

- Réalisation personnelle -

## Un haut-parleur électrostatique

Philippe Hiraga

**M**

*on intérêt pour les haut-parleurs électrostatiques remonte au début des années soixante. Au cours du Festival du Son qui se tenait à l'hôtel du Palais d'Orsay, j'entendis pour la première fois ce que les spécialistes d'alors qualifiaient de "fenêtre ouverte sur la salle de concert", il s'agissait du Quad ESL. C'est un domaine où les réalisations françaises sont très rares, en plus de vingt ans on ne compte pratiquement que le Sictam, première réalisation commerciale large bande, exposée au Festival du Son 1967 et les récentes réalisations de AHL.*

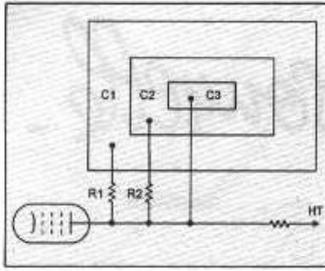
De 1970 à 1982 j'ai construit une trentaine de haut-parleurs et de casques électrostatiques, pour le plaisir et pour appliquer quelques idées originales. Le premier haut-parleur fut une cellule médium/aigu, l'un des derniers fait l'objet de cet article. Influencé par les cellules Orthopase ou Janszen. Les premiers haut-parleurs étaient de petite taille donc d'une utilisation limitée au médium/aigu sur des enceintes hybrides. Pour réduire la directivité et augmenter le niveau, il fallait multiplier les cellules et, en conséquence, les difficultés et les problèmes de fabrication. Les résultats obtenus et l'expérience acquise

m'incitèrent par la suite à fabriquer des cellules large bande de grande taille, notamment celle qui est décrite dans cet article.

### Quelques réalisations originales

Le Quad ESL, fabriqué à plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires, a connu un grand succès international. C'est la raison pour laquelle il a fait l'objet de nombreuses descriptions et études théoriques, par exemple dans l'ouvrage de Jean Hiraga "Les haut-parleurs" ou dans les articles de Jacky Mas des numéros 20, 21 et 22 de l'Audiophile nouvelle série.

Le succès de ce produit très britannique, comparable à celui des automobiles Morgan, a laissé dans l'ombre quantité de réalisations originales qui auraient mérité d'être plus connues, par exemple celle de l'Américain Charles I. Malme qui déposa le 8 mai 1959 aux USA un brevet de haut-parleur électrostatique large bande. De forme circulaire avec un diamètre de 50 cm, ses électrodes, distantes de 6,35 mm, étaient constituées chacune d'un assemblage de 40 fils d'acier de 3,18 mm de diamètre espacés de 6,35 mm. Il s'agit en fait d'une évolution de la cellule Janszen. Une segmentation électrique des élec-



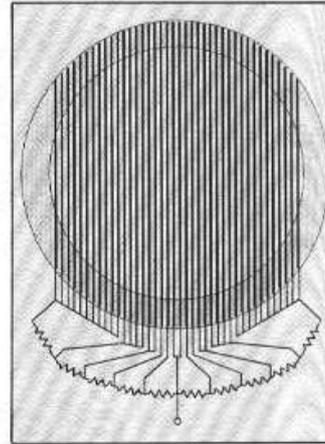
Principe de fractionnement d'une électrode d'un haut-parleur électrostatique proposé par C. Gary dans La Revue du Son d'octobre 1958. Zone  $C_1 + C_2 + C_3$  : graves ; zones  $C_2 + C_3$  : médiums ; zone  $C_3$  : aigu.

trodes par des résistances permettait de faire travailler ce haut-parleur sur six bandes de fréquence afin de réduire la directivité dans les fréquences élevées. Charles I. Malme avait vu juste, car après trente années, ce principe de segmentation d'électrodes en fils d'acier par des résistances est plus que jamais d'actualité chez des constructeurs américains ou européens comme Acoustat, Sound-Lab, Audiostatic. Le haut-parleur de Charles I. Malme était attaqué par un amplificateur à tubes de type O.T.L. dont l'étage final, équipé de tubes 2C53, tra-

vailait sous une tension de 8 kV !

Il faut remarquer que quelques mois avant ce dépôt de brevet, la Revue du Son avait publié dans son N°66 d'octobre 1958, un article de C. Gary sur la théorie des haut-parleurs électrostatiques. Cet article proposait l'utilisation d'un étage de puissance à tubes à couplage direct et un fractionnement des électrodes en trois zones de rayonnement à l'aide de résistances.

Le haut-parleur électrostatique push-pull n'est pas nécessairement constitué d'un diaphragme tendu entre deux électrodes perforées, mais inversement il peut être constitué d'une électrode perforée fixée entre deux diaphragmes de Mylar métallisé, principe proposé par le français Jean Deguillen dans un de ses brevets. L'électrode centrale est polarisée en haute tension à travers une résistance de forte valeur. La modulation est appliquée en opposition de phase sur les diaphragmes. La cellule étant étanche, on élimine en partie les problèmes liés à la poussière, de plus les diaphragmes, métallisés sur leur face externe, présentent leur côté isolé face à l'électrode centrale ce qui, a priori, constitue une protection contre le flashage. J'ai réalisé des tweeters fonctionnant fort

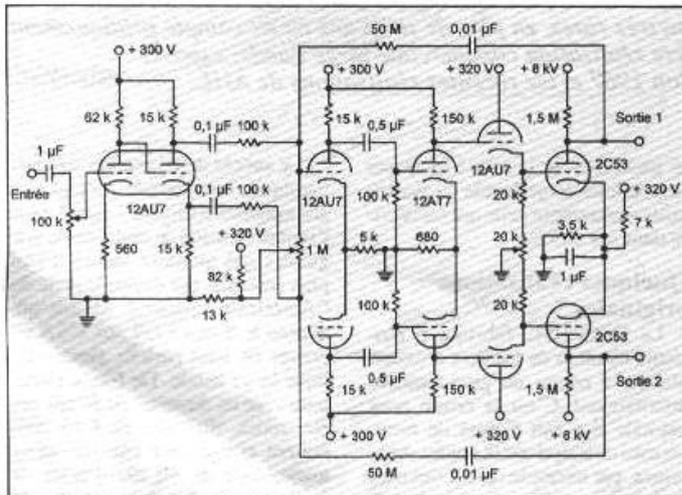


Vue d'une électrode du haut-parleur de Charles I. Malme. Les résistances introduisent des constantes de temps fractionnant l'électrode en six bandes de fréquence.

bien selon ce principe, sans avoir eu connaissance des travaux effectués auparavant par Peter Walker ou Jean Deguillen. Lors de surmodulations, des arcs électriques peuvent néanmoins se produire sur le pourtour des diaphragmes qui se découpent alors à la manière d'un timbre-poste... Une fine couche de vernis, appliquée sur le bord des diaphragmes, permet d'éliminer le phénomène.

En 1979, la société américaine BTM mit sur le marché une gamme d'enceintes hybrides équipées de tweeters électrostatiques, baptisés "EST" pour "ElectroStatic Translator", ils utilisaient ce principe, tombé dans le domaine public, mais qualifié pourtant de "radical new concept" ! Plus récemment, toujours aux USA, John Civitello, a déposé un brevet d'enceinte large bande constituée de cellules triangulaires, fonctionnant toujours selon ce principe, assemblées de manière à former une portion de sphère.

Impressionné par les performances du tweeter "Air Motion Transformer" de ESS, j'ai également travaillé en 1976 sur un tweeter électrostatique à membrane en zigzag. Les champs électriques ne se manipulent pas aussi facilement que les champs magnétiques et en plus



Amplificateur O.T.L. à tubes de Charles I. Malme pour haut-parleur électrostatique. L'étage de sortie travaille sous 8 kV ! (d'après Electrostatic loudspeaker design and construction, Ronald Wagner).

d'un assemblage très délicat, le rendement du prototype était inférieur à celui espéré. Plus tard, en étudiant les brevets, j'apprends que Peter Walker avait travaillé sur un haut-parleur "zigzag" dans les années cinquante.

### Réalisation d'un haut-parleur électrostatique large bande.

L'écoute au Festival du Son 1973 au Grand Palais des "paravents" Magneplanar fut pour moi une révélation. Ce haut-parleur électrodynamique utilisait des membranes longues et étroites. Dès lors, je me mis à réaliser des cellules de taille de plus en plus grande utilisant du Plexiglas ou du verre époxy pour le cadre et de la tôle perforée d'acier ou de laiton pour les électrodes.

En 1976 j'ai construit une cellule électrostatique qui me donna enfin satisfaction. Bien qu'elle soit ancienne, elle est suffisamment originale pour intéresser encore les Audiophiles.

Ce haut-parleur est d'un principe classique, c'est un électrostatique push-pull à charge constante constitué d'un diaphragme tendu entre deux électrodes, mais son originalité réside dans sa forme en trapèze allongé aux extrémités arrondies. On pourrait assimiler ce haut-parleur à un assemblage en ligne de 20 haut-parleurs de diamètres croissants, le plus gros faisant 10 cm, le plus petit 5 cm.

Les brevets concernant le haut-parleur électrostatique sont aujourd'hui, dans leur quasi-totalité, domaine public, y compris ceux de Quad, Acoustat, Beveridge ou

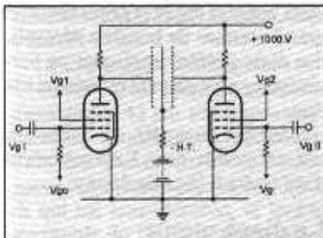
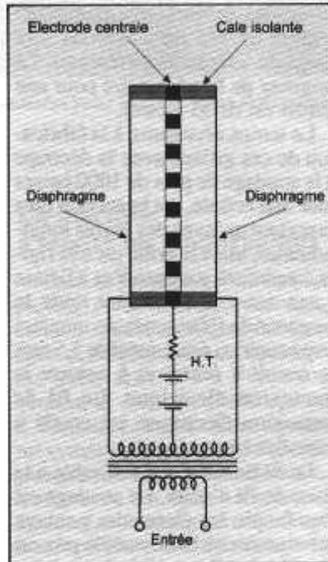


Schéma d'un étage de sortie à tubes proposé par C. Gary dans La Revue du Son d'octobre 1958.

Dayton Wright. Cependant, il est possible de protéger les idées originales et j'ai pris soin de déposer ce haut-parleur en forme de trapèze à l'Institut National de la Propriété Industrielle le 19 octobre 1982. Ce dépôt se révélera utile car le constructeur américain Apogée commercialisera en 1984 un haut-parleur également de forme trapézoïdale.

La hauteur d'une cellule est de 160 cm, la grande base fait 14,3 cm et la petite base 8,8 cm il est possible d'en assembler plusieurs côte à côte, ce qui donne un panneau d'allure très particulière.



Vue en coupe d'un haut-parleur électrostatique à deux diaphragmes. Ce principe a été utilisé par Peter Walker, Jean Deguillen et l'ElectroStatic Translator de BTM.

### Le cadre

Le cadre est constitué de deux parties quasi identiques, qui servent à maintenir et isoler les deux électrodes d'une part, à supporter le diaphragme d'autre part. Ces cadres sont réalisés à partir d'éléments découpés dans une feuille de plastique (polycarbonate, polystyrène) de 3 mm d'épaisseur. Ces éléments sont ensuite collés de manière à former chacun une des deux parties du cadre. Le cadre est percé de trous

destinés aux vis d'assemblage et de connexion. Un ruban conducteur en aluminium est collé sur le pourtour de la face interne d'un cadre, il viendra en contact avec le diaphragme collé sur l'autre cadre.

### Les électrodes

La tôle perforée permet a priori de réaliser facilement un haut-parleur électrostatique. Différentes variétés sont disponibles. Un jour, j'ai voulu m'en procurer aux Ets Weber bien connu des parisiens. Avant même de dire au vendeur l'usage que j'en ferais, celui-ci, un petit bonhomme, me répondit "De la tôle perforée ? C'est sûrement pour faire des haut-parleurs ! Suivez-moi !"

Un conseil m'a été plusieurs fois donné par ceux qui ont eu l'occasion d'écouter mes haut-parleurs impressionnés par les résultats d'écoute, mais consternés par les efforts déployés pour y parvenir "coller des bandes d'adhésif double face (genre Scotch-Mount) sur une tôle perforée de manière à en diviser la surface en plusieurs sections, appliquer ensuite une feuille de plastique rendue faiblement conductrice par pulvérisation d'un produit antistatique, mettre à nouveau des bandes d'adhésif double face sur les précédentes, appliquer la deuxième tôle perforée, souder les connexions, brancher et

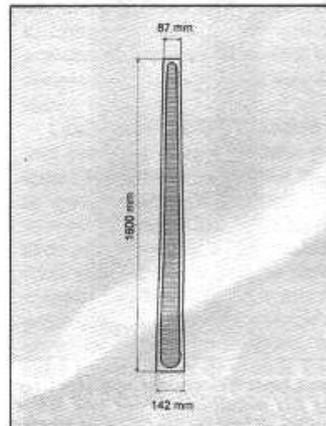
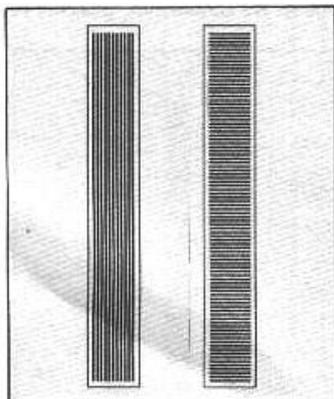


Schéma du haut-parleur trapézoïdal avec ses dimensions.

le tour est joué ! Je réponds qu'à défaut de disposer d'un grand savoir-faire et de technologies très évoluées, (ce qui est le cas par exemple de Martin Logan) les réalisations hâtives de haut-parleurs électrostatiques à base de tôle perforée aboutissent toujours à un échec... En outre, le choix dans les tôles est limité, si bien que les constructeurs utilisant ce type d'électrodes, qu'elles soient en métal ou en matériau synthétique, ont recourus à des fabrications spéciales, c'est le cas de Martin Logan ou de Quad.

Les petites cellules peuvent être fabriquées en perforant du verre époxy ou de la bakélite cuivrés sur une face, on a l'avantage de disposer d'un matériau isolant d'un côté, conducteur de l'autre, ce qui simplifie la construction. Mais les cellules de grande surface nécessitent de perforer des milliers de trous, j'ai donc choisi de réaliser les électrodes par assemblage de fils d'acier à la manière de Janszen, d'Acoustat ou du constructeur allemand Rolf Rennwald. D'autre part, subjectivement, le son obtenu me semble plus naturel, plus "aéré", et la bande passante paraît plus large qu'avec la tôle perforée.

Ordinairement ces électrodes sont constituées d'un assemblage de fils dans le sens longitudinal, unique-



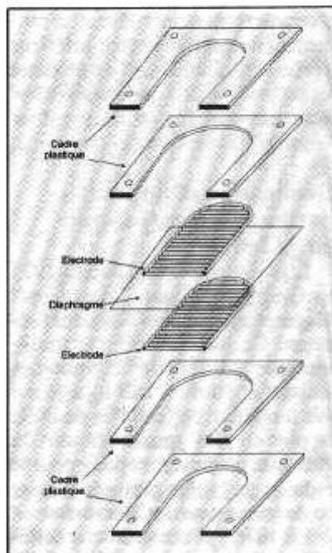
Deux types d'électrodes réalisées avec des fils métalliques. Pour une même surface, il faut 90 fils s'ils sont montés transversalement mais 11 fils seulement s'ils sont montés longitudinalement.

ment dans un but économique car il y a moins de barres à couper et à connecter, mais il en résulte un inconvénient majeur : un manque de rigidité qui rend indispensable le collage d'une grille ou de nombreux raidisseurs transversaux sur les barres pour en limiter les vibrations, ce qui diminue la surface émissive.

Dans ce haut-parleur trapézoïdal, les électrodes sont constituées d'un assemblage de fines barres parallèles disposées transversalement. Elles sont préparées à partir de fils d'acier de 15/10 très dur, de type "corde à piano". Etant donné la forme des cellules, ces barres, au nombre de 515 par électrode sont toutes de longueurs différentes. La longueur de fil nécessaire pour une cellule est de 85 mètres.

Le temps nécessaire à la fabrication de ces grilles, avec la découpe et le soudage de plus de 1000 barres pour une cellule, est beaucoup plus important qu'avec des barres longitudinales, mais la grille est très rigide. Les barres sont soudées à l'étain à une autre barre faisant toute la longueur de l'électrode de manière à maintenir un écartement de 1,5 mm de centre à centre et à assurer la connexion électrique. Le fil de connexion électrique est soudé à l'une des barres.

Le fil de laiton est utilisable à la place du fil d'acier. Le soudage est plus facile, les électrodes peuvent être étamées au bain, mais le prix est très élevé et il est difficile de trouver en quantité des fils qui ne soient pas déformés. La grille, ajourée à 50 % de sa surface, est particulièrement rigide. Une grille en verre époxy ou en bakélite perforée à 50 % est inutilisable car trop flexible, les trous étant très rapprochés. La capacité mesurée est de 400 pF, pratiquement égale à celle d'un condensateur constitué de deux plaques de 1330 cm<sup>2</sup> espacées de 3 mm bien que les électrodes soient ajourées à 50 %. C'est un point important concernant le rendement car l'électrode se comporte électriquement comme si elle n'était pas perforée, et la force motrice est directement proportionnelle à sa surface.



Vue éclatée de la cellule à environ 10 cm du bas.

Idéalement, les grilles ne devraient pas être isolées car l'isolant a tendance à conserver une certaine charge, provoquant des distorsions. Mais il est nécessaire de protéger de la rouille l'acier des électrodes. Il existe un certain nombre de vernis isolants adhérents bien sur les métaux. J'ai utilisé des enduits du genre "Gel-coat" en couche fine, mais au bout de quelques années, un phénomène de vieillissement de cette couche s'est manifesté avec apparition de craquelures et a nécessité des réparations. Il faut donc être prudent dans le choix du vernis isolant. Les vernis dits "THT" peuvent convenir mais coûtent chers et nécessitent un grand nombre de bombes aérosols, j'ai donc préféré appliquer un vernis époxy plus courant en couche très fine.

Lorsque la grille est terminée, elle est collée dans l'encastrement d'un cadre à la colle époxy.

### Le diaphragme

Sur le marché on trouve aujourd'hui un certain nombre de films de polyester, polycarbonate,



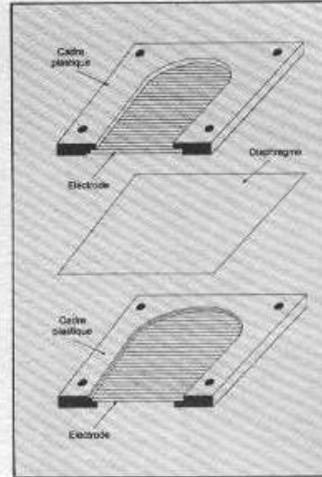
Pièces de plastique de 3 mm d'épaisseur utilisées pour la fabrication des cadres dans lesquels sont collés les électrodes.

polyéthylène et autres matières plastiques avec un vaste choix d'épaisseurs, parfois de l'ordre du micron. Beaucoup d'entre eux peuvent être utilisés pour un diaphragme. Le film utilisé dans ce haut-parleur est du Terphane type D pour condensateurs d'épaisseur 12 microns de Rhône-Poulenc. C'est un film de polyester équivalent au Mylar de Du Pont de Nemours. Ce même type de film, en épaisseur 3,5 microns seulement, a été employé pour le diaphragme du casque décrit dans le N°3 de l'Audiophile. Il ne montre aucun signe de vieillissement même après des années d'utilisation. Les distributeurs Rhône-Poulenc ne vendent ce film qu'au kilo, il est néanmoins possible d'en trouver en petite quantité en épaisseur 12 microns aux Ets Adam, 11 bd Edgar-Quinet à Paris 14<sup>ème</sup>.

Le diaphragme a une surface active de 1330 cm<sup>2</sup> correspondant à un diamètre de 41 cm soit approximativement la surface de membrane d'un haut-parleur de 46 cm. La longueur libre maximale est de 157 cm ce qui est considérable, la largeur maximale de 11 cm et minimale de 6 cm. Les dimensions du diaphragme sont exactement celles des grilles. Sa masse est d'environ 1 gramme.

### La machine à tendre les diaphragmes

Dans le principe même du haut-parleur électrostatique, la charge électrique du diaphragme fait face à celle des électrodes. Le diaphragme est donc attiré vers l'électrode comme le sont les pôles opposés d'aimants. Lorsque ce haut-parleur est symétrique ou push-pull, le diaphragme est attiré par les deux électrodes avec des forces d'attraction égales. Le diaphragme n'aurait pas besoin d'être tendu s'il était parfaitement centré car les forces s'annuleraient à son niveau. En pratique, les irrégularités de construction font qu'une tension mécanique est indispensable pour maintenir le diaphragme à égale distance des électrodes. La force de traction à exercer sur le diaphragme pour le maintenir centré est beaucoup plus élevée que celle qui l'attire vers l'électrode car elles s'exercent à angle droit et la largeur de l'électrode est très supérieure à son écart avec le diaphragme. Celui-ci étant tendu, une fréquence de résonance relativement élevée se manifeste par des colorations plus ou moins accentuées que l'on qualifie parfois de "son électrostatique" ou de "bruit de Mylar".

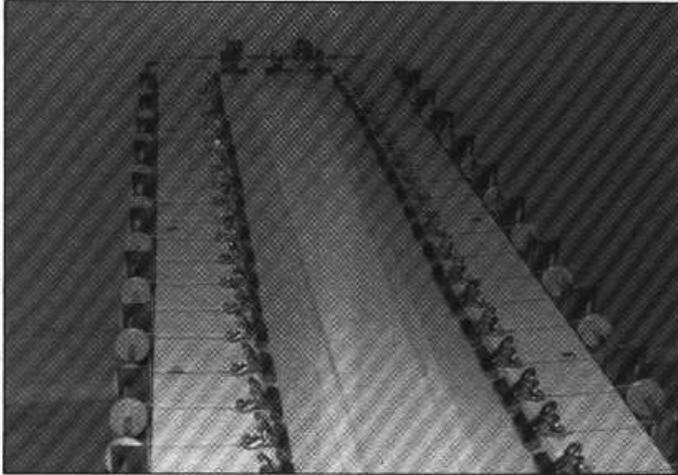


Coupe de la cellule à environ 10 cm du bas avant montage de la cellule. Les deux parties de chaque cadre et une électrode sont assemblées par collage.

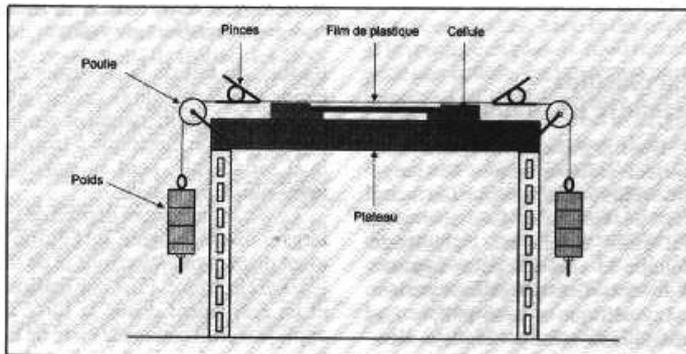
Parfois, du fait de la constante de temps très élevée de la cellule, un diaphragme insuffisamment tendu pour la tension électrique à laquelle il est soumis, perd sa stabilité après plusieurs minutes.

La force à appliquer dépend de la largeur du diaphragme, de l'écartement diaphragme/électrode et de la tension électrique. Pour une tension et un écartement donné la force à appliquer croît comme le carré de la largeur, ce qui exclut de réaliser des diaphragmes de grande largeur qui auraient en plus une directivité accentuée. Les diaphragmes de grandes dimensions sont toujours divisés en secteurs par des cales isolantes.

Dès le début de la fabrication de mes premiers casques et haut-parleurs électrostatiques il m'est apparu indispensable de disposer d'un moyen de tendre les diaphragmes avec précision. J'ai construit différents types d'outils plus ou moins compliqués et finalement mis au point deux machines, une ronde de petite taille pour les casques, une autre rectangulaire de grande taille pour les haut-parleurs. Cette machine absolument indispensable est plus coûteuse et plus difficile à construire qu'une cellule électrostatique.



Machine servant à tendre et à monter le diaphragme.



Principe de la machine servant à tendre et à monter le diaphragme.

Le film de plastique déroulé sur la machine est découpé en rectangle, puis saisi sur les bords avec des pinces du type pinces à dessin, la tension mécanique est obtenue par des poids en plomb agissant sur les pinces par un fil et une roulette intermédiaire. C'est le principe utilisé sur les bras SME pour compenser la poussée latérale. (Figure) Un des bras de la cellule est alors glissé sous le plastique tendu puis collé. Ensuite, le diaphragme est découpé sur le pourtour de la cellule.

La machine a été construite de manière à pouvoir tendre les diaphragmes de différentes dimensions avec une force variable, les poids

étant constitués d'un assemblage de plusieurs petits plombs, de 10 à 150 grammes, de manière à doser avec précision la force avec laquelle le diaphragme est tendu. Il est possible d'utiliser des plombs de pêche qui ont l'avantage d'être disponibles facilement avec des poids précis.

Dans le cas du haut-parleur trapézoïdal, le diaphragme a une largeur de 60 à 110 mm. Il a donc été nécessaire d'utiliser des assemblages de plusieurs centaines de masses différentes, plus élevés pour la partie la plus large, plus faibles pour la partie la moins large, ce qui complique encore davantage la fabrication.

Dans certaines réalisations, le

diaphragme est tendu par cintrage de la cellule, ou bien la pose de petites cales isolantes entre le diaphragme et les électrodes permet de maintenir le centrage du diaphragme avec une tension mécanique plus faible donnant une fréquence de résonance plus basse.

### Traitement du diaphragme

Le diaphragme est rendu conducteur par pulvérisation d'une couche très régulière d'un produit faiblement conducteur. Après séchage, la résistance superficielle de la couche est de l'ordre de 10000 Mohms. Il est possible d'en vérifier la régularité avec un petit néon tenu entre les doigts, le diaphragme étant sous tension électrique. Le néon doit s'allumer faiblement avec la même intensité quel que soit l'endroit où il touche le diaphragme.

Les fabricants de haut-parleurs électrostatiques ne dévoilent jamais la nature du produit utilisé, c'est en général un secret bien gardé. Dans un brevet français, Jean Deguillen proposait d'employer une préparation à partir d'une dilution de plombagine. Les réalisations d'amateurs font souvent appel à des produits antistatiques, des huiles conductrices, du graphite colloïdal ou en poudre. Ce dernier a été souvent employé dans des réalisations d'amateurs américains, mais il a le défaut d'être peu fiable et de favoriser le flashage. Une fine couche de carbone peut être déposée à la surface du film en utilisant une préparation à base de ... sucre fortement caramélisé mais pouvant être dissous dans l'eau, associé ou non à une colle ou à un vernis très dilués.

Le savon liquide peut également être utilisé, à l'état pur, dilué dans l'eau, ou associé également à une colle ou un vernis très dilués. Idéalement, la couche conductrice obtenue devrait être très fine, moins du micron, sécher totalement et être insensible à l'humidité même à taux élevé.

### Assemblage d'une cellule

L'assemblage des deux parties de la cellule s'effectue à l'aide de 32

vis de 3 mm, la cellule n'est pas rivée ni collée car il a été prévu à l'origine de permettre le remembrage et le test de différents diaphragmes et produits conducteurs. Ces vis sont d'une longueur suffisante pour permettre la fixation de la cellule sur un baffle plan. L'espace entre les électrodes est de 3 mm. Il y a trois connexions, un fil pour chaque électrode et une vis est en contact avec le ruban conducteur pour permettre la polarisation du diaphragme. Le poids d'une cellule est d'environ 2,5 Kg.

### L'adaptateur d'impédance à transformateurs et l'alimentation

Pour fournir un niveau acoustique satisfaisant, les cellules électrostatiques demandent des tensions de modulation considérables pouvant atteindre plusieurs milliers de volts efficaces sur les hauts niveaux avec toutefois un courant très faible, l'impédance de charge étant très élevée. Il faut donc prévoir un amplificateur O.T.L. du type celui de C.I. Malme ayant un gain en tension d'environ 1000. Acoustat et Beveridge notamment ont commercialisé des amplis de ce genre associés à leurs haut-parleurs. Ces amplificateurs sont très délicats à réaliser à cause des hautes tensions qui entrent en jeu dans l'étage final.

Le plus souvent, il est fait appel à des transformateurs adaptant la sortie d'amplificateurs pour haut-parleurs électrodynamique aux cellules électrostatiques.

Dans cette réalisation, deux transformateurs de modulation fournissent chacun des tensions en opposition de phase. Leur circuit magnétique est en tôles E et I à gain orienté de 96 mm x 80 mm sur une épaisseur de 50 mm. Le rapport de transformation est de 1/65.

La tension de polarisation haute tension nécessaire au diaphragme est obtenue par un multiplicateur de tension relié non pas directement au secteur mais à un transformateur fournissant 280 Volts. Ce transformateur de 24 VA est surdimensionné uniquement pour éviter un trop

grand nombre de tours par volt qui rendrait la fabrication délicate voire impossible. Le multiplicateur est constitué de diodes BY 255 et de condensateurs ERO 10 nF/2000 volts soudés sur un circuit imprimé époxy. La tension de sortie peut-être ajustée entre 1800 et 2200 volts par un potentiomètre bobiné de 10 K $\Omega$ /5 watts sur le primaire du transformateur. Le diaphragme est polarisé par l'intermédiaire d'une résistance de 30 M $\Omega$ .

Les brevets de circuits multiplicateurs de tension et d'adaptation par transformateurs aux cellules électrostatiques sont également dans le domaine public depuis fort longtemps.

### Réalisation du panneau

Le baffle est constitué d'un panneau de 1,80 m de hauteur sur une largeur de 0,54 m avec une épaisseur de 5 cm. La cellule est vissée dans une ouverture en son centre.

L'alimentation secteur et les transformateurs de modulation ont été installés à l'intérieur d'un coffret en contre-plaqué solidaire du socle du panneau. Il faut remarquer qu'un baffle plan a une fréquence de coupure acoustique qui apporte une coloration particulière et qu'il possède sa propre fréquence de résonance liée au matériau employé. Un panneau n'est donc pas acoustiquement neutre. Le fait de percer des ouvertures dans le panneau pour y placer les cellules en réduit la rigidité. Enfin, la grille de protection peut également être sujette à des vibrations parasites. Les résonances parasites peuvent être mises en évidence et éliminées par utilisation d'un générateur sinusoïdal à fréquence glissante qui permet facilement d'en localiser l'origine.

D'autre part, malgré sa très faible masse, le diaphragme ne peut être mécaniquement oublié, il est affecté d'une faible résonance qu'il est nécessaire d'amortir afin de réduire les colorations.

### Performances

On estime souvent que les haut-parleurs électrostatiques sont pauvres

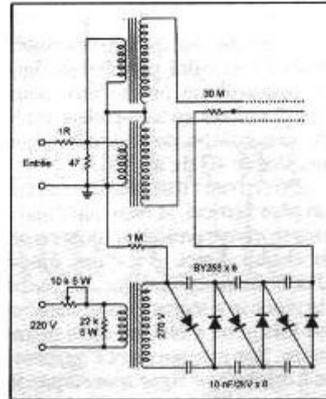


Schéma de l'alimentation haute tension et des transformateurs de modulation. Le potentiomètre de 10 k permet d'ajuster la tension de polarisation du diaphragme.

en grave, et que le complément d'un haut-parleur électrodynamique est indispensable. Ce n'est pas du tout mon opinion. L'intérêt du haut-parleur de grave est de renforcer le bas du spectre mais surtout de masquer des défauts et colorations propres aux cellules électrostatiques. D'autre part cela permet d'utiliser des transformateurs de modulation plus petits, donc d'un prix de revient beaucoup plus faible. L'erreur souvent commise est de choisir un boomer de grand diamètre à gros aimant et membrane lourde et épaisse (un cas typique est celui de l'enceinte hybride B & W DM70, aujourd'hui disparue). Le choix devrait plutôt s'orienter vers des haut-parleurs de caractéristiques dynamiques proches de celles d'un électrostatique, c'est à dire vers des haut-parleurs à faible facteur de force.

J'ai voulu que ce haut-parleur soit un électrostatique "pur et dur". Le grave et même l'extrême-grave sont présents et très propres. Ceci est probablement dû à la très grande longueur de diaphragme : 1m57. Le volume d'une grande salle de concert est très bien restitué. Il n'y a aucun filtre destiné à corriger (pour ne pas dire trafiquer) la courbe de réponse. Un système ne s'améliore pas en ajoutant tel ou tel artifice mais uniquement par élimination de ses

défauts.

**Linéarité** : lorsqu'il est monté en baffle quasi infini, par exemple dans le cadre d'une porte entre deux grandes pièces, ce haut-parleur génère une courbe de réponse quasi linéaire de 40 Hz à 18 kHz.

**Directivité** : il est très directif sur un plan vertical, si bien que l'auditeur se trouve presque toujours dans le champ direct. Avec une forme d'onde quasi cylindrique, la courbe de réponse a tendance à se maintenir lorsqu'on s'éloigne de la membrane. Son rayonnement s'apparente à celui d'une ligne acoustique, le son ne semble pas provenir de toute la surface mais d'un point précis, celui qui est le plus proche de l'oreille, cette source fictive se déplace donc verticalement avec l'auditeur. C'est l'effet Haas qui a été décrit dans le numéro 32 de l'Audiophile dans un article traitant de l'enceinte Totem. Le positionnement des panneaux dans le local d'écoute est par contre critique comme pour tous les haut-parleurs rayonnant en dipôle.

**Rendement et niveau sonore** : avec une seule cellule, la surface active est relativement faible, elle correspond au tiers de celle d'un Quad ESL. Toutefois, ce haut-parleur est large bande. Il n'y a pas de filtrage passif et le rendement s'en trouve considérablement amélioré. Le niveau obtenu pour une puissance donnée dépend de la tension de polarisation et du rapport de transformation des transformateurs. On obtient sans difficulté des niveaux de l'ordre de 100 dB avec amplificateur d'une cinquantaine de watts ce qui suffit à une écoute domestique. Le prix de revient d'une paire de panneaux est inférieur à 4000 F. Il est donc exclu de les comparer à des systèmes dix ou vingt fois plus chers.

**Fiabilité** : aucun phénomène de flashage ne s'est jamais manifesté, il est vrai que la puissance de l'ampli n'a jamais dépassé 120 Watts. Au pire le diaphragme talonne en touchant les électrodes sans qu'il y ait amorçage pour autant. Il faut remarquer que l'arrivée du Compact Disc, avec sa bande passante volontaire-



ment limitée, a donné une nouvelle jeunesse à tous les haut-parleurs basés sur ce principe en améliorant leur fiabilité. En effet, en dessous de 20 Hz, les défauts de planéité du disque microsillon se traduisaient par des tremblements des membranes des haut-parleurs électrodynamiques et des tensions très élevées entre les électrodes des électrostatiques dont le diaphragme pouvait être perforé à la suite d'une surmodulation provoquée, par exemple, par la chute de la pointe de lecture sur le disque. Avec le Compact Disc les membranes des haut-parleurs ne tremblent plus dans le registre d'infra-grave. D'autre part, le haut-parleur électrostatique se comportant électriquement comme un condensateur, son impédance décroît avec la fréquence si bien qu'au-dessus de 20 KHz, l'impédance de charge de l'amplificateur tend vers zéro. Avec une quasi-absence de signaux au-dessus de cette fréquence, l'amplificateur de puissance est protégé contre les surcharges.

#### Références

Les haut-parleurs électrostatiques, 3ème partie. C. Gary. La Revue du Son N°66 d'octobre 1958.

Transducteurs électrostatiques ou le chant des condensateurs. Jacky Mas. Numéros 20, 21 et 22 de

l'Audiophile nouvelle série d'avril, juin et octobre 1992.

Un casque électrostatique. Philippe Hiraga. N°3 de l'Audiophile nouvelle série de février/mars 1989.

Un amplificateur pour casque électrostatique. Philippe Hiraga. N°10 de l'Audiophile de mai 1990.

L'enceinte Totem. Jean Hiraga. N°32 de l'Audiophile de mai 1984.

Perfectionnements aux haut-parleurs électrostatiques. Jean Deguillen. Brevets français N°s 1454121 du 29/10/1965, 1465963 et 1465965 du 21/01/1966.

Haut-parleur électrostatique. Peter Walker. Brevet français N°1134837 du 10/10/56.

Electrostatic transducer. Charles I. Malme. Brevet US N° 3014098 du 08/05/1959.

Electrostatic transducer. John P. Civitello. Brevet US N° 4289936 du 15/09/1981.

Electrostatic Loudspeaker design and construction. Ronald Wagner. Tab Books. Disponible chez Old Colony Sound Lab. Po Box 243, Peterborough, NH 03458, USA

Les haut-parleurs. Jean Hiraga. Editions Fréquences.