

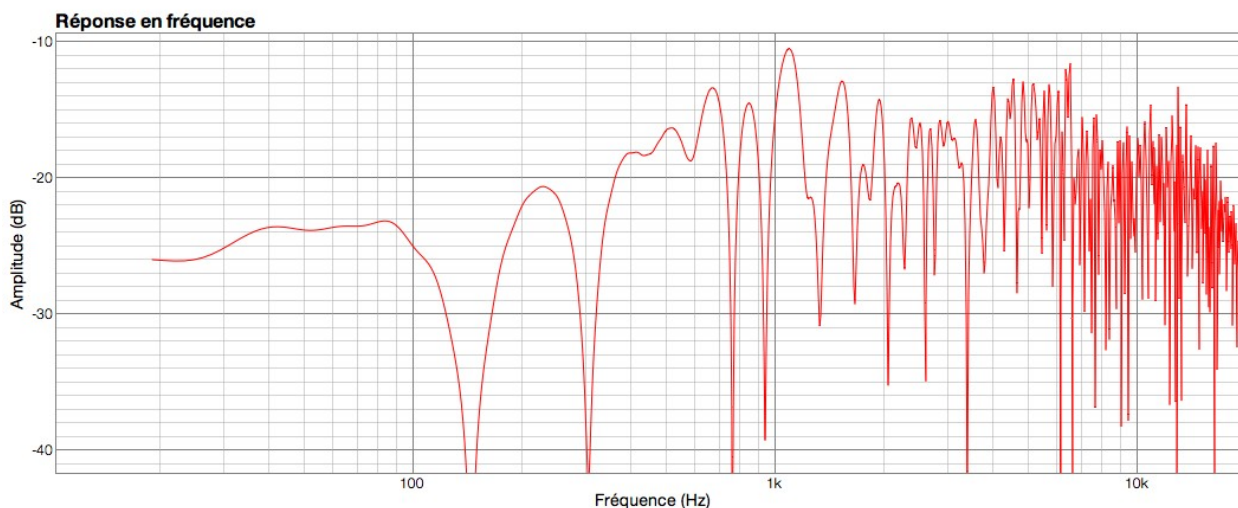
Fréquence de transition entre le haut-parleur de graves et le médium d'une enceinte trois voies

*Frédéric Poirrier
Avril 2012*

Cet article s'adresse essentiellement aux « diyeurs » d'enceintes ou tout autre passionné d'électroacoustique désireux de comprendre et de concevoir une enceinte trois voies, en prenant en compte un critère de géométrie de baffle et de fréquence de coupure particulier, souvent oublié des amateurs.

Le choix des fréquences de transition sur les filtres répartiteurs d'une enceinte acoustique trois voies se détermine d'après plusieurs éléments. Parmi eux, il y en a un qui permet de s'affranchir d'un effet de pièce et qui donne un avantage certain aux enceintes trois voies par rapport à leur homologues deux voies.

Rappelons que dans une salle destinée à l'écoute Hi-Fi, les réflexions spéculaires qui agissent suivant les lois de l'acoustique géométrique sont peu souhaitables. Elles induisent une réponse en peigne en position d'écoute qui altère l'image stéréophonique.



Courbe de réponse amplitude-fréquence mesurée dans une petite pièce. On distingue assez bien les dents du peigne dues aux interférences des premières réflexions avec l'onde directe.

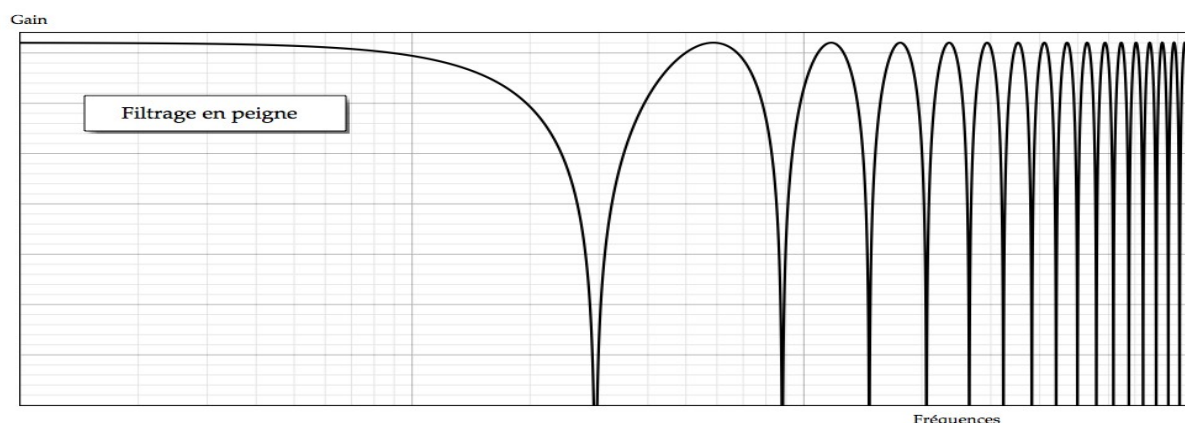
Une installation audiophile bien pensée doit s'efforcer de prendre en considération les effets de la salle en essayant de réduire au mieux le filtrage en peigne par un traitement de parois adéquat. La mise en place de matériaux diffusants (et absorbants) permet de traiter les premières réflexions et rendre l'écoute plus naturelle. Cependant, de par sa nature le sol est impropre à la mise en place d'une surface diffusante et le seul matériau de correction possible est une moquette ou un tapis judicieusement disposé entre les enceintes et l'auditeur.

Avec la présence du tapis, on espère réduire l'amplitude de l'onde réfléchi sur le sol. Mais, si dans les hautes fréquences les coefficients d'absorption sont assez importants et permettent une réduction de quelques décibels de l'onde réfléchi, dans les basses fréquences au contraire les coefficients d'absorption sont trop faibles pour jouer un rôle quelconque dans l'atténuation de la réflexion.

Fréquences	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Alpha Sabine	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65

Coefficients d'absorption de Sabine donnés par bande d'octaves pour un tapis lourd posé sur du béton

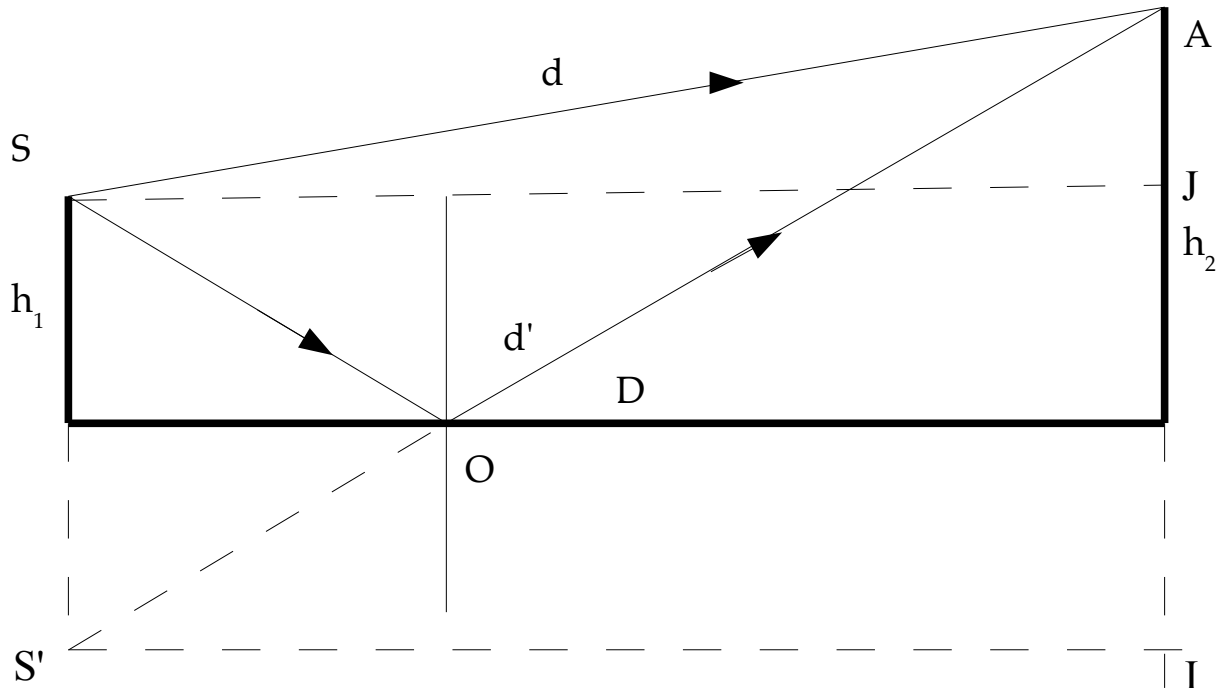
Comme de plus, la réflexion avec le sol ne bénéficie pas suffisamment de la divergence géométrique, l'onde réfléchi arrive en position d'écoute avec une amplitude quasiment identique à celle de l'onde directe, l'interférence qui en découle est alors forte.



Filtrage en peigne théorique induit par une interférence forte entre une onde sonore et sa réflexion avec le sol.

La première fréquence provoquant un creux sur la courbe de réponse se situe souvent, en raison des dimensions géométriques standard des installations HiFI, très grossièrement vers 300 Hz. Fréquence qui marque également la limite du fonctionnement en mode piston du transducteur de graves. L'idée est alors de définir une fréquence de coupure du filtre au plus proche de cette fréquence limite en prenant soin de rejeter le premier creux en dehors des bandes utiles des haut-parleurs de graves et de médiums, afin qu'aucun d'eux ne soit concerné par cette interférence destructrice. Pour cela, il est évidemment nécessaire de connaître par l'avance la position d'écoute.

Le croquis ci-après, schématise la situation:



S désigne le centre émissif du HP

A désigne le récepteur

S' la source image, point symétrique de S par rapport au sol.

O est le point de réflexion sur le sol

D est la distance horizontale enceinte-auditeur.

d est la distance SA

d' est la distance S'A

h_1 et h_2 sont les hauteurs de HP et d'écoute

Pour mener à bien le calcul de la fréquence donnant le premier trou, nous avons besoin d'exprimer la différence de parcours δ entre le rayon sonore de la réflexion avec le sol qui parcourt la distance $SO+OA$ et le rayon direct qui parcourt SA. Remarquons que $SO + OA = S'A = d'$

$$\delta = d' - d$$

d' et d se calculent aisément à l'aide du théorème de Pythagore dans les triangles rectangles S'IA et SJA:

$$d' = \sqrt{D^2 + (h_2 + h_1)^2}$$

$$d = \sqrt{D^2 + (h_2 - h_1)^2}$$

$$\text{d'où } \delta = \sqrt{D^2 + (h_1 + h_2)^2} - \sqrt{D^2 + (h_2 - h_1)^2}$$

L'interférence est constructive, si la différence de parcours δ entre les rayons est un multiple entier de la longueur d'onde λ soit :

$$\delta = n\lambda \quad \text{avec } n=1, 2, 3 \dots$$

Elle est destructive et provoque un creux sur la courbe de réponse si la différence de parcours entre les rayons est un multiple entier impair de la demi-longueur d'onde, soit :

$$\delta = (2n+1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{avec } n=0, 1, 2 \dots$$

Comme par ailleurs, la longueur d'onde λ s'exprime en fonction de la vitesse du son c et de la fréquence du signal f par $\lambda = \frac{c}{f}$

On obtient au final les fréquences f_{cons} qui interfèrent constructivement :

$$f_{cons} = \frac{nc}{\delta} \quad \text{avec } n=1, 2, 3 \dots$$

et les fréquences f_{dest} qui interfèrent destructivement :

$$f_{dest} = (2n+1) \frac{c}{2\delta} \quad \text{avec } n = 0, 1, 2 \dots$$

En optant pour une écoute à 3 m des enceintes et pour des hauteurs de haut-parleur et d'écoute à 1 m.

On a:

$$D = 3 \text{ m}$$

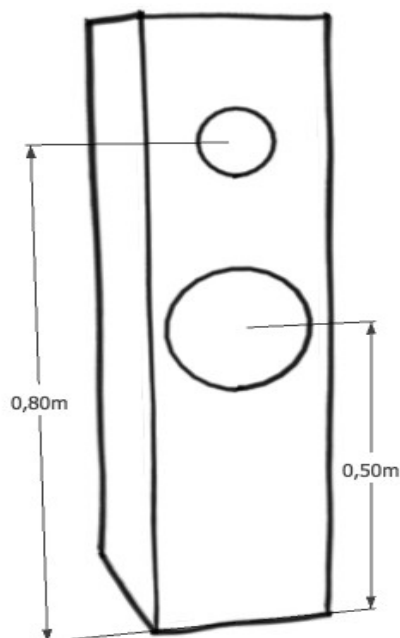
$$h_1 = h_2 = 1 \text{ m}$$

Dans ce cas, la différence de marche δ vaut 0,61 m.

Les trois premières fréquences qui provoquent des pics sur la courbe de réponse en fréquence avec $c = 343 \text{ m/s}$ sont 562, 1124, 1686 Hz ... et celles qui produisent un creux sont 281, 843, 1405 Hz.

Signalons encore que si l'absorption du tapis permet de réduire l'amplitude de l'onde réfléchie de quelques décibels au-delà du kilohertz et en limite par conséquent l'interaction avec l'onde directe, à 281 Hz l'onde réfléchie ne voit pas son amplitude réduite. D'où l'intérêt de choisir une fréquence de transition boomer-médium qui limite l'amplitude du premier trou sur la courbe amplitude-fréquence.

Prenons un second exemple. Imaginons une écoute à 3 m des enceintes pour une hauteur d'écoute à 1 m. Supposons que le transducteur de graves ait son centre émissif à 0,50 m du sol et celui du médium, à 0,80 m.



Calculons pour les deux haut-parleurs la fréquence qui provoque le premier trou :

Paramètres	Boomer	Médium
D	3 m	3 m
h_1	0,5 m	0,8 m
h_2	1 m	1 m
$\delta = \sqrt{D^2 + (h_1 + h_2)^2} - \sqrt{D^2 + (h_2 - h_1)^2}$	0,31 m	0,49 m
$f_d = \frac{c}{2\delta}$	553 Hz	350 Hz

Pour éviter ce premier creux sur la courbe de réponse, il est nécessaire de couper le boomer avant 553 Hz et le médium au-delà de 350 Hz. Autrement dit, la fréquence de transition du filtre doit être choisie entre 350 et 553 Hz. Joseph D'Appolito, dans son livre *Le haut parleur: manipulations et mesures électroacoustiques* recommande de prendre comme fréquence de coupure f_c la moyenne géométrique de ces deux valeurs, soit ici :

$$f_c = \sqrt{553 \cdot 350} = 440 \text{ Hz}$$

On obtient ainsi la fréquence de coupure du filtre qui permet d'atténuer le premier creux sur la courbe de réponse. Cette astuce sera d'autant plus efficace que la pente du filtre sera forte. Cela est évidemment possible que si le haut-parleur de médium est positionné au dessus du boomer, ce qui est généralement le cas.

Remarquons aussi que cette fréquence de coupure à 440 Hz satisfait au critère énoncé dans le livre de Vance Dickason *les enceintes acoustiques et hauts-parleurs* qui dit que la distance séparant les deux transducteurs doit être inférieure à la demi-longueur d'onde de la fréquence de coupure. Cela afin d'éviter que le rayonnement des deux haut-parleurs ne provoque un zéro de pression par interférence destructrice autour de la fréquence de raccordement dans une direction quelconque de l'espace. Dans notre cas, une coupure à 440 Hz impose une longueur maximale l_{max} entre les centres émissifs des haut-parleurs de 39 cm. Avec 30 cm ce critère est respecté.

$$l_{max} = \frac{c}{2f_c}$$

Pour les lecteurs intéressés par cette approche et peu familiarisés avec les calculs, l'abaque ci-dessous, indique les fréquences du premier trou pour différentes distances d'écoute et hauteur de haut-parleurs pour une hauteur d'écoute de **1,00 m** :

D ; h ₁	0,30 m	0,40 m	0,50 m	0,60 m	0,70 m	0,80 m	0,90 m	1 m
2,00 m	647	487	392	328	284	252	226	207
2,50 m	772	582	469	393	339	300	269	244
3,00 m	916	683	550	459	395	348	312	281
3,50 m	1049	784	629	527	452	399	356	323
4,00 m	1183	888	713	595	512	449	402	364
4,50m	1322	988	798	664	571	501	447	404
5,00 m	1456	1095	880	734	631	553	492	446

On retrouve dans cet abaque la valeur grisée correspondant au calcul du premier exemple.

Dans tout projet d'élaboration d'une enceinte trois voies, il convient de tenir compte, dans la mesure du possible, de ce critère en optant pour une géométrie de baffle et une fréquence de transition qui minimise ce premier creux sur la courbe amplitude-fréquence. Bien entendu, il faut au préalable définir une position et une hauteur d'écoute.

Biographies :

Acoustic Absorbers and Diffusers, theory, design and application de Trevor J. Cox et Peter D'Antonio (édition Taylor & Francis Group)

Enceintes acoustiques et haut-parleurs de Vance Dickason (Publitronec Elektor)

Le haut parleur: manipulations et mesures électroacoustiques de Joseph D'Appolito (Elektor)