

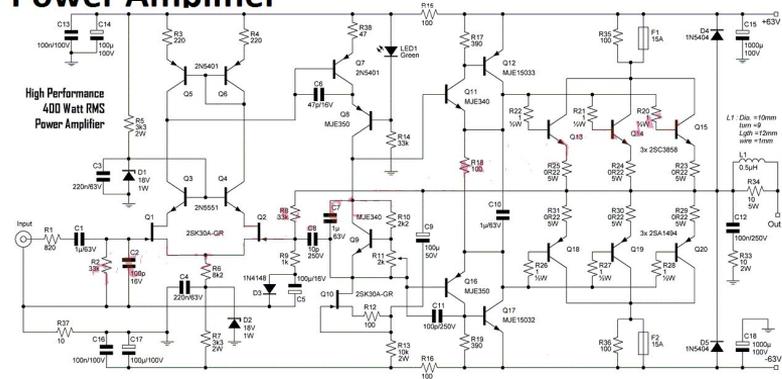
L'amplification audio

un circuit électronique actif comprenant des transistors peut effectuer une:

- amplification en tension: c'est celle utilisée dans les préamplificateurs audio. Le gain en tension est de l'ordre de +60dB.
- amplification en courant: elle n'est pas utilisée en audio
- amplification en puissance: on exprime cette amplification en puissance de sortie (en général pour une charge de 8 Ohms), en Watts RMS, peak ou continu.



400W RMS High Performance Power Amplifier



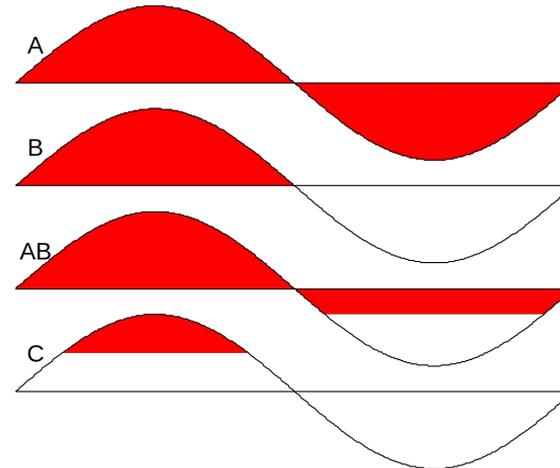
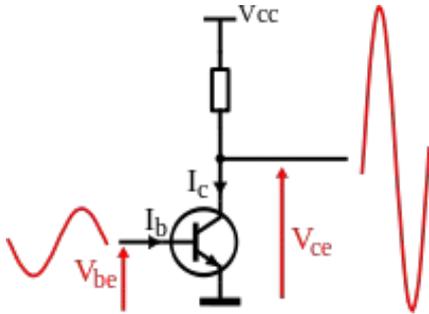
Les architectures et [classes d'amplification](#): [Vidéo explicative](#) 18'

classe A: le transistor est conducteur durant toute la durée du signal. Faible rendement. Le plus linéaire. Petite puissance. rendement de 10% à 20%.

classe B: le transistor est conducteur seulement sur une seule polarité du signal. Meilleur rendement. Pas utilisé à cause de la distorsion de croisement.

classe AB: Améliore la distorsion au prix d'un rendement moindre. voir montage push-pull. Très utilisé en audio de puissance. environ 50% de rendement.

classe C: le transistor est conducteur moins d'une alternance du signal. pas utilisé en audio.

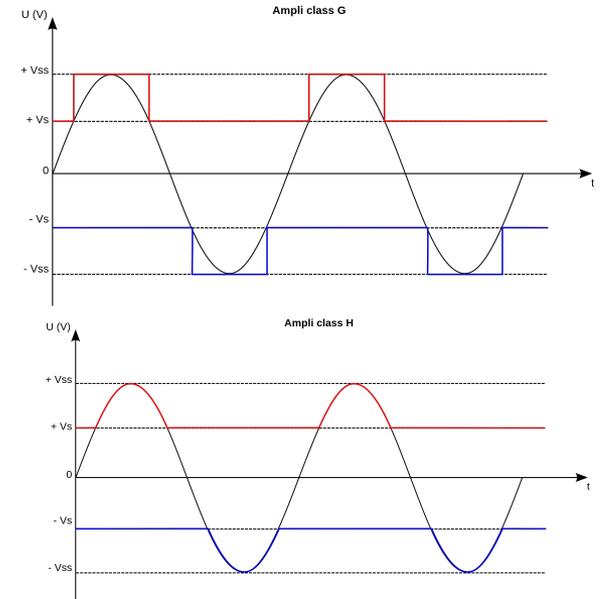
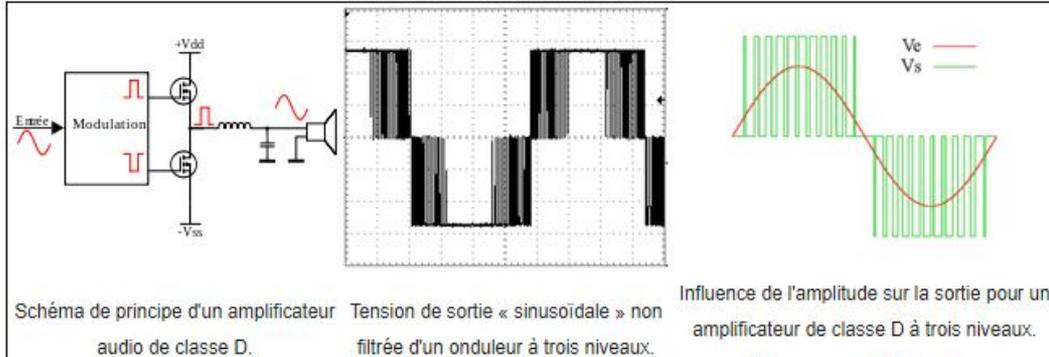


Les architectures et classes d'amplification:

classe D: on utilise la technique de PWM pulse Width Modulation pour amplifier le signal. Le meilleur rendement, plus de 90%.

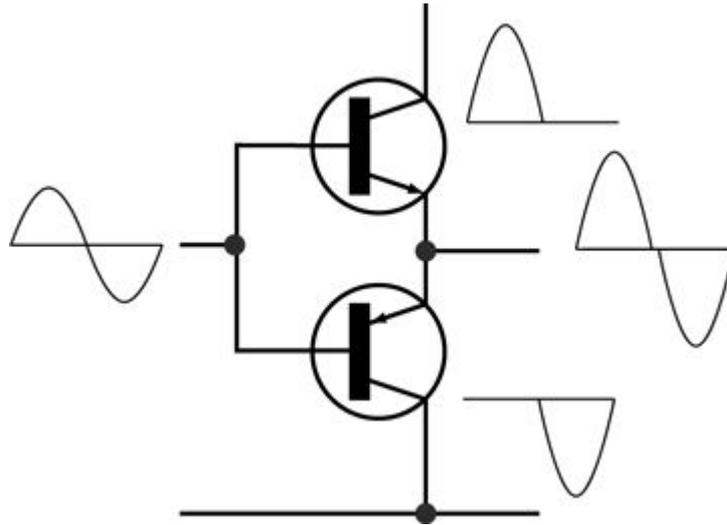
classe G: c'est un montage amplificateur à plusieurs tension d'alimentation. Suivant le niveau du signal on utilise la tension la plus adaptée.

classe H: comme la classe G c'est un montage amplificateur à plusieurs tension d'alimentation. La tension d'alimentation est modulée par le signal, en général par un amplificateur de classe D.



Les architectures et [classes d'amplification](#):

le montage [push pull](#) c'est une class B avec des transistors complémentaires.
Il peut être utilisé en symétrique (mode bridge)



Les amplificateurs courants:

On distingue les amplificateurs HI-FI et les amplificateurs professionnels.

Les ampli HI-FI sont stéréo et ont des fonctions de confort: entrées multiples, balance gauche droite, volume, loudness, presets d'égalisation, etc.

Les amplis professionnels possèdent en général des fonctions de protection renforcées leur permettant d'avoir une fiabilité en toute occasion. Il faut veiller à avoir un amplificateur de puissance adaptée aux enceintes. Les connecteurs sont protégés (+ de 100V en sortie d'ampli). Avec le câble, l'ampli est la partie la plus transparente de la chaîne sonore.



Les amplificateurs courants:
étude de l'ampli [T-Amp T 800](#)



Les amplificateurs courants

étude du [L-Acoustic L4](#)

liaison Audio Video Bridging [AVB](#) = “ Ethernet Audio/Video”

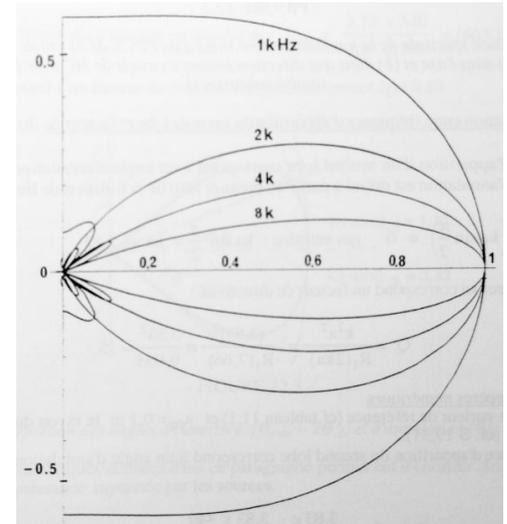


les modèles de sources acoustiques:

la sphère pulsante: c'est une source théorique omnidirectionnelle

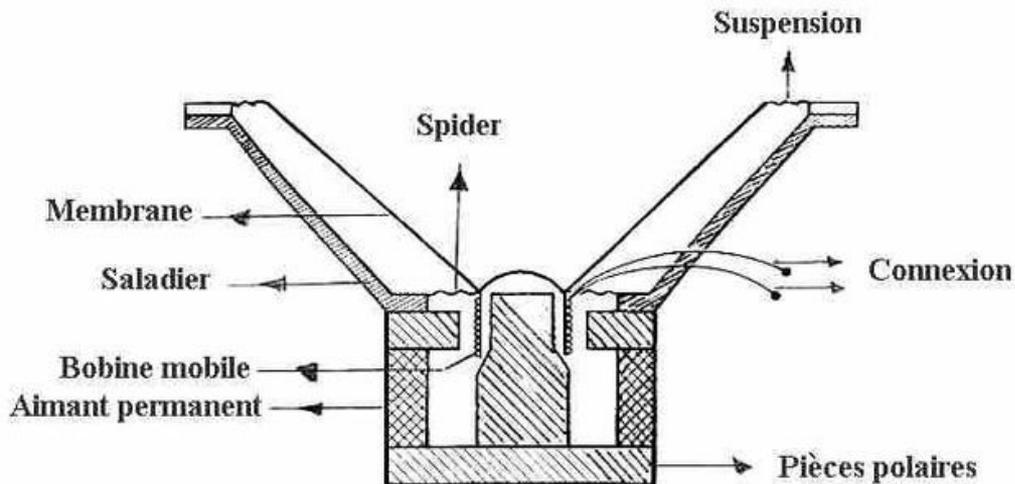


le piston plan: c'est une surface plane, circulaire ou carrée.
Elle modélise bien le comportement des haut-parleurs courants.
Il possède une directivité dépendant de la fréquence.



le haut parleur à bobine mobile

principe de fonctionnement: une membrane est suspendue via la suspension et le spider au dessus de pieces magnétiques. Un tube portant une bobine est relié au centre de la membrane et plonge dans le champ magnétique fournis par les pièces magnétiques. Lorsqu'un courant travers la bobine, une force tire ou pousse la bobine suivant le sens de passage du courant. L'air devant la membrane est alors mis en vibration.



le haut parleur à bobine mobile

les paramètres principaux du haut parleur sont:

la masse de l'équipage mobile membrane + bobine, M

la rigidité de la suspension, K_m

l'amortissement mécanique, R_m

la surface, S_e

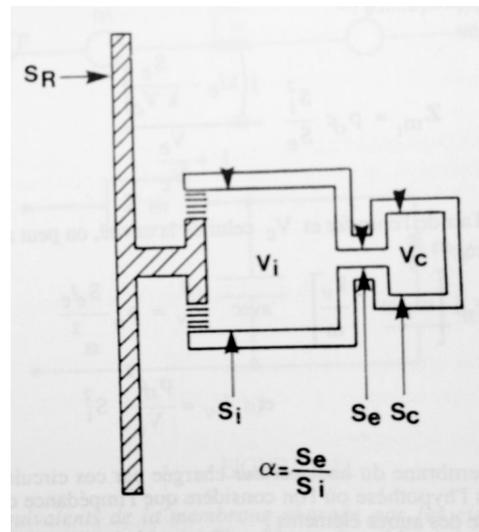
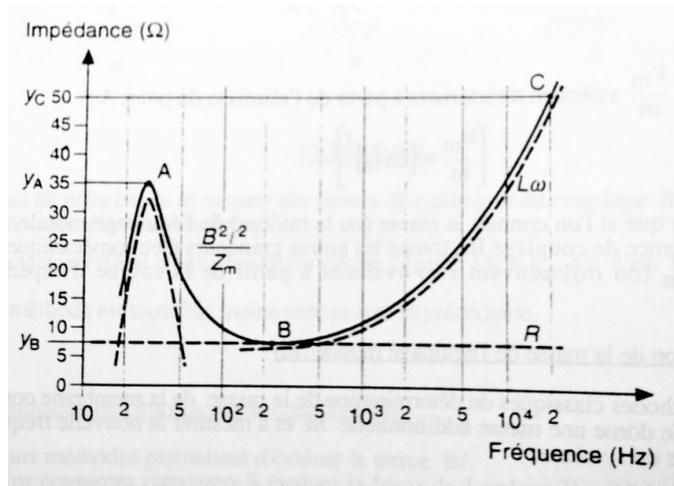
la résistance électrique de la bobine R

l'inductance de la bobine L

le facteur de couplage électromécanique BI (N/A)

Sa fréquence propre est

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_m}{M}}$$



le haut parleur à bobine mobile

les matériaux:

les aimants: ferrites, Néodyme, Cobalt, ferrofluides.

les membranes: papier, composites, métal, plastiques ou nid d'abeilles.

Une membrane doit être légère, rigide et sa forme doit éviter les déformations et les résonances ainsi que de permettre un bon rayonnement de l'énergie mécanique en énergie acoustique.

	Fréquences charnières	Diamètres	Fréquences de résonance
Boomers	125 - 1 kHz	24 - 38 cm	15 - 30 Hz
Bas médium	250 - 2 kHz	16 - 24 cm	30 - 60 Hz
Médium	700 - 6 kHz	12 - 16 cm	50 - 300 Hz
Tweeter	4 kHz - 16 kHz	5 - 7 cm	1000 - 2200 Hz
Tweeter à dôme	4 kHz - 16 kHz	1,5 - 4 cm	800 - 3000 Hz
Large bande	125 - 8 kHz	10 - 15 cm	50 - 100 Hz

		Module de Young (10^{10} N/m ²)	Masse volumique 10^3 kg/m ³	Compromis Poids-rigidité ³ E/ρ
Papiers	Papier	0,2	0,5	16
	Cellulose	0,064	0,7	1,9
Résines plastiques	Polyéthylène MD	0,105	0,94	1,3
	Polypropylène	0,155	0,89	2,2
	Polystyrène	0,19	0,99	2
	Bextrène	0,23	1,04	2
	PVC	0,345	1,4	1,3
	PVDF	0,35	1,85	0,6
Métaux	Polyester	0,451	1,83	0,7
	Aluminium	7	2,7	3,6
	Titane	11	4,5	1,2
	Béryllium	29	1,85	46
Composites	Nids d'abeille (alu)	7	1,8	12
	Fibres de carbone	5	1,9	7

le haut parleur à bobine mobile fabrication

le cône: le plus simple mais avec des résonances

le cône elliptique: permet un meilleur couplage mécano/acoustique et donc d'augmenter la sensibilité.

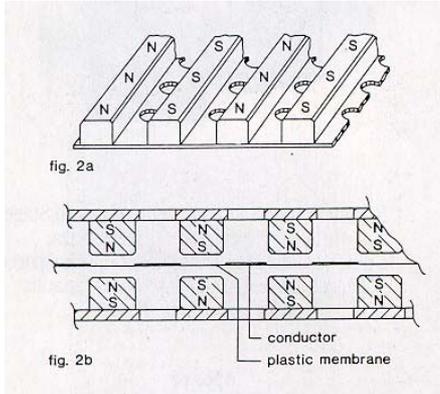
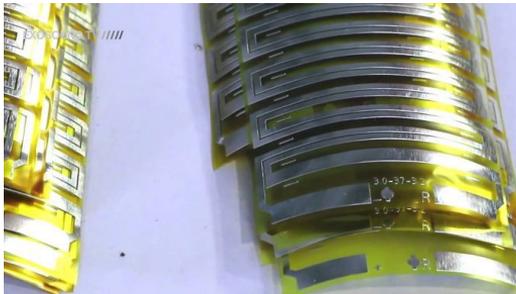
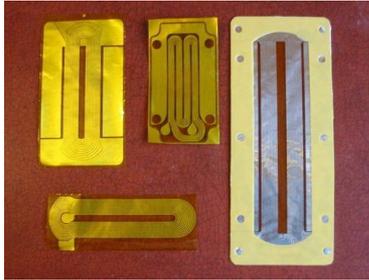
le dôme: léger, rigide et simple à réaliser, moins directifs que les autres formes.

le pistons plans: permet de fabriquer des haut-parleur extrêmement plats. Mais il possèdent des résonances, et une mauvaise réponse impulsionnelle à cause de leur poids.



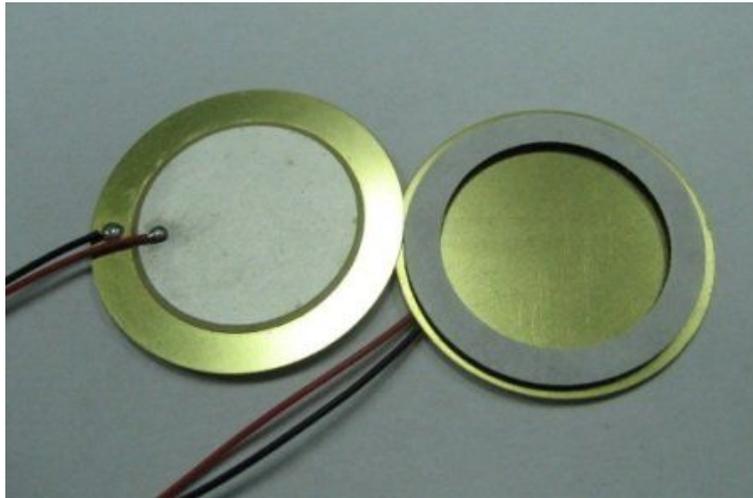
le haut-parleur d'aigu (tweeter) à ruban fabrication

Il composé d'une membrane conductrice placée dans un champ magnétique. Le faible poids et la grande surface permettent de bon transitoire, mais la puissance reste faible. On peut aussi faire des Hp large bande mais ils restent fragiles et chers.



le haut-parleur piezo-électrique:

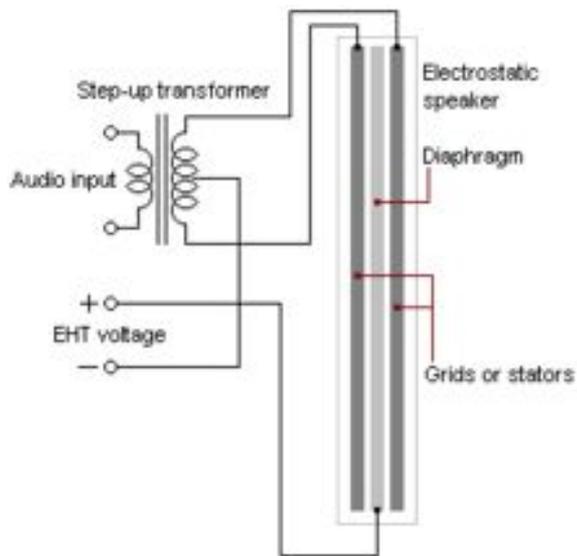
Basé sur le principe réversible de la piezo-électricité, “ un cristal soumis à une tension électrique se déforme”, ce sont des transducteurs peu cher, fragiles et encaissant peu de puissance. Leur impédance capacitive très élevée ($> 1k\Omega$) demande un filtrage spécial pour les coupler avec d'autres HP dans des enceintes passives. Réservé en général pour des enceintes bas de gamme.



le haut-parleur électrostatique

principe de fonctionnement: une membrane chargée sous haute tension est soumise à un champ électrostatique variable en fonction du signal audio entre deux plaques perforées.

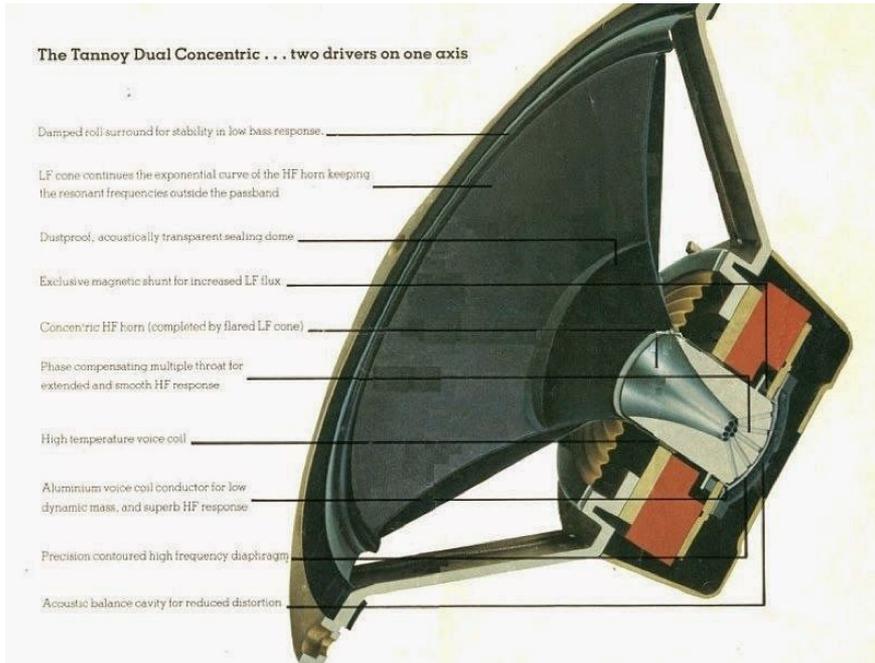
La puissance est faible, surtout dans le grave. Il faut aussi une forte tension pour polariser les membranes, de quelques centaines à quelques milliers de volts. Les amplificateurs sont spécifiques. Marque QUAD



les HP coaxiaux ou concentrique

les différents hauts-parleurs sont situés dans le même axe, l'un derrière l'autre.

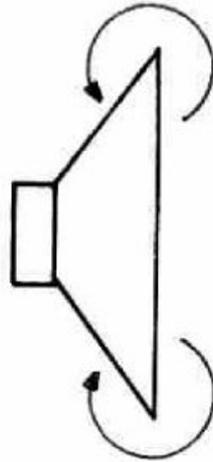
Le haut parleur de grave sert de pavillon. L'image est plus précise mais la construction est difficile et pose beaucoup de contraintes. Tannoy, KEF, APG



le haut parleur simple

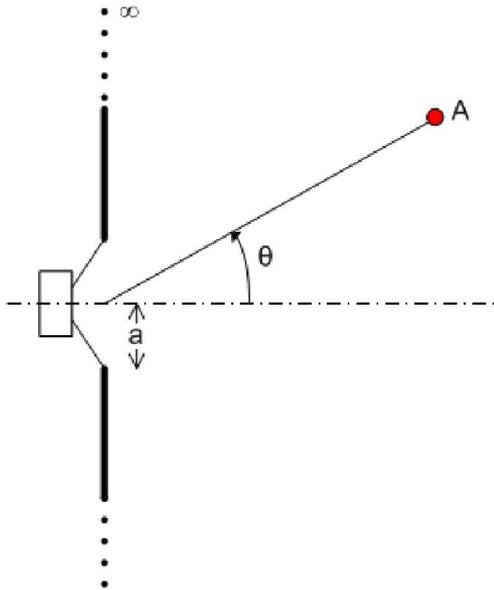
Il y a un court-circuit acoustique qui détruit le rendement dans les basses fréquences.

Le haut-parleur nu est inutilisable. Par contre on peut faire des mesures de résonance pour connaître les caractéristiques électriques et mécaniques.



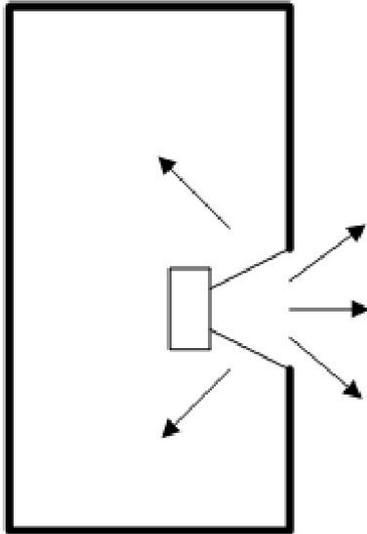
le haut parleur sur un baffle infini

Une façon simple (encastré dans un mur) mais impose de grandes dimension pour abaisser la fréquence de coupure basse. ex mur THX



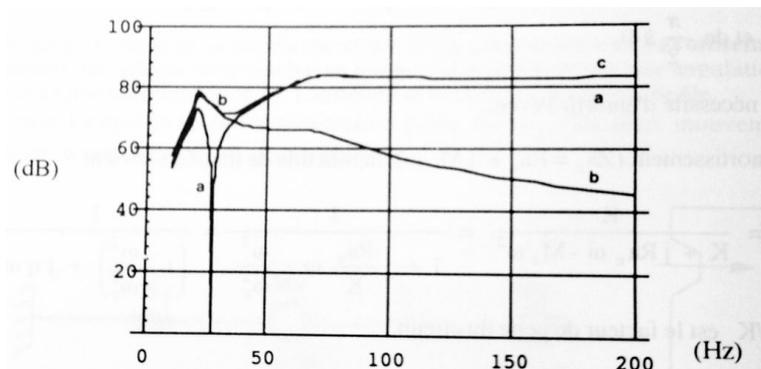
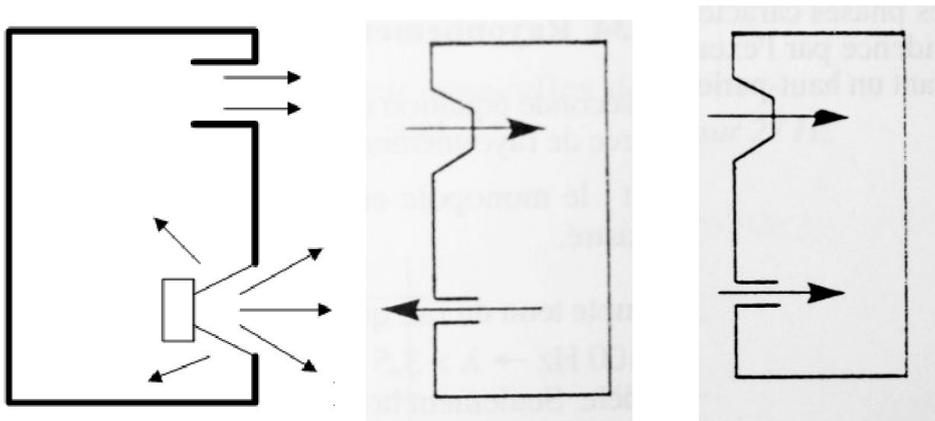
l'enceinte close:

on ajoute un volume d'air fermé sur la partie arrière. Ce volume d'air joue le rôle d'un ressort et permet d'éviter l'effet de court-circuit. La fréquence de résonance est augmentée. Le rendement de puissance électrique/acoustique ne peut dépasser 50% Des résonances (mode propres) peuvent se former dans l'enceinte et influencer sur le comportement de la membrane par réflexion. Les enceintes closes sont rare aujourd'hui. exemple [YAMAHA ns10M](#) Le son des années 90.



l'enceinte à évent ou BASS REFLEX

A l'enceinte close on rajoute un évent qui se comporte comme une masse d'air. A certaines fréquences l'évent se met à rayonner en phase ou hors phase. Ceci permet d'abaisser la fréquence de résonance de l'ensemble, et donc la bande passante.

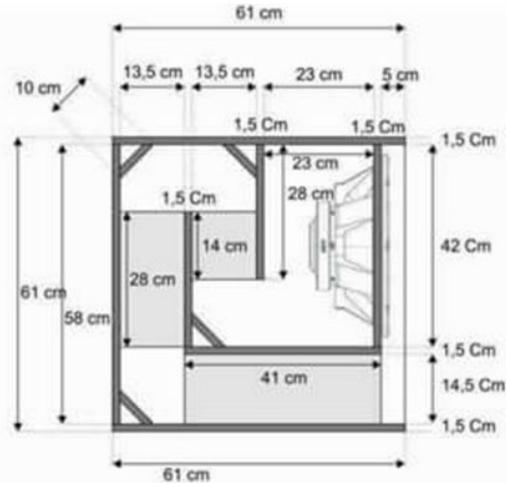


- FIGURE 11,29 -

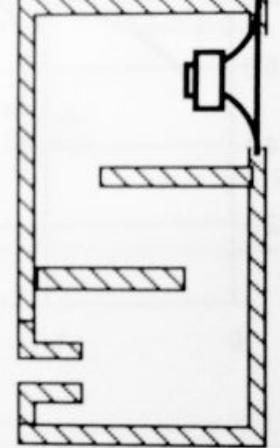
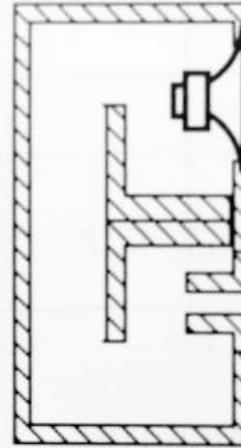
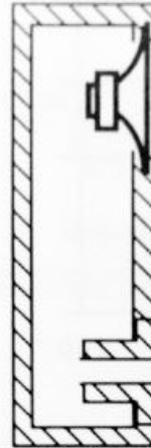
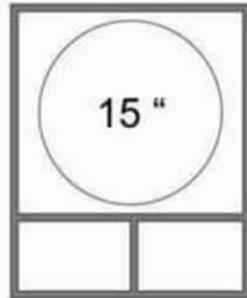
Bilan des pressions rayonnées
 a) par le haut-parleur
 b) par l'évent
 c) par l'enceinte

l'enceinte à colonne et labyrinthe:

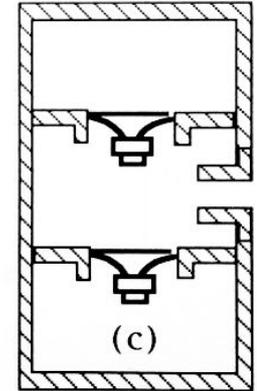
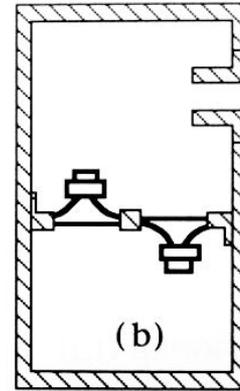
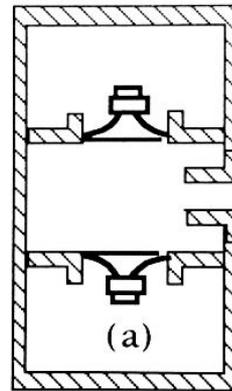
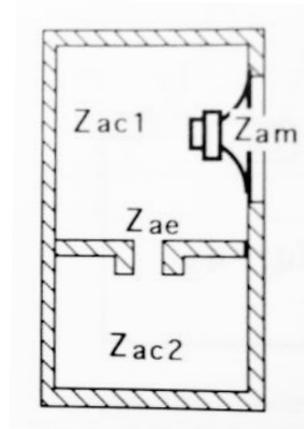
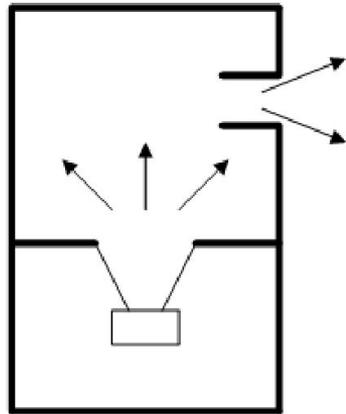
Une colonne d'air rajoute un effet de masse supplémentaire et des résonances, tout en augmentant la bande passante dans le grave.



15

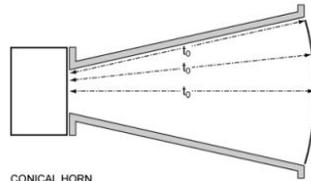
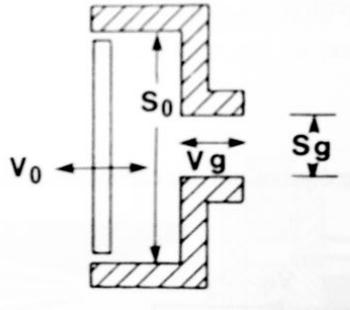


l'enceinte à charge couplées et symétriques: ce sont des variantes de l'enceinte bass reflex.

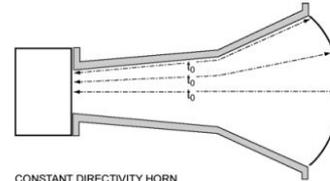


le HP à pavillon et à chambre de compression pavillon conique et pavillon exponentiel

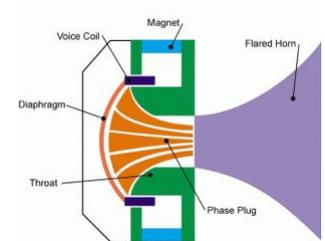
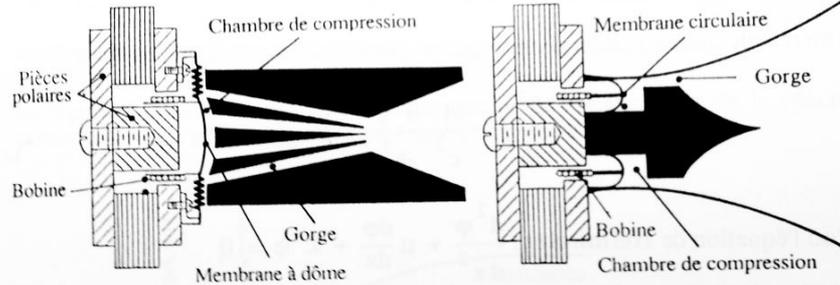
Le moteur de compression est apprécié pour son rendement, sa directivité orientable et sa réponse impulsionnelle.
 La chambre de compression, associée au pavillon, permet d'augmenter le rendement de l'enceinte qui peut aller de 10% à 40%.
 La profondeur et la dimension à la bouche (sortie du pavillon) détermine la fréquence de coupure de l'ensemble moteur / pavillon.
 Un ensemble diaphragme/pièce de phase est activé pour produire une onde plane circulaire, qui débouche dans un pavillon.
 Ce pavillon permet une meilleure adaptation d'impédance entre la sortie de la chambre et l'air.



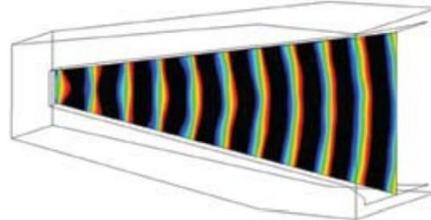
CONICAL HORN



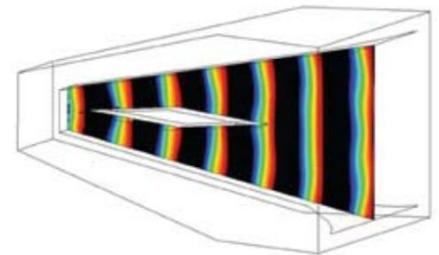
CONSTANT DIRECTIVITY HORN



le guide d'onde: en enfermant les ondes acoustiques dans un conduit adapté, le but est de transporter l'énergie acoustique du moteur (HP) vers le champ libre, et de réaliser une adaptation d'impédance entre la sortie du HP et le champ libre pour optimiser le rendement. Le guide d'onde permet aussi de former des type de directivité précis: omni sphérique, circulaire plan, ruban plan



▲ Conventional horn: wavefront is too curved



▲ MLA horn with wedge: curvature is ideally optimised

enceintes à 1 seul haut-parleur:

Le moniteur le plus célèbre est l'auratone, avec HP de 5" ou 13,5cm, sur enceinte close.

Sa bande passante réduite, seulement pour les voix, mais représente bien les petites radios, les téléviseurs, etc.



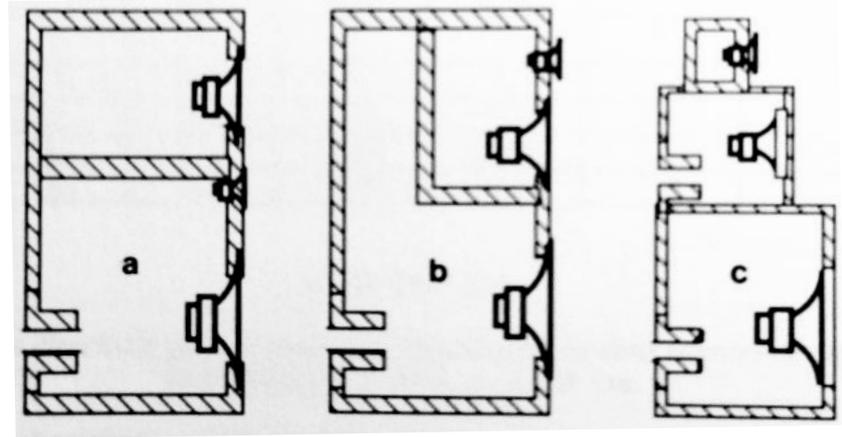
enceintes à 2 haut-parleurs.

Ce type d'enceinte est très courant. Deux haut-parleurs sont utilisés, le tweeter pour l'aigu et le boomer pour le grave. On utilise un filtre passif pour séparer le signal entrant en deux signaux complémentaires graves et aigus. La version active possède deux ampli par HP.



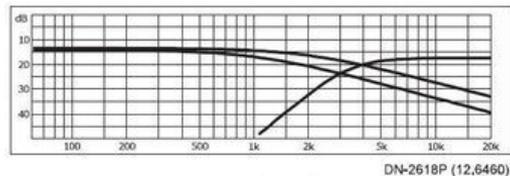
enceintes à 3 haut-parleurs:

On peut aussi utiliser la bi-amplification avec filtrage actif, comme dans la plupart des enceintes amplifiées.
exemple enceinte (tri)amplifiées [GENELEC 1038](#). Le son des années 2000.



filtrage passif ([crossover](#))

Afin de séparer le spectre du signal de puissance en plusieurs composantes, on utilise des composants R, L, C pour faire du filtrage.

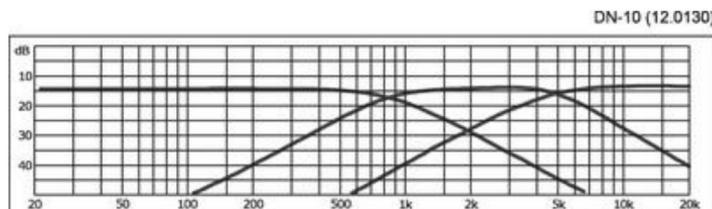


DN-2618
Référence numerique: 12.2250
Filtre 2 voies pour 8 Ω

- Condensateurs à film
- Passe-bas également utilisable pour 4 Ω

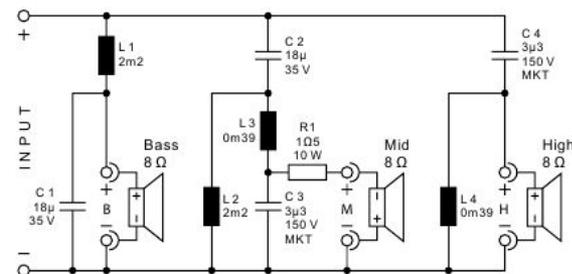
Caractéristiques techniques

Généralités	2 voies
Impédance de sortie	8 Ω (grave aussi 4 Ω)
Fréquence de coupure	3 kHz (B = 40 : 1,7 kHz)
Pente / oct.	6 dB / 18 dB
Puissance d'entrée max.	350 W
Dimensions	125 x 32 x 110 mm
Poids	0,4 kg



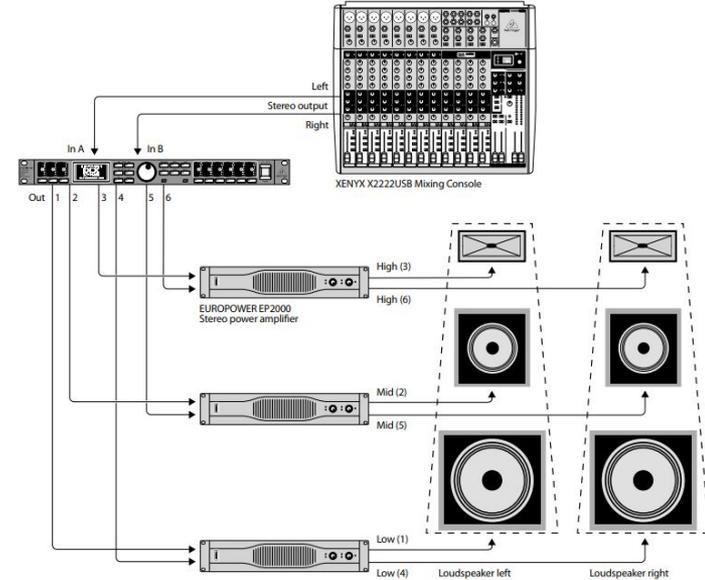
Technical specifications DN-10

DN-10	
General Information	3-way
Output Impedance	8 Ω
Crossover frequency	800/4,500 Hz
Slope/oct.	12 dB
Max. Input power	100 W
Dimensions	165 x 23 x 110 mm
Weight	0,511 kg



filtrage actif ([crossover](#)):

On effectue un filtrage en sous bandes, au niveau ligne, puis les signaux sont amplifiés et envoyés aux différentes voies des enceintes. On peut utiliser un processeur dédié, certains amplificateurs intègrent cette fonction. Les processeurs numériques intègrent des délais variable pour compenser des distances entre les hauts parleurs. Des limiteurs sur chaque bandes permettent de protéger les haut-parleurs des surintensités .



les types de filtrage crossover:

On utilise en général des filtres du second ordre ou plus, Linkwitz-Riley ou Butterworth, en analogique ou en numérique (RII ou réponse impulsionnelle infinie), et RIF (réponse impulsionnelle finie) seulement en numérique.

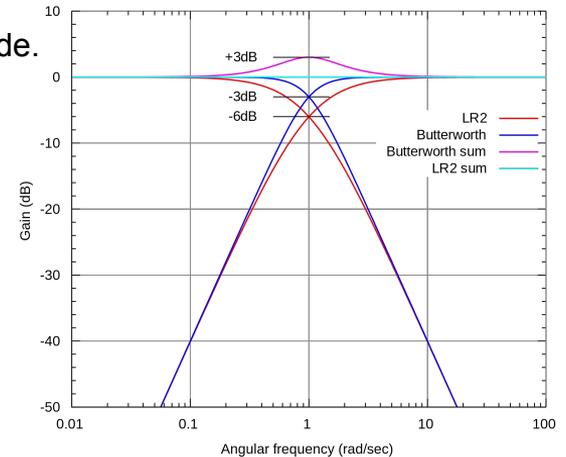
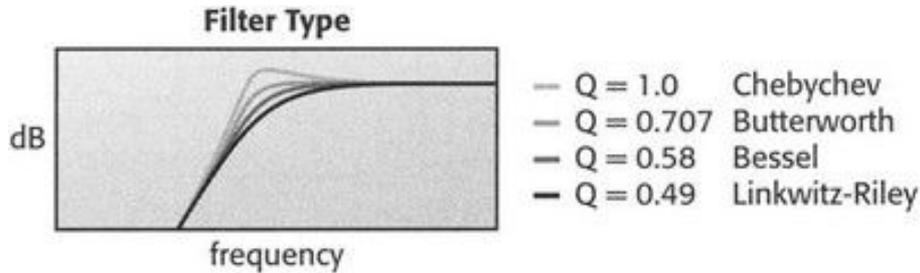
Les filtres sont catégorisés suivant différents comportements et leurs auteurs:

Linkwitz-Riley: il présente une atténuation de -6 dB à la fréquence de coupure, le recouvrement des deux bandes à la fréquence de coupure est plat.

Bessel: filtre à phase linéaire, respecte au mieux la phase, préserve la forme d'onde.

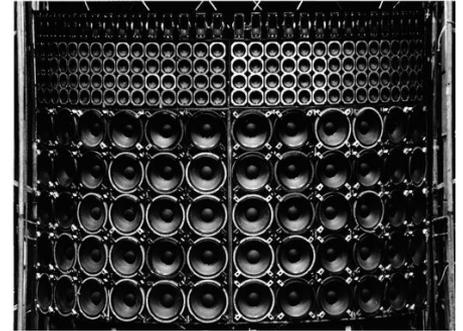
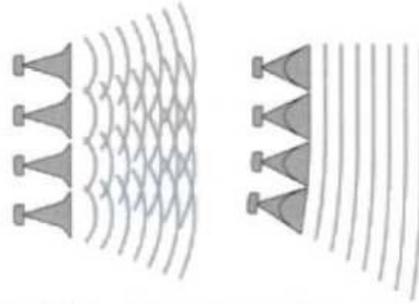
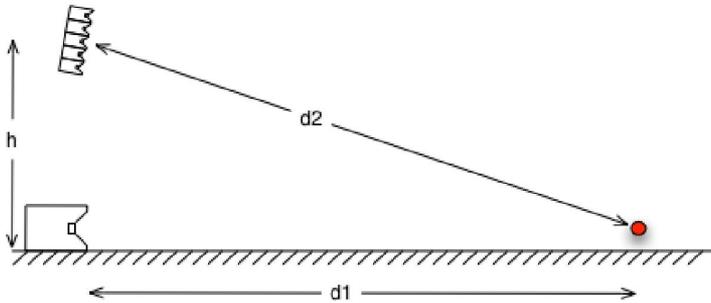
Butterworth: le plus plat, préserve la réponse en fréquence.

Chebyshev: le plus efficace, présente des ondulations dans la bande passante.



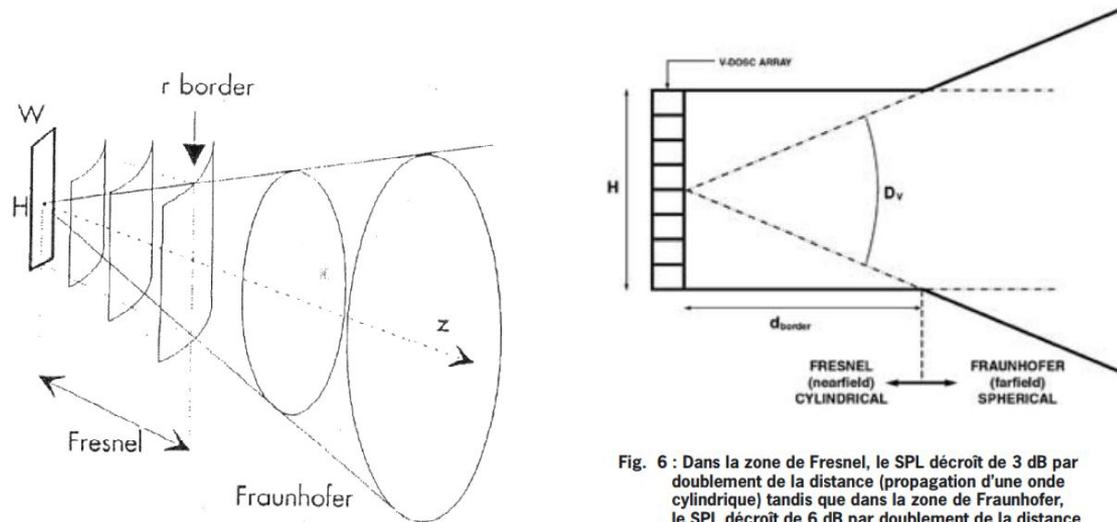
les réseaux de haut-parleur:

On aborde les systèmes modernes de diffusion, le plus souvent composés de réseaux de haut-parleurs disposés en “lignes sources” pour des fréquences supérieures à 100 Hz, et des réseaux directifs dans le grave pour des fréquences inférieures à 100 Hz environs. A la fréquence de coupure, les systèmes participent de manière égale. Le système de grave est en général retardé pour rattraper la différence de marche $(d2 - d1) < \frac{\lambda}{2}$.



les réseaux de haut-parleur:
zone de Fresnel/Fraunhofer.

Une source linéaire, plane ou cylindrique se comporte comme telle jusqu'à une certaine distance où elle se comporte ensuite comme une onde sphérique normale. Le champ proche est dit zone de Fresnel où la propagation s'effectue avec 3 dB d'atténuation par doublement de la distance, le champ lointain est dit zone de Fraunhofer où la propagation s'effectue avec 6 dB d'atténuation par doublement de la distance. La zone d'intérêt en sonorisation est la zone de Fresnel. Sa distance dépend de la hauteur de la source.



$$d_{\text{border}} = \frac{3}{2} H^2 F \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3HF}\right)^2}$$

avec :

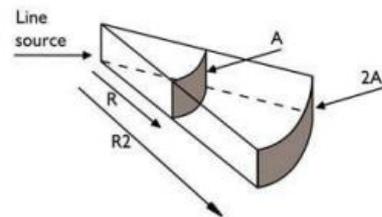
H = hauteur du réseau (en m)
F = fréquence exprimée en kHz

Fig. 6 : Dans la zone de Fresnel, le SPL décroît de 3 dB par doublement de la distance (propagation d'une onde cylindrique) tandis que dans la zone de Fraunhofer, le SPL décroît de 6 dB par doublement de la distance (propagation d'une onde sphérique)

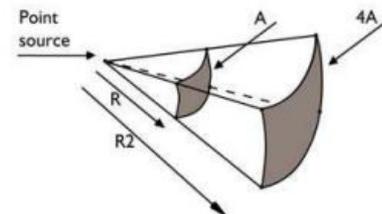
l'enceinte ligne acoustique 'line array'

Elle est composée d'un ensemble d'élément dont la distance entre centre acoustiques doit être inférieure à $\frac{\lambda}{2}$ de la fréquence utile

la plus haute. Ce système permet de travailler en onde cylindriques mais est limité en bande passante.



Cylindrical Wave
 - Expands in horizontal dimension only
 - At 2R, surface area increases 2 times
 → 3 dB attenuation

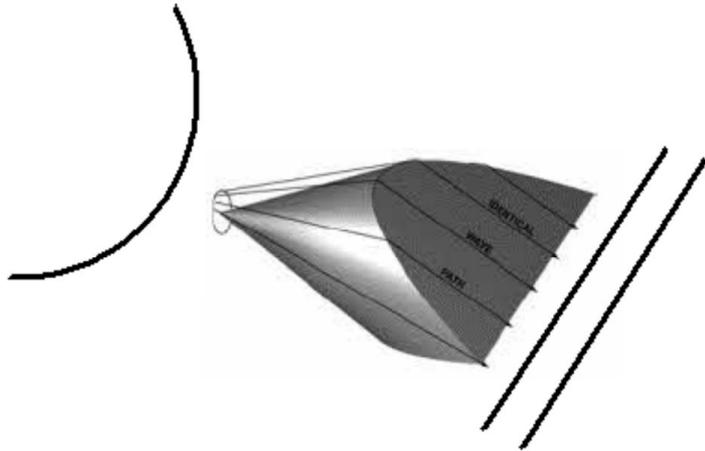


Spherical Wave
 - Expands horizontally and vertically
 - At 2R, surface area increases 4 times
 → 6 dB attenuation

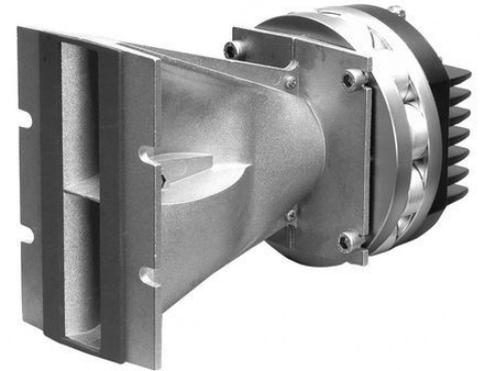
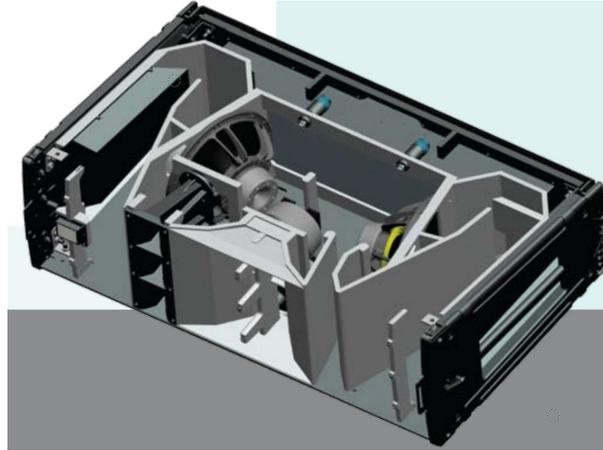
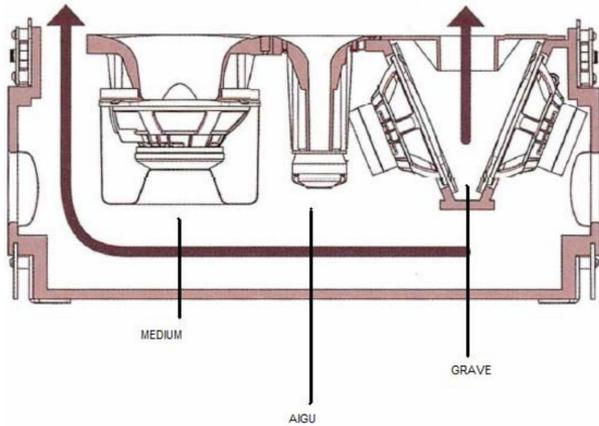
Figure 3: Cylindrical versus spherical wave propagation

le DOSC:

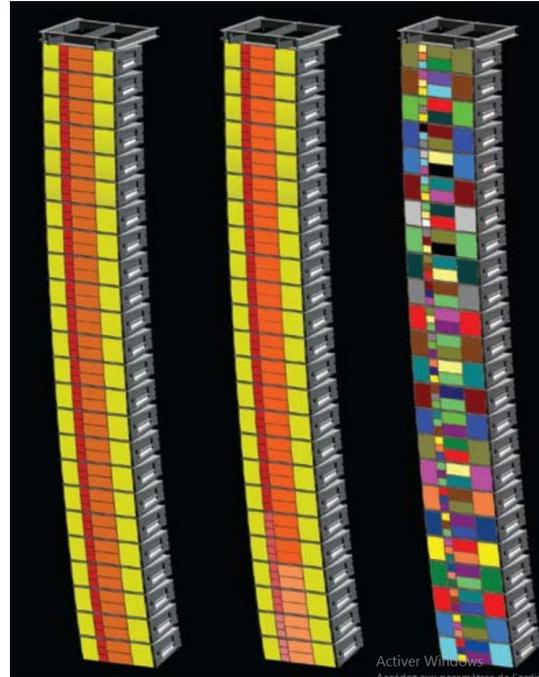
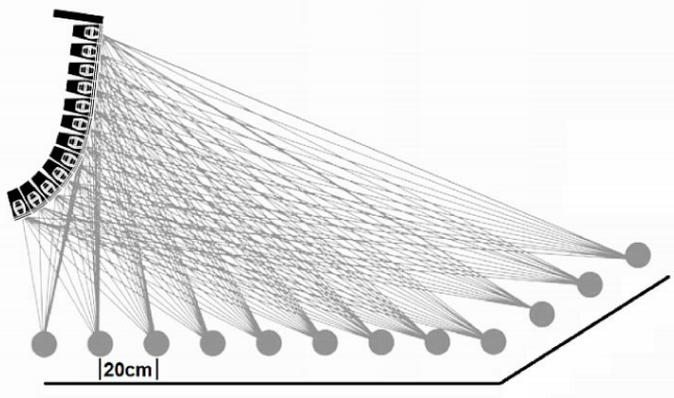
En 1984 Christian Heil, invente le [DOSC](#) diffuseur d'onde cylindriques et fonde L-Acoustics. C'est le début des systèmes de sonorisation à ondes cylindriques, line source ou line array. Ce système est plus petit, plus performant et offre une bien meilleure qualité que les "chateaux" de sources ponctuelles empilées. Chaque élément du système se comporte comme une source à directivité cylindrique plutôt que sphérique.



Line Source 'line array': les éléments
NEXO

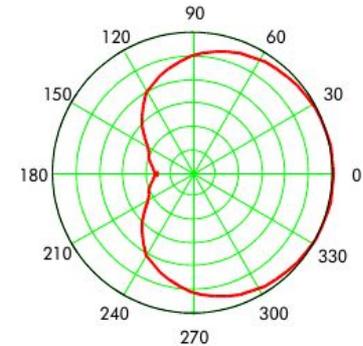
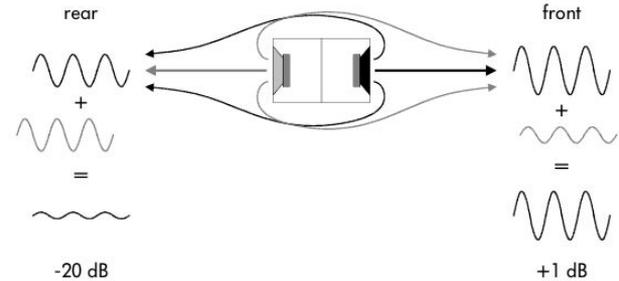
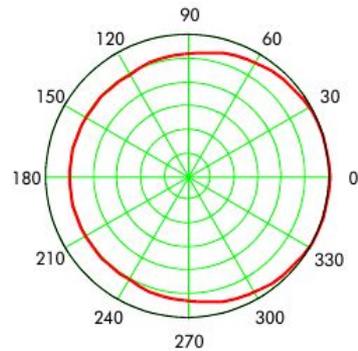
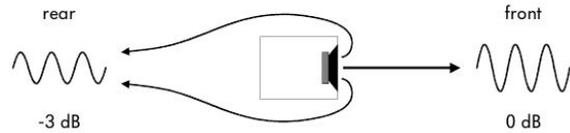


Line Source 'line array': la ligne source
[NEXO](#)



La directivité dans le grave: les système subwoofer cardioïde CSA ou Cardioid Subwoofer Array

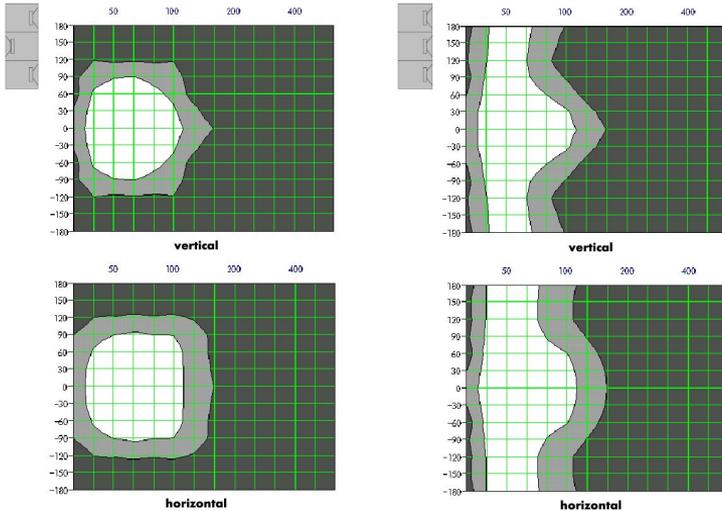
Principes: on utilise plusieurs caissons pour créer une directivité. Cela permet d'atténuer l'onde arrière jusqu'à -20dB SPL. Quelle que soit la technique, on n'obtient une directivité inférieure à -20dB dans le meilleur des cas.



La directivité dans le grave: les système subwoofer cardioïde CSA ou Cardioid Subwoofer Array

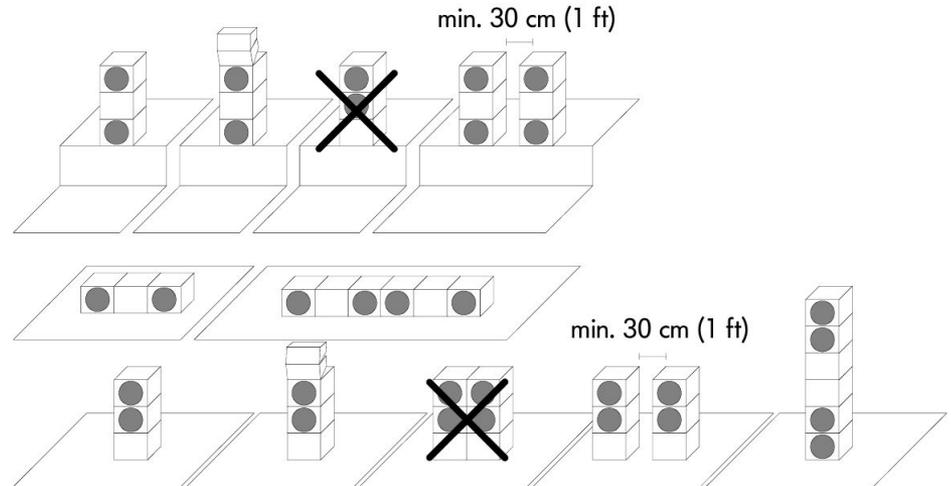
Principes: On utilise plusieurs caissons pour créer une directivité. Les caissons ne doivent pas être espacés de plus de $\frac{\lambda}{2}$.

Certains haut-parleurs reçoivent un signal déphasé de 180° et/ou retardés. Le fait de retourner une enceinte augmente la distance entre les centres acoustique mais ne modifie pas la polarité des ondes acoustiques.



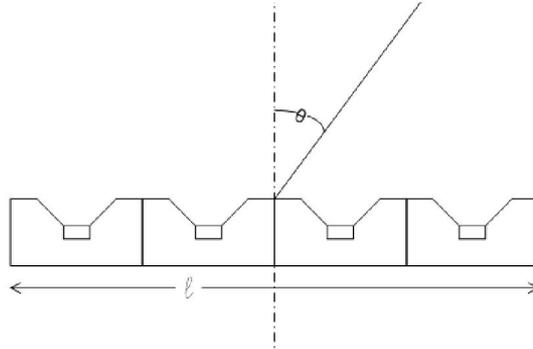
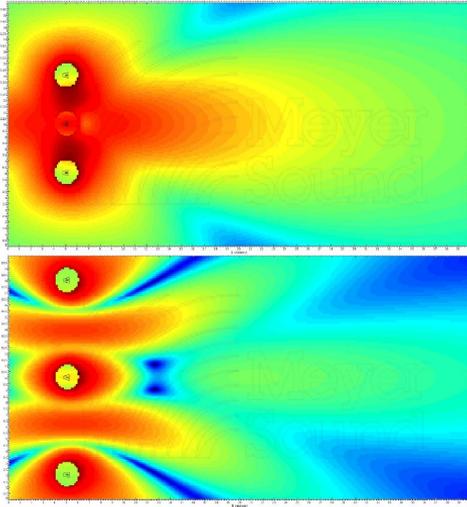
Dispersion characteristics of a CSA of Q-SUBs. Isobars for -6 dB and -12 dB versus frequency (x) and angle (y).

Isobar plots of a conventional array, 3-high

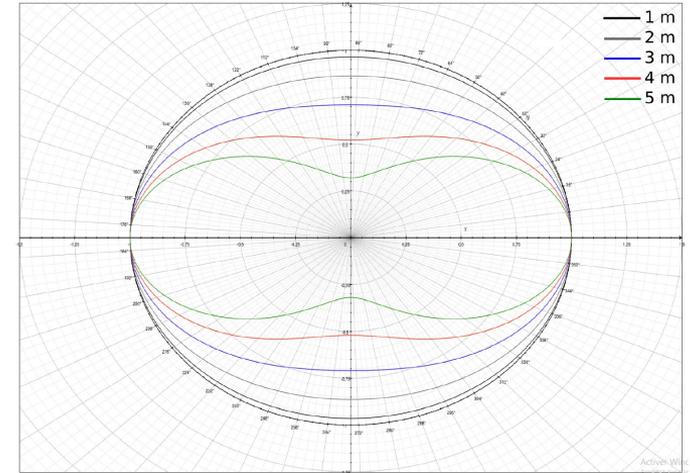


La directivité dans le grave: les système subwoofer cardioïde CSA ou Cardioid Subwoofer Array
 La ligne de subwoofer: les haut parleurs de graves sont posés au sol et forment une ligne face au public.
 Ils sont espacés entre eux. On peut déphaser de 180° certains éléments, et ajouter un délai.

directivité suivant l'espacement

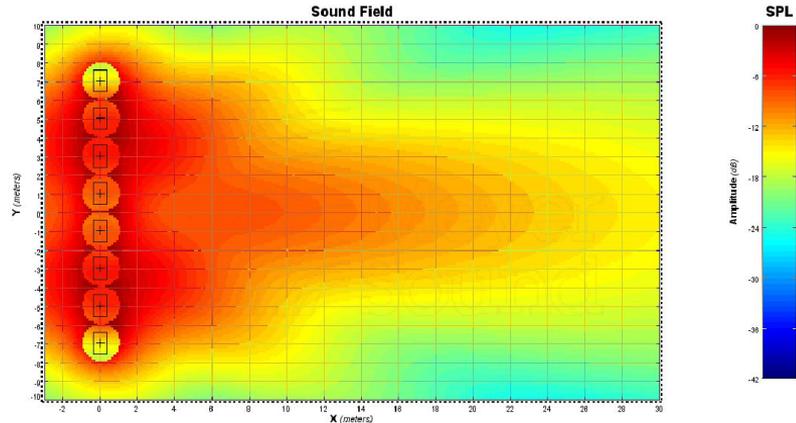


directivité suivant la longueur de la ligne



La directivité dans le grave: l'arc sub

On cherche plus à homogénéiser la couverture du grave sur la zone d'écoute qu'à obtenir un effet directif.



Air Attenuation On
Temperature = 20.0°C
Pressure = 1013.25 mb
Relative Humidity = 50.0 %

Relative Bandwidth = 1/24 octave
Center Frequency = 40.0 Hz
Start Frequency = 40.0 Hz
Stop Frequency = 50.4 Hz

