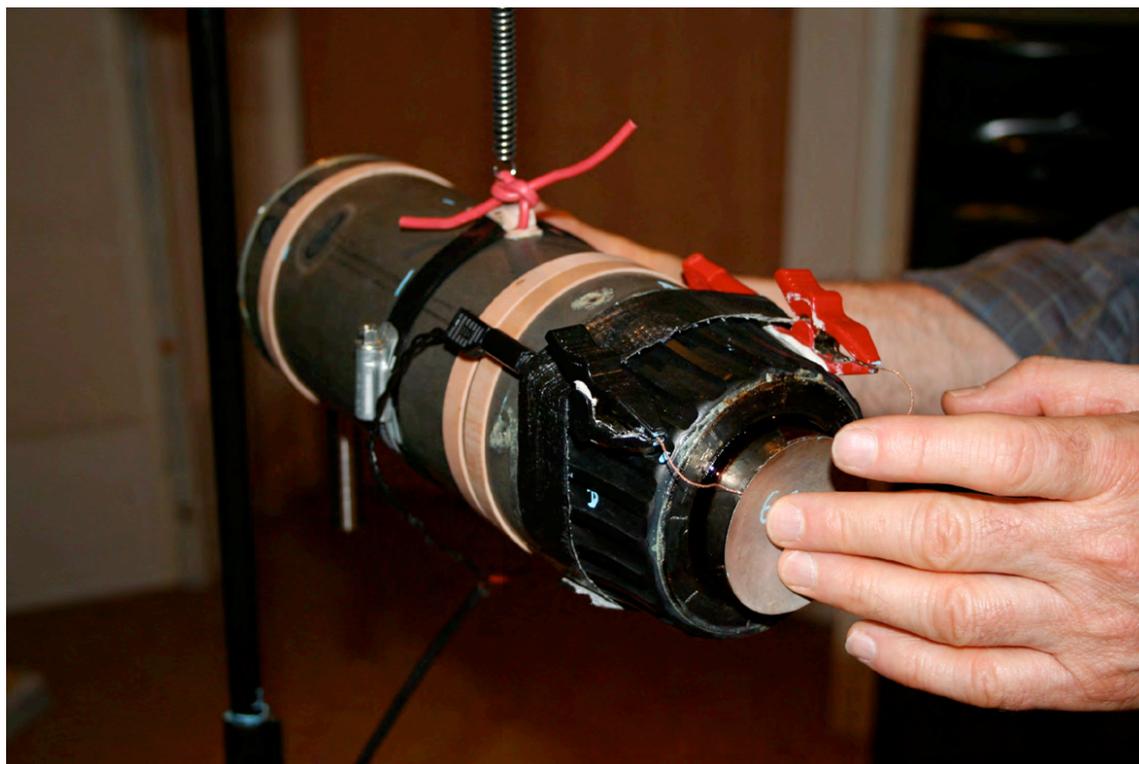


## HAUT-PARLEUR NOUVELLE TECHNOLOGIE

# HP électro-dynamique : vers une ère nouvelle...

S'il est un domaine où la véritable innovation est rare, c'est bien celui du haut-parleur électro-dynamique. Depuis Rice-Kellogg, la forme a évidemment beaucoup évoluée, mais le fond reste peu ou prou le même. Gilles Milot, bien connu des passionnés depuis les années 80, nous a présenté un prototype qui pourrait bien enfin faire évoluer les choses...

Par Philippe Viboud



Le prototype écoutable en large bande utilise une charge arrière tubulaire close décomprimée de très faible volume.

La reproduction sonore vit depuis près d'un siècle sous l'hégémonie du principe Rice-Kellogg commercialisé dans les années 20... Ce haut-parleur électro-dynamique est en effet le plus répandu dans tous les domaines d'applications du son, de la hi-fi au pro... Bien sûr que, depuis les premiers modèles à excitation de série, ce maillon – sans lequel nos enceintes acoustiques n'existeraient pas – a beaucoup évolué mais essentiellement du fait de nouveaux matériaux et de modes de fabrication plus

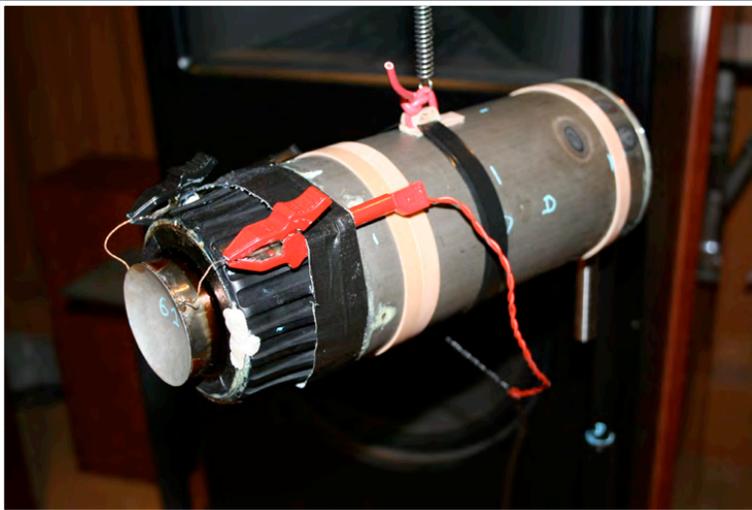
modernes. Même si en 2008 ses développements passent par de puissants logiciels intégrant tous ses paramètres connus et dessinant en 3D les résultats de leurs calculs, il n'en reste pas moins que le principe originel reste le même : un équipage mobile constitué d'une membrane, de suspensions et d'une bobine baignant dans l'entrefer d'un moteur magnétique, permanent ou à excitation. Hors, malgré les recherches sur de nouveaux aimants en terre rare plus puissants, mille et une astuces pour augmenter le ren-

dement et diminuer les distorsions, mille et un essais sur des matériaux et des formes de suspension et de membranes composites de plus en plus sophistiqués, ses limites restent incontournables du fait du principe même...

### Les limites des haut-parleurs

Que demande-t-on théoriquement à un haut-parleur en hi-fi? Simple de reproduire la totalité de la bande passante audible sans directivité propre, sans distorsion d'aucune sorte et avec une puissance acoustique réa-

liste! La mise en application de cet énoncé, si simple en apparence, met vite en évidence ses antinomies lors de la construction du transducteur. Pour "remuer de l'air" et donc obtenir un niveau acoustique respectueux de la dynamique, ce dernier peut compter sur sa surface émissive et/ou son amplitude de déplacement. Pour une fréquence et une puissance acoustique donnée, si l'on diminue le diamètre du haut-parleur, il faut augmenter l'amplitude de déplacement de son équipage mobile. Hors gran-



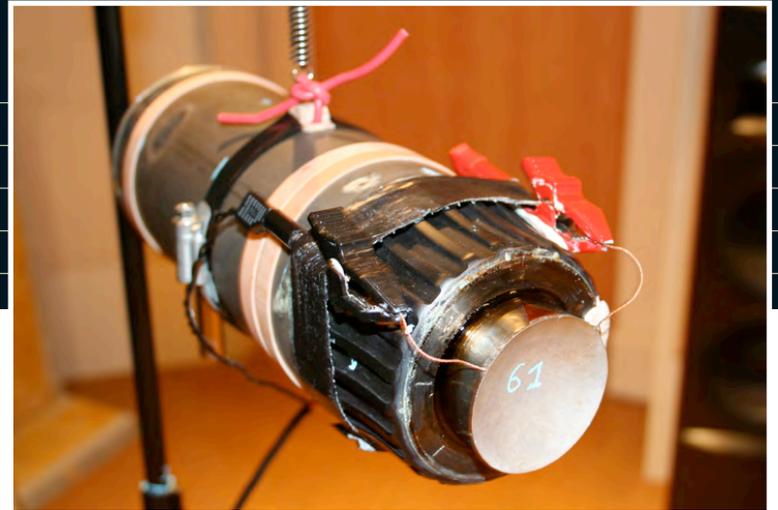
Suspendu à un ressort qui le découple de l'environnement, ce principe sera maintenu sur la version "commerciale" mais sous une forme beaucoup plus domestiquée...

de surface émissive est synonyme d'augmentation de la masse mobile (peu souhaitable), de directivité marquée en haute fréquence, de fractionnement, de traînage et de modes de torsion complexes de membrane, donc d'apparitions de non-linéarités qui s'ajoutent à celles dues au déplacement important de cet équipement dans un entrefer limité en taille et en flux et retenu par des suspensions elles-mêmes sujettes à des comportements viscoélastiques non-linéaires. Et ce n'est pas tout, car il ne faut pas perdre de vue que le haut-parleur ne tire son énergie acoustique que d'une transformation de l'énergie électrique envoyée par votre amplificateur, application de la fameuse loi de Laplace! Hors cette transformation est loin d'être transparente et d'un

rendement optimal, se "dispersant" en chaleur dans la bobine, en courant de Foucault ou en phénomènes d'hystérésis et de self-inductance mal maîtrisés. Face à cette vision un peu apocalyptique du fonctionnement du haut-parleur électro-dynamique, des chercheurs de l'université du Maine dans la Sarthe, d'abord en la personne de Bernard Richoux, puis de Guy et Valérie Lemarquand (les époux "Joliot-Curie" de l'électro-acoustique!) et enfin Gilles Milot sous l'égide de la société Acoustical Beauty, ont expérimenté des solutions innovantes permettant de conserver son principe en minimisant tous ses défauts.

### Sans suspension et sans fer

Pour ça, il a fallu remettre tout à plat et chercher une nouvelle direction pour chaque élément constitutif en analysant son rôle, son mode de fonctionnement et ses limitations. L'élément incontournable du principe reste l'équipage mobile. Les essais sur les haut-parleurs à gaz ou ioniques, bien qu'intéressants, n'ont à ce jour pas été vraiment concluants: bruit de fond résiduel, rendement faible, limi-



On voit ici, à la limite entre le support de bobine et l'entrefer, des traces du fluide ferrofluide utilisé pour centrer et contrôler l'équipage mobile.

tation du principe dans le grave, problèmes de fiabilité et d'émissions secondaires... Nous avons vu que cet équipement mobile a pour principales limites sa masse, l'amplitude de son déplacement et les non-linéarités de ses suspensions, périphérique et *spider*. L'idée fut donc de supprimer purement et simplement ces dernières! Plus de suspension, donc suppression d'un grand nombre de non-linéarités, et surtout beaucoup moins de limitations concernant l'élongation, d'où, rappelez-vous, la possibilité d'utiliser une membrane de petit diamètre pour une même énergie acoustique. Facile à dire murmurent déjà les sceptiques, mais il faut bien un guidage pour qu'il travaille en piston et surtout un point de repos stable à cet équipement mobile devenu libre comme l'air? Tout à fait et après de nombreux essais, la solution est venue des ferrofluides. Inventés au milieu des années 60, ce sont des solutions colloïdales stables constituées d'un liquide porteur dans lequel est maintenu en suspension des nanoparticules ferromagnétiques (env. 3 à 20 nm). Dits paramagnétiques, ils réagissent à un champ magnétique externe comme celui d'un entrefer de haut-parleur, mais ne conservent pas la magnétisation en son absence. Utilisés d'abord sur les *tweeters* dont ils homogénéisent le flux et garantissent l'étanchéité et une meilleure tenue en puissance du fait d'une dissipation thermique accrue de la bobine à leur contact, ils sont ici employés sous forme de joints aux extrémités du moteur, restant prisonniers des gradients de champs magnétiques à ce niveau. Ils forment donc une pellicule autocentrante, statiquement mais aussi dynamiquement, la bobine, au même titre qu'une suspension, mais sans ses défauts mécaniques, en particulier la raideur axiale du système est nulle. Il est évidemment très important de bien choisir le fluide ferrofluide en termes de propriétés magné-

tiques des grains et mécaniques du liquide porteur (huile de silicone, diesters carboxyliques, polyphényléthers...), en particulier sa viscosité, sa stabilité et sa capacité thermique, pour optimiser cette fonction. Cet aspect est désormais assez bien maîtrisé dans l'industrie et la fiabilité des ferrofluides est établie de longue date pour permettre de valider ce choix délicat. Deuxième point, le moteur magnétique. Au sein d'un haut-parleur traditionnel, le poids du fer doux représente entre 50 et 75 % de son poids total! Cette structure, par facilité d'usinage, est le plus souvent réalisée en alliage dont la teneur en carbone et le matriçage (en l'absence de



Essais design d'enceintes pouvant intégrer le haut-parleur d'Acoustic Beauty en temps que module médium-grave évolutif de quatre à huit. Le tweeter reste pour l'instant traditionnel... Mais peut-être pas pour longtemps!



Sur ce premier modèle, le dôme inversé reste en magnésium, il sera en carbone sur la version définitive.



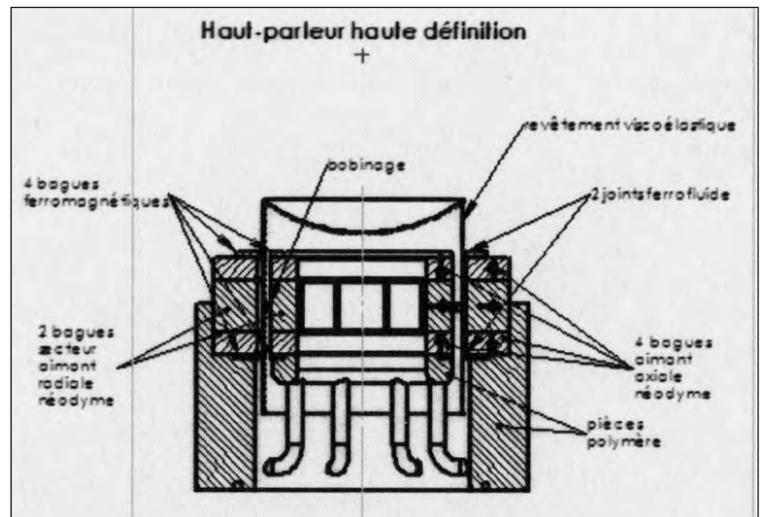
La structure arrière en polymère nervuré sert de base mécanique au haut-parleur lui-même et protège les aimants.

recuit) influencent les propriétés magnétiques, en particulier la perméabilité. Les pièces polaires et les plaques de champ sont donc le siège, entre autres, de fuites magnétiques, de courants de Foucault dues à leur propriété conductrice et d'irrégularités du flux dans l'entrefer, donc du facteur Bl. De plus par souci d'économie mais aussi pour éviter de saturer les pièces précitées, on utilise majoritairement des tores de ferrites dont l'énergie est près de vingt fois inférieure à ce que l'on sait faire de mieux actuellement puisque l'on arrive à près de 550 kJ/m<sup>3</sup>! Il était donc tentant de supprimer le fer, comme on a supprimé les suspensions, pour ne plus utiliser que des super-aimants permanents formant directement l'entrefer... C'est ce qui a été réalisé, comme on peut le constater sur la coupe schématique ci-contre. Maintenus par une structure mécanique polymère, les aimants Neodyme, au nombre de six, quatre axiaux et deux radiaux, qui n'ont pas forcément la même aimantation rémanente. Leur orientation peut varier selon le critère que l'on veut privilégier. Si c'est le facteur Bl et la hauteur de l'entrefer assurant une plus grande amplitude de déplacement de la bobine, ils seront tous orientés radiaux, centripètes ou cen-

trifuges. La structure mixte axial-radial permet plutôt de minimiser les fuites et de concentrer le flux sur la partie centrale en rebouclant la structure magnétique. À performances équivalentes, l'abandon du fer assure aussi un gain pondéral assez conséquent! Quant à l'équipage mobile lui-même, le choix s'est porté en un premier temps sur un dôme inversé de 54 mm en magnésium directement fixé sur le support de bobine en titane. La bobine est assez courte et il faut noter que sa structure alu-cuivre noyée dans une résine époxy joue aussi le rôle de bague de renfort du support. L'ensemble reste très léger (Mms = 5,36 g) et peut vraiment être comparé à un piston au sein d'un cylindre.

### Conséquences attendues

Conséquences de la technologie et en particulier de l'absence de suspension, les paramètres de Thiel et Small offrent des valeurs pour le moins inhabituelles: la fréquence de résonance, sans charge à l'air libre, est nulle au même titre que les Qms, Qes et bien sûr Qts. Conséquence des conséquences, les Vas et Cms tendent vers l'infini! Voilà qui ouvrent de nouveaux horizons à notre reproduction sonore un peu endormie... La charge choisie est une tubulaire close d'environ 2,7 litres amortie et décom-



**Coupe du haut-parleur d'Acoustical Beauty : Ce schéma permet de bien comprendre la structure magnétique, constituée par six aimants néodyme, et le rôle du ferrofluide en tant que guide de l'équipage mobile.**

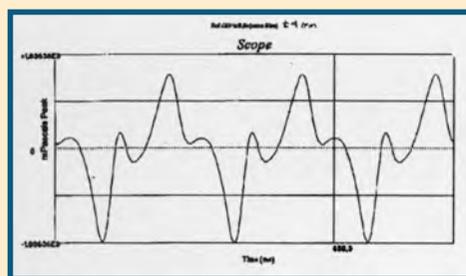
pressée (fuite calibrée de Fr = 0,1 Hz). Ce volume constitue en fait la seule "raideur" du haut-parleur, d'où son volume faible par rapport à un transducteur classique, tout en conservant une résonance aux alentours de 42 Hz! Sa structure en fonte lamellaire de 5 mm d'épaisseur est très massive (5 kg) et très amortissante. Ce module acoustique est de plus découplé par ressort de son support. La bande passante n'en fait pas encore tout à fait un large bande, mais couvre néanmoins une plage de 20 à 8 000 Hz, ce qui n'est pas mal pour une membrane de 54 mm de diamètre, surtout dans le grave! Le rendement du module est d'environ 83 dB/W/1 m à 1 kHz. Cela peut paraître moyen, mais il faut le rapporter à un HP d'un si petit diamètre et savoir que le principe modulaire permet de les multiplier en ligne acoustique (voir schéma des enceintes à la page précédente), ce qui rajoute 3 dB à chaque module supplémentaire (entre quatre et huit sont prévus en un premier temps par voie). Sa tenue en puissance est par ailleurs de 100 W.

aux amateurs de réalisations personnelles, avec des coûts contenus. Par sa technologie vraiment innovante et par le fait qu'il constitue une entité à lui tout seul qui permet un *redesign* tout aussi innovant des enceintes acoustiques, son champ d'application risque de s'élargir rapidement, y compris dans des sphères autres que la Hi-Fi... D'autres modèles sont déjà à l'étude, en particulier un "boomer" de 80 mm... Les quelques écoutes effectuées au sein de notre auditorium nous ont vite convaincus du bien fondé de l'entreprise. Très naturel et vif, le rendu montre beaucoup de qualités, en particulier un très bon équilibre spectral d'autant plus étonnant quand on considère la surface émissive et le faible volume de charge des prototypes utilisés en large bande. Le modèle commercialisé bénéficiera évidemment d'une meilleure finition mais aussi d'amélioration de son équipement mobile dont le dôme et le support bobine seront remplacés par du carbone époxy "haut module" (on en fabrique des cannes à pêche de compétition...), très rigide, très amorti, supérieur en vitesse de propagation au titane, mais aussi non conducteur (absence de courant de Foucault) et noir, donc meilleur conducteur de la chaleur vis-à-vis de la bobine et rendant le ferro-fluide invisible... Bref, que du bonheur! La fabrication en petite série devrait débuter à l'aube de 2009, via une collaboration entre Acoustical beauty et la société AAC à Chartre/Loir qui a repris la fabrication des haut-parleurs Audax à Harman...

L'auteur remercie Gilles Milot pour son aide à la réalisation de cet article.

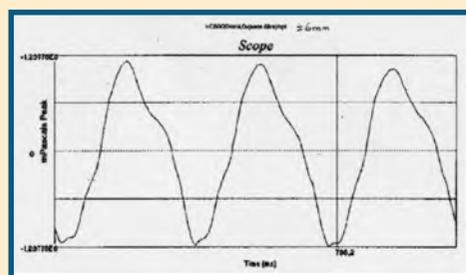
Philippe Viboud

## MESURES



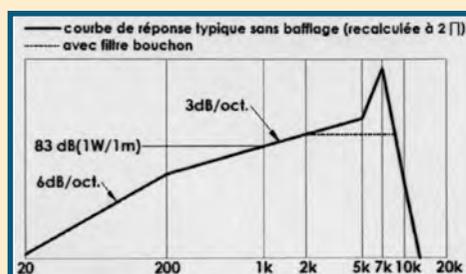
### Réponse amplitude/fréquence d'un haut-parleur classique à 20 Hz :

Ici un 17 cm avec une excursion de  $\pm 4$  mm. La sinusoïde n'en est plus vraiment une et la comparaison avec la courbe ci-dessous se passe de commentaire... (Doc. Acoustical beauty)



### Réponse amplitude/fréquence de l'Acoustical Beauty à 20 Hz :

Confirme la réduction drastique de la distorsion pour une fréquence aussi basse. L'excursion permise est de  $\pm 7$  mm. (Doc. Acoustical Beauty)



### Courbe de réponse typique sans bafflage :

C'est celle du prototype. Un filtre bouchon permet de lisser la pointe vers 7 kHz. Intégrer le fait que l'abscisse va de 20 à 20 000 Hz et que l'on a à faire à un HP de seulement 54 mm de diamètre ! (Doc. Acoustical Beauty)

### Perspective d'avenir

Protégé par plusieurs brevets internationaux, ce transducteur médium-grave a devant lui un bel avenir... D'ailleurs le projet vient d'être lauréat au concours national 2008 d'aide à la création d'entreprises de technologie innovante (ministère de l'enseignement supérieur - ANR-OSEO). Bien sûr que Gilles Milot envisage de recréer des enceintes Leedh sur cette base Acoustical Beauty (À sa place, ça nous démanerait aussi!). Mais le but est de le proposer mondialement à tous les fabricants d'enceintes intéressés, voire