudspeaker standing on infinite baffle in anechoic chamber, 1w @ 1m.

FREE AIR IMPEDANCE CURVE

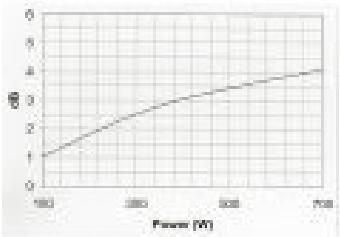


PREDICTED LOW FREQUENCY RESPONSE



Note: Bass-reflex cabinet, Vb=60 l, fb=45 Hz

POWER COMPRESSION LOSSES



Note: These losses are calculated from a five minutes AES power test applying band limited pink noise (25-1200 Hz). The loudspeaker is free-air standing.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

beyma

PROFESSIONAL LOUDSPEAKERS

15G40

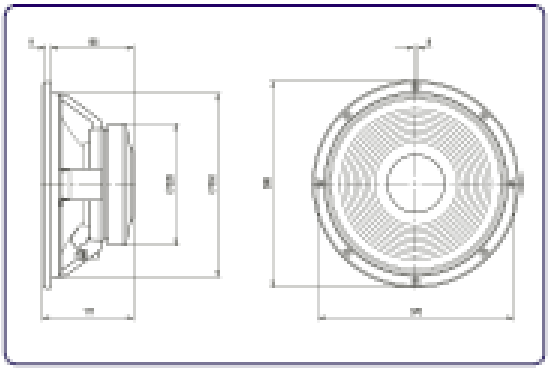
15G40

G40 Series

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Nominal diameter	380 mm.	15 in.
Rated impedance	8 ohms.	
Minimum impedance	7 ohms.	
Power capacity*	700 w AES	
Program power	1400 w	
Sensitivity	97 dB	2.83v @ 1m @ 2π
Frequency range	25 - 1500 Hz	
Recom. enclosure vol.	40 / 150 l	1.4 / 5 ft.³
Voice coil diameter	100 mm.	4 in.
Magnetic assembly weight	9 kg.	19.8 lb.
BL factor	23 N / A	
Moving mass	0.122 kg.	
Voice coil length	23 mm.	
Air gap height	9.5 mm.	
X damage (peak to peak)	33 mm.	

DIMENSION DRAWINGS



MOUNTING INFORMATION

Overall diameter	388 mm.	15.28 in.
Bolt circle diameter	370 mm.	14.57 in.
Baffle cutout diameter:		
- Front mount	352 mm.	13.86 in.
- Rear mount	355 mm.	13.98 in.
Depth	171 mm.	6.7 in.
Volume displaced by driver	7 l	0.25 ft.³
Net weight	10.4 kg.	22.9 lb.
Shipping weight	11.5 kg.	25.4 lb.

MATERIALS

- **Voice coil:** edgewound copper wire with high temperature bonding strength. Polyimide fiber glass former able to withstand high temperatures.
- **Cone:** waterproof paper cone capable of endure the most extreme conditions.
- **Surround:** treated cloth to assure good retaining of elasticity in despite of continuing use.
- **Spider:** dual spider combination made of nomex + polycotton to maintain good mechanical properties at high applied power.
- **Metal parts:** anti-corrosion coated back plate designed to resist aggressive environmental conditions
- **Basket:** specially designed die cast aluminium basket to avoid disturbing resonances.
- **Magnet:** high Curie temperature ferrite.

THIELE-SMALL PARAMETERS**

Resonant frequency, fs	37 Hz
D.C. Voice coil resistance, Re	5.9 ohms.
Mechanical Quality Factor, Qms	9.95
Electrical Quality Factor, Qes	0.31
Total Quality Factor, Qts	0.30
Equivalent Air Volume to Cms, Vas	149 l
Mechanical Compliance, Cms	155 μm / N
Mechanical Resistance, Rms	2.8 kg / s
Efficiency, ηo (%)	2.3
Effective Surface Area, Sd (m²)	0.0830 m²
Maximum Displacement, Xmax	7 mm.
Displacement Volume, Vd	576 cm³
Voice Coil Inductance, Le @ 1 kHz	2.9 mH

Notes:

* The power capacity is determined according to AES2-1984 (r2003) standard. Program power is defined as the transducer's ability to handle normal music program material.

** T-S parameters are measured after an exercise period using a preconditioning power test. The measurements are carried out with a velocity-current laser transducer and will reflect the long term parameters (once the loudspeaker has been working for a short period of time).

beyma

acústica beyma, s.a.

Polígono Industrial Moncada II · C/. Pont Sec, 1c · 46113 MONCADA - Valencia (Spain)
· Tel. (34) 96 130 13 75 · Fax (34) 96 130 15 07 · http://www.beyma.com · E-mail:beyma@beyma.com ·

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

ANNEXE 2
Fiche technique SELENIUM 210Ti

SELENIUM PRO

DRIVER TITANIUM D210Ti

High quality compression driver with dome diaphragm in pure titanium, offers high efficiency and low distortion over the medium and high frequencies band.

It can be successfully used in studio monitors, stage boxes and sound reinforcement in small rooms, where a high performance is requested.

This performance results from the proper combination of the components.

Diaphragm type dome in pure, rigid, light and extremely thin titanium (0.025 mm). To avoid stress and distortion, the suspension has a special design.

Injected phase plug in engineering plastic, optimised to eliminate undesirable phase cancellations.

Magnetic assembly that concentrates flux in the gap, optimized using FEA (Finite Element Analysis), steel parts with e-coating black finish, that guarantee a larger durability.

Voice coil manufactured in CCAW (Copper Clad Aluminium Wire), Kapton® former, assures a great stability and thermal resistance.

The moving assembly has a perfect auto-centering characteristic that turns replacement in an easy task.

Model D210Ti uses standard 13/8" screw - 18 threads per inches, for better fitting with Selenium horns.



SPECIFICATIONS

Nominal impedance	8	Ω
Minimum impedance @ 3,750 Hz	7.5	Ω
Power handling		
Musical Program (w/ xover 1,500 Hz 12 dB / oct)[2]	120	W
Musical Program (w/ xover 2,000 Hz 12 dB / oct)[2]	160	W
Sensitivity		
On horn, 2.83V@1m, on axis[3]	107	dB SPL
On plane-wave tube, 0.0894V[4]	116	dB SPL
Frequency response @ -6 dB	800 to 20,000	Hz
Throat diameter	25 (1)	mm (in)
Diaphragm material	Titanium	
Voice coil diameter	44 (1.7)	mm (in)
Re	6.0	Ω
Flux density	1.80	T
Minimum recommended crossover (12 dB / oct)	2,000	Hz

[1] Power handling specifications refer to normal speech and/or music program material, reproduced by an amplifier producing no more than 5% distortion. Power is calculated as the RMS voltage squared divided by the nominal impedance of the loudspeaker. This voltage is measured at the input of the recommended passive crossover when placed between the power amplifier and loudspeaker.
Musical Program 2: IEC 268.
[3] Measured with 1/4-inch microphone, 1,250 -15,000 Hz average.
[4] This sensitivity represents the SPL in a 25 mm terminated tube, 800 - 2,000 Hz average.

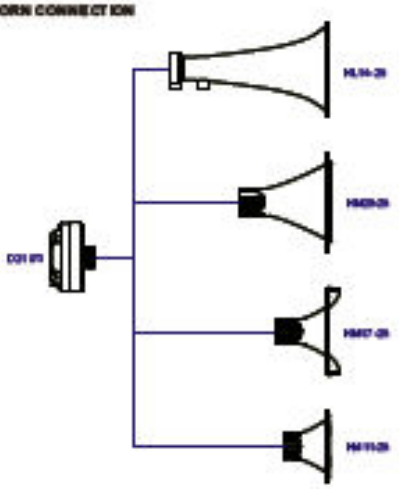
ADDITIONAL INFORMATION

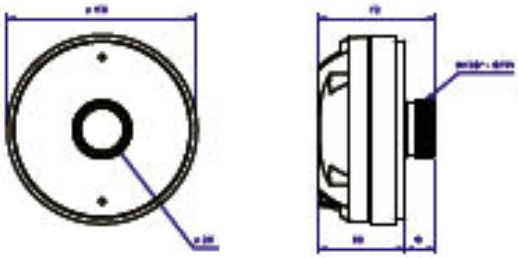
Magnet material	Barium ferrite	
Magnet weight	665 (24)	g (oz)
Magnet diameter x depth	115 x 15 (4.52 x 0.59)	mm (in)
Magnet c assembly weight	1,600 (3.67)	g (lb)
Housing material	Plastic	
Housing finish	Black	
Voice coil material	CCAW	
Voice coil former material	Polyimide (Kapton®)	
Voice coil winding length	3.5 (11.48)	m (ft)
Voice coil winding depth	3.8 (0.14)	mm (in)
Wire temperature coefficient of resistance (ctc)	0.00435	1/°C
Volume displaced by driver	0.5 (0.018)	l (ft³)
Net weight	1,730 (3.81)	g (lb)
Gross weight	1,810 (3.99)	g (lb)
Carton dimensions (W x D x H)	12 x 12.6 x 10 (4.7 x 5.0 x 3.9)	cm (in)

MOUNTING INFORMATION

Horn connection	Screw-on 1⅜" - 18 TPI
Connections	Push terminals
Polarity	Positive voltage applied to the positive terminal (red) gives diaphragm motion toward the throat

DRIVER x HORN CONNECTION





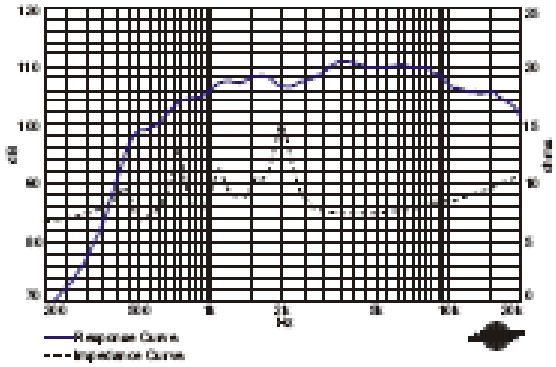
Dimensions in mm.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

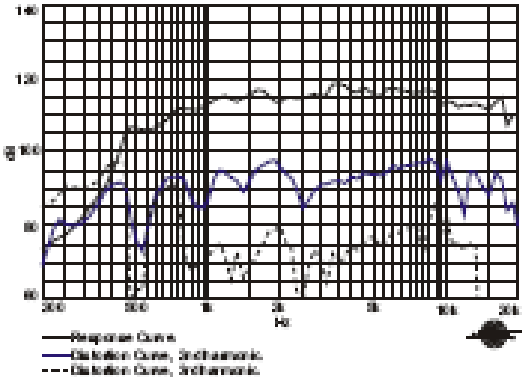
SELENIUM PRO

DRIVER TITANIUM
D210Ti

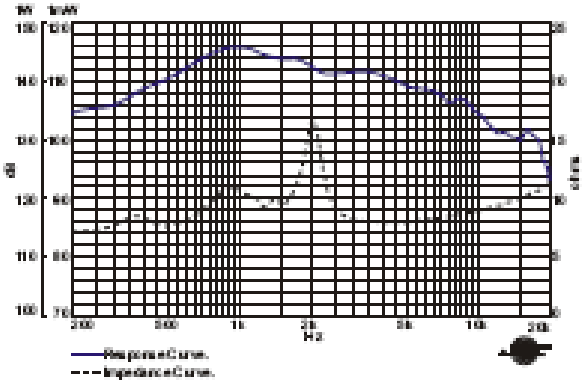
RESPONSE AND IMPEDANCE CURVES W/ HL14-25 HORN INSIDE AN ANECHOIC CHAMBER, 1 W / 1 m



HARMONIC DISTORTION CURVES W/ HL14-25 HORN, 5 W / 1 m.

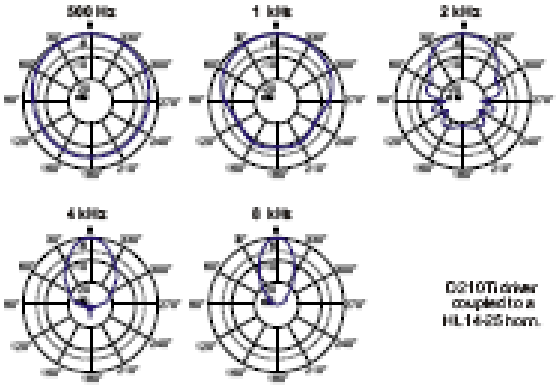


RESPONSE AND IMPEDANCE CURVES W/ PLANE-WAVE TUBE, 1 mW



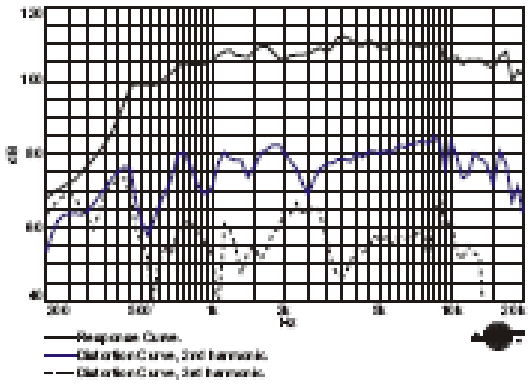
Frequency response and impedance curves measured with 25 mm terminated plane-wave tube.

POLAR RESPONSE CURVES



D210Ti driver coupled to a HL14-25 horn.

HARMONIC DISTORTION CURVES W/ HL14-25 HORN, 1 W / 1 m.



HOW TO CHOOSE THE RIGHT AMPLIFIER

The power amplifier must be able to supply twice the RMS driver power. This 3 dB headroom is necessary to handle the peaks that are common to musical programs. When the amplifier clips those peaks, high distortion arises and this may damage the transducer due to excessive heat. The use of compressors is a good practice to reduce music dynamics to safe levels.

FINDING VOICE COIL TEMPERATURE

It is very important to avoid maximum voice coil temperature. Since moving coil resistance (R_e) varies with temperature according to a well known law, we can calculate the temperature inside the voice coil by measuring the voice coil DC resistance:

$$T_2 = T_1 + \left(\frac{R_2}{R_1} - 1\right)\left(T_1 - 25 + \frac{1}{\alpha_{25}}\right)$$

T_1, T_2 = voice coil temperatures in °C

R_1, R_2 = voice coil resistances at temperatures T_1 and T_2 respectively.

α_{25} = voice coil wire temperature coefficient at 25 °C.

Kapton®: Du Pont trademark.
Permendur®: Arnold Engineering Corporation trademark.

Specifications subject to change without prior notice.

Cod:152001 Rev.: 03. 01/05

ELETRÔNICA SELENIUM S.A.
BR 386 Km 453 - Horto Santa Rita (RS) - Brasil - CEP 99.560-000
Tel.: 51. 479 8100 Fax: 51. 479 1130
www.selenium.com.br
Atendimento Técnico: 0800 514 151

FILIAL SÃO PAULO
Rua Aquiles, 137 - São Paulo (SP) - Brasil - CEP 03036-070
PABX: 11 2126 8000 Fax: 11 2126 8060

SELENIUM USA / SELENIUM EUROPE
www.seleniumloudspeakers.com
Toll Free: 1800 382 8010

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

ANNEXE 3
Mesure des paramètres T&S

Extrait du livre de Charles-Henry DELALEU « L'Optimisation des haut-parleurs et enceintes acoustiques » parue au Édition Radio en 1983.

Sujets indirectement abordés méritant attention:

- Les dimensions et cotes du Baffle Plan normalisé.
- Valeur de la résistance série lors du relevé de la courbe d'impédance du HP.
- La célérité du son n'est pas une constante. Elle varie en fonction de la température et de l'altitude. Une approche peut être donnée par la formule suivante :

$$C = 20.046796\sqrt{(t + 273.6 - 6.5.10^{-3} * z)}$$

Avec C exprimé en m/s, t = température en °C au niveau 0 (de la mer), z = Altitude en mètre.

Mesure des paramètres d'un haut-parleur

Courbe amplitude fréquence

La courbe amplitude fréquence est relevée par un microphone étalon, le signal est amplifié grâce à un amplificateur de mesure, puis enregistré sur papier. L'enregistrement est asservi au générateur qui excite le haut-parleur.

Le signal peut être une sinusoïde ou un bruit rose filtré par tiers d'octave (la méthode sinusoïdale permet de déceler plus facilement les accidents de parcours). La vitesse d'écriture de l'enregistreur doit être suffisamment rapide, et le signal injecté au haut-parleur est maintenu constant (2,83 volts pour un haut-parleur de 8 Ω, 2 volts pour 4 Ω). Le haut-parleur est placé, pour un relevé de courbe de réponse ou de distorsion, sur un baffle plan normalisé.

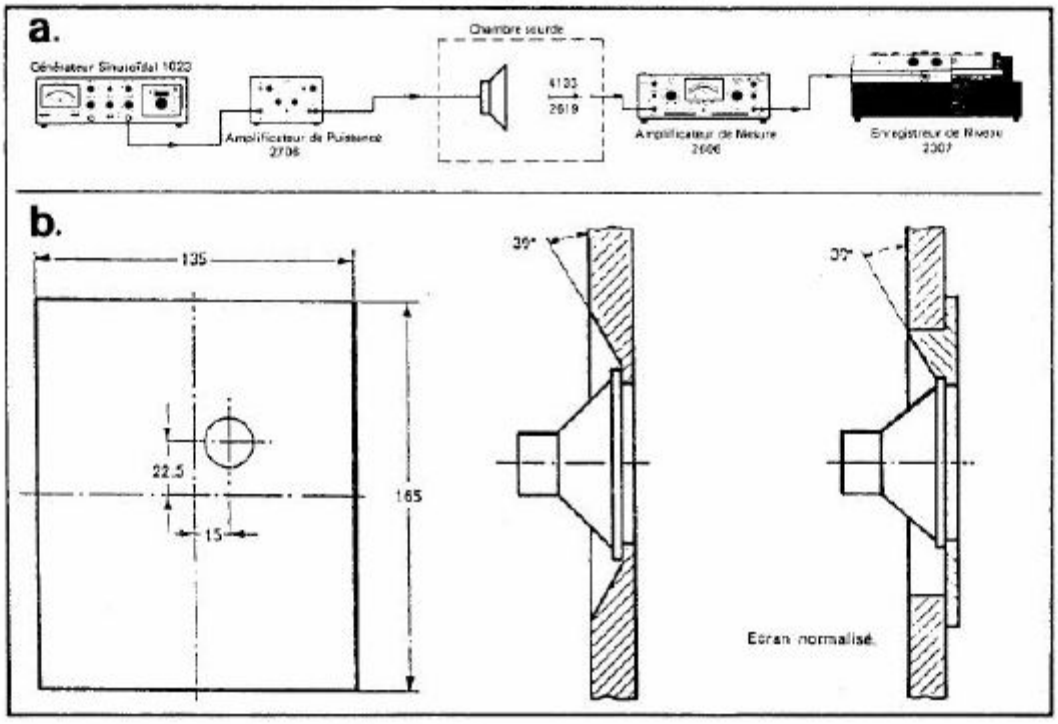


Fig. 27 :Mesure d'un haut-parleur sur baffle-plan
a. le banc de test ; b. le baffle plan normalisé.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Courbe d'impédance

Le relevé de la courbe d'impédance doit être effectué avec un haut-parleur rôdé (fréquence de résonance stabilisée). Celui-ci est placé sur baffle plan. Il est alimenté en courant constant à travers une résistance série de 300 Ω à 1 kΩ (Rcc × 10), et enregistré sur une gamme de 25 dB.

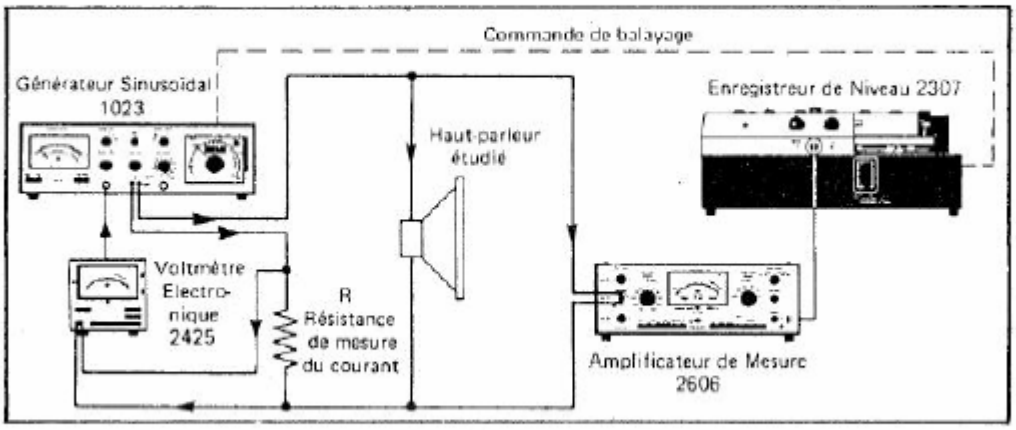


Fig. 28 : Mesure de la courbe d'impédance.

Facteur BL

Un courant i connu qui parcourt la bobine, donnant naissance à un déplacement de l'équipage mobile. Ce déplacement est annulé par un poids placé sur la membrane (équilibrage).

$$\text{Soit : } mg = BLi \;=\!=\; BL = \frac{mg}{i}$$

m = masse d'équilibrage ; g = constante de gravitation ; i = courant (quelques dixièmes d'ampères).

Induction dans l'entrefer

Une bobine très courte est placée dans l'entrefer (le nombre de spires, et la longueur L sont connus). La force engendrée par le passage d'un courant i est équilibré par la méthode de la balance.

$$B = \frac{mg}{Li}$$

Flux

Soit S la surface de l'entrefer

$$\Phi = BS$$
$$S = \pi dh$$

h = hauteur de l'entrefer ; d = diamètre moyen de l'entrefer.

Fréquence de résonance

La fréquence de résonance correspond au maximum de la valeur du module de l'impédance (fig. courbe d'impédance).

Détermination de la masse mobile

Une masse additionnelle m connue est ajoutée à la masse de l'équipage mobile Mms. Une nouvelle fréquence de résonance F' est relevée.; La masse mobile incorpore la masse d'air chargeant les deux faces de la membrane du transducteur considéré, monté sur baffle plan infini.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

$$\text{Soit : } Mms = \frac{m}{\left(\frac{FR}{F'}\right)^2 - 1}$$

m = masse additionnelle ; FR = fréquence de résonance à l'air libre ; F' = fréquence de résonance avec la masse additionnelle.

Mesure des paramètres suivant la méthode de A.N. Thiele

Le relevé de la courbe d'impédance est effectué, on mesure l'impédance maximum, ainsi que la résistance courant continu.

$$\text{Soit : } ro = \frac{Z\ max}{Rcc}$$

Puis recherche des fréquences F1 et F2 (fréquences ayant une position parfaitement symétrique sur la courbe d'impédance de part et d'autre de la fréquence de résonance). Ces fréquences sont placées à une valeur de module de l'impédance (ri) égale à :

$$Z\ F1\ F2 = \sqrt{ro \times Rcc}$$

$$\text{Soit la fréquence de résonance : } FR = \sqrt{F1 \times F2}$$

Soit les coefficients de surtension :

$$Qm = \frac{FR \times \sqrt{ro}}{F2 - F1} \qquad Qe = \frac{Qm}{ro - 1} \qquad Qt = \frac{Qm}{ro}$$

Mesure du volume d'air équivalent à l'élasticité de la suspension du haut-parleur.

Le haut-parleur est chargé par un volume parfaitement clos. Les paramètres sont relevés une seconde fois.

Soit V = le volume de charge ; FRc = la fréquence de résonance, HP chargé ; Qec = le coefficient de surtension électrique, HP chargé.

$$Vas = V\left(\frac{FRc \times Qec}{FR \times Qe} - 1\right)$$

De ces deux expérience découlent les paramètres suivants :

Vas → Cas → Mas → Mms → Rms → Cms → Bl → Ces → Res → Les → n

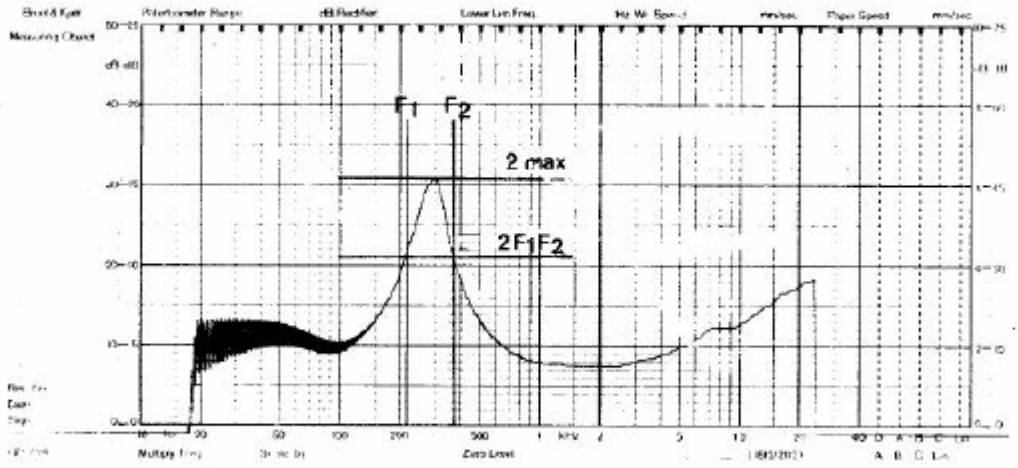


Fig. 29 : Détermination de $F_1 F_2$ — F Max. $Z F_1 F_2$.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Mesure des paramètres suivant la méthode de J. Christophorou

A l'aide d'un accéléromètre (*) J. Christophorou mesure de façon précise l'accélération, la vélocité et le déplacement d'un diaphragme de haut-parleur. On obtient la réponse acoustique en onde stationnaire sans utiliser de chambre insonore.

La pression PF rms, produite par un piston circulaire rigide monté sur un baffle plan, est dépendante de la vélocité du piston Urms aux fréquences où la longueur d'onde est grande comparée aux dimensions de la source.

$$\text{Soit PFRms} = \frac{\varphi o\ \omega \alpha o^2\ \text{Urms}}{2r}$$

φo = densité de l'air ; ω = fréquence angulaire ; αo = rayon effectif de la membrane ; r = distance du point de mesure au centre le membrane ; PF = pression ; U = vélocité.

Soit le déplacement : $X = Xo\ e^{-j\omega t}$ (**),

Soit la vélocité : $U = \frac{dX}{dt} = J\omega X$,

Soit l'accélération : $\alpha = \frac{du}{dt} = J\omega U = J\omega \frac{dX}{dt} = -\omega^2 X$,

$$\text{Soit la pression : PFrms} = \frac{\varphi o\ \alpha o^2\ \alpha\text{rms}}{2r}$$

$$\text{QTS} = \frac{X\ \omega = \omega s}{X\ \omega \to o} = \frac{X\ \omega = \omega s}{X\ \omega \gg \omega s} = \text{antilog}\ \frac{1}{10}\ \frac{dB}{2}$$

dB est la différence de niveaux entre le niveau à la fréquence de résonance et le niveau de référence en dB de la courbe d'impédance.

$$Qm = ro\ QTS,\ ro = \frac{RET}{RE}\ Qe = \frac{Qm}{ro - 1},$$

$$RET = RE + RES.$$

RE = résistance courant continu ; RES = résistance ayant la même valeur ohmique que l'impédance à la résonance.

Pression acoustique :

$$PA = \frac{\varphi o}{2\pi C}\ SD^2\ \alpha\ \text{rms}^2,$$

SD = surface effective du cône ; C = célérité du son dans l'air : αrms = rendement

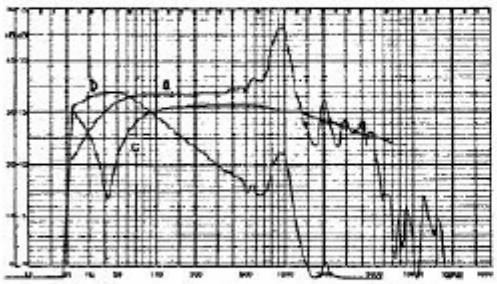


Fig. 30 : Mesure d'un haut-parleur à l'aide d'un accéléromètre. a. a. accélération ; b. vélocité ; c. admittance.

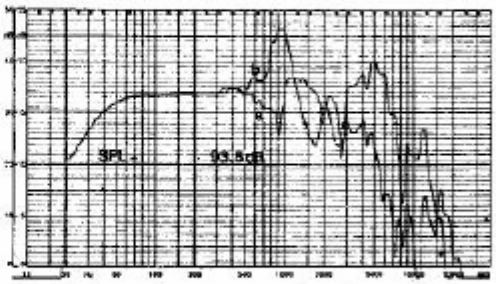


Fig. 30 : b. a. réponse en pression ; b. accélération.

* Masse maximum de l'accéléromètre = 5 grammes.

** Se référer aux notices sur les mesures par accéléromètre Bruel et Kjaer.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

$$n = \frac{PA}{PE}$$ (PE = puissance électrique aux bornes du haut-parleur),

$$n = \frac{\varphi 0}{2\pi C} SD^2 \alpha rms^2 \frac{RE}{V^2}$$ (V = tension aux bornes du HP).

$$Vas = \frac{nQe}{9{,}6 \times 10^{-10} FS^3}$$ FS = fréquence de résonance.

$$Mms = \frac{\varphi oc^2 SD^2 \times 10^6}{4\pi^2 FS^2 Vas}$$ Masse de l'accéléromètre incluse.

$$BL = \left[\frac{2\pi FS\ RE\ Mms}{Qe} \right]^{-1}$$

Mesure des paramètres suivant la méthode simplifiée

La méthode de mesure des paramètres d'un haut-parleur par masse additionnelle consiste à mesurer et calculer les caractéristiques du haut-parleur jusqu'au QTS suivant la méthode Thiele. Au lieu d'utiliser un volume clos pour les autres paramètres, on détermine la valeur de la masse mobile Mm par masse additionnelle suivant la méthode décrite précédemment. De cette expérience découlent les paramètres suivants :

Mms → Mas → Cas → Vas → Cms → Rms → BL → Les → Ces → Res → n

Mesure des paramètres suivant la méthode de O. Jacobsen

La réponse en tension aux bornes d'entrée d'un haut-parleur et la réponse en pression acoustique au centre du diaphragme, à partir d'un signal en escalier, sont enregistrées sous forme d'oscillogramme ou sur une table traçante. On en tire les éléments d'un circuit électrique équivalent et le facteur de force peut être déterminé et les paramètres dérivés calculés.

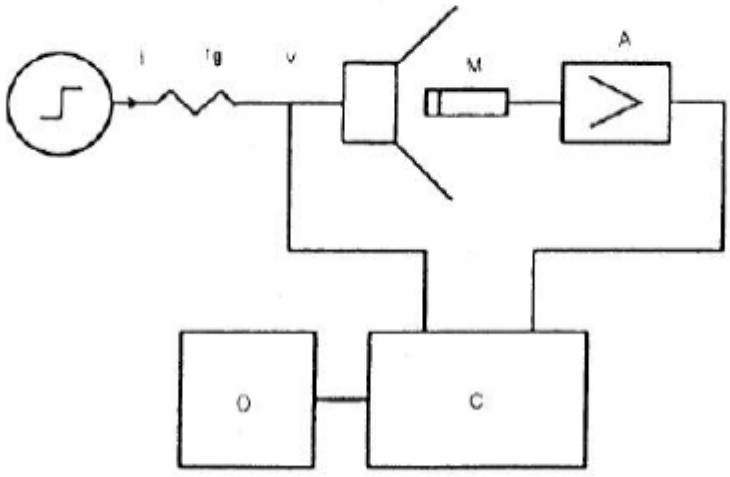


Fig. 31 : Mesure d'un haut-parleur par impulsion : les paramètres
Rg : résistance série ; c. calculateur : facultatif ; o : oscilloscope ; M : microphone ; A : amplificateur de puissance.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

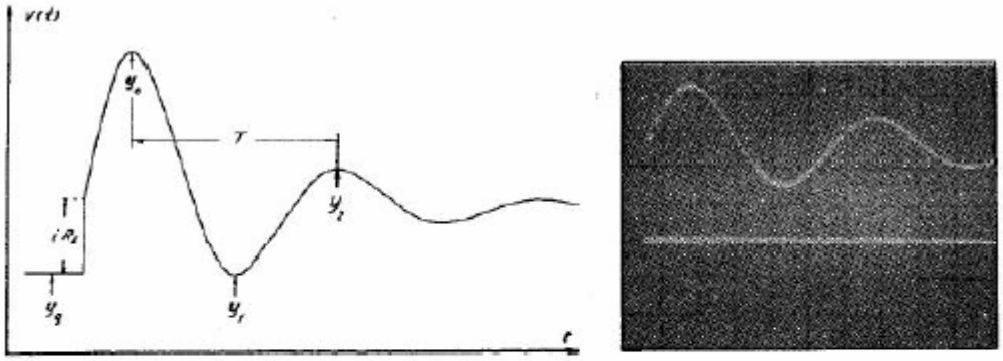


Fig. 32 : Réponse en tension aux bornes du haut-parleur (signal en escalier).

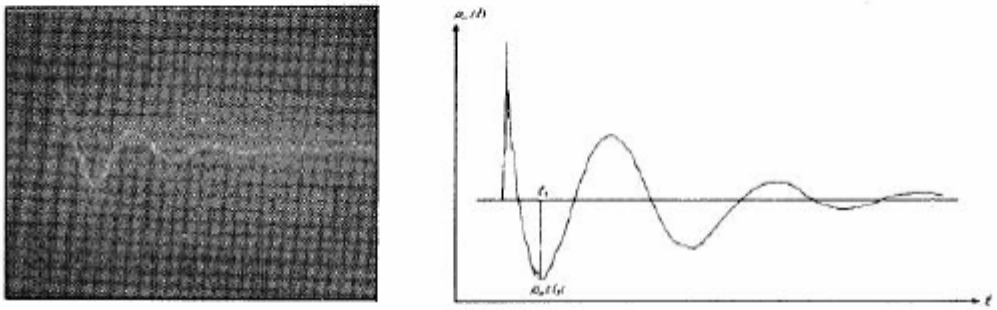


Fig. 33 : Réponse en pression acoustique (micro sur le plan d'émission), signal en escalier.

Le haut-parleur est excité par un générateur de signaux carrés ou par une pile électrique. Une résistance Rg est placée en série entre la source et le transducteur Rg = Rcc × 10.

$$Fr = \frac{1}{T} \qquad T = \text{période}$$

$$Ces = \frac{iRcc \exp(\alpha to)}{\omega Ao\ Rcc} \qquad i = \text{courant}$$

$$to = \frac{T}{4} + \frac{\tan^{-1}(\alpha/\omega)}{\omega}$$

$$Res = \frac{-1}{(2\alpha\ Ces)} \qquad Les = \frac{1}{\omega o^2\ Ces}$$

$$BL = \frac{\varphi o \alpha\ eg}{P\mu C\ (Rg + Rcc)} \qquad P\mu C = \text{pression acoustique au centre du cône}$$

De ces données, nous pouvons calculer : RMS, CMS, MMS, puis Mas, Cas, Vas.

φo = densité de l'air ; d = rayon effectif du diaphragme ; eg = tension aux bornes du générateur ; ωo = FR = fréquence de résonance du haut-parleur ; α = amortissement du système ; Ao = amplitude de la première oscillation aux bornes du haut-parleur.

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

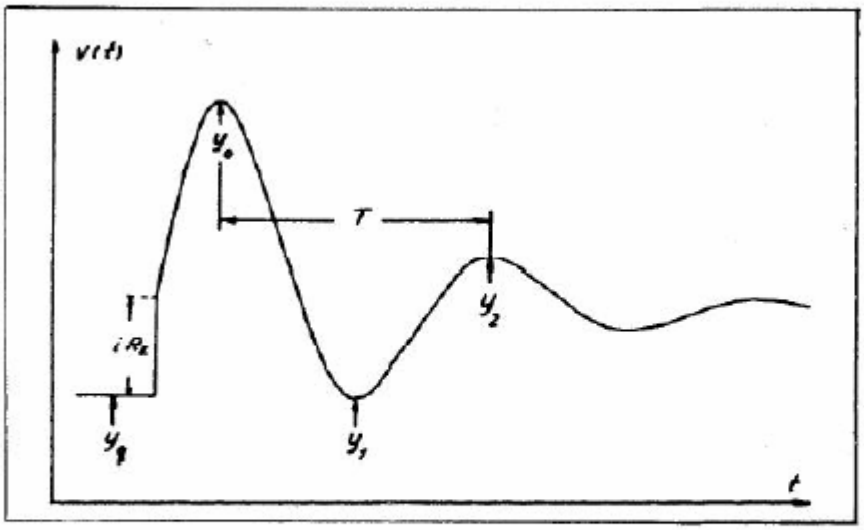


Fig. 34 : Détermination des points de référence.

Les ordonnées yq, y_o, y_1, y_2 sont lues en unité arbitraire.

$$f = \frac{A_1}{A_0} = \exp\left(\frac{\alpha T}{2}\right)$$

$$y_o - y_1 = A_o + A_1 = A_o(1 + f)$$

$$y_o - y_2 = A_o - A_2 = A_o(1 - f^2)$$

$$\frac{y_o - y_2}{y_o - y_1} = 1 - f$$

$$f = \frac{y_2 - y_1}{y_o - y_1}$$

$$\alpha = \frac{2 \ln f}{T}$$

$$A_o = \frac{y_o - y_1}{1 + f}$$

$$\omega o^2 = \omega^2 + \alpha^2$$

$$iRE = y_o - A_o - y_q$$

A_o = amplitude 1er, oscillation direction positive ; A_1 = amplitude 1er, oscillation direction négative ; A_2 = amplitude 2e, oscillation direction positive ; f = rapport entre les 2 premières oscillations ; ln = logarithme népérien.

Nota : $Res = \frac{(Bl)^2}{RMS}$ $\quad Les = (Bl)^2 \times CMS \quad$ $Ces = \frac{Mms}{(Bl)^2}$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

Détermination des paramètres électro-mécano-acoustiques

$$RO = \frac{Z\ max}{Rcc} \quad \ldots\ldots \Omega$$

$$ZF1F2 = \sqrt{RO \times Rcc}$$

$$FS\ Ou\ FR = \sqrt{F1\ F2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{Mas \times Cas}} \quad \ldots\ldots Hz$$

$$Qm = \frac{\sqrt{RO} \times FR}{(F2 - F1)}$$

$$Qe = \frac{Qm}{RO - 1}$$

$$Qt = \frac{Qm}{RO} = \frac{Qm \times Qe}{Qm + Qe}$$

$$Mms = \frac{m'}{\left(\frac{Fs}{Fs'}\right)^2 - 1} = Mas \times S^2 \quad \ldots\ldots kg$$

$$Mas = \frac{Mms}{S^2} = \frac{1}{2\pi FR \times Cas} \quad \ldots\ldots kgm^4$$

$$Cas = \frac{1}{(2\pi FR)^2 \times Mas} = \frac{Vs}{\varphi o \times C^2} \quad \ldots\ldots m^5N$$

φo = densité de l'air en m^3 ; C = célérité du son.

$$Vas = Cas \times 140\,449 = Cas \times (\varphi o \times C^2) = V\left[\frac{FRC \times OeC}{FR \times Qe} - 1\right] \quad \ldots\ldots m^3$$

$$Rms = \frac{2 \times \pi \times FR \times Mms}{Qm}$$

$$Cms = \frac{Cas}{S^2} \quad \ldots\ldots mN$$

S = surface active de la membrane.

$$BL = \sqrt{\frac{2\pi \times FR \times Mms \times Rcc}{Qe}}$$

$$Ces = \frac{Mms}{(BL)^2} \quad \ldots\ldots F$$

$$Res = \frac{BL^2}{Rms} \quad \ldots\ldots \Omega$$

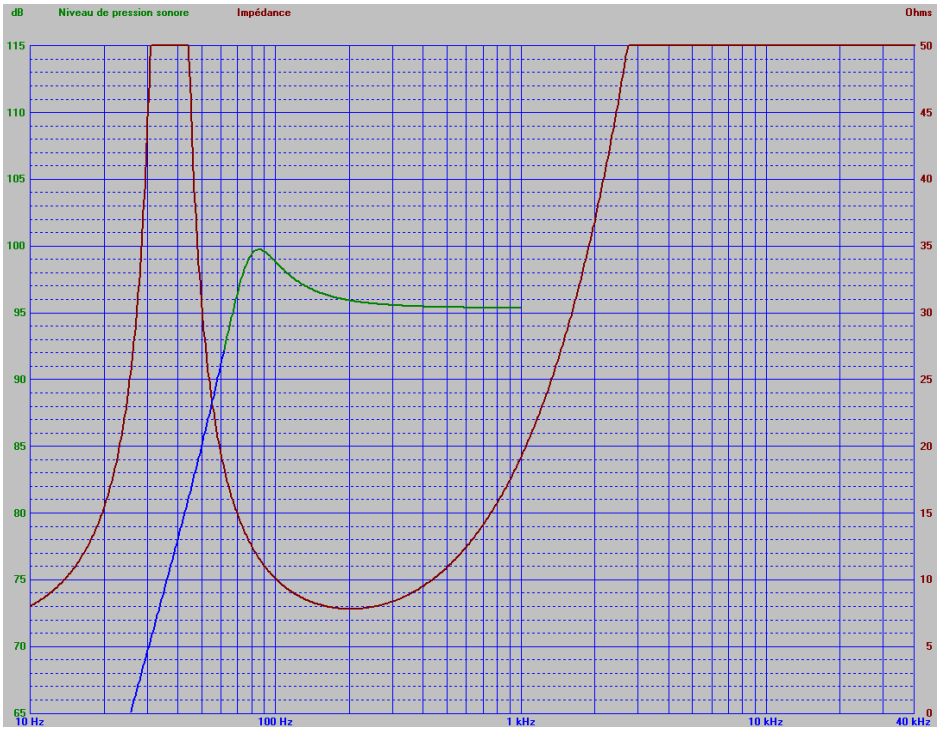
$$Les = BL^2 \times Cms \quad \ldots\ldots H$$

$$n = rendement = \frac{9{,}6 \times 10^{-7} \times (FR)^3 \times Vas}{Qe} \times 100 \quad \ldots\ldots \%$$

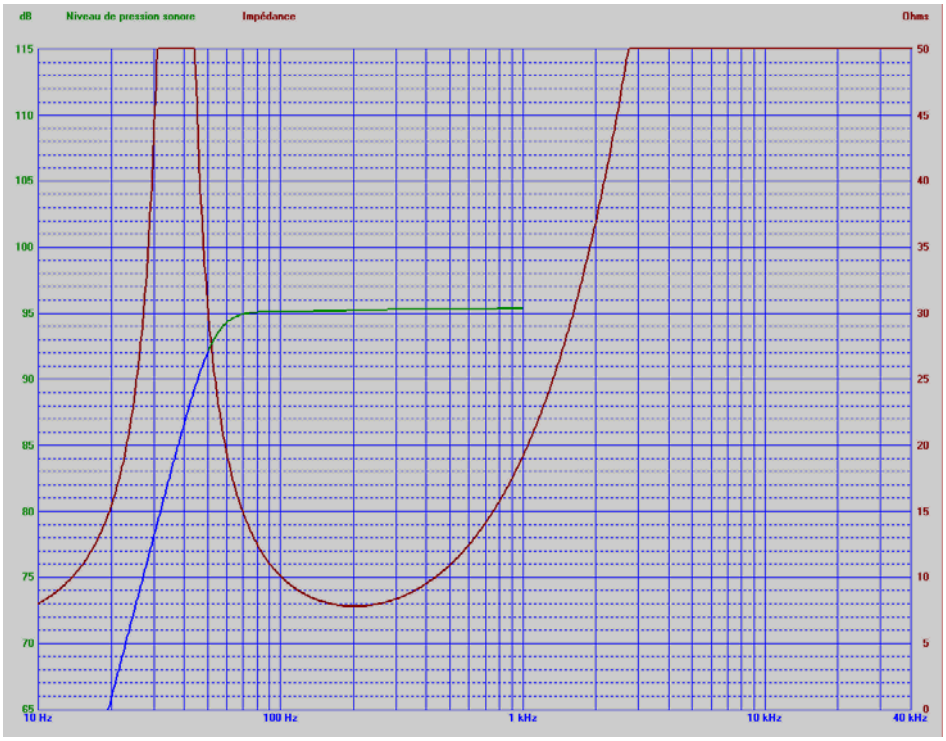
$$Efficacité = \left[10 \log_{10}\left(\frac{rendement}{0{,}065}\right)\right] + 80 \quad \ldots\ldots dB$$

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

ANNEXE 4 :
Simulation du bass reflex



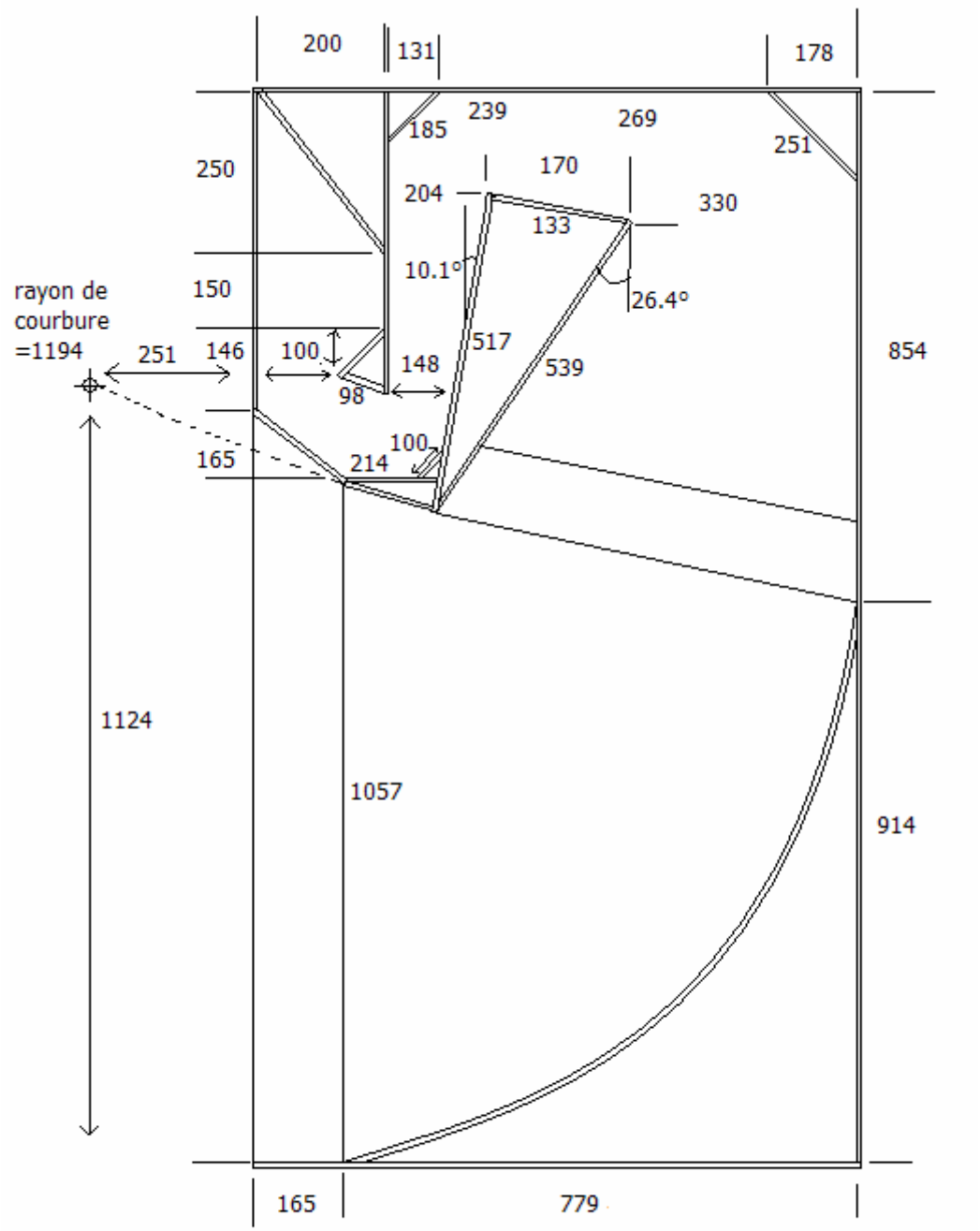
Le bass-reflex accordé à 68,8HZ ; coupure -3dB à 62Hz



La même enceinte accordée à 45HZ ; la coupure -3dB descend à 50HZ

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr

ANNEXE 5
Un pavillon arrière



Le plan n'est pas à l'echelle
les planches font toutes 20mm d'épaisseur

Copyright - Enseignement des Métiers de la Communication
Malakoff 92240 - Tous droits réservés.
Site web : http://www.emc.fr