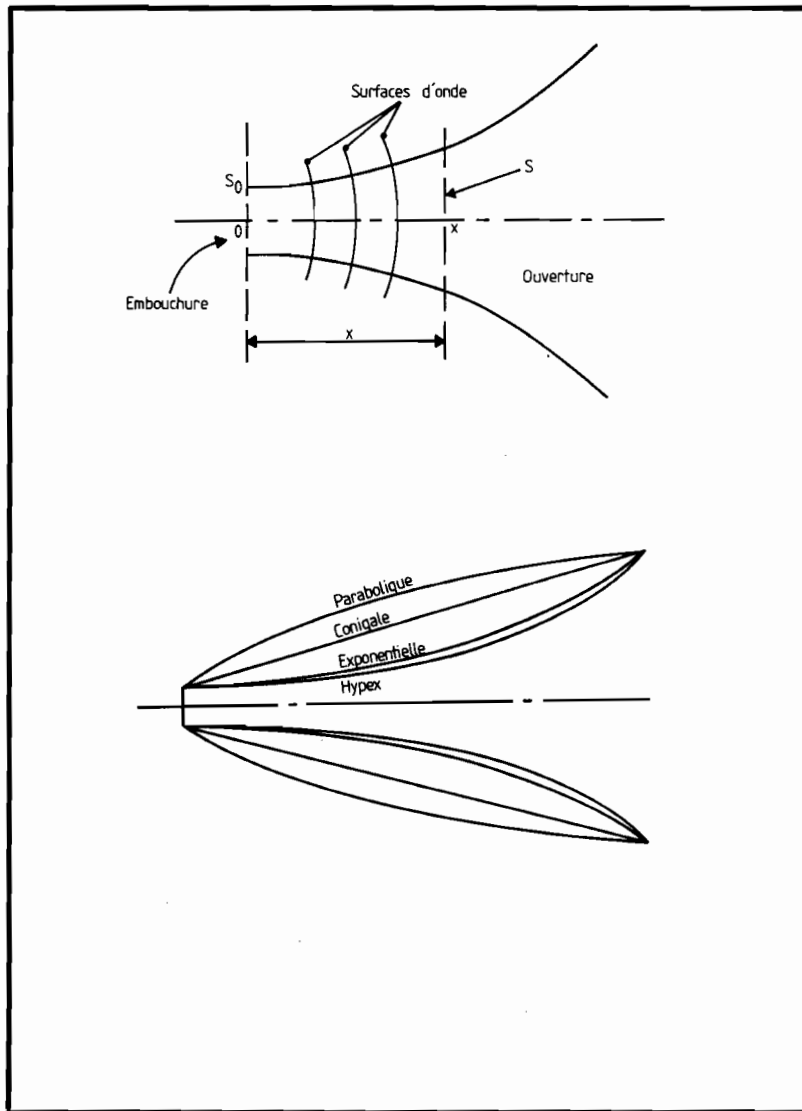


HAUT-PARLEURS ET ENCEINTES ACOUSTIQUES



L'augmentation du rendement d'un haut-parleur classique est toujours possible en le dotant d'un pavillon acoustique qui joue le rôle de transformateur entre la haute impédance de la source rayonnante et la basse impédance acoustique de l'air. On retrouve ainsi la fonction « porte-voix » que l'homme a su naturellement exploiter dès l'Antiquité, simplement en plaçant ses mains dans le prolongement de son organe vocal. Alexander Graham Bell ne manqua pas d'en équiper son premier écouteur téléphonique (1876) : il s'agissait alors d'un court pavillon conique dont la théorie complète fut énoncée par Lord Rayleigh (1878).

Il fallut attendre 1919 pour que Webster révélât les propriétés particulières du profil exponentiel engendrant une famille de surfaces d'ondes parallèles entre elles, orthogonales aux parois du pavillon et normales à son axe (fig. 82) [26]. La théorie analytique de Webster fut ensuite affinée pour tenir compte de phénomènes secondaires (courbure des ondes de sortie), prédéterminer la réponse en fréquence et la caractéristique de directivité. Ainsi furent trouvées d'autres formules d'expansion comme le concrétise la figure 83, où m et T sont des paramètres d'optimisation choisis pour fixer la fréquence de coupure en passe-haut du pavillon d'une part, obtenir une impédance ramenée au niveau de l'embou-

chure aussi constante que possible en fonction de la fréquence, d'autre part.

En dehors du pavillon conique que constituent naturellement les membranes des premiers haut-parleurs électrodynamiques, c'est le pavillon exponentiel qui est le plus utilisé, parce qu'il abaisse d'environ 3 octaves la fréquence de coupure. Il a l'avantage de pouvoir être assimilé à une fréquence largement supérieure à la fréquence de coupure (f_c), à une ligne homogène suivie d'un transformateur parfait dont le rapport de transformation est complètement déterminé par la surface d'ouverture, une fois fixés la surface de membrane (S_o) et le facteur d'expansion (m).

En se basant sur l'excellente bibliographie de Langford-Smith [27], on doit adopter pour un pavillon fini :

$$m \leq \frac{10,5}{v} f_c$$

$$(m \leq \frac{12,5}{v} f_c \text{ pour pavillon infini})$$

où v = vitesse de propagation acoustique dans l'air et f_c = fréquence de coupure réelle du système.

En tenant compte des perturbations de propagation qui apparaissent dans un pavillon fini (voir tableau VI), la condition d'adaptation correcte à l'entrée du pavillon impose la condition limite :

$$D \text{ (diamètre à la sortie)} \geq \frac{\lambda_c}{3}$$

(λ_c = longueur d'onde correspondant à f_c).

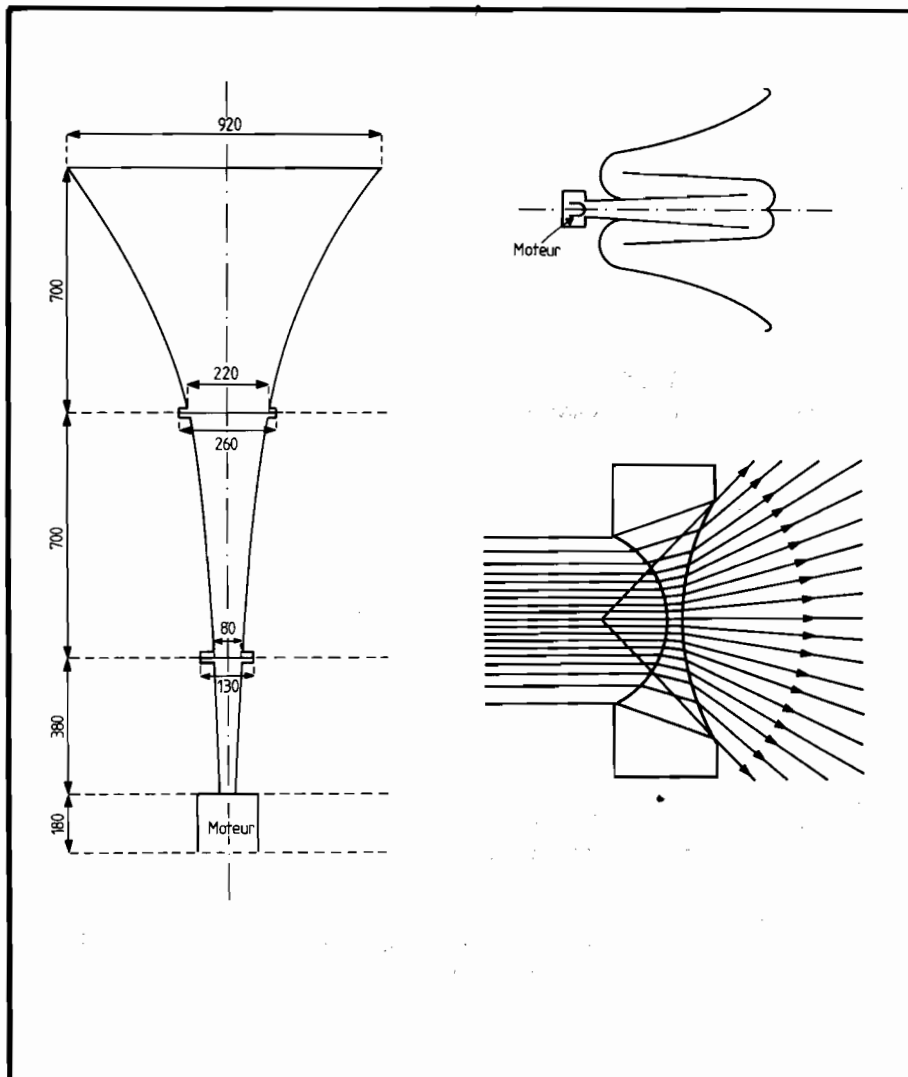


TABLEAU VI

Conditions d'adaptation d'un pavillon exponentiel fini en fonction du rapport diamètre d'ouverture/longueur d'onde (D/λ)

D/λ	0	0,16	0,8	1	3	∞
Pavillon assimilable à	tuyau cylindrique	pavillon fini		pavillon infini		
Adaptation	discontinuité à Z_a au voisinage de f_c	variations importantes de Z_a	bon compromis		parfaite pour $f > 1,7 f_c$	
Z_a = impédance acoustique ramenée par le pavillon						

Connaisant le facteur d'expansion m , on tire alors de la relation :

$$\frac{S}{S_o} = \left(\frac{D}{D_o}\right)^2 = e^{mL}$$

$$L \text{ (longueur du pavillon)} = \frac{2}{m} \log_e (D/D_o)$$

avec D_o = diamètre de la gorge et $m \leq 0,03 f_c$.

Ainsi, pour un haut-parleur d'aigu de diamètre 2,5 cm capable de rayonner sans distorsion à partir de 2 000 Hz, on obtient comme condition limite : $D = 5,7$ cm, condition facile à tenir,

compte tenu de $D_o = 2,5$ cm.

En adoptant $m = 60$ (valeur maximale), il vient :

$$L = \frac{2}{60} \log_e 2,3$$

soit $L = 0,027$ m (2,7 cm).

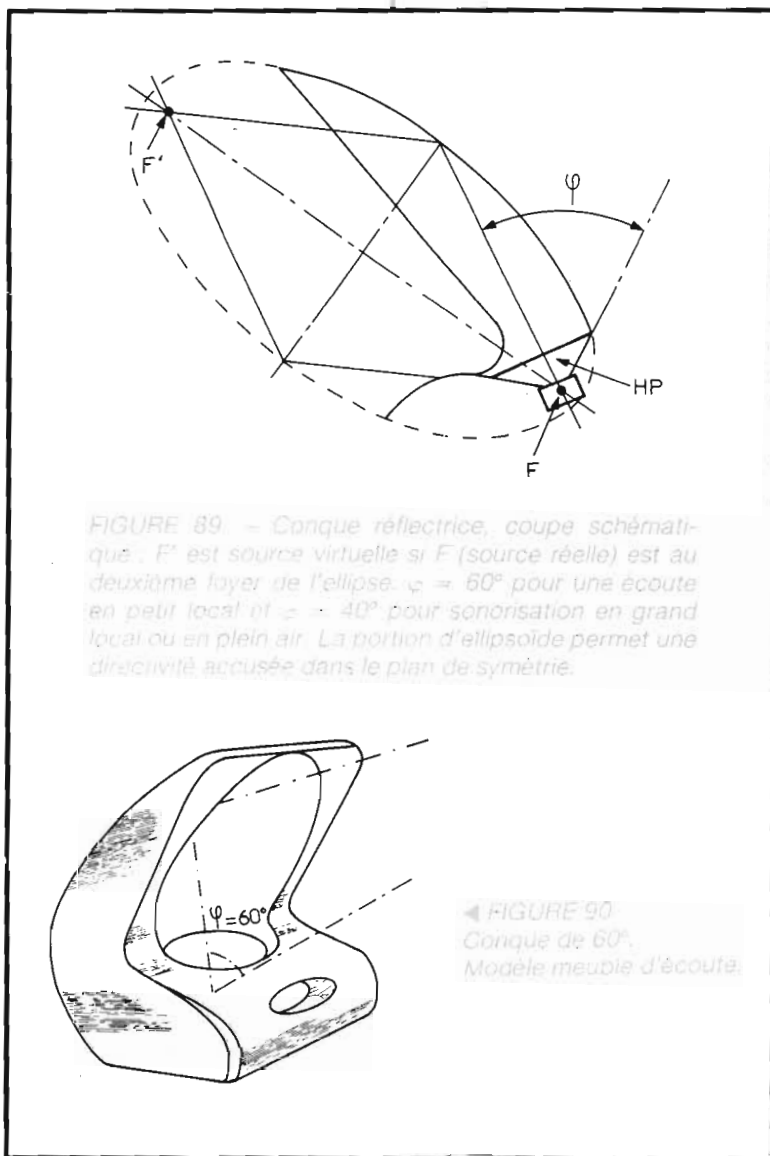


FIGURE 89 - Conque réflectrice, coupe schématisée : F' est source virtuelle si F (source réelle) est au deuxième foyer de l'ellipse. $\varphi = 60^\circ$ pour une écoute en petit local et $\varphi = 40^\circ$ pour sonorisation en grand local ou en plein air. La portion d'ellipsoïde permet une directivité accrue dans le plan de symétrie.

FIGURE 90 - Conque de 60° . Modèle meuble d'écoute.

Cet exemple montre qu'un simple chanfrein suffit à doter un tweeter d'une caractéristique correcte à la fois en fréquence et en impédance.

Pour un même moteur devant travailler jusqu'à 200 Hz, on devrait adopter :

$$m_{\text{maxi}} = 6 \quad D_{\text{mini}} = 57 \text{ cm}$$

d'où :

$$L = \frac{1}{3} \log_e (57/2,5) = 1,04 \text{ m}$$

Une telle réalisation ne peut être qu'exceptionnelle en raison de l'encombrement. On y a recours néanmoins lorsqu'on veut obtenir à la fois un fort rendement et une directivité élevée

en associant au pavillon un moteur à chambre de compression.

Tel est le cas d'un sodar (2) CNET destiné à l'étude du comportement des couches de basse atmosphère où l'on a adopté (voir fig. 84) :

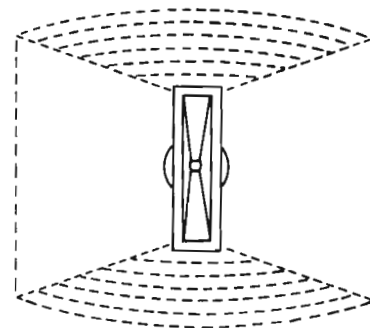
$$D_0 = 0,10 \text{ m} \quad D = 1 \text{ m} \quad m = 2,6$$

En pratique courante, on a recours à un dispositif replié comme le montre la figure 85, qu'on retrouvera au chapitre des enceintes acoustiques. Toutes ces formules apportent une amélioration spectaculaire du rendement (on peut approcher 50 %), mais cet avantage se paie d'une distorsion parfois élevée et d'une directivité marquée. On évite cet inconvénient en terminant le pavil-

lon par une lentille acoustique (fig. 86) ou par un cornet multicellulaire exploitant les phénomènes de diffraction acoustique, soit sur des obstacles inclinés et superposés, soit sur des grilles perforées (fig. 87).

Une telle réalisation est courante en sonorisation lorsque l'absence de directivité est systématiquement recherchée ; on assure ainsi classiquement des couvertures supérieures à 60° jusqu'à 10 kHz.

Pour des haut-parleurs d'aigu, on se contente souvent d'un pavillon dont l'embouchure est réduite à un mince rectangle vertical (fig. 88). Les précautions habituelles prises lors de la réalisation de tels pavillons concernent :



- la rigidité des parois évitant des résonances parasites (certains fabricants ont recours à la pierre) ;

- la précision dans le respect des courbures, selon la loi d'expansion choisie (mieux que 1 % sur les cotes pour des réalisations soignées) ;

- la tenue mécanique en température et en vieillissement ;

- l'universalité d'applications en permettant diverses combinaisons moteurs-pavillons.

On fait aujourd'hui largement emploi de structures plastiques moulées, légères et résistant bien aux intempéries, avec des techniques d'assemblage modulaires.

Au stade des prototypes, on fait souvent appel à des moulages au plâtre avant de figer les modèles industriels.

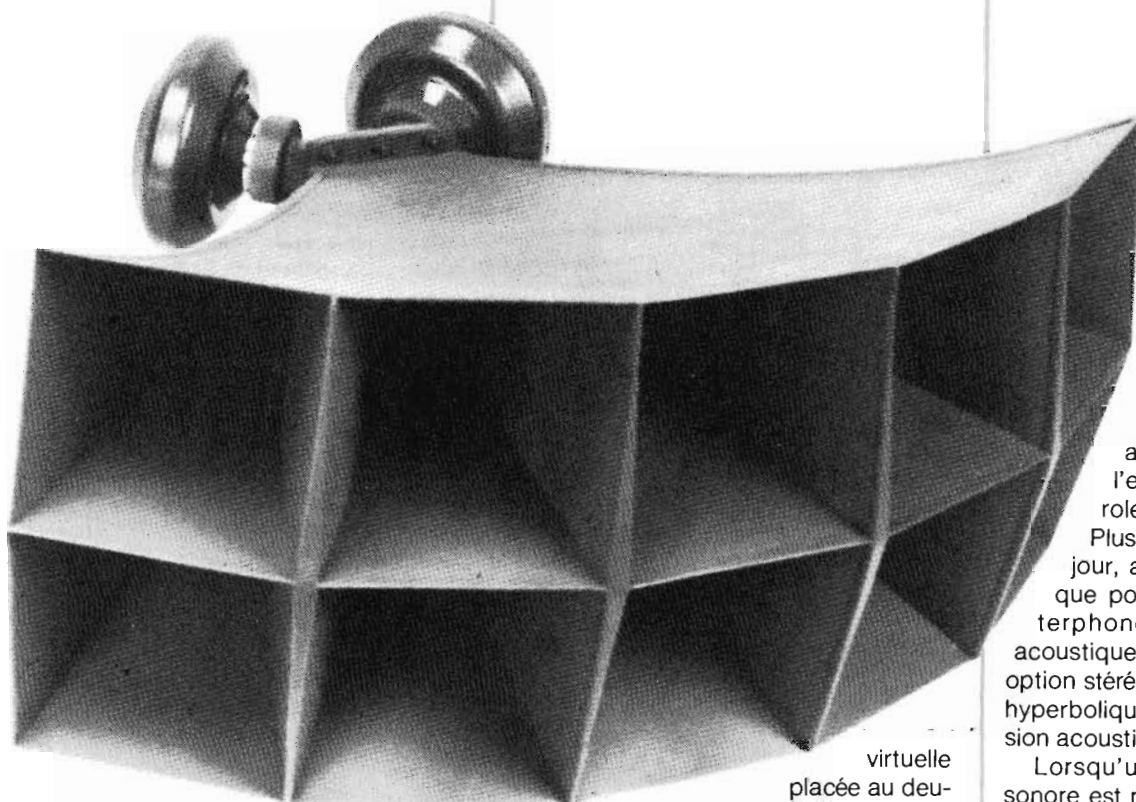


FIGURE 87
Pavillon multicellulaire
(photo « Vitavox »).

Une autre possibilité de contrôler la directivité d'un haut-parleur est de lui associer un réflecteur, ou conque, dont le profil est choisi en fonction du diagramme polaire recherché, par analogie avec les systèmes optiques. Telle fut l'idée directrice de J. Léon lorsqu'il conçut son diffuseur Elipson (1953) exploitant les propriétés focalisatrices d'un ellipsoïde (fig. 89). En plaçant le haut-parleur au voisinage d'un des foyers, on obtient une source sonore

virtuelle placée au deuxième foyer avec les bénéfices attendus suivants [28] :

- meilleur rendement aux fréquences élevées (toute l'énergie émise par le haut-parleur est concentrée dans le cône de diffusion) ;
- directivité accusée dans le plan de symétrie de la conque, diminuée dans le plan orthogonal ;
- meilleure réponse transitoire par compensation de phase liée aux différences de parcours des rayons acoustiques réfléchis.

D'où l'intérêt, en sonorisation pour améliorer le rapport son direct/son réverbéré, notamment en évitant « d'arroser » le plafond et le sol, en écoute haute fidélité pour régulariser la réponse acoustique et augmenter l'effet de présence sur la parole et les petits instruments. Plusieurs variantes ont vu le jour, allant du projecteur acoustique pour sonorisation ou pour interphone (fig. 90) à l'enceinte acoustique pour haute fidélité dont une option stéréophonique réclame un profil hyperbolique pour favoriser la dispersion acoustique.

Lorsqu'une grande concentration sonore est recherchée, le réflecteur parabolique concurrence avantageusement le pavillon exponentiel, avec :

- Un gain et une directivité plus grands comme l'indique le tableau VII qui compare les caractéristiques d'un pavillon exponentiel et d'une conque parabolique pour laquelle on a choisi $h = 2p$ (h = profondeur, p = paramètre d'ouverture) qui rend le gain maximum à diamètre d'ouverture constant.
- Une meilleure corrélation entre calcul et expérimentation.

(A suivre)
P. LOYEZ

TABLEAU VII

Caractéristiques comparées d'un pavillon exponentiel et d'une conque parabolique d'encombrements voisins

		1 000 Hz	2 500 Hz	4 500 Hz
Gain (dB)	pavillon (1)	14	12	11
	parabole (2)	22	28	25
Directivité (- 3 dB)	pavillon	60°	25°	15°
	parabole	15°	7°	5°
(1) $D_0 = 4,5 \text{ cm}$ $D = 100 \text{ cm}$ $L = 100 \text{ cm}$ $m = 6$ $f_c = 170 \text{ Hz}$				
(2) $p = 40 \text{ cm}$ $D = 160 \text{ cm}$ $h = 0,80 \text{ m}$				

Ces raisons ont justifié l'abandon du pavillon au profit d'un réflecteur parabolique pour les dernières versions industrielles de Sodar.

(2) Sondeur acoustique constitué d'un émetteur de puissance à basse fréquence (1 000 à 3 000 Hz) excitant par impulsions un haut-parleur qui sert de microphone pen-

dant la durée d'écoute. Le signal rétrodiffusé subit une analyse spectrale fournissant une information sur l'effet Döppler (étude du phénomène d'inversion de température).