

Quelques aspects de l'enceinte acoustique du système miniMaX.

Introduction

Ce document, extrêmement parcellaire par manque de place et de temps, essaie de proposer une critique argumentée de quelques éléments relatifs à la conception d'une enceinte acoustique telle qu'elle est majoritairement pratiquée. Au travers d'un exemple simple, nous espérons montrer que de très nombreuses réalisations reposent sur des à priori qui n'ont rien d'évidents mais sont au contraire parfaitement questionnables.

Nous tentons également de montrer pourquoi un respect scrupuleux de l'idée contenue dans l'expression haute-fidélité - recherche d'une reproduction exacte de la source plutôt que quête d'une écoute séduisante - implique des choix techniques différents.

C'est sous cet éclairage que certaines caractéristiques de l'enceinte acoustique du système miniMaX sont détaillées. Certaines seulement, car le compte-rendu complet des concepts, études & expérimentations qui ont conduit à son élaboration dépasserait largement les dimensions de ce document.

1/ La charge du haut-parleur grave.

Si l'on examine les modèles d'enceinte acoustique actuellement disponibles, au moins 9 sur 10 reposent sur le principe dit "bass-reflex" ou l'un de ses dérivés. Pourquoi une telle suprématie quantitative? Parce que c'est le meilleur principe penseront certains.

Peut-être...pas!

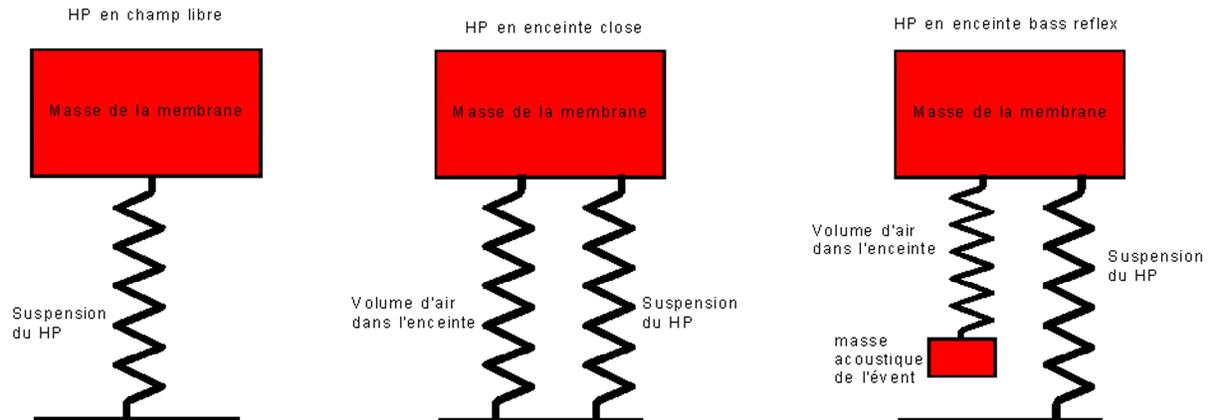
Les raisons sont beaucoup plus basiques : pour une *enceinte passive*, c'est le moyen le plus simple d'avoir un peu de gain dans le grave en dessous de la fréquence de résonance et de limiter l'excursion du hp chargé de reproduire cette portion du spectre. Étendre la réponse et gagner en tenue en puissance en même temps, il n'y a apparemment pas à hésiter.

Les anglo-saxons ont une excellente expression pour qualifier ce type d'avantage. Ils disent "No free lunch", pas de repas gratuit. Autrement dit, ces qualités se payent en retour par d'autres défauts, et nous allons essayer de montrer qu'ils sont tels qu'on peut légitimement penser que ce n'est pas du tout la solution optimale.

A/ Première observation:

La principale qualité d'un transducteur dans le grave, avant même l'étendue de sa réponse en fréquence, c'est sa capacité à stopper son oscillation le plus rapidement possible pour respecter le signal qu'il reproduit. Autrement dit, son amortissement. Lorsque certains parlent de grave *rapide*, ce qu'ils veulent dire n'est rien d'autre que cela.

Voici un schéma qui présente un équivalent mécanique, extrêmement simplifié évidemment, d'un haut-parleur, d'une charge close et d'un bass-reflex :

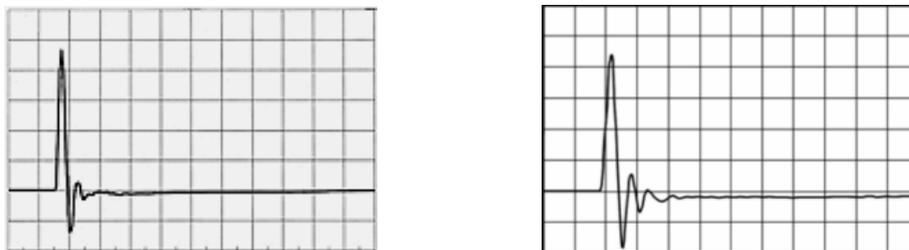


Intuitivement, cela saute aux yeux : il est impossible que le dispositif de droite puisse être aussi amorti que celui du milieu. Autrement dit, il ne peut reproduire aussi bien l'enveloppe - la forme - du signal surtout quand celui-ci est constitué de transitoires. De par sa constitution, il est tout simplement moins fidèle.

Compte tenu de ce qui précède, le choix apparaît limpide : soit on privilégie la réponse en amplitude et la tenue en puissance, soit on privilégie l'amortissement et la fidélité...

A ce sujet, nous aimerions faire un petit aparté et nous intéresser à la perception subjective de l'amortissement.

Sur les deux impulsions ci-dessous qui concernent des transducteurs, on observe que celle de gauche est mieux amortie que celle de droite :



Ce qui est intéressant d'étudier, c'est ce que devient cette différence sur le plan subjectif. Car le système de droite donnera une *impression* d'impact, de *pêche*, supérieurs sur les transitoires au système de gauche. Plus d'impact, de dynamique? Non, *trop d'impact*, c'est à dire une reproduction exagérée, infidèle, car le signal original n'est pas respecté!

C'est un piège récurrent de l'évaluation purement subjective que d'inciter en permanence l'auditeur à s'imaginer que *plus* signifie *mieux*, et même les plus aguerris s'y font prendre. Il va falloir de très nombreuses heures d'écoute et de comparaisons – notre fameux *temps d'apprentissage* – pour que l'on ait une chance de découvrir que ce que l'on prenait pour une qualité est en réalité un défaut.

Ceci nous permet de démontrer combien l'appréciation subjective est une source permanente d'erreurs. Ce sont ces méprises qui légitiment nos remarques récurrentes sur la différence capitale entre un système destiné à séduire et un système fidèle...Fin de l'aparté.

B/ Deuxième observation:

Ceci concerne un autre défaut – majeur – du principe bass-reflex (et de ses dérivés) qui n'est presque jamais évoqué, si ce n'est par le grand ingénieur John Dunlavy (1929-2007).

En simplifiant, lorsqu'on insère une masse acoustique qui diffuse dans une pièce, celle-ci va l'influencer (la charger) en retour. Nous avons tous été témoin de ce phénomène qui tend à désamortir le haut-parleur grave sur nos enceintes. Bien sûr ceci concerne également l'enceinte close. Mais que se passe-t-il avec un bass-reflex?

C'est simple, tous les calculs d'accord de la charge vont voler en éclats. Car l'évent, de la même façon que le hp, va subir l'influence de la pièce d'écoute et son coefficient de surtension va grimper jusqu'au ciel. Le système étant désaccordé, sa réponse impulsionnelle va se trouver considérablement dégradée par rapport au calcul théorique. Or, nous l'avons vu précédemment, ses performances sont déjà médiocres à l'origine !

Autrement dit : dans le grave, une enceinte bass-reflex subit 2 fois plus l'influence de la pièce d'écoute qu'une enceinte close.

D'où ces graves gonflés et mous si fréquents dans le B.R. et la réputation, parfaitement justifiée, de supériorité qualitative de la charge close. Un jour, au cours d'une discussion, notre ami Jean-Marc Plantefève a employé l'expression "diableries bass-reflex". Vous voyez qu'il y a des arguments sérieux derrière cette formule.

2/ La charge de l'enceinte acoustique du système miniMaX.

Évidemment, à la lecture de ce qui précède, il va de soi que la charge de miniMaX est close. Mais cette indication sommaire ne suffit pas à décrire de quelle façon spécifique est utilisé ce principe.

Les lecteurs les plus attentifs auront remarqué que lors de la présentation de la charge bass-reflex, j'ai surligné l'expression *enceinte passive*. En effet, l'usage d'une charge accordée peut, à la limite, se justifier dans ce cas. C'est un compromis peu qualitatif, certes, mais l'enceinte acoustique passive est par nature un accommodement avec de nombreuses non linéarités.

Nous l'avons déjà dit, seul un contrôle numérique par DSP permet de franchir certaines limitations. Comme c'est le cas de miniMaX, nous allons voir que cette caractéristique permet de compenser en grande partie les défauts inhérents à la charge close.

A/ L'amortissement:

La quête d'une fidélité maximale au signal source conduit à chercher à approcher au plus près l'amortissement dit *critique* ($Q=0.5$) pour l'ensemble haut-parleur + charge, garant de la meilleure performance possible dans le domaine impulsionnel. Toutefois, ceci requiert d'agrandir le volume de l'enceinte, ce qui est contradictoire avec l'objectif de discrétion des transducteurs au sein de l'espace domestique et donc de taille réduite.

Une des solutions à cette apparente contradiction consiste à utiliser un woofer qui ne nécessite pas un grand volume de charge pour être amorti, c'est à dire un haut-parleur dont les paramètres de Thiele & Small sortent du schéma classique, avec à la fois un très petit VAS (suspension à faible compliance), et un QTS faible, (fort amortissement au niveau du moteur magnétique). Autrement dit, un haut-parleur qui n'est pas naturellement destiné à la charge close. Il est ainsi possible d'obtenir un comportement impulsionnel excellent dans un volume de charge très réduit.

B/ L'étendue de la réponse dans le grave:

Les plus avertis l'auront immédiatement compris : une telle configuration entraîne automatiquement un relevé substantiel de la fréquence de résonance de l'ensemble hp + enceinte, avec en conséquence une coupure commençant plus tôt et donc un déficit de la réponse dans le grave.

Néanmoins, on peut combiner deux solutions, d'efficacité inégale, pour résoudre ce problème. La première consiste à employer un woofer avec une fréquence de résonance propre assez basse. L'effet d'un tel choix est cependant limité.

La deuxième solution, largement plus pertinente, consiste à utiliser l'amplification pour compenser exactement le déficit et prolonger la réponse dans le grave. C'est précisément un des immenses avantages du contrôle numérique des haut-parleurs par DSP de pouvoir *sculpter* précisément la réponse amplitude fréquence. Il suffit pour cela de disposer de réserves de gain au niveau de l'amplification.

Ceux qui ont entrepris les modifications du DCX, comprendront alors immédiatement pourquoi il faut conserver leur configuration d'origine aux sorties 5 & 6, constituant ainsi le *stock de gain* nécessaire à la correction d'amplitude du grave. Accessoirement, cette caractéristique illustre notre affirmation d'un système miniMaX conçu globalement et dont tous les éléments ont été ajustés les uns en fonction des autres.

C/ La tenue en puissance

Évitons immédiatement toute confusion lorsqu'on aborde la question de la tenue en puissance dans le domaine de l'extrême grave : il s'agit presque toujours d'un problème d'excursion du haut parleur, c'est à dire de limite mécanique, plutôt qu'un problème thermique, c'est à dire d'échauffement de la bobine mobile.

Sur miniMaX, la réponse étant très étendue dans le grave et la charge étant close, la question de l'élongation de l'équipage mobile se pose avec beaucoup d'acuité. Trois solutions ont été combinées afin de résoudre le problème posé :

1 – Utilisation d'un woofer à forte élongation. Les contraintes nées du home cinéma et la généralisation des logiciels de modélisation des moteurs magnétiques par Analyse des Éléments Finis ont favorisé l'émergence de ce type de haut-parleur à des prix raisonnables.

2 - Emploi de deux woofers au lieu d'un seul. Le placement de ceux-ci sur les faces latérales de l'enceinte et le volume de charge extrêmement réduit nécessaire à chacun ont permis l'emploi de deux haut-parleurs dans une enceinte qui reste de petite taille. On a même tiré profit de cette caractéristique en les plaçant sur les faces opposées pour améliorer ainsi le comportement vibratoire de l'enceinte.

3 – Enfin, le contrôle numérique par DSP offre également la possibilité d'implanter un filtrage dit *subsonique* destiné à limiter les déplacements inutiles des deux woofers dans le registre infra grave tout en maintenant une réponse linéaire du système dans la zone réellement utile à la reproduction musicale.

Les résultats sont éloquents <http://www.moonaudio.fr/Mesures.html> et valident la conception particulière de la charge grave.

Le système miniMaX est à la fois extrêmement bien amorti et permet une véritable exploration de l'extrême grave (30Hz @ -6dB) dans une enceinte colonne de taille réduite. De plus, comme nous l'avons montré, sa charge close lui permet de s'insérer plus facilement dans l'environnement domestique.

D/ No free lunch?

Le principe de charge adopté dans l'extrême grave sur le système miniMaX offre des performances exceptionnelles mais comporte également quelques inconvénients, que nous allons maintenant évoquer pour indiquer de quelle façon ils sont contournables.

1/ Rendement

Il est incontestable que ce dispositif ne favorise pas une sensibilité élevée à moins d'employer des transducteurs de très grand diamètre dans des volumes très importants.

Nous ferons cependant deux remarques qui limitent considérablement la portée de ce désagrément :

- D'abord, s'agissant de *systèmes actifs*, la notion de sensibilité / rendement n'a pas vraiment de sens. On lui préférera la notion de *niveau sonore maximum possible*.

- Ensuite, comme nous l'avons expliqué précédemment, le concept de *niveau réaliste d'écoute* est une appellation trompeuse, qui n'a pas de rapport réel avec la reproduction à haute-fidélité. Nous préférons parler de *niveau sonore subjectif soutenable*, qui ne prétend pas être rigoureux scientifiquement, mais qui est par nature variable selon les enregistrements, les individus, la pièce d'écoute, et le système de reproduction.

Or c'est justement une des qualités remarquables de miniMaX que de pouvoir jouer fort sans effort apparent...

2/ Distorsion

L'augmentation de l'excursion de l'équipage mobile du woofer se traduit par une augmentation de la distorsion. Cependant, là aussi, il faut replacer le problème à sa juste place, dans son contexte.

- L'audibilité de la distorsion harmonique fait l'objet de nombreux débats alors même que l'on se trouve dans des zones de grande sensibilité de l'audition. Que penser alors de sa perceptibilité dans l'extrême grave, là où nous sommes très peu performants??

Nous serions très heureux qu'on nous présente quelqu'un susceptible de déceler 10 voire 20% de distorsion à 50 Hz dans des conditions d'expérimentation contrôlées. Nous pensons qu'il devrait immédiatement léguer son corps à la science !

Plus sérieusement, rappelons que nous sommes par contre très sensibles aux phénomènes impulsionsnels et donc au mauvais amortissement des haut-parleurs. Entre ces deux maux, doit-on hésiter? Sont-ils équivalents en ce qui concerne la fidélité de restitution?

- L'augmentation de la distorsion pourrait avoir des conséquences plus gênantes en cas de système à deux voies, quand le woofer doit aussi prendre en charge le médium. Or ce n'est pas le cas de miniMaX, d'autant que le DSP coupe extrêmement bas les deux woofers, empêchant totalement la propagation de la distorsion dans la zone médiale.

Nous terminerons par une question dans le but d'éviter des interprétations erronées : le principe de charge dans le grave adopté sur miniMaX est-il universellement transposable? Nous pensons que ce n'est pas le cas puisque sont exclues d'office toutes les *enceintes passives*. Nous éliminerons également les *systèmes actifs analogiques* en raison d'une transparence des circuits impossible à obtenir.

Restent donc, comme miniMaX, les *systèmes actifs à contrôle numérique*, où cette technique nous semble offrir des avantages substantiels dès lors qu'on recherche une reproduction strictement fidèle du signal source au sein d'un espace domestique.

3/ La forme de l'enceinte acoustique du système miniMaX.

Si la forme du coffret d'un amplificateur n'a aucune incidence sur ses performances sonores, les choses sont résolument différentes pour l'enceinte acoustique. Chaque partie de l'ébénisterie joue d'abord un rôle sur un plan vibratoire, mais la face avant possède de plus un impact spécifique considérable sur le plan acoustique. Diffraction, effets de bords, géométrie, disposition des transducteurs concourent largement aux performances de l'enceinte.

Il existe schématiquement deux stratégies opposées pour tenter de réduire les effets néfastes de la diffraction sur une enceinte fermée.

L'une consiste à réaliser une ébénisterie comportant une façade très large et une faible profondeur. C'est ce qui a notamment été accompli par Sonus Faber sur le modèle Stradivari.

L'autre est inverse, qui consiste à disposer de la façade la plus étroite possible et d'une grande profondeur. On en trouve de nombreux exemples, notamment chez Audio Physic.

Sur le plan strictement technique, les deux possibilités présentent chacune des avantages et des inconvénients, différents évidemment.

Néanmoins, l'esthétique a son mot à dire qui peut les départager.

Notre objectif de discrétion du système au sein de l'espace domestique induit notre choix : la façade de miniMaX est étroite, ce qui est beaucoup plus acceptable visuellement.

Bien sûr, la géométrie particulière de l'enceinte a également induit le placement latéral des deux woofers.

A partir de cette donnée, une attention particulière a été portée à la géométrie de la face avant, à la disposition des haut-parleurs en façade, dans le but de réduire la diffraction, de limiter les effets de bord et d'optimiser la directivité, en particulier sur le plan vertical. Nous avons donc réalisé de nombreux essais et simulations pour obtenir un résultat optimum.

Ceci nous a conduit à exécuter une face avant très lisse dont les bords sont arrondis, à rapprocher le plus possible les centres émissifs des hp, dont les saladiers ont été montés affleurants.

NB : L'importance des caractéristiques géométrique de l'ébénisterie ne doit pas être mésestimée car elle influe à la fois sur la mise en oeuvre et les résultats. Par exemple, sur miniMaX, le placement des deux woofers sur les faces latérales empêche effectivement l'enceinte acoustique de pouvoir être encastrée. C'est une limitation intrinsèque qui découle de sa conception.

Aussi, un respect strict de la géométrie de la face avant, comme de l'ensemble de l'ébénisterie, est essentiel pour que le système puisse obtenir les performances prévues.

En conséquence, nous ne saurions trop vous prévenir contre la tentation de personnaliser l'enceinte miniMaX. En toute rigueur, des modifications abusives nous obligeraient malheureusement à ne pas attribuer la licence.